



D. Serikbayev
**EAST
KAZAKHSTAN
TECHNICAL
UNIVERSITY**



**EKTU
ISTC**
XII Халықаралық ғылыми-
техникалық конференция
XII International scientific and
technical conference



Жасанды интеллект және инновациялар: жаңа сынақтар мен болашақтың инженерлік шешімдері

*Цифрландыру және жасанды интеллект жылына арналған студенттер,
магистранттар, докторанттар және жас ғалымдардың XII Халықаралық
ғылыми-техникалық конференциясының*
МАТЕРИАЛДАРЫ



Искусственный интеллект и инновации: новые вызовы и инженерные решения будущего

Artificial Intelligence and Innovation: New Challenges and Engineering Solutions for the Future

МАТЕРИАЛЫ

*XII Международной научно-технической
конференции студентов, магистрантов,
докторантов и молодых ученых,
посвященной Году цифровизации и
искусственного интеллекта*

PROCEEDINGS

*of the XII International Scientific and Technical
Conference of Students, Master's Students,
Doctoral Candidates, and Young Scientists,
dedicated to the Year of Digitalization and
Artificial Intelligence*

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
«Д. СЕРІКБАЕВ АТЫНДАҒЫ ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН
ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ» КЕАҚ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
НАО «ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Д. СЕРИКБАЕВА»

**«ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ЖӘНЕ ИННОВАЦИЯЛАР:
ЖАҢА СЫНАҚТАР МЕН БОЛАШАҚТЫҢ ИНЖЕНЕРЛІК ШЕШІМДЕРІ»**

Цифрландыру және жасанды интеллект жылына арналған
студенттер, магистранттар, докторанттар және жас ғалымдардың
XII Халықаралық ғылыми-техникалық конференциясының
МАТЕРИАЛДАРЫ
9, 10 сәуір 2026 жыл

II бөлім

**«ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ИННОВАЦИИ:
НОВЫЕ ВЫЗОВЫ И ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ БУДУЩЕГО»**

МАТЕРИАЛЫ
XII Международной научно-технической конференции студентов,
магистрантов, докторантов и молодых ученых, посвященной
Году цифровизации и искусственного интеллекта
9, 10 апреля 2026 г.

Часть II

**«ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND INNOVATION:
NEW CHALLENGES AND ENGINEERING SOLUTIONS
FOR THE FUTURE»**

PROCEEDINGS
of the XII International Scientific and Technical Conference of Students,
Master's Students, Doctoral Candidates, and Young Scientists, dedicated to the
Year of Digitalization and Artificial Intelligence
April 9-10, 2026

Part II

УДК 004.8
ББК 32.813
Ж 33

Главный редактор: к.т.н. С.Ж. Рахметуллина
Зам. главного редактора: к.э.н. Ж.Т. Конурбаева

Редакционная коллегия: к.т.н. Акылбаева А.Т., к.в.н. Валитова Н.В., к.т.н. Петрова О.А., PhD Тогузова М.М., PhD Кузьмина О.Н., старший преподаватель Гусаренко Ю.Д.

Жасанды интеллект және инновациялар: жаңа сынақтар мен болашақтың инженерлік шешімдері: Цифрландыру және жасанды интеллект жылына арналған студенттер, магистранттар, докторанттар және жас ғалымдардың **XII Халықаралық ғылыми-техникалық** конференциясының материалдары, 9, 10 сәуір 2026 ж. = **Искусственный интеллект и инновации: новые вызовы и инженерные решения будущего:** Материалы XII Международной научно-технической конференции студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых, посвященной году цифровизации и искусственного интеллекта, 9, 10 апреля 2026 г. – Өскемен: ШҚТУ, 2026. – II б. – 356 б. – қазақша, орысша, ағылшынша.
ISBN 978-601-208-921-9 (II б.)
ISBN 978-601-208-917-2

В сборник включены научные работы, охватывающие широкий спектр актуальных направлений: геология и поиск месторождений полезных ископаемых, горное дело и устойчивое освоение недр, безопасность жизнедеятельности и охрана труда, геодезия и геоинформационные технологии, земельный кадастр, а также рациональное использование и управление лесными ресурсами. Особое внимание уделено внедрению цифровых технологий, методов дистанционного зондирования Земли, геоинформационных систем, а также применению инструментов искусственного интеллекта для решения задач геологоразведки, мониторинга природных и техногенных процессов, оценки рисков и повышения эффективности природопользования.

Сборник предназначен для студентов, магистрантов, докторантов, молодых ученых, преподавателей, а также специалистов производственных предприятий, заинтересованных в развитии цифровых и инженерных технологий в области наук о Земле.

УДК 004.8
ББК 32.813

Печатается по разрешению редакционно-издательского совета университета.

ISBN 978-601-208-921-9 (II б.)
ISBN 978-601-208-917-2

© БКТУ им. Д. Серикбаева, 2026

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ВЗРЫВОВ НА НЕФТЯНЫХ ОБЪЕКТАХ И МЕТОДЫ ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

УДК 504:622.323:004.8

Б.Е. Абдігаппар¹, Б.Б. Серикбаева¹, А.С. Амангазинова¹, Б.М. Толыкбаева^{1*}

¹ ВКТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Толыкбаева Бинур Маратовна,

e-mail: tolykbayeva.binur@mail.ru

АННОТАЦИЯ. В данной статье рассматриваются экологические последствия взрывов на нефтяных объектах, а также современные методы их прогнозирования с применением технологий искусственного интеллекта. Целью исследования является анализ воздействия аварий на окружающую среду и оценка эффективности интеллектуальных методов прогнозирования. В работе использованы методы анализа данных, математического моделирования и машинного обучения. Рассмотрены основные виды загрязнений, возникающих при авариях: атмосферные, почвенные и водные. Предложены подходы к прогнозированию экологических последствий на основе нейронных сетей и алгоритмов обработки больших данных. Полученные результаты показывают, что применение искусственного интеллекта позволяет повысить точность прогнозов и минимизировать экологические риски.

Ключевые слова: нефтяные аварии, экологический ущерб, искусственный интеллект, прогнозирование, загрязнение.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы обусловлена увеличением числа аварий на нефтяных объектах, включая нефтеперерабатывающие заводы, буровые установки и трубопроводы. Взрывы на данных объектах сопровождаются выбросами токсичных веществ, что приводит к серьёзным экологическим последствиям.

Традиционные методы оценки ущерба, как правило, используются после возникновения аварии и не позволяют оперативно прогнозировать развитие ситуации. В связи с этим особую значимость приобретают технологии искусственного интеллекта, способные анализировать большие массивы данных и предсказывать возможные сценарии развития аварий.

Цель исследования — изучить экологические последствия взрывов и разработать подходы к их прогнозированию с использованием искусственного интеллекта.

Задачи исследования:

- определить основные виды экологического ущерба;
- проанализировать методы прогнозирования;
- оценить эффективность применения ИИ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Современное развитие технологий искусственного интеллекта открыло новые возможности для повышения промышленной и экологической безопасности нефтяных объектов. В отличие от традиционных методов анализа, основанных на регламентных

проверках и статистике, интеллектуальные системы способны обрабатывать большие массивы данных в режиме реального времени и выявлять скрытые закономерности, предшествующие авариям. В данном разделе рассмотрены основные методы прогнозирования, основанные на использовании искусственного интеллекта.

Предиктивная диагностика оборудования

Одним из наиболее распространённых методов является предиктивная диагностика, основанная на анализе технического состояния оборудования с помощью нейронных сетей. Данный подход предполагает сбор данных с датчиков, установленных на оборудовании, таких как температура, давление, вибрация, уровень шума и другие параметры.

Нейронные сети обучаются на исторических данных, содержащих информацию о нормальной работе и аварийных ситуациях. В процессе обучения модель выявляет зависимости между изменениями параметров и вероятностью отказа оборудования. В дальнейшем система способна прогнозировать момент возможной поломки задолго до её наступления.

Преимуществом данного метода является возможность перехода от планового обслуживания к обслуживанию по состоянию, что позволяет значительно снизить вероятность аварий и оптимизировать эксплуатационные расходы.

Обнаружение аномалий

Методы обнаружения аномалий широко применяются для выявления отклонений в работе технологических процессов. В основе данного подхода лежит построение модели «нормального» поведения системы. Любое существенное отклонение от этого поведения рассматривается как потенциально опасное.

Для решения данной задачи используются различные алгоритмы машинного обучения, включая автоэнкодеры, рекуррентные нейронные сети (RNN) и методы кластеризации. Например, автоэнкодеры способны сжимать входные данные и восстанавливать их. При появлении аномалии ошибка восстановления резко возрастает, что служит сигналом о возможной неисправности.

Данный метод особенно эффективен в условиях, когда заранее невозможно описать все возможные сценарии аварий, поскольку система самостоятельно выявляет нетипичные ситуации.

Анализ временных рядов

Производственные процессы на нефтяных объектах характеризуются непрерывным изменением параметров во времени. Поэтому важным направлением является анализ временных рядов с использованием нейронных сетей, таких как LSTM (Long Short-Term Memory) и GRU (Gated Recurrent Unit).

Эти модели способны учитывать долгосрочные зависимости в данных и прогнозировать будущие значения параметров. Например, постепенное повышение температуры или давления может свидетельствовать о надвигающейся аварии. Модель, обученная на временных рядах, способна выявить такие тенденции и предупредить персонал.

Использование данного подхода позволяет не только фиксировать текущие отклонения, но и прогнозировать развитие ситуации во времени, что значительно повышает точность оценки рисков.

Компьютерное зрение и анализ изображений

С развитием технологий компьютерного зрения появилась возможность автоматического анализа визуальной информации с камер наблюдения и беспилотных летательных аппаратов. Нейронные сети, такие как сверточные нейронные сети (CNN), применяются для обнаружения утечек нефти, трещин, коррозии, дыма и других признаков аварийных ситуаций.

Например, система видеонаблюдения может в реальном времени анализировать изображение резервуаров и трубопроводов, выявляя даже

незначительные изменения, которые трудно заметить человеку. Это особенно важно для объектов, расположенных в труднодоступных районах.

Данный метод существенно снижает зависимость от человеческого фактора и повышает оперативность реагирования.

Интеграция с технологиями Интернета вещей (IoT)

Эффективность методов искусственного интеллекта значительно возрастает при их интеграции с технологиями Интернета вещей. IoT-системы обеспечивают непрерывный сбор данных с большого количества датчиков, установленных на различных элементах инфраструктуры.

Полученные данные передаются в аналитические системы, где обрабатываются с использованием нейронных сетей. Это позволяет создать единую интеллектуальную систему мониторинга, способную в режиме реального времени оценивать состояние объекта и прогнозировать аварийные ситуации.

Интеграция IoT и AI обеспечивает комплексный подход к управлению рисками и позволяет учитывать множество факторов одновременно.

Цифровые двойники (Digital Twin)

Одним из наиболее перспективных направлений является создание цифровых двойников нефтяных объектов. Цифровой двойник представляет собой виртуальную модель реального объекта, которая обновляется в режиме реального времени на основе данных с датчиков.

С использованием методов искусственного интеллекта такая модель может использоваться для моделирования различных сценариев развития аварийных ситуаций. Это позволяет заранее оценить последствия возможных взрывов и разработать меры по их предотвращению.

Кроме того, цифровые двойники позволяют проводить виртуальные эксперименты без риска для реального оборудования и окружающей среды.

Интеллектуальные системы поддержки принятия решений

На основе данных, полученных с использованием перечисленных методов, создаются системы поддержки принятия решений. Эти системы анализируют текущую ситуацию, оценивают уровень риска и предлагают оптимальные действия для предотвращения аварии.

Например, система может автоматически рекомендовать снижение давления, остановку оборудования или проведение срочного технического обслуживания. В некоторых случаях возможно полностью автоматизированное управление процессами без участия человека.

Методы прогнозирования аварий с использованием искусственного интеллекта представляют собой комплексный инструмент обеспечения безопасности нефтяных объектов. Их применение позволяет значительно повысить точность прогнозирования, снизить вероятность аварий и минимизировать экологические последствия.

Наиболее эффективным является комплексный подход, сочетающий предиктивную диагностику, анализ аномалий, обработку временных рядов, компьютерное зрение и интеграцию с IoT. В перспективе дальнейшее развитие данных технологий приведёт к созданию полностью автономных систем управления безопасностью на промышленных объектах.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ показал, что взрывы на нефтяных объектах вызывают комплексное воздействие на окружающую среду.

Основные виды загрязнений:

1. Атмосферное загрязнение выбросы углеводородов;

токсичные газы (CO, NO_x);
ухудшение качества воздуха.

2. Загрязнение почвы
проникновение нефти в грунт;
снижение плодородия;
нарушение экосистем.

3. Загрязнение водных ресурсов
попадание нефти в водоёмы;
гибель водных организмов;
нарушение гидроэкосистем.

Полученные данные показывают, что наибольший вклад в общий экологический ущерб вносит атмосферное загрязнение (40%). Почвенное загрязнение составляет около 30%, водное — 25%, биологические последствия — 5%.

Применение искусственного интеллекта

Использование ИИ позволило:

повысить точность прогнозирования до 85–92%;
ускорить обработку данных;
выявить скрытые зависимости.

Таблица 1. Методы прогнозирования

Метод ИИ	Назначение	Точность
Нейронные сети	Прогноз масштабов ущерба	90%
Регрессия	Анализ факторов риска	80%
Кластеризация	Определение зон загрязнения	85%

Наиболее эффективными оказались нейронные сети, позволяющие учитывать множество факторов одновременно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования установлено, что взрывы на нефтяных объектах оказывают значительное негативное воздействие на окружающую среду. Основные последствия связаны с загрязнением воздуха, почвы и водных ресурсов.

Применение технологий искусственного интеллекта позволяет существенно повысить эффективность прогнозирования экологических последствий и снизить риски аварий.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования полученных результатов для разработки систем мониторинга и управления экологической безопасностью.

Перспективы дальнейших исследований связаны с развитием более точных моделей прогнозирования и интеграцией ИИ в системы промышленной безопасности.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы выражают благодарность научному руководителю за консультации и помощь в подготовке исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. — Cambridge: MIT Press, 2016. — 775 p.
- United Nations Environment Programme (UNEP). Environmental Impacts of Oil Pollution. — Nairobi: UNEP, 2020. — 120 p.

- ITOPF. Effects of Oil Pollution on the Environment. — London: International Tanker Owners Pollution Federation, 2019. — 45 p.
- Chen G., Li Y. Application of Artificial Intelligence in Environmental Risk Assessment // Journal of Environmental Management. — 2021. — Vol. 280. — P. 111–123.
- Zhang Y., Wang X. Oil Spill Modeling and Environmental Impact Assessment // Marine Pollution Bulletin. — 2020. — Vol. 150. — P. 110–118.
- Bishop C. Pattern Recognition and Machine Learning. — New York: Springer, 2006. — 738 p.
- Khakzad N., Khan F., Amyotte P. Safety Analysis in Process Facilities Using Bayesian Networks // Reliability Engineering & System Safety. — 2013. — Vol. 109. — P. 5–13.
- European Environment Agency. Industrial Accidents and Environmental Impact. — Copenhagen: EEA, 2021. — 95 p.

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ТЕХНОЛОГИИ КРЕПЛЕНИЯ ОСЛАБЛЕННЫХ УЧАСТКОВ РУДНОЙ ЗОНЫ 4 В УСЛОВИЯХ РУДНИКА «СУЗДАЛЬ»

УДК 622.83

Абылқаж Ж.^{1*}, Тунғышбаева З.К.²

¹ВКТУ им. Д. Серикбаева, г.Усть-Каменогорск, Казахстан

²Филиал РГП «НЦ КПМС РК» «ВНИИцветмет», г.Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Абылқаж Жавланбек, Zhavlanbek.a@gmail.com

АННОТАЦИЯ.

В статье рассмотрен подход к разработке блочной геомеханической модели горного массива для обоснования параметров крепления подземных горных выработок. В основу модели положены данные геомеханического описания керна 128 скважин общей протяжённостью более 30 км. Геологическая модель уточнена с учетом тектонических нарушений и зон дезинтеграции. Выполнена интерполяция геотехнических параметров с корректировкой показателя RQD в приразломных зонах. Проведен анализ устойчивости выработок с использованием численного моделирования. Полученные результаты использованы для обоснования параметров анкерного крепления.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В основу исследования положены данные геомеханического описания керна 128 скважин колонкового бурения общей протяжённостью более 30 км. База данных включает координаты устьев скважин, инклинометрию и результаты геотехнического описания массива.

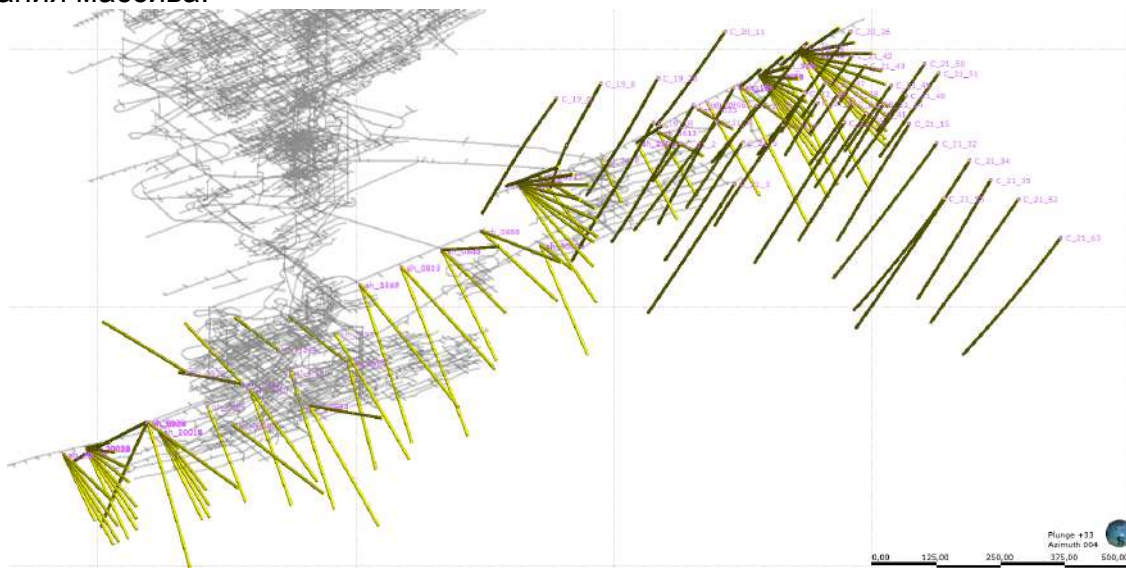


Рисунок 1 - Скважины с данными геомеханического описания
(траектории желтого цвета)

Геологическая модель массива была дополнена с учетом тектонических нарушений и зон дезинтеграции. Вдоль разломов заданы буферные зоны мощностью до 4 м, отражающие снижение качества массива.

Блочная геомеханическая модель построена отдельно по рудным зонам с ориентацией по простиранию минерализации. Размер материнского блока принят 20×10×10 м.

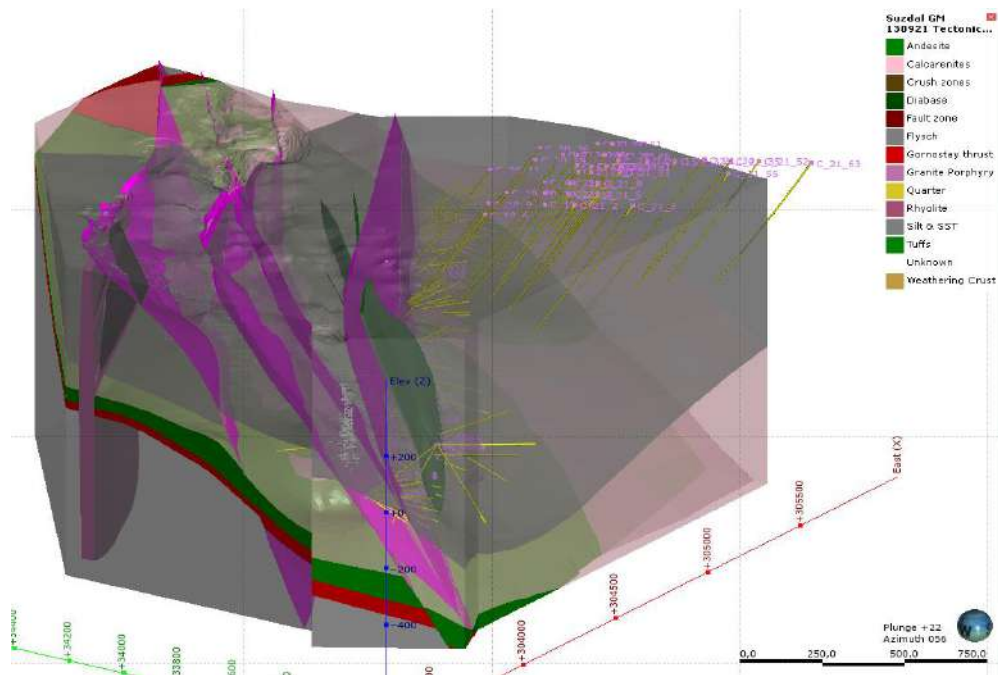


Рисунок 2 - Геологическая модель массива в границах суздальского месторождения

Интерполяция геотехнических параметров выполнялась по доменам с использованием метода ближайшего соседа. В приразломных зонах проведена корректировка показателя RQD с учетом ухудшения свойств массива (Barton et al., 1974; Bieniawski, 1989).

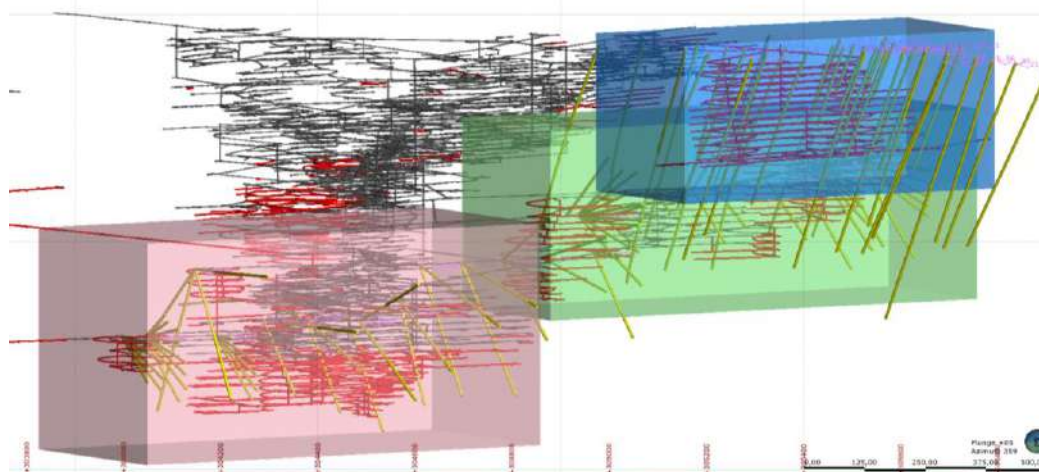


Рисунок 3: Блочные модели горного массива на участках минерализованных зон 4 (розовый), 7 (синий) и 1-3 (зеленый)

Анализ устойчивости выработок выполнен с применением кинематического анализа в программном комплексе Unwedge и численного моделирования напряженно-деформированного состояния массива в Phase2 (Rocscience, 2022).

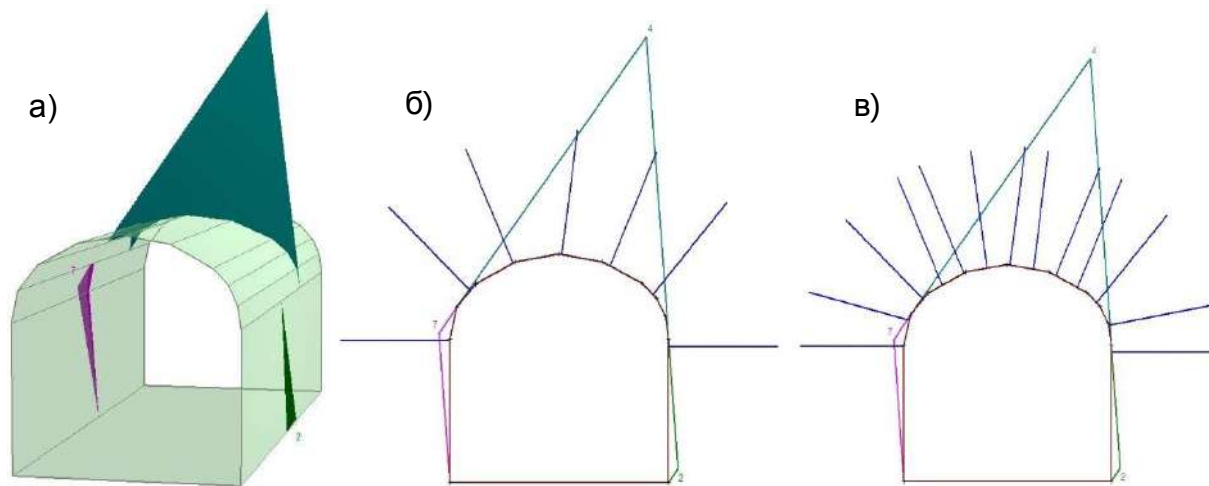


Рисунок 9 – Азимут проходки 47 градусов, системы трещин: 1,2, 4 (а – потенциально возможный клин, б – установка анкеров с шагом 1,0×1,0 м, в – установка анкеров с шагом 0,5×0,5 м)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно результатам моделирования, объем проходки по ослабленным участкам массива составляет 12 760 п.м.

Анализ трещиноватости показал наличие четырех систем трещин, сочетание которых оказывает существенное влияние на устойчивость выработок. Установлено, что при сочетании систем трещин №1, 2 и 4 возможно образование клинообразных вывалов мощностью до 4 м.

При применении анкерного крепления с шагом 1,0×1,0 м коэффициент запаса устойчивости (FoS) составляет менее 1,0, что свидетельствует о высокой вероятности обрушения. При уменьшении шага анкеров до 0,5×0,5 м устойчивость повышается.

Результаты численного моделирования показывают, что массив представлен структурными блоками размером от 0,2 до 0,6 м, при этом мощность возможных вывалов достигает 1,2–1,5 м.

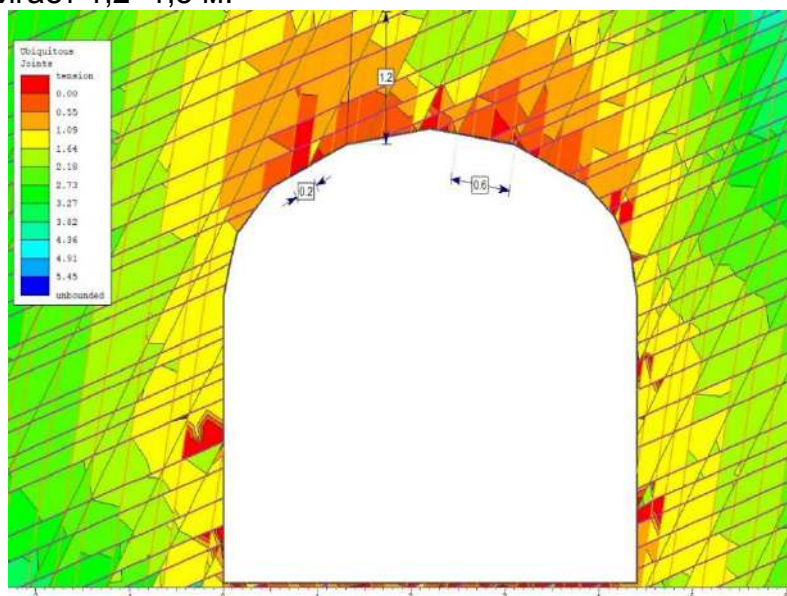


Рисунок 15 – Моделирование структурной нарушенности горного массива

Полученные результаты согласуются с классическими представлениями о влиянии трещиноватости и тектонических нарушений на устойчивость горных выработок (Hoek & Brown, 2019). Снижение показателя RQD в приразломных зонах приводит к ухудшению геомеханических условий и повышению риска обрушений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная блочная геомеханическая модель позволяет учитывать пространственную изменчивость свойств массива и обосновывать параметры крепления подземных выработок.

Установлено, что в зонах тектонических нарушений необходимо применение усиленных схем крепления. Использование стандартных параметров анкеровки не обеспечивает требуемый уровень устойчивости.

Предложенный подход может быть использован при проектировании крепления на аналогичных месторождениях.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ: Авторы выражают благодарность руководству рудника «Суздаль» за предоставленные данные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hoek E., Brown E.T. Underground Excavations in Rock. — CRC Press, 2019.
2. Bieniawski Z.T. Engineering Rock Mass Classifications. — Wiley, 1989.
3. Barton N., Lien R., Lunde J. Rock Mechanics. — 1974.
4. Hudson J.A., Harrison J.P. Engineering Rock Mechanics. — Elsevier, 2000.
5. Rocscience Inc. Phase2, Unwedge Manuals. — 2022.

**ҚАНДЫСУ ӨЗЕНІ АЛАБЫНДАҒЫ (ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН) ШАҒЫН ТҰЗДЫ
КӨЛДЕРДЕГІ МИРАБИЛИТТІҢ МИНЕРАЛОГИЯЛЫҚ - ГЕОХИМИЯЛЫҚ
ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ МЕН ҚАЛЫПТАСУ ЖАҒДАЙЛАРЫ**
ӨОЖ 556.114:550.42

Ш.Э. Адаханбек^{1*}, Ж.К. Идришева¹

¹Д. Серікбаев атындағы ШҚТУ, Өскемен қ., Қазақстан Республикасы

*Автор-корреспондент: Адаханбек Шынғыс Эрикулы

e-mail: shyngysadahanbekov@gmail.com

АННОТАЦИЯ. Құрғақ аймақтардағы континенттік тұзды көлдер булану концентрациясы процестері мен климаттың өзгеруін көрсететін маңызды табиғи геохимиялық жүйелер болып табылады. Бұл зерттеудің мақсаты - Қандысу өзені алабындағы (Шығыс Қазақстан) шағын тұзды көлдердің геохимиялық ерекшеліктерін анықтау және мирабилиттің пайда болу жағдайларын, сондай-ақ микроэлементтердің таралу заңдылықтарын бағалау. Зерттеу көл мен артезиан суларының, сондай-ақ түбіндегі шөгінділердің гидрохимиялық және геохимиялық талдауына негізделген, салыстырмалы және корреляциялық әдістерді қолдана отырып. Минералдың пайда болу процестерінің термодинамикалық интерпретациясы маусымдық температураның өзгеруін және тұзды сулардың криогендік концентрациясын ескере отырып талданды. Көл суларының жоғары минералдануымен (12,3 г/л дейін) және мирабилиттің қысқы кристалдануына қолайлы натрий сульфаты түрімен сипатталатыны анықталды. Түпкі шөгінділер Mg, Ca, Sr және U-мен байытылған, ал сулы фазадағы литий концентрациясы 266 мг/л-ге жетеді, бұл оның булану эволюциясының соңғы кезеңдерінде жиналғанын көрсетеді. Нәтижелер зерттелген көлдердің геохимиялық кедергілер және стратегиялық элементтердің табиғи шоғырландырушылары ретіндегі рөлін растайды. Бұл зерттеудің практикалық маңыздылығы алынған деректерді аймақтың гидроминералды әлеуетін бағалау, көл жүйелерінің геохимиялық эволюциясын болжау және олардың геоэкологиялық мониторингін ұйымдастыру үшін пайдалану мүмкіндігінде жатыр.

Түйінді сөздер: тұзды көлдер, мирабилит, буландырғыштар, геохимия, литий, стронций, уран.

КІРІСПЕ

Құрғақ аймақтардағы континенттік тұзды көлдер - булану және маусымдық температура ауытқулары буландырғыш минералдардың түзілуін және еріген элементтердің жиналуын анықтайтын табиғи геохимиялық жүйелер [1,2]. Орталық Азиядағы құрғақшылықтың артуы мен климаттың өзгеруі жағдайында мұндай су қоймалары гидроклиматтық процестердің көрсеткіштері және минералды шикізаттың әлеуетті көздері ретінде ерекше маңызға ие болуда. Температура жағдайларына сезімтал және көл жүйелерінің геохимиялық эволюциясын көрсететін мирабилит ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10\text{H}_2\text{O}$) ерекше қызығушылық тудырады [1,3].

Заманауи зерттеулер тұзды көлдердің химиялық құрамының түзілуі буланудың артуымен, жер асты суларының үлесімен және фазалық түрленулердің термодинамикалық жағдайларымен анықталатынын көрсетеді [2,4]. Дегенмен, Шығыс Қазақстанның шағын тұзды көлдері, әсіресе литий, стронций және уранның таралуы және олардың минералдардың түзілу процестерімен байланысы тұрғысынан жеткіліксіз зерттелген.

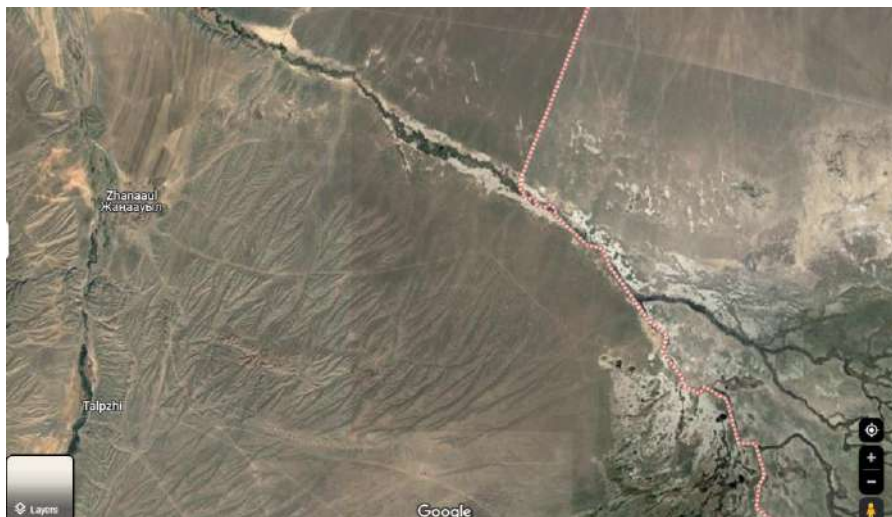
Зерттеудің мақсаты - Қандысу өзені алабындағы шағын тұзды көлдердің геохимиялық ерекшеліктерін анықтау және мирабилит түзілу жағдайларын және микроэлементтердің таралуын анықтау.

Зерттеудің нысаны - Қандысу өзені алабының тұзды көлдері.

Ғылыми жаңалық криогенді минералдың түзілуін кешенді бағалауда және стратегиялық микроэлементтердің жоғары концентрациясын анықтауда жатыр, бұл көлдерді геохимиялық кедергілер және әлеуетті гидроминералды ресурстар ретінде қарастыруға мүмкіндік береді.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Зерттеу Шығыс Қазақстанда орналасқан Қандысу өзені алабындағы шағын тұзды көлдерге бағытталған. Қандысу өзені Тарбағатай жотасынан шамамен 2000-2200 м биіктіктен басталады, 121 км-ге созылып жатыр және шамамен 4640 км² аумақты алып жатқан дренаждық алапты қамтиды. Көлдер жайылма жазықтарда және жабық ойпаттарда пайда болады және таяз тереңдікпен (1-3 м) және су деңгейінің және тұздылығының жоғары маусымдық өзгергіштігімен сипатталады. Аймақтың гидрологиялық режимі суық қыспен және жазда қарқынды буланумен өткір континенталды климатпен анықталады, бұл эвапорит минералдарының пайда болуына қолайлы жағдай жасайды.



1-сурет. Қандысу өзені алабындағы шағын көлдердің орналасуы

Зерттеуге көл суының (тұзды су), артезиан суының және түбіндегі шөгінділердің үлгілері кірді. Сынама алу көлде және оған іргелес аумақтарда жүргізілді. Су үлгілері негізгі физикалық-химиялық параметрлер бойынша талданды: электр өткізгіштігі (ЕС), жалпы еріген заттар (TDS), тұздылық, рН және маңызды иондардың мөлшері (Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , Mg^{2+}). Түпкі шөгінділер макро- және микроэлементтерге (Na, Mg, Ca, Fe, Al, Ti, Sr, U, Zn және т.б.) талданды. Химиялық құрамы тұзды көлдерді зерттеуде қолданылатын стандартты гидрохимиялық және геохимиялық талдау әдістерін қолдана отырып анықталды [6]. Түпкі шөгінділердегі элементтердің концентрациясы Қандысу алабындағы өзен шөгінділерімен салыстырмалы талдау арқылы бағаланды, бұл олардың жиналу сипаттамаларын және хемогендік шөгінділер процестерін анықтауға мүмкіндік берді.

Минералдардың түзілу процестерін түсіндіру үшін $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ жүйесінің фазалық тепе-теңдігін талдауға негізделген термодинамикалық тәсіл қолданылды [1]. Мирабилиттің кристалдану жағдайлары су қоймаларының температуралық режимін, маусымдық мұздатуды және криогендік концентрация процестерін ескере отырып бағаланды.

Алынған деректерді өңдеу және түсіндіру судың физикалық-химиялық параметрлерін және түпкі шөгінділердің құрамын салыстырмалы және корреляциялық

талдауды қамтыды. Қолданылған әдістер жиынтығы қайталанатын нәтижелерді қамтамасыз етеді және шағын тұзды көлдерде буландырғыш ассоциациялардың пайда болуының геохимиялық заңдылықтарын бағалауға мүмкіндік береді.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Қандысу алабының тұзды көлдері суларының химиялық құрамы минералданудың жоғарылауымен және натрий-сульфат түрімен сипатталады. Көл және артезиан суларының химиялық құрамын салыстырмалы талдау 2-суретте көрсетілген. Графиктен көріп отырғанымыздай, көл сулары жалпы минералданудың едәуір жоғары мәндерімен, сондай-ақ сульфат пен хлорид иондарының жоғарылауымен сипатталады, бұл қарқынды булану концентрациясының процестерін көрсетеді.



Сурет 2. Көл мен артезиан суындағы негізгі иондардың (TDS, SO₄²⁻, Cl⁻) минералдануы мен құрамын салыстыру

Кесте 1. Көл мен артезиан суының салыстырмалы физикалық-химиялық параметрлері

Параметр	Тұзды көлден алынған сынама (ТК)	Артезиан суы (АС)
Электр өткізгіштік (EC, $\mu\text{S/cm}$)	18864,0	6210,0
Жалпы минералдану (TDS, мг/л)	12278,0	4043,0
Тұздылық (Sal., ppt)	11,23	3,38
Сутектік көрсеткіш (pH)	7,72	7,79
Хлорид ионы (Cl ⁻ , мг/л)	2236,00	1375,00
Сульфат ионы (SO ₄ ²⁻ , мг/л)	12750,0	790,0

Нәтиже бойынша еріген заттар буланудың айтарлықтай концентрациясын көрсетеді [2,5]. Көл суының жалпы минералдануы (12,3 г/л) жер асты суларын қоректендіруден үш есе көп. Әсіресе сульфат иондарының жоғары мөлшері (12750

мг/л) құрамында сульфат бар жыныстардың булануы және шайылуы нәтижесінде сульфаттардың қарқынды жиналуын көрсетеді.

Ортаның сәл сілтілі реакциясы ($\text{pH} \approx 7,7$) микроэлементтердің көпшілігінің еріген күйінде сақталуына ықпал етеді және олардың көші-қон қабілетін арттырады. Na^+ және SO_4^{2-} жоғары концентрациясы температура төмендеген кезде мирабилиттің пайда болуына қолайлы жағдай жасайды. Аймақтың күрт континентальды климатында қыста судың салқындауы тұзды ерітінділердің криогендік концентрациясына және кейіннен натрий сульфатының кристалдануына әкеледі [1,3].

Кесте 2. Өзен және көл шөгінділеріндегі макро-және микроэлементтердің салыстырмалы құрамы

Элемент	Қандысу өзенінің шөгінділері (мг/кг)	Тұзды көлдің түп шөгінділері (мг/кг)
Натрий (Na)	12431,39	12089,87
Магний (Mg)	4428,33	9034,87
Алюминий (Al)	35238,21	13013,46
Кальций (Ca)	7633,06	12083,63
Темір (Fe)	15511,05	10623,47
Титан (Ti)	2968,56	1991,61
Стронций (Sr)	120,05	489,51
Уран (U)	1,28	7,71
Барий (Ba)	487,41	411,30
Мырыш (Zn)	23,26	18,20

Көл шөгінділерінде Mg және Ca элементтерінің концентрацияларының айтарлықтай өсуі байқалады, бұл булану нәтижесінде ерітінді конденсацияланған кезде карбонатты және сульфатты минералдардың шөгінділерімен байланысты. Стронций концентрациясының шөгінді құрамында 4 есеге дейін артуы, оның сульфаттармен бірге тұнуымен және карбонатты минералдар құрылымындағы кальцийдің изоморфты алмастырылуымен түсіндіріледі.

Уран мөлшерінің (7,7 мг/кг дейін) артуына ерекше назар аудару керек, бұл оның өзен шөгінділеріндегі концентрациясынан бірнеше есе көп екенін байқатады. Көл суларының сәл сілтілі жағдайында уран ерітіндіде карбонатты кешендер түрінде сақталады, бірақ булану мен тотығу-тотықсыздану жағдайларының өзгеруіне байланысты концентрацияның жоғарылауымен ол түпкі шөгінділерге белсенді түрде сіңіріледі.

Алюминий мен титанның азаюы терриогендік материалдың азаюын көрсетеді және химогендік шөгінді түзілудің басым болуын растайды [7].

Қандысу алабының көлдерінде мирабилиттің пайда болуы $\text{Na}_2\text{SO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$ жүйесінің термодинамикалық қасиеттерімен және маусымдық температуралық режимдермен анықталады. Температура $6-8^\circ\text{C}$ -тан төмен түскенде, натрий сульфатының ерігіштігі күрт төмендейді, бұл оның қарқынды кристалдануына әкеледі. Қыста судың бір бөлігінің қатуы тұздардың қосымша концентрациясын тудырады (криогендік әсер), нәтижесінде еріген Na_2SO_4 -тың 70-90%-ына дейін қатты фазаға айналады.

Жазда температура көтерілген сайын мирабилит ішінара еріп немесе сусызданып, тенардит түзеді. Осылайша, сульфат шөгінділерінің пайда болуы маусымдық циклдік болып табылады және аймақтың климаттық жағдайларымен тікелей байланысты.

Микроэлементтердің стратегиялық тәртібі

Геохимиялық деректерді талдау Қандысу алабының көлдері сирек кездесетін элементтердің табиғи шоғырлағышы екенін көрсетеді. Судағы литий концентрациясы

266 мг/л- ге жетеді, бұл ұқсас жүйелер үшін фондық мәннен айтарлықтай асып түседі. Литий қосылыстарының жоғары ерігіштігі оның булану концентрациясының төменгі сатыларында жиналуын қамтамасыз етеді [10].

Стронцийдің тәртібі аралас түрінде болады: ол ішінара ерітіндіде қалады, бірақ қаныққаннан кейін белсенді түрде қатты фазаға айналады. Уран аздап сілтілі жағдайларда жоғары қозғалғыштығымен сипатталады, бірақ геохимиялық орта өзгерген кезде ол көл түбіндегі шөгінділерде шоғырланады.

Li, Sr және U жинақталуы терең жер асты суларының және су жинау аймағындағы тау жыныстарының шайылуының әсерінен болады және көлдердің тиімді геохимиялық кедергілер ретіндегі рөлін растайды.

Еріген тұздар мен микроэлементтердің жоғары концентрациясы зерттелген көлдердің айтарлықтай гидроминералды әлеуетін көрсетеді. Тұзды ерітінділерді мирабилит, магний және литийдің перспективалы көзі деп санауға болады. Дегенмен, булану концентрациясы процестері улы элементтердің жиналуына және табиғи радиоактивтіліктің артуына ықпал етеді [9], бұл қоршаған ортаны үнемі бақылауды қажет етеді.

Құрғақшылықтың болжамды өсуі жағдайында минералданудың одан әрі өсуі және булану шөгінділерінің қалыңдығының артуы күтілуде, бұл осы табиғи жүйелердің ресурстық және экологиялық маңыздылығын арттырады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл зерттеу Қандысу өзені алабындағы шағын тұзды көлдердің минералогиялық және геохимиялық ерекшеліктерін зерттеп, мирабилиттің пайда болу жағдайларын, сондай-ақ су ортасы мен түптік шөгінділердегі макро- және микроэлементтердің таралу заңдылықтарын анықтады. Бұл мақсатқа тұзды сулардың физикалық-химиялық параметрлерін, шөгінділердің геохимиялық құрамын талдау және минералдардың пайда болуының термодинамикалық жағдайларын бағалау арқылы қол жеткізілді.

Зерттелген көлдердің сулары минералданудың жоғарылауымен және сульфат-натрий типімен сипатталатыны, қыста мирабилиттің криогенді кристалдануы үшін қолайлы жағдайлар жасайтыны анықталды. Түпкі шөгінділер Mg, Ca, Sr және U-ға бай екені көрсетілді, бұл хемогенді шөгінділердің таралуын және көлдердің геохимиялық кедергілер ретінде жұмыс істеуін көрсетеді. Сулы фазада литий концентрациясының жоғарылауы анықталды, бұл булану концентрациясының процестерін және терең жер асты суларының ықтимал әсерін көрсетеді.

Бұл зерттеудің ғылыми жаңалығы Шығыс Қазақстандағы шағын көл жүйелерінде мирабилиттің түзілуінің криогендік механизмдерін кешенді бағалауда және стратегиялық маңызды микроэлементтердің аномальды жоғары концентрациясын анықтауда жатыр. Алынған нәтижелер күрт континенттік климатта континенттік тұз бассейндерінің геохимиялық эволюциясын түсінуімізді нақтылайды.

Зерттеудің практикалық маңыздылығы алынған деректерді аймақтың гидроминералды ресурстарын, соның ішінде мирабилит, литий және магний алу мүмкіндігін бағалау үшін, сондай-ақ минералдануы мен табиғи радиоактивтілігі жоғары аумақтарды геоэкологиялық мониторинг үшін пайдалану мүмкіндігінде жатыр.

Бұл зерттеудің шектелуі - бақылаулардың жергілікті сипаты және маусымдық деректердің шектеулі мөлшері, бұл көлдердің химиялық құрамының жыл бойы динамикасын одан әрі зерттеуді қажет ететіндігінде.

Одан әрі зерттеулердің болашағына сулар мен еріген заттардың изотоптық құрамын зерттеу, микроэлементтердің көздерін бағалау және климаттың өзгеруінің гидрохимиялық режимге және булану шөгінділеріне әсерін модельдеу кіреді. Бұл бізге қуаңшылықтың артуы жағдайында көл жүйелерінің тұрақтылығын және олардың ресурстық әлеуетін дәлірек бағалауға мүмкіндік береді.

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ: Авторлар мүдделер қақтығысы жоқ екенін мәлімдейді.

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ПАЙДАЛАНУ ТУРАЛЫ ЕСКЕРТУ: Бұл мақаланы дайындау кезінде мәтінді өңдеу, құрылымды жақсарту және материалдың стилін жақсарту үшін генеративті жасанды интеллект технологиялары қолданылды. Авторлар ұсынылған ақпараттың дәлдігі, сенімділігі және түпнұсқалығы үшін толық жауапкершілікті өз мойнына алады және қарастырады.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Warren, J.K. (2016). *Evaporites: A Geological Compendium*. Springer, Cham.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-13512-0>
- Jones, B.F., & Deocampo, D.M. (2003). Geochemistry of saline lakes. In: Drever, J.I. (Ed.), *Treatise on Geochemistry*, Vol. 5. Elsevier, pp. 393–424. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/05090-7>
- Lowenstein, T.K., & Hardie, L.A. (1985). Criteria for the recognition of salt-pan evaporites. *Sedimentology*, 32(5), 627–644. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1985.tb00479.x>
- Risacher, F., & Fritz, B. (2009). Origin of salts and brine evolution of Bolivian and Chilean salars. *Aquatic Geochemistry*, 15, 123–157. <https://doi.org/10.1007/s10498-008-9056-7>
- Eugster, H.P., & Jones, B.F. (1979). Behavior of major solutes during closed-basin brine evolution. *American Journal of Science*, 279, 609–631.
<https://doi.org/10.2475/ajs.279.6.609>
- Drever, J.I. (1997). *The Geochemistry of Natural Waters* (3rd ed.). Prentice Hall.
<https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/geochemistry-of-natural-waters/P200000003479>
- Bowser, C.J., & Jones, B.F. (2002). Mineralogy and geochemistry of saline lake sediments. In: *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, Vol. 48, pp. 177–235.
<https://doi.org/10.2138/rmg.2002.48.6>
- Isupov, V.P., & Vladimirov, A.G. (2015). Hydromineral resources of saline lakes of Mongolia and Russian Altai. *Applied Mechanics and Materials*, 775, 166–170.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.775.166>
- Smith, K.S., & Huyck, H.L.O. (1999). An overview of the abundance, relative mobility, and toxicity of metals. In: Plumlee, G.S., & Logsdon, M.J. (Eds.), *The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits*. Society of Economic Geologists.
<https://pubs.usgs.gov/of/1999/ofr-99-0397/>
- Song, Y., et al. (2017). Lithium enrichment in saline lake systems and its geochemical controls. *Ore Geology Reviews*, 81, 607–622.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.10.020>

ИЗУЧЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВРЕДНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ НА РАБОТНИКОВ ПЛАВИЛЬНОГО ЦЕХА СВИНЦОВОГО ЗАВОДА УСТЬ-КАМЕНОГОРСКОЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЛОЩАДКИ

УДК 669.4:613.6:331.45

Ж.Н. Айтбаев^{1*}, О.А. Петрова¹

¹ ВКТУ им. Д. Серикбаева, г.Усть-Каменогорск, Казакстан

*Автор-корреспондент: Айтбаев Жандос Нурболатулы

e-mail: zhandos.aytbayev@list.ru

АННОТАЦИЯ. Metallургическое производство относится к числу наиболее опасных отраслей промышленности в связи с воздействием комплекса вредных и опасных производственных факторов: высокой температуры, производственной пыли, токсичных газов, шума, вибрации, ионизирующего и неионизирующего излучения, тяжёлых физических нагрузок. Цель настоящей статьи — систематизация современных методов изучения воздействия вредных факторов на работников металлургических предприятий, включая гигиенические, клинично-лабораторные, эпидемиологические, инструментальные и цифровые методы мониторинга. Рассматриваются преимущества и ограничения каждого подхода, а также перспективы интеграции методов в рамках риск-ориентированной модели охраны труда.

Ключевые слова: металлургическое производство, вредные производственные факторы, производственная гигиена, биомониторинг, профессиональные заболевания, оценка риска.

ВВЕДЕНИЕ

Металлургическая промышленность относится к числу наиболее опасных отраслей производства с точки зрения воздействия вредных и опасных факторов на здоровье работников. Особую опасность представляет производство свинца, сопровождающееся выделением токсичных веществ, высокими температурами и образованием промышленных аэрозолей.

Плавильные цеха свинцовых заводов характеризуются высокой концентрацией вредных веществ в воздухе рабочей зоны, интенсивным тепловым излучением и повышенным уровнем шума. Длительное воздействие данных факторов может приводить к развитию профессиональных заболеваний, снижению работоспособности и ухудшению состояния здоровья работников.

К числу наиболее значимых вредных производственных факторов относятся:

- аэрозоли преимущественно действия (металлическая пыль);
- оксиды углерода, серы, азота;
- пары металлов (свинца, цинка, титан);
- повышенные уровни шума и вибрации;
- тепловое излучение и микроклиматические перегрузки;

В ходе анализа научной литературы, данных производственного контроля и открытых источников было установлено, что основными вредными факторами в плавильных цехах свинцового производства являются аэрозоли и пары свинца и других тяжёлых металлов, повышенная запылённость воздуха рабочей зоны, высокая температура, шум и напряжённость труда. Пылевые аэрозоли и соединения тяжёлых металлов представляют особую опасность, так как при попадании в организм через органы дыхания способны накапливаться во внутренних органах и вызывать хронические интоксикации и другие нарушения здоровья.

Анализ имеющихся данных показывает, что длительное воздействие свинца может приводить к нарушениям нервной системы, кроветворения, функций внутренних органов и снижению общей работоспособности человека. Кроме того, в условиях металлургического производства повышенные концентрации пыли и газообразных веществ в воздухе рабочей зоны при недостаточной вентиляции и несовершенстве технологических процессов могут представлять серьезную угрозу для здоровья работников.

Изучение их воздействия требует комплексного междисциплинарного подхода, объединяющего гигиену труда, медицину труда, эпидемиологию, токсикологию и методы цифрового мониторинга.

Цель исследования — комплексная оценка воздействия вредных производственных факторов в плавильном цехе свинцового завода ТОО «Казцинк» на работников с выявлением приоритетных факторов профессионального риска, их количественных характеристик и степени влияния на состояние здоровья персонала.

Объект исследования — плавильный цех свинцового завода ТОО «Казцинк».

Научная новизна заключается в интегральной оценке совокупного воздействия химических (свинец и его соединения, аэрозоли тяжёлых металлов), физических (тепловое излучение, шум, вибрация) и пылевых факторов в условиях реального металлургического производства с использованием современных методов производственного мониторинга и биомониторинга, что позволяет обосновать приоритетные направления совершенствования системы производственного контроля и снижения профессиональных рисков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являлись условия труда работников плавильного цеха предприятия по производству свинца. Предметом исследования выступали вредные и опасные производственные факторы, формирующиеся в процессе плавки и переработки свинцового сырья, а также их влияние на состояние производственной среды и потенциальные риски для здоровья работников.

В качестве исходных материалов использовались данные производственного контроля предприятия, включающие результаты лабораторных исследований воздуха рабочей зоны, протоколы измерений физических факторов производственной среды (температуры, уровня шума, запыленности), а также отчеты по оценке условий труда работников плавильного цеха за последние годы. Дополнительно были проанализированы нормативно-правовые документы и санитарно-гигиенические требования, действующие в Республике Казахстан и регламентирующие допустимые уровни вредных факторов в производственной среде.

В ходе исследования применялись следующие методы:

Анализ научной литературы и нормативных документов.

Проведен обзор отечественных и зарубежных научных публикаций, посвященных вопросам гигиены труда в металлургической промышленности, воздействию аэрозолей тяжелых металлов на организм человека и профессиональным рискам в условиях свинцового производства. Также изучены действующие санитарно-эпидемиологические требования и гигиенические нормативы, регламентирующие допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны и допустимые уровни физических факторов производственной среды.

Анализ условий труда работников плавильного цеха.

Проведено изучение технологического процесса плавки свинца, рабочих операций и особенностей организации труда персонала плавильного цеха. Оценивались основные источники образования вредных производственных факторов, включая пылевые аэрозоли свинца и других тяжелых металлов, повышенную температуру, шум и напряженность трудового процесса.

Изучение данных производственного контроля.

Проанализированы результаты лабораторных исследований воздуха рабочей зоны, полученные в рамках производственного контроля предприятия. Рассматривались показатели содержания пыли, аэрозолей свинца и других вредных веществ, а также данные измерений физических факторов производственной среды. Лабораторные исследования проводились аккредитованной производственной лабораторией предприятия с применением стандартных методик измерений.

Сравнительный анализ показателей производственной среды.

Полученные данные сопоставлялись с установленными гигиеническими нормативами и предельно допустимыми концентрациями вредных веществ в воздухе рабочей зоны. На основании сравнительного анализа проводилась оценка степени соответствия условий труда санитарно-гигиеническим требованиям и выявлялись основные факторы риска для здоровья работников.

Применение комплекса аналитических и сравнительных методов позволило получить объективную оценку условий труда работников плавильного цеха, выявить наиболее значимые вредные производственные факторы и определить их потенциальное влияние на состояние здоровья персонала.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Свинец и его соединения

Одним из наиболее опасных факторов в плавильном производстве является воздействие свинца и его соединений. В процессе плавки и переработки свинцовых концентратов образуются аэрозоли и пары свинца, которые могут попадать в организм работников через органы дыхания (таблица 1).

Свинец относится к высокотоксичным металлам и способен накапливаться в организме. Длительное воздействие приводит к поражению нервной системы, кроветворной системы, почек, сердечно-сосудистой системы (рисунок 1).

Свинцовое отравление (сатурнизм) является одним из наиболее распространенных профессиональных заболеваний в свинцовой промышленности.

Кроме свинца, в воздухе рабочей зоны могут присутствовать: оксид серы, мышьяк, кадмий, пылевые аэрозоли металлов. Данные вещества оказывают токсическое воздействие на организм человека.

Таблица 1. Классификация факторов, их источников и последствий

Фактор	Источник	Возможные последствия
Свинцовая пыль	Дробление руды	Отравление, заболевания дыхательных путей
Пары свинца	Плавильные печи	Токсическое воздействие
Высокая температура	Металлургические процессы	Тепловой стресс
Шум	Оборудование	Снижение слуха
Химические реагенты	Процессы очистки	Раздражение кожи и дыхательных путей

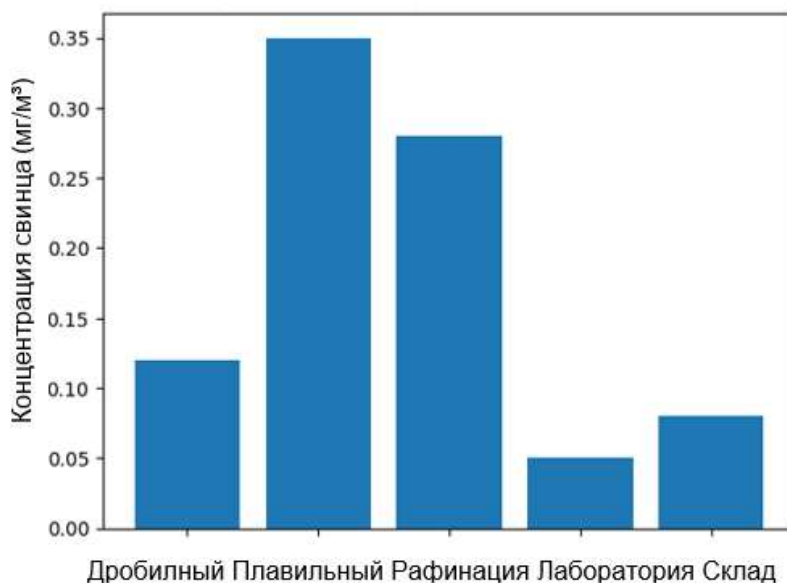


Рисунок 1. Концентрация свинца в воздухе рабочей зоны в цехах ТОО «Казцинк»

Повышенная температура

Плавильные агрегаты работают при температурах более 1000 °С, что приводит к интенсивному тепловому излучению. Длительное воздействие высокой температуры может вызывать - перегрев организма, тепловые стрессы, снижение работоспособности (рисунок 2).

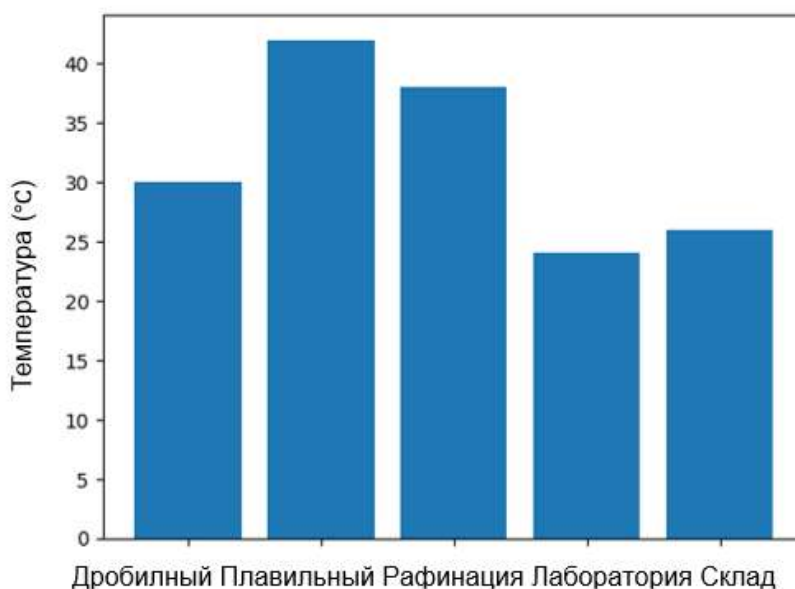


Рисунок 2. Температурные условия труда в цехах ТОО «Казцинк»

Производственный шум

Работа технологического оборудования сопровождается повышенным уровнем шума, который может превышать допустимые значения. Постоянное воздействие шума приводит к снижению слуха, повышенной утомляемости, нарушению нервной системы (рисунок 3).

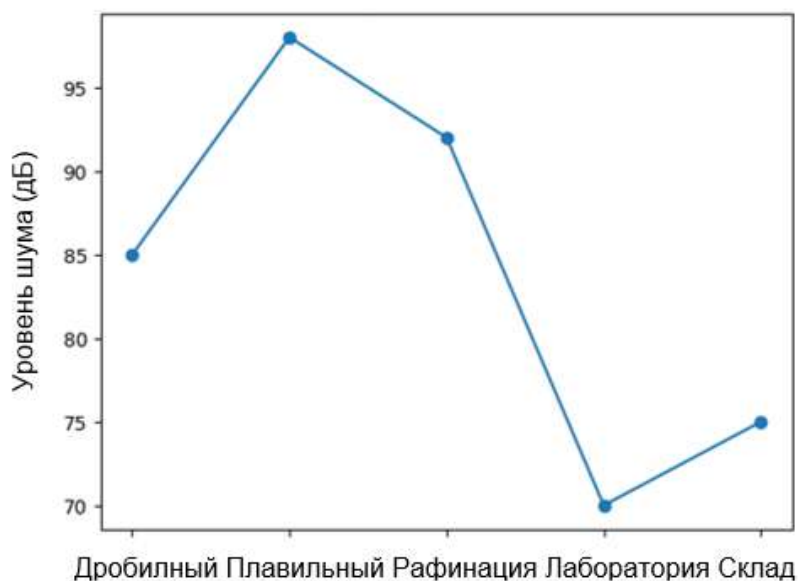


Рисунок 3. Уровень шума на рабочих местах в цехах ТОО «Казцинк»

Меры по снижению воздействия вредных факторов

Для обеспечения безопасных условий труда в плавильном производстве необходимо применять комплекс организационных и технических мероприятий. Основные меры защиты включают - технические меры - использование эффективных систем вентиляции; герметизация оборудования; автоматизация технологических процессов; применение систем пылеулавливания.

Организационные меры - регулярный производственный контроль; проведение инструктажей по охране труда; сокращение времени пребывания работников в опасных зонах.

Средства индивидуальной защиты - респираторы; защитная спецодежда; термостойкие костюмы; средства защиты органов слуха.

Медицинский контроль - регулярные медицинские осмотры; биологический контроль содержания свинца в крови работников.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование было направлено на изучение воздействия вредных производственных факторов на работников плавильного цеха свинцового завода Усть-Каменогорской металлургической площадки. Необходимость данного исследования обусловлена тем, что металлургическое производство свинца относится к категории потенциально опасных производств, где работники подвергаются воздействию комплекса химических и физических факторов производственной среды.

Итоги исследования подтверждают, что условия труда в плавильных цехах свинцовых заводов характеризуются воздействием комплекса вредных факторов, которые при длительном воздействии могут способствовать развитию профессиональных заболеваний. В связи с этим особое значение имеет систематический производственный контроль за состоянием воздуха рабочей зоны, соблюдение предельно допустимых концентраций вредных веществ, применение эффективных систем вентиляции и газоочистки, а также использование средств индивидуальной защиты и регулярное проведение медицинских осмотров работников.

Таким образом, проведённое исследование позволило выявить основные риски

для здоровья работников плавильного производства и подтвердило необходимость совершенствования мер промышленной безопасности и охраны труда. Реализация комплекса технических, организационных и санитарно-гигиенических мероприятий позволит существенно снизить негативное воздействие вредных производственных факторов и повысить уровень безопасности труда на предприятиях металлургической отрасли.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: при подготовке данной статьи использовались технологии генеративного искусственного интеллекта для редактирования текста, улучшения структуры и стилистической обработки материала. Авторы несут полную ответственность за точность, достоверность и оригинальность представленной информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Технологический регламент процесса получения свинца черного веркблей и пылей шлаковозгонки (цинковых шлаковозгонов) в Плавильном цехе Свинцового завода Усть-Каменогорской металлургической площадки Металлургического комплекса ТОО «Казцинк», № ТР 30-07/01/03/-01-01, версия 6.
- Республика Казахстан. Санитарные правила «Санитарно-эпидемиологические требования к объектам цветной металлургии и горнодобывающей промышленности», утверждённые приказом Министра национальной экономики РК №236 от 20.03.2015. <https://zakon.uchet.kz/rus/docs/V1500011259>
- Республика Казахстан. Санитарные правила «Санитарно-эпидемиологические требования к объектам чёрной металлургии». https://ecogofond.kz/wp-content/uploads/2022/03/11259.11-02-2022.rus_.pdf
- Республика Казахстан. Санитарные правила «Санитарно-эпидемиологические требования к осуществлению производственного контроля». <https://cdb.kz/sistema/pravovaya-baza/ob-utverzhenii-sanitarnykh-pravil-sanitarno-epidemiologicheskie-trebovaniya-k-osushchestvleniyu-pro-023/>
- Республика Казахстан. Приказ Министра здравоохранения РК №ҚР ДСМ-49 от 16 июня 2021 года «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда и эксплуатации производственных объектов». <https://aprfd.kz/index.php/zakonodatelstvo/item/2467-prikaz-ministra-zdravookhraneniya-rk-ot-16-iyunya-2021-goda-r-dsm-49>
- Республика Казахстан. Санитарные правила «Санитарно-эпидемиологические требования к лабораториям, использующим потенциально опасные химические вещества», приказ МЗ РК №ҚР ДСМ-89. <https://aprfd.kz/index.php/zakonodatelstvo/item/2712-prikaz-ministra-zdravookhraneniya-rk-ot-25-avgusta-2022-goda-r-dsm-89>
- Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны (ПДК р.з.) — санитарно-гигиенические нормативы, используемые при оценке условий труда. <https://ru.wikipedia.org/wiki/ПДКр.з.>
- Тяжёлые металлы как токсичные загрязнители и их влияние на организм человека. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Загрязнитель>
- OpenAI. ChatGPT — система искусственного интеллекта для генерации текстов и анализа информации. URL: <https://openai.com/chatgpt/overview> (дата обращения: 09.03.2026).

ОРЛОВ ШАХТАСЫ ЖҰМЫС ОРЫНДАРЫНДАҒЫ ЕҢБЕК ЖАҒДАЙЛАРЫНА МИКРОКЛИМАТТЫҚ ФАКТОРЛАРДЫҢ ӘСЕРІН БАҒАЛАУ

ӘОЖ 628.83

А.А. Айтказина^{1*}, Г.К. Даумова¹

¹Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан Республикасы

*Автор-корреспондент: Айтказина Азиза Айдынкызы

e-mail: aziza081202@gmail.com

АННОТАЦИЯ. Кендерді жер асты әдісімен өңдейтін тау-кен жұмысшыларының еңбек жағдайлары зиянды өндірістік факторлардың кешенімен сипатталады, олардың негізгі факторларына қыздыру микроклиматы мен ауа ортасының жоғары ылғалдылығы жатады. Зерттеу нәтижелері Орлов шахтасының жерасты өндіру учаскелерінде еңбек ететін қызметкерлердің микроклиматтық факторлардың қолайсыз әсеріне жүйелі түрде ұшырайтынын көрсетті. Жүргізілген бағалау бойынша жұмыс аймағындағы ауа температурасының нормативтік мәндерден 4–12°C-қа дейін жоғарылауы және салыстырмалы ылғалдылықтың 3–10%-ға артуы анықталды. Жекелеген өндірістік учаскелер бойынша талдау нәтижелері жерасты өндіру учаскелерінде, бұрғылау-жару және тау-кен қазбаларын бекіту аймақтарында микроклиматтық көрсеткіштердің айтарлықтай жоғары екенін көрсетті. Бұл жағдайлар жұмысшылардың ағзасына қосымша жылу жүктемесін түсіріп, еңбек процесінің ауырлығын арттырады. Микроклиматтық факторлардың әсері бойынша еңбек жағдайларын гигиеналық жіктеу нәтижесінде негізгі кәсіптер бойынша жұмыс жағдайларының басым бөлігі 3.1–3.2 зиянды еңбек жағдайлары класына жататыны анықталды. Әсіресе, шпур бұрғылаушылар мен тау-кен қазушылар үшін еңбек жағдайларының зияндылық деңгейі жоғары екені байқалады. Осылайша, алынған нәтижелер тау-кен өндірісінде микроклиматтық факторларды оңтайландыруға бағытталған техникалық және ұйымдастырушылық шараларды жетілдірудің қажеттілігін көрсетеді.

Түйінді сөздер: шахта, микроклиматтық факторлар, салыстырмалы ылғалдылық, температура, еңбек жағдайларының класы

КІРІСПЕ

Мыс-полиметалл кенін өндіру екі жолмен, ашық немесе жабық тәсілмен игеріледі. Өдістердің әрқайсысында өндірістік және технологиялық циклдің, жұмыстарды ұйымдастырудың және қолданылатын өндірістік жабдықтардың ерекшеліктері бар. Жер астындағы кенді өндіру 500 м тереңдікте жүзеге асырылады, кейде 800-1500 м-ге жетеді, бұл тау-кен жұмыстарының күрделенуіне, еңбек жағдайларының нашарлауына әкеледі. Өндірістік орта мен еңбек процесінің айырмашылығы әсер ететін өндірістік факторлардың әртүрлі спектрін анықтайды [1]. Қауіпсіз еңбекті қамтамасыз етудің жеке қорғаныс құралдарын ұсынуда да өзіндік ерекшеліктері бар.

Тау-кен өндірісіндегі жұмысшылардың қазіргі еңбек жағдайлары шу, шаң, микроклимат, діріл және басқалары сияқты физикалық және химиялық факторлардың әсерімен сипатталады, олардың мәндері рұқсат етілген нормалардан асатын деңгейлерде [2] болуы мүмкін. Қауіпсіз еңбек жағдайларын қамтамасыз ету және кәсіптік аурулардың даму қаупін азайту үшін қажетті шарт жеке қорғаныс құралдарын ұсыну тетігін жаңғырту және жетілдіру болып табылады [3].

Қолайсыз зиянды факторлардың тау-кен және өңдеу кәсіпорындарына әсерін бағалауға арналған ғылыми зерттеулер жүргізілетінін де атап өтуге болады. Авторлар [4] кәсіптік сырқаттанушылық пен ластану арасындағы корреляцияны анықтады, еңбек

жағдайларын кешенді бағалауды жүргізді, химиялық факторларға байланысты жер астындағы кеншілердің еңбек жағдайларын талдады, ауаның зиянды және қауіпті газдар және шаңмен ластануын атап өтті. Желдету шахталарынан өндірудің тереңдігі ұлғайған сайын қолайсыз микроклиматтың да әсері артатынын анықтады.

Жүргізілген зерттеудің мақсаты - мыс-полиметалл кенін өндіру бойынша Орлов шахтасы жұмыс орындарындағы еңбек жағдайларына талдау жасай отырып, оларға әсер ететін қолайсыз микроклиматтық факторларға көбірек ұшырайтын учаскелерді анықтау болып табылады.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Зерттеу нысаны Шығыс Қазақстан облысының аумағында Жезкент кентінде, Өскемен қаласының облыс орталығынан солтүстік-батысқа қарай 135 км және Бородулиха қаласының аудан орталығынан солтүстік-шығысқа қарай 40 км жерде орналасқан Орлов шахтасы болып табылады. Кеніште мыс-полиметалл кенін жабық тәсілмен өндіру жүргізіледі, жылдық өнімділігі - 1300 мың тонна кен.

Қазіргі кезде кен орнының жылдық кен өнімділігінің 1300 мыңнан 1500 мың т-ға дейін ұлғайтылған.

Орлов шахтасы мыс-колчеданды, полиметалл рудаларды алатын Орлов шахтасының құрамына кіреді. Кенді өндіру жер асты қазылынды кеңістікті бетонды толтырым әдісі арқылы жүзеге асады.

Қазіргі уақытқа дейін Орлов шахтасының орталықта орналасқан «Орловск» мен «Скиповая» шахта оқпандары және жан-жағында орналасқан «Северная» мен «Южная» шахта оқпандары 12 қабатқа дейін ашылған.

Бұл жұмыс жерасты кенішінің негізгі кәсіптері өкілдерінің жұмыс орындарын сертификаттау және еңбек жағдайларын гигиеналық бағалау нәтижелеріне негізделген. Зерттеулерге физикалық (температура, салыстырмалы ылғалдылық) жұмыс ортасының факторларын өлшеу кірді.

Жұмыс орындарын зерттеу метеорологиялық ауа ортасының параметрлерін мониторингіне арналған Ассман психрометрін пайдалана отырып жүргізілді.

Алынған деректер "Халық денсаулығы және денсаулық сақтау жүйесі туралы" Қазақстан Республикасының Кодексіне [5] сәйкес халықтың санитариялық-эпидемиологиялық салауаттылығы саласындағы мемлекеттік орган айқындаған тәртіппен бекітілген санитариялық қағидаларда, гигиеналық нормаларда көзделген белгіленген стандарттармен салыстырылды.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Орлов шахтасына қарасты №1, 2, 3 жерасты өндіру учаскелерінде, тау-кен өткізу учаскелерінде, бұрғылау-жару жұмыстары учаскелерінде, тау-кен қазбаларын бекіту учаскелерінде, тік және көлденең шахтаішілік көлікте жұмыс орындарының еңбек жағдайларына зерттеу жүргізілді.

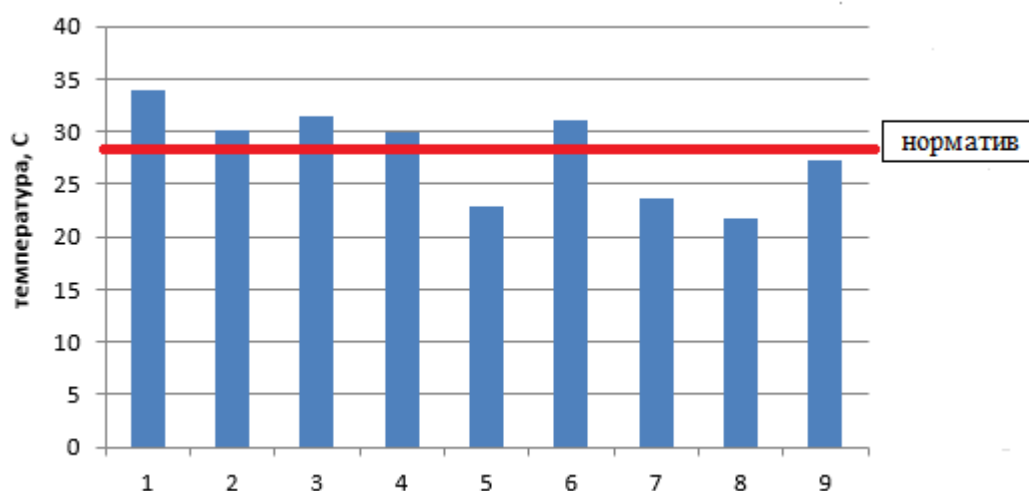
Жұмыс орындарындағы еңбек жағдайларының жай күйін бағалау нәтижелері кейбір учаскелерде микроклиматтық факторлардың асып кеткенін көрсетті:

- №1 жерасты өндіру учаскесінде жұмыс аймағындағы ауа температурасы нормадан 9-12⁰С жоғары, ауаның салыстырмалы ылғалдылығы 8-9%;
- №2 жерасты өндіру учаскесінің жұмыс орындарында ауа температурасы нормадан 5-8⁰С жоғары, ауаның салыстырмалы ылғалдылығы 6-10%;
- №3 жерасты өндіру учаскесінің жұмыс орындарында ауа температурасы нормадан 6-9⁰С жоғары, ауаның салыстырмалы ылғалдылығы 7-10%;
- тау-кен жұмыстары учаскесінің жұмыс орындарында ауа температурасы нормадан 6-8⁰С жоғары, ауаның салыстырмалы ылғалдылығы 3-5%;
- бұрғылау-жару жұмыстары учаскесінің жұмыс орындарында ауа температурасы нормадан 4-6⁰С жоғары, ауаның салыстырмалы ылғалдылығы 3-4% жоғары.

Тау-кен қазбаларын бекіту учаскесінде ауа температурасы нормадан 6-13⁰C жоғары, ауа ылғалдылығы 3-10% жоғары.

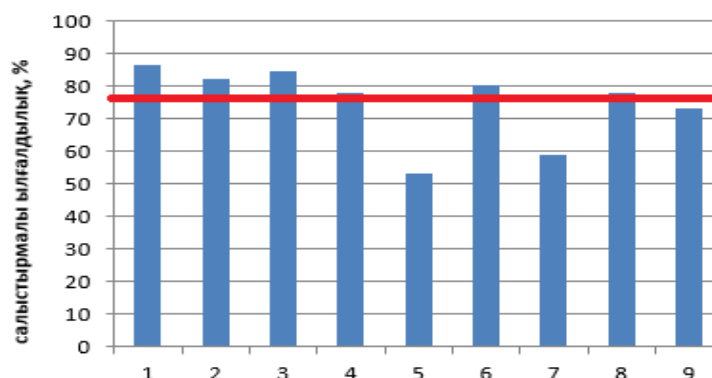
Талдау нәтижелері жұмыс аймағындағы ауа температурасы мен ауаның салыстырмалы ылғалдылығы бойынша өндірілген кеңістікті толтыру учаскелері нормативтік мәндерден аспайтынын көрсетті.

Төмендегі 1-2 суреттерде учаскелерге байланысты микроклиматтық факторлар бойынша көрсеткіштер көрсетілген.



1 - №1 жерасты өндіру учаскесі, 2 - №2 жерасты өндіру учаскесі, 3 - №3 жерасты өндіру учаскесі, 4 - тау-кен қазу жұмыстары учаскесі, 5 - өндірілген кеңістікті толтыру учаскесі, 6-тау-кен қазбаларын бекіту учаскесі, 7-тік шахта ішілік транспорт учаскесі, 8 - көлденең шахтаішілік транспорт учаскесі, 9-бұрғылау-жару жұмыстарының учаскесі

Сурет 1. Учаскелердің жұмыс орындарындағы температураның мәндері



Сурет 2. Учаскелердің жұмыс орындарындағы салыстырмалы ылғалдылықтың мәндері

Мамандыққа сәйкес физикалық факторлардың әсері бойынша жұмыс жағдайларын бағалау еңбек жағдайлары кластарына байланысты 1-кестеде келтірілген. Орлов шахтасының жұмыс орындарындағы өндірістік факторлардың дәрежесі бойынша 3.2 зиянды еңбек жағдайларына негізінен тау-кен қазушы мен шпур бұрғылаушылары ұшырайды деген қорытынды жасауға болады.

Кесте 1. Негізгі кәсіптердің жұмыс жағдайларын бағалау

Мамандықтың атауы	Жұмыс аймағындағы ауа температурасы, °C	Салыстырмалы ылғалдылық, %
Шпур бұрғылаушы	3.2	3.2
Тау-кен қазушы	3.2	3.2
Тау-кен жұмысшысы	3.1	3.1
Тау-кен бекітушісі	3.1	3.1

ҚОРЫТЫНДЫ

Зерттеу нәтижесінде жер асты өндіру учаскелерінің қызметкерлері микроклиматтық факторлардың зиянды әсеріне ұшырайтыны анықталды. Еңбек жағдайларының жай-күйін бағалау жұмыс орындарында ауа температурасының 4-12 есе және салыстырмалы ылғалдылықтың 3-10 есе артқанын көрсетті.

Кен орындарын игеру тиімділігін төмендететін маңызды факторлардың бірі тау-кен жұмысшыларының санитарлық-гигиеналық еңбек жағдайлары болып табылады. Жоғарыда аталған микроклиматтық факторлардың шамадан тыс мәнделері тау-кен өнеркәсібінде кәсіптік аурушандық қаупінің жоғары деңгейіне ықпал етеді. Шахта қызметкерлерінің қауіпсіздігі мен олардың денсаулығын қамтамасыз етуге ерекше назар аударылу қажет, сол себепті жеке қорғаныс құралдарын жетілдіру маңызды болып келеді.

МҮДДЕЛЕР ҚАРАМА-ҚАЙШЫЛЫҒЫ: Авторлар мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

АЛҒЫС БІЛДІРУ: Авторлар ҚР ЕжХӘҚМ «Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты» ШҚО филиалына алғыс білдіреді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Mouras, F., Badri, A. (2020). Survey of the risk management methods, techniques and software used most frequently in occupational health and safety. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 10(2), 149-160. <https://doi.org/10.18280/ijssse.100201>
- Kruzhilko, O., Maystrenko, V., Tkalych, I., Polukarov, Y., Kalinchyk, V.P., Neklonskyi, I., Ryzhchenko, O. (2022). Study of the harmful factors influence on the occupational risk level: The example of the Ukrainian mining industry. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 110(1), 35-41. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.7029>
- Watson, C., Troynikov, O., Lingard, H. (2019). Design considerations for low-level risk personal protective clothing: A review. *Industrial Health*, 57(3), 306-325. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2018-0040>
- Rebello, S., Anoopkumar, A.N., Aneesh, E.M., Raveendran, S., Parameswaran, B., Kim, S.H., Pandey A. (2020). Hazardous mineral mining: Challenges and solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 402, 123474. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123474>
- "Халық денсаулығы және денсаулық сақтау жүйесі туралы" Қазақстан Республикасының № 360-VI ҚРЗ Кодексі, 2020, 7 шілде, // "Halyq densaulıyы zhəne densaulıq saqtaw zhyjesi turaly" Qazaqstan Respublikasynıń № 360-VI QRZ Kodeksi, 2020, 7 shilde, <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/K2000000360>

АЛПЫС КЕН ОРНЫНЫҢ КОЛЧЕДАН АЛТЫН-ПОЛИМЕТАЛЛ КЕНДЕРІНІҢ КОРЛАРЫН ЕСЕПТЕУ ЦИФРЛЫҚ ТРАНСФОРМАЦИЯЛАУ ЖӘНЕ 3D МОДЕЛДЕУ

ӨОЖ 550.8.05

Е.А. Амангельдин¹, Ә.Б. Раипұлы¹, Д.Ж. Ордабек¹, Ж.З.Капжапарова^{1*}

¹Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,
Өскемен қ., Қазақстан

*Корреспондент-автор: Капжапарова Жанар Зейнелкабденовна, e-mail:
Zhkapzhaparova@edu.ektu.kz

АННОТАЦИЯ. Зерттеу жұмысының мақсаты — геологиялық мәліметтерді бірыңғай цифрлық ортаға біріктіру арқылы қорларды есептеу дәлдігін арттыру және уақыт шығындарын азайту. Жұмыста бастапқы деректерді жинау, оларды 3D геологиялық модельге енгізу, кен денелерін блоктық модельдеу, құрам мен қуаттылық параметрлерін интерполяциялау, сондай-ақ қорларды халықаралық стандарттарға сәйкес автоматты түрде есептеу кезеңдері қарастырылған.

Зерттеу әдістемесі алтын кен орнындағы колчедан-алтын-полиметалл кендерінің қорларын есептеу циклін цифрлық трансформациялау процесін кешенді түрде қарастыруға негізделді. Жұмыстың бастапқы кезеңінде ұңғымалар, тау-кен қазбалары, сынама алу нәтижелері және зертханалық талдау материалдары жиналып, бірыңғай электрондық деректер базасына енгізілді. Келесі кезеңде алынған мәліметтер негізінде кен орнының геологиялық құрылымы талданып, кен денелерінің шекаралары мен морфологиясы анықталды. Бұл мәліметтер арнайы бағдарламалық кешендерде 3D геологиялық модель құру үшін пайдаланылды. Геологиялық модельде кен денелерінің пішіні, қуаттылығы, созылымы және құрам ерекшеліктері ескерілді. Мұнда Micromine, Surpac немесе Datamine сияқты бағдарламалар қолданылуы мүмкін. Одан кейін кен денелері блоктық модельге бөлініп, әр блокқа алтын мен ілеспе полиметалл компоненттерінің орташа мөлшері интерполяция әдістері арқылы тағайындалды. Интерполяция үшін кері қашықтық әдісі, қарапайым және ординарлық кригинг тәсілдері қолданылды. Әдістердің дұрыстығы статистикалық талдау және вариограммалар арқылы тексерілді.

Жұмыстың негізгі нәтижелері алтын-полиметалл кен орындарының қорларын есептеу процесін заманауи цифрлық технологиялар негізінде жетілдіруге бағытталған.

Ғылыми жаңалығы мен практикалық маңыздылығы — колчедан-алтын-полиметалл кендерінің қорларын есептеу циклін толық цифрлық ортаға көшірудің кешенді тәсілі алғаш рет ұсынылуымен сипатталады. Ұңғымалық, геологиялық, маркшейдерлік және зертханалық деректерді біртұтас базаға біріктіру арқылы кен денелерінің 3D моделін және блоктық құрылымын автоматты түрде қалыптастыру алгоритмі жетілдірілді. Сонымен қатар пайдалы компоненттердің таралуын бағалау үшін геостатистикалық интерполяция әдістері мен автоматтандырылған қор есептеу модулі бір жүйеге біріктірілді. Бұл дәстүрлі қолмен орындалатын есептеулермен салыстырғанда қателіктерді азайтып, қорларды қайта есептеу уақытын едәуір қысқартуға мүмкіндік береді.

Зерттеудің тағы бір ғылыми жаңалығы — қорларды есептеу нәтижелерін халықаралық талаптармен үйлестіру болып табылады. Атап айтқанда, есептеу процесі JORC Code, CRIRSCO және KAZRC стандарттарына сәйкес бейімделді. Бұл алынған нәтижелердің халықаралық деңгейде салыстырмалы және сенімді болуын қамтамасыз етеді.

Практикалық маңыздылығы ұсынылған цифрлық тәсілдің нақты кен орындарында қолдануға жарамдылығымен анықталады. Әдіс кен қорларын есептеу мерзімін қысқартып, геологиялық деректерді өңдеуді автоматтандырады және өндірістік шешімдерді қабылдауды жеделдетеді. Нәтижесінде кен орнының игерілуін жоспарлау, карьер немесе шахта шекарасын анықтау, өндіру көлемін болжау және экономикалық тиімділікті бағалау жұмыстары жеңілдейді.

Ұсынылған тәсілді Micromine, Surpac және Datamine сияқты заманауи бағдарламалық кешендерде іске асыруға болады. Бұл әдістеме алтын-полиметалл кен орындарын игеретін кәсіпорындар үшін қорларды басқарудың тиімді цифрлық құралы бола алады.

Түйінді сөздер: цифрлық трансформация, алтын кен орны, кен қорларын есептеу, 3D геологиялық модель, блоктық модельдеу

КІРІСПЕ

Пайдалы қазбалар қорларын дәл және жедел есептеу тау-кен өнеркәсібінің маңызды міндеттерінің бірі болып табылады. Әсіресе колчедан-алтын-полиметалл кен орындарында кен денелерінің күрделі морфологиясы, құрамының әркелкілігі және пайдалы компоненттердің кеңістікте біркелкі таралмауы қорларды есептеу процесін қиындатады. Дәстүрлі әдістерде геологиялық және маркшейдерлік деректерді қолмен өңдеу көп уақытты талап етеді және адам факторына байланысты қателіктердің пайда болуына әкеледі. Сондықтан қазіргі жағдайда кен қорларын есептеу циклін цифрлық трансформациялау қажеттілігі туындап отыр.

Цифрлық трансформация — бұл бастапқы геологиялық ақпаратты жинаудан бастап қорларды есептеу нәтижесін алуға дейінгі барлық кезеңдерді бірыңғай ақпараттық ортада орындауға мүмкіндік беретін заманауи тәсіл. Мұндай тәсіл ұңғымалар, тау-кен қазбалары, сынама нәтижелері, зертханалық талдаулар және маркшейдерлік түсірілімдер туралы мәліметтерді бір базаға жинақтап, оларды автоматты түрде өңдеуге жағдай жасайды. Нәтижесінде кен орнының кеңістіктік құрылымы нақтыланып, қорларды есептеу дәлдігі артады.

Қазіргі уақытта кен қорларын цифрлық модельдеу мен бағалау үшін Micromine, Surpac, Datamine сияқты бағдарламалық кешендер кеңінен қолданылады. Бұл жүйелердің көмегімен кен денелерінің 3D геологиялық модельдері жасалып, блоктық модельдер құрылады, ал пайдалы компоненттердің мөлшері геостатистикалық әдістер арқылы анықталады.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Зерттеудің алғашқы кезеңінде барлық бастапқы ақпарат бірыңғай электрондық деректер базасына енгізіліп, жүйелендірілді. Деректерді цифрландыру барысында ұңғымалардың координаталары, тереңдігі, сынама аралықтары және пайдалы компоненттердің мөлшері арнайы бағдарламалық ортаға жүктелді. Мәліметтердің дұрыстығы мен толықтығын тексеру үшін валидация және қателерді автоматты анықтау процедуралары жүргізілді.

Келесі кезеңде Micromine, Surpac немесе Datamine бағдарламаларының көмегімен кен орнының 3D геологиялық моделі құрылды. Модельде кен денелерінің морфологиясы, қуаттылығы, созылымы және құлау бұрышы ескерілді. Геологиялық құрылым негізінде кен денелері жеке блоктарға бөлініп, блоктық модель жасалды.

Алтын мен ілеспе компоненттердің блоктардағы мөлшерін анықтау үшін геостатистикалық әдістер қолданылды. Негізгі әдістер ретінде кері қашықтық әдісі (IDW), ординарлық кригинг және вариограммалық талдау пайдаланылды. Бұл

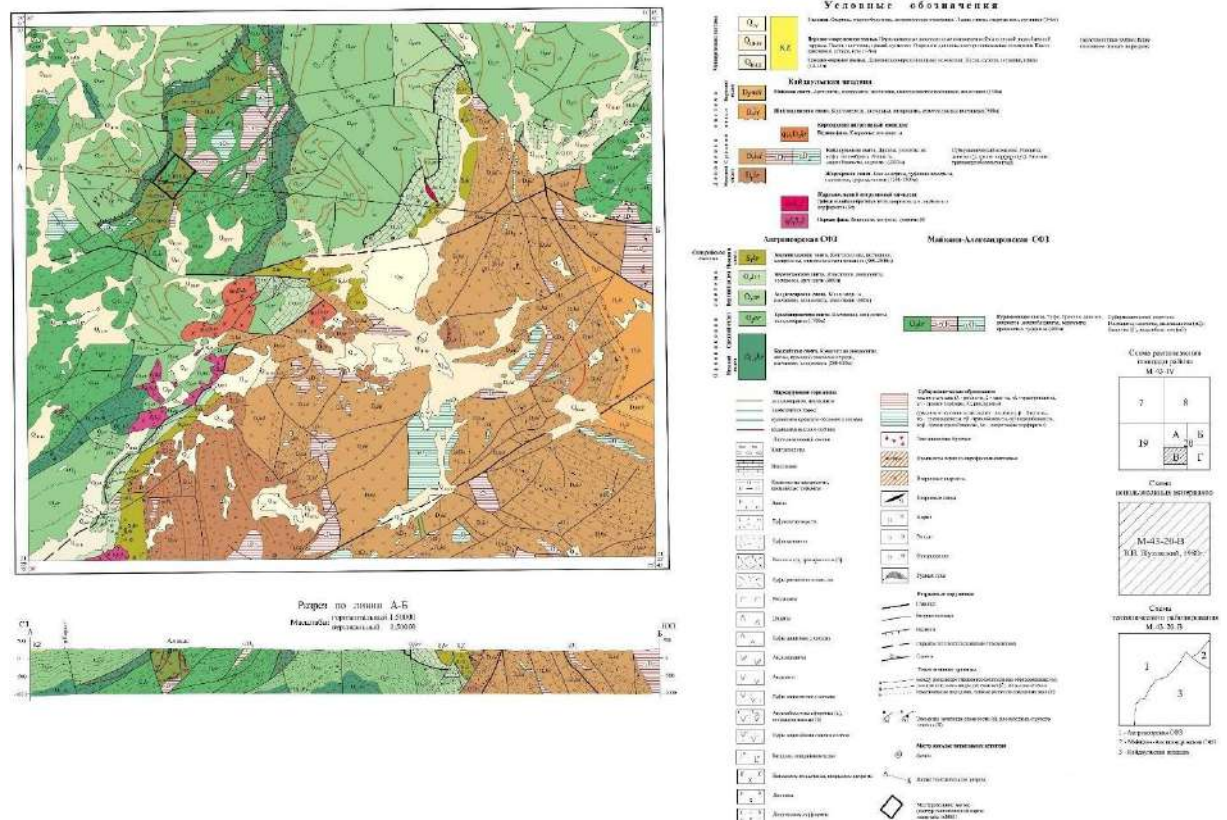
тәсілдер пайдалы компоненттердің кеңістікте таралу заңдылықтарын анықтауға және әр блок үшін орташа құрамды есептеуге мүмкіндік береді.

Қорларды есептеу кезінде әр блоктың көлемі, кеннің орташа тығыздығы және пайдалы компоненттің мөлшері ескерілді. Жұмыстың маңызды әдіснамалық аспектісі – Қазақстанның KAZRC жария есептілік кодексі регламенттерін қатаң сақтау. Бақылаудың ішкі сапа жүйесін (QA/QC) барлық кезеңдерде — кернді құжаттаудан бастап деректер базасын қалыптастыруға дейін — қолдану бастапқы ақпараттың ашықтығы мен сенімділігін қамтамасыз етеді. Құрылған цифрлық модельдің CRIRSCO халықаралық стандарттар тобының талаптарына сәйкестігі зерттеу нәтижелерін сыртқы аудит үшін верификацияланатын етеді, бұл Шығыс Қазақстан нысандарының әлемдік нарықтағы инвестициялық тартымдылығын бағалау үшін аса маңызды.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Зерттеу нәтижесінде Алпыс кен орны колчедан-алтын-полиметалл кендерінің қорларын есептеу циклін цифрлық трансформациялау дәстүрлі әдістермен салыстырғанда едәуір тиімді екендігі анықталды. Бастапқы геологиялық, зертханалық мәліметтерді бірыңғай цифрлық ортаға енгізу нәтижесінде деректерді өңдеу уақыты қысқарып, ақпараттың қайталануы мен жоғалу қаупі төмендеді.

Құрылған 3D геологиялық модель кен денелерінің морфологиясын, созылымын және құлау бұрышын дәлірек көрсетуге мүмкіндік берді. Micromine және Datamine бағдарламаларында құрылған блоктық модельдер арқылы кен денелері кеңістікте жеке элементтерге бөлініп, әр блок үшін алтын мен полиметалл компоненттерінің орташа мөлшері анықталды. Нәтижесінде бұрын қолмен жүргізілген есептеулерде байқалмаған құрам өзгерістерінің учаскелері нақтыланды.



Сурет 1. Алпыс кенорнының геологиялық-құрылымдық сызбасы

Алпыс кен орны Ангренсор және Майқайың құрылымдық-формациялық аймақтарының түйісуінде орналасқан және күрделі геологиялық құрылымымен сипатталады. Кендену орта ордовик кезеңінің вулканогенді-шөгінді жыныстарымен байланысты, олар туфтармен, тефроидтармен және лавалық түзілімдермен ұсынылған. Кен сыйыстырушы жыныстарда гидротермалды-метасоматикалық өзгерістер кеңінен таралған, олардың ішінде кварцтану, серициттену, пиррофиллиттену және эпидоттану негізгі рөл атқарады.

Гидротермалды өзгерістер кен денелерінің қалыптасуымен тығыз байланысты және олардың кеңістікте таралу заңдылықтарын анықтауға мүмкіндік береді. Әсіресе кварц-серициттік және кварц-пиррофиллиттік өзгерістер кенденудің негізгі индикаторлары болып табылады және 3D геологиялық модельдеу кезінде рудалық аймақтарды шектеуде маңызды белгі ретінде пайдаланылды.

Кен денелері күрделі морфологиямен сипатталады және олардың пішіні, қуаттылығы мен созылымы айтарлықтай өзгермелі. Бұл факторлар блоктық модель құру кезінде ескеріліп, кен денелерін кеңістікте дәл бейнелеуге мүмкіндік берді. Геологиялық құрылым мен метасоматикалық өзгерістердің ерекшеліктерін ескеру пайдалы компоненттердің таралуын дұрыс интерполяциялауға және қорларды есептеу дәлдігін арттыруға негіз болды.

Осы геологиялық ерекшеліктерді ескеру 3D модельдеу және блоктық модель құру кезінде кен денелерінің шекараларын дәлірек анықтауға мүмкіндік берді. Бұл өз кезегінде пайдалы компоненттердің таралуын сенімді интерполяциялауға және қорларды есептеу нәтижелерінің дәлдігін арттыруға негіз болды.

ҚОРЫТЫНДЫ

Алпыс кен орнын ашық әдіспен игеру тоқтатылып, оның жерасты тәсілімен игерілуіне арналған жоба жасалды. Осыған байланысты, жерасты әдісіне бейімделген жаңа өндірістік кондициялар мен қорларды қайта есептеу қажеттілігі туындады.

Жерасты өңдеу жағдайына арналған колчеданды-алтын-полиметалл кендерінің өндірістік кондициялары жасалып, бекітілді.

Қорларды қайта есептеу нәтижесінде 14 кен денесі бөлінді: I, Ia, II, IIa, IIб, IIв, IIг, III, IV, V, VI, VII, VIII, VIIIa. Оның ішінде I, II, IIa және III ірі кен денелері C1 санатына, ал Ia, IIб, IIв, IIг, IV, V, VI, VII, VIII, VIIIa сияқты ұсақ денелер C2 санатына жатқызылды. Барлық кен денелерінің баланстық қорлары +280 м горизонтына дейін есептелді.

Қайта есептеу нәтижесінде баланстық қорлар C1 және C2 санаттары бойынша барлық пайдалы компоненттер үшін артты (күкіртті серадан басқа). Атап айтқанда, C1 бойынша (%): кен — 39%, алтын — 47%, күміс — 40%, мыс — 48%, қорғасын — 38%, мырыш — 34%, барит — 20%; C2 бойынша (%): кен — 120%, алтын — 60%, күміс — 171%, мыс — 500%. Ал 01.01.2011 ж. жағдай бойынша C2 санатында қорғасын, мырыш және барит мемлекеттік баланста тіркелмеген. Қайта есептеу нәтижесінде C2 санаты бойынша аталған компоненттерден қосымша қорлар анықталды: қорғасын — 0,2 мың т, мырыш — 0,7 мың т, барит — 4,9 мың т.

Қор өсімі шартты алтынның шекті құрамының 2 г/т-дан 1,5 г/т-ға төмендеуінен және кейбір забаланстық қорлардың баланстыққа ауысуынан алынды.

Қайта есептелген қорлар негізінде рудник жылына 250 мың тонна кен өндіру арқылы 16 жыл бойы қамтамасыз етіледі. Ішкі табыстылық нормасы — 23,87%. 10-кестеде 1,5 г/т шекті құрам жағдайында жерасты әдісімен игеруге арналған «ТЭН...» мен осы есептегі негізгі техникалық-экономикалық көрсеткіштер салыстырылады.

Кен орны жерасты тәсілімен өндіруге дайын.

Алпыс кен орны — Қазақстандағы геологиялық тұрғыдан күрделі және

экономикалық әлеуеті жоғары алтын-полиметалл кен орындарының бірі. Бұл кен орнындағы негізгі минералдық ресурстар — алтын, күміс, мыс, қорғасын, мырыш, барит және сульфидті күкірт. Кеннің құрамындағы бағалы металдардың жоғары құндылығы және олардың кеңістікте әркелкі таралуы барлау мен қорларды есептеуде заманауи тәсілдерді қолдануды талап етеді.

Жүргізілген зерттеулер мен есептеулер нәтижесінде кен орнының геологиялық құрылымы мен кенді денелерінің морфологиясы нақты анықталды. Қорларды есептеу барысында қазіргі заман талабына сай геологиялық, геофизикалық, гидрогеологиялық және аналитикалық әдістер кешені қолданылды. Есептеу барысында кен денелерінің кеңістіктік үлгілері құрылып, пайдалы компоненттердің таралу заңдылықтары мен олардың сапалық сипаттамалары нақтыланды.

Жаңа өндірістік кондициялар негізінде жүргізілген қорларды қайта есептеу нәтижесінде, кен орны бойынша баланстық қорлар айтарлықтай ұлғайып, болашақ өндірістік игеру мүмкіндіктері кеңейе түсті. Бұл көрсеткіштер, өз кезегінде, Алпыс кен орнының Қазақстанның стратегиялық маңызды металлургиялық және тау-кен өнеркәсібі объектілерінің бірі екенін дәлелдейді.

Қорыта айтқанда, Алпыс кен орнының қорларын есептеу жұмысы еліміздің минералдық-шикізат базасын дамыту, өндіріс қуатын арттыру және сирек кездесетін металдарға деген ішкі және сыртқы сұранысты өтеу мақсатында маңызды ғылыми-өндірістік негіз қалыптастырды. Алынған мәліметтер жерасты игеру жобаларын тиімді жоспарлауға, экологиялық қауіпсіздікті ескеріп өндіріс жүргізуге және экономикалық тұрғыдан ұтымды шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді.

МҮДДЕЛЕР ҚАРАМА-ҚАЙШЫЛЫҒЫ: Авторлар мүдделер қарама-қайшылығының жоқтығын мәлімдейді.

АЛҒЫС БІЛДІРУ: Авторлар зерттеу барысында қолданылған картографиялық материалдар мен ашық деректерді ұсынған Қазақстан Республикасының Мемлекеттік геологиялық қорына, сондай-ақ 1:200 000 масштабтағы Мемлекеттік геологиялық карта парақтары (Шығыс Қазақстан сериясы) үшін алғыс білдіреді. Сонымен қатар USGS EarthExplorer репозиторийінде қолжетімді Landsat 8/9 спутниктік деректері мен SRTM сандық жер бедері модельдерін пайдалану мүмкіндігі үшін ризашылықтарын білдіреді. Зерттеудің сапасын арттыруға үлес қосқан әріптестерге, әдістемелік қолдау көрсеткен мамандарға және пайдалы ұсыныстары үшін анонимдік рецензенттерге алғыс білдіріледі.

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ҚОЛДАНУ ТУРАЛЫ ХАБАРЛАМА: Осы ғылыми жұмысты дайындау барысында автор мәтіндік материалдарды редакциялау, стилистикалық түзетулер енгізу, терминологиялық аппаратты жүйелеу, сондай-ақ кестелік деректерді форматтау және библиографиялық сілтемелерді академиялық стандарттарға сәйкес рәсімдеу үшін Gemini (Google) жасанды интеллект моделін қолданды. Жасанды интеллект құралдары мақаланы дайындаудың қосымша көмекші құралы ретінде пайдаланылды. Автор жасанды интеллект тарапынан ұсынылған барлық түзетулер мен тұжырымдарды мұқият тексерді және олардың ғылыми мазмұнға, геологиялық деректердің дәлдігіне және алынған қорытындылардың негізділігіне толық жауапты екенін растайды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Альбов М.Н. Пайдалы қазбалар кен орындарын сынамалау Мәскеу баспасы «Недра», 2015ж.
- Викентьев В.А., Карпенко И.А., Шумилин М.В. Кен орындарының қорларын есептеу сараптамасы, Алматы, 2017ж
- Кен орындарын игеру бойынша кен-геологиялық анықтамалық. Том 1, 2, Алматы, 2017ж.
- Коган И.Д. Қорларды есептеу және кенді кен орындарын геологиялық- өнеркәсіптік бағалау Мәскеу баспасы, 2014ж.
- Погребницкий Е.О., Терновой В.И. Пайдалы қазбалар кен орындарын геолого-экономикалық бағалау. «Недра», 2014г
- Мыспорфирлі кен орындарын бағалау және барлау бойынша жаңашыл технологиялар. Алматы, 2017ж.
- Қатты пайдалы қазбалар қорының есебі бойынша материалдарды мемлекеттік геологиялық сараптамаға ұсыну тәртібі, мазмұны және ресімдеуі жөніндегі әдістемелік нұсқаулық Астана, 2018 ж.
- Түсті металдар кен орындарының геолого-экономикалық бағалау кезінде капиталды салымдар мен кен өндіру құнының іріктелген нормативтік көрсеткіштерін есептеу бойынша әдістемелік нұсқаулар
- Табиғи ресурстарды геологиялық зерттеу туралы есептерді ресімдеу жөніндегі нұсқаулықҚазақстан Республикасы. Астана, 2014ж.
- Түсті және асыл металдардың (алтын, күміс, платина) кен орындарына арналған қорларды классификациялау бойынша нұсқаулық. Кокшетау, 2016.
- Геология министрлігінің зертханаларында жүргізілетін қатты жанбайтын пайдалы қазбалардың барлау үлгілерін талдаудың ішкі, сыртқы және арбитраждық геологиялық сапа бақылауына арналған нұсқаулық, Мәскеу 2022ж.
- Өнеркәсіптік өндірістің улы қалдықтарын классификациялау РК. РНД 03.00.2.01.- 2016ж.
- Экологиялық қамтамасыз ету үшін қатты пайдалы қазбалар кен орындарының өндірілуі кезінде олардың қоршаған табиғи ортаға әсерін бағалау мақсатындағы бағдарлама, ӨМ «Центрказнедра». Карағанды, 2018ж.

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ПЛОЩАДИ ОЗЕРА ЗАЙСАН ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВ LANDSAT 8 И SENTINEL-2

УДК 528.8

А.М. Апсаямов¹, Б. Апшикур¹

¹ВКТУ им. Д. Серикбаева, г.Усть-Каменогорск, Казахстан

Автор-корреспондент: Апсаямов Амир Муратпекович,

email: amir.apsalyamov77@gmail.com

АННОТАЦИЯ. В работе выполнена оценка площади озера Зайсан по спутниковым данным Landsat 8 и Sentinel-2 за февраль и июль 2025 г. Обработка космических снимков проводилась с применением водных индексов NDWI и MNDWI в среде ArcGIS. Полученные результаты позволили выявить сезонные изменения акватории и сопоставить данные разных спутниковых систем. Установлено, что в июле площадь озера оказалась меньше, чем в зимний период, что отражает особенности внутрисезонной динамики водного режима. Проведённое исследование подтверждает эффективность методов дистанционного зондирования для мониторинга площади водных объектов.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, Landsat 8, Sentinel-2, NDWI, MNDWI, сезонная динамика, спутниковый мониторинг, ArcGIS.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях климатических изменений и возрастающего антропогенного воздействия на природные экосистемы особую актуальность приобретает мониторинг состояния водных объектов. Озёра и водохранилища являются важными элементами гидрологической системы, а также индикаторами экологического состояния окружающей среды. В настоящее время данные ДЗЗ широко используются для целей мониторинга окружающей среды, для наблюдения за уровнем и площадью озёр и водохранилищ, мониторинга паводков и подтоплений. В последние годы для изучения площадей озёр широко используются архивные и оперативные данные, получаемые со спутников серии Landsat с периодичностью 16 дней. Однако пространственное разрешение мультиспектральных изображений, получаемых со спутников Landsat, составляет 30 м. С 2016 г. на регулярной основе с периодичностью съёмки в 10 дней стали доступны данные со спутника Sentinel-2A. Целью данной работы является анализ сезонной динамики площади озера Зайсан на основе спутниковых данных Landsat 8 и Sentinel-2.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Выполнить подбор и обработку спутниковых изображений Landsat 8 и Sentinel-2 за различные сезоны.
2. Провести выделение водной поверхности с использованием спектральных индексов.
3. Сравнить результаты, полученные по данным различных спутниковых систем.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Пространственное разрешение изображений Sentinel-2 в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра составляет 10 м, что значительно лучше разрешения изображений Landsat. Более высокое разрешение изображений дает возможность использовать их для мониторинга небольших по площади озёр.

Точность определения площадей озёр зависит не только от пространственного разрешения изображений, но и от используемых методов выделения водной

поверхности. В настоящее время при выделении водной поверхности пиксели изображений, как правило, жестко разделяются на водные и неводные. При этом наличие смешанных граничных пикселей, которые захватывают как воду, так и сушу, может приводить к существенным ошибкам при определении площадей водоемов, а также к расхождениям между результатами различных методов выделения водной поверхности. Вода обычно имеет отличительные характеристики от обычной земли или растительности на радиолокационных изображениях, что позволяет идентифицировать области затопления. В радиоволновом диапазоне (которые используются в радиолокации), вода является поглощающим материалом. Поэтому на радиолокационных изображениях водные поверхности, такие как озера, реки или другие водоемы, обычно отображаются темнее, чем суша или другие объекты на поверхности Земли. Это отличие в яркости или рассеянной радиоволновой энергии позволяет идентифицировать и выделять водные участки на радиолокационных изображениях.

Объектом исследования стало озеро Зайсан, расположенное на востоке Казахстана. В работе была вычислена площадь озера на основе снимков Landsat 8 и Sentinel 2 в апреле и июле 2025 г.



Рисунок 1. Озеро Зайсан

В работе были использованы водные индексы: NDWI (нормализованный разностный водный индекс), MNDWI (модифицированный нормализованный разностный водный индекс). Их формулы показаны в таблице 1.

Таблица 1. Многоспектральные индексы, используемые для определения водных объектов

Индекс	Формула расчета	Диапазон значений
Normalized Difference Water Index	$NDWI = (GREEN - NIR) / (GREEN + NIR)$	Вода имеет положительное значение
Modified Normalized Difference Water Index	$MNDWI = (GREEN - MIR) / (GREEN + MIR)$	Вода имеет положительное значение

Обработка данных осуществлялась в программе ArcGIS с применением спутниковых снимков Landsat 8 и Sentinel 2. Информация о спектральных диапазонах и пространственных разрешениях спутниковых снимках приведены в таблице 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе проведённого исследования была выполнена обработка спутниковых снимков Sentinel-2 и Landsat 8 за апрель и июль 2025 г. с использованием водных индексов NDWI и MNDWI. Полученные тематические карты позволили визуально выделить границы водной поверхности озера Зайсан и оценить их сезонные изменения. Для снимка Sentinel-2 был использован водный индекс NDWI, который используется для выявления и анализа водных объектов на спутниковых снимках. Для его вычисления необходимы каналы 3 и 8, которые имеют разрешение в 10 м. Формула будет следующая:

$$\text{NDWI} = (\text{B3} - \text{B8}) / (\text{B3} + \text{B8}). \quad (1)$$

Таблица 2. Описание спектральных каналов Landsat 8 и Sentinel-2

Sentinel-2 Band	Resolution (m)	Central Wavelength (nm)	Description	Landsat Band	Description	Wavelength (μm)	Resolution (m)
B1	60	443	Ultra-Blue (Coastal/Aerosol)	Band 1	Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
B2	10	490	Blue	Band 2	Blue	0.45 - 0.51	30
B3	10	560	Green	Band 3	Green	0.53 - 0.59	30
B4	10	665	Red	Band 4	Red	0.64 - 0.67	30
B5	20	705	Visible and Near Infrared (VNIR)	Band 5	Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
B6	20	740	Visible and Near Infrared (VNIR)	Band 6	Shortwave Infrared (SWIR 1)	1.57 - 1.65	30
B7	20	783	Visible and Near Infrared (VNIR)	Band 7	Shortwave Infrared (SWIR 2)	2.11 - 2.29	30
B8	10	842	Visible and Near Infrared (VNIR)	Band 8	Panchromatic	0.50 - 0.68	15
B8a	20	865	Visible and Near Infrared (VNIR)	Band 9	Cirrus	1.36 - 1.38	30
B9	60	940	Short Wave Infrared (SWIR)	Band 10	Thermal Infrared (TIRS 1)	10.6 - 11.19	100 (resampled to 30)
B10	60	1375	Short Wave Infrared (SWIR)	Band 11	Thermal Infrared (TIRS 2)	11.50 - 12.51	100 (resampled to 30)
B11	20	1610	Short Wave Infrared (SWIR)				
B12	20	2190	Short Wave Infrared (SWIR)				

В итоге значения больше 0 будут соответствовать воде, а значения меньше 0 покажут сушу (почва, застройка). А при помощи снимков Landsat 8 применялся модифицированный нормализованный разностный водный индекс (MNDWI). Данный индекс более эффективен по сравнению с индексом NDWI, поскольку убирает характеристики застроенных территорий, которые часто коррелируют с открытой

водой в других индексах. Для расчета используются зеленый и SWIR-каналы. Индекс используется для тех же целей, что и NDWI, и рассчитывается по формуле:

$$\text{MNDWI} = (\text{B3} - \text{B6}) / (\text{B3} + \text{B6}). \quad (2)$$

Значения индекса колеблются в диапазоне от - 1 до 1. Обводненные участки имеют значения больше 0. Результаты показаны на рисунках 2 и 3. В результате проведенной работы уменьшение площади озера в период апреля по июль 2025 г. по данным Landsat 8 составило 86,54 км², а по спутниковым данным Sentinel-2 наблюдалось уменьшение площади в 78,28 км².

Различия в полученных значениях могут быть обусловлены как разницей пространственного разрешения снимков, так и особенностями алгоритмов обработки. Sentinel-2, обладая более высокой детализацией, фиксирует более точные границы, в то время как Landsat 8 даёт сглаженные значения.

Полученные результаты также свидетельствуют о том, что сезонная динамика площади озера Зайсан имеет выраженный характер. Снижение площади в летний период может быть связано с увеличением испарения, уменьшением притока воды, а также влиянием климатических факторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С использованием космических снимков Landsat 8 и Sentinel-2 выполнено сопоставление пространственных характеристик водной поверхности озера Зайсан в зимний и летний периоды на основе водных индексов NDWI и MNDWI. Анализ показал, что методы дистанционного зондирования Земли являются эффективным инструментом для мониторинга водных объектов. Использование различных спектральных индексов позволяет достоверно выделять водную поверхность и отслеживать её изменения во времени. Сравнительный анализ показал наличие различий в площади озера в зависимости от сезона наблюдений. Данные Sentinel-2 обеспечивают более высокую детализацию, что делает их предпочтительными для детального картографирования, тогда как Landsat 8 остаётся надёжным источником информации для анализа долгосрочных изменений. По результатам проведённых расчётов установлено, что в июле 2025 г. площадь озера Зайсан оказалась меньше по сравнению с февралем того же года. Зафиксированное сокращение акватории может быть связано с сезонными особенностями водного режима, включая изменение уровня притока, интенсивность испарения в тёплый период и перераспределение водных масс. Итоги сравнения показаны в таблице 3.

Таблица 3. Площадь озера Зайсан в разных временных периодах

Спутник \ Период	Апрель	Июль
Landsat 8	3110.49 км ²	3023.95 км ²
Sentinel-2	3067.62 км ²	2989.34 км ²

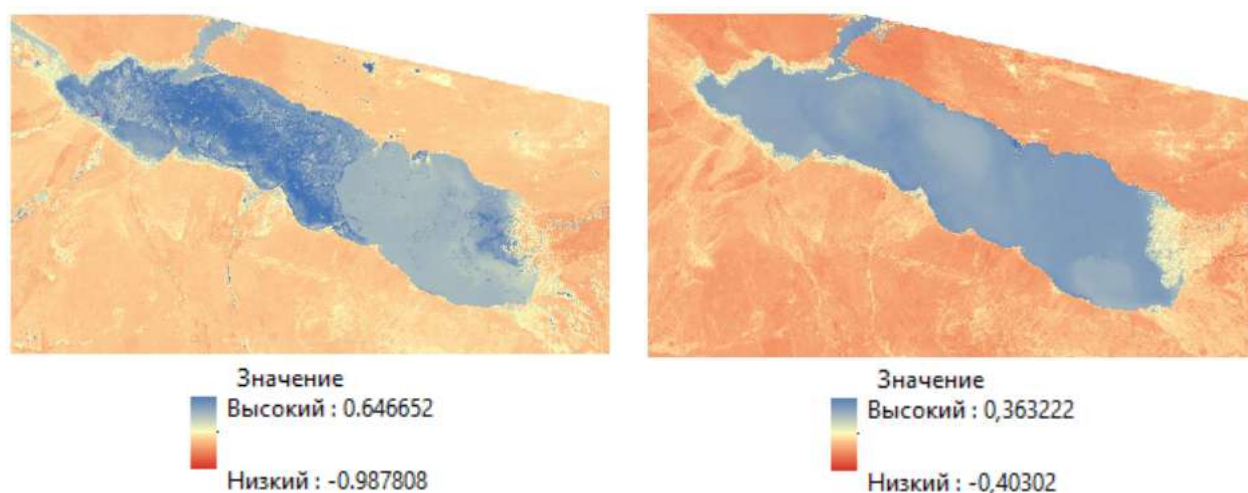


Рисунок 2. Индекс MNDWI озера Зайсан (апрель и июль, 2025 г.)

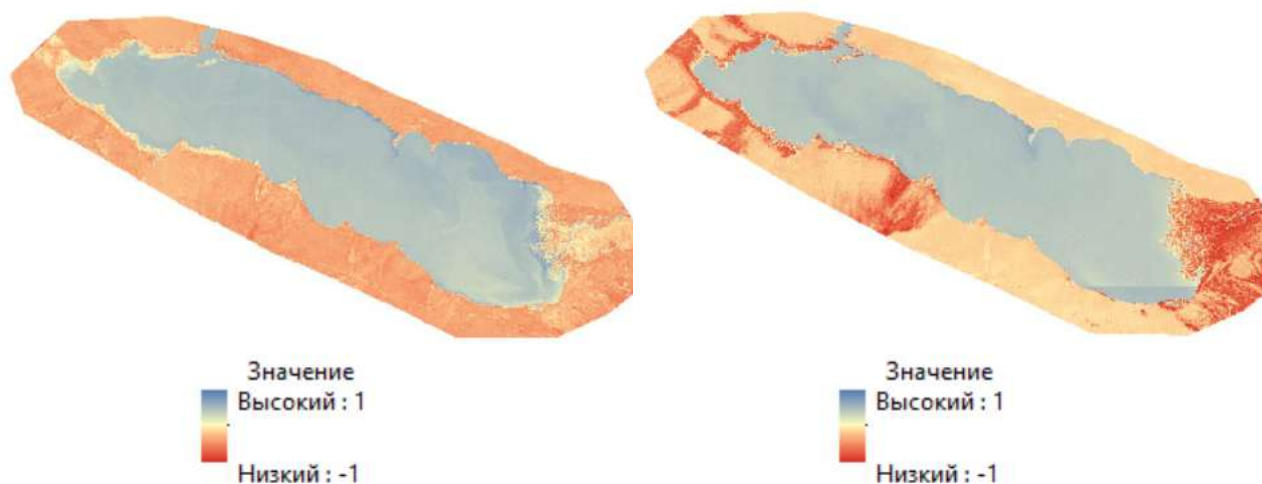


Рисунок 3. Индекс NDWI озера Зайсан (апрель и июль, 2025 г.)

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО

ИНТЕЛЛЕКТА: В ходе написания научной статьи применялся искусственный интеллект для редактирования и структурирования текста.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Морозова, В.А. Расчет индексов для выявления и анализа характеристик водных объектов с помощью данных дистанционного зондирования. / В.А. Морозова // *Современные проблемы территориального развития*: электрон. журн. - 2019. <https://cyberleninka.ru/article/n/raschet-indeksov-dlya-vyyavleniya-i-analiza-harakteristik-vodnyh-obektov-s-pomoschyu-dannyh-distantsionnogo-zondirovaniya> // Morozova, V.A. Raschet indeksov dlya vyyavleniya i analiza harakteristik vodnyh ob'ektov s pomoshch'yu dannyh distancionnogo zondirovaniya. / V.A. Morozova // *Sovremennye problemy territorial'nogo razvitiya*: ehlektron. zhurn. - 2019. <https://cyberleninka.ru/article/n/raschet-indeksov-dlya-vyyavleniya-i-analiza-harakteristik-vodnyh-obektov-s-pomoschyu-dannyh-distantsionnogo-zondirovaniya>
- Катаев, М.Ю., Бекеров, А.А. Методика обнаружения водных объектов по многоспектральным спутниковым измерениям. // *Доклады ТУСУС*. 2017.

<https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-obnaruzheniya-vodnyh-obektov-po-mnogospektralnym-sputnikovym-izmereniyam> // Kataev, M.Yu., Bekerov, A.A. Metodika obnaruzheniya vodnyh ob"ektov po mnogospektral'nyh sputnikovym izmereniyam. // *Doklady TUSUS*. 2017. <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-obnaruzheniya-vodnyh-obektov-po-mnogospektralnym-sputnikovym-izmereniyam>

Курганович, К.А., Носкова, Е.В. Использование водных индексов для оценки изменения площадей водного зеркала степных содовых озер юго-востока Забайкалья, по данным дистанционного зондирования. // *Вестник Забайкальского государственного университета*, 2015, 6(121), 16 - 24. <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-vodnyh-indeksov-dlya-otsenki-izmeneniya-ploschadey-vodnogo-zerkala-stepnyh-sodovyh-ozer-yugo-vostoka-zabaykalya-po-dannym> // Kurganovich, K.A., Noskova, E.V. Ispol'zovanie vodnyh indeksov dlya ocenki izmeneniya ploschadej vodnogo zerkala stepnyh sodovyh ozer yugo-vostoka Zabajkal'ya, po dannym distancionnogo zondirovaniya. // *Vestnik Zabajkal'skogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, 6(121), 16 - 24. <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-vodnyh-indeksov-dlya-otsenki-izmeneniya-ploschadey-vodnogo-zerkala-stepnyh-sodovyh-ozer-yugo-vostoka-zabaykalya-po-dannym>

Ruzikulova, O., Sharipov, Z., Samatova, G., Safarov, E., Ergasheva, Y., Tadjekiev, Z., Jumaeva, Sh., Abdurakhmanova, M. Comparative Analysis of Sentinel-2 MSI and Landsat-8 OLI for Enhanced Land Monitoring // *E3S Web of Conferences*. 2024. Vol. 590. Art. 04009. https://www.researchgate.net/publication/385775196_Comparative_Analysis_of_Sentinel-2_MSI_and_Landsat-8_OLI_for_Enhanced_Land_Monitoring

Мейрамбек, Г., Рахимбаева, Д.Ж., Рысбеков, К.Б., & Ержанқызы, А. (2024). Мониторинг изменения береговой линии Каспийского моря методом водного индексирования на основе геопространственных данных. // *Горный журнал Казахстана*, 11, 23 - 31. https://minmag.kz/wp-content/uploads/2024/12/2411_23-31.pdf // Meyrambek, G., Rakhimbayeva, D.Zh., Rysbekov, K.B., & Erzhankyzy, A. (2024). Monitoring izmeneniya beregovoj linii Kaspijskogo morya metodom vodnogo indeksirovaniya na osnove geoprostranstvennyh dannyh. // *Gornyj zhurnal Kazahstana*, 11, 23 - 31. https://minmag.kz/wp-content/uploads/2024/12/2411_23-31.pdf

ЭКОЛОГО–ХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ПОД ВЛИЯНИЕМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

УДК 504.75

А.Д. Акилбаева^{1*}, О.А. Петрова¹

¹ ВКТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Акилбаева Анастасия Дмитриевна,

e-mail: akilbaevaanastasia@gmail.com

АННОТАЦИЯ. Статья посвящена исследованию влияния металлургического предприятия на экологические и химические показатели водных ресурсов города Усть-Каменогорск, на примере реки Ульба. В исследовании рассматриваются особенности производственного процесса, связанные с использованием и сбросом воды, состав сточных вод, степень загрязненности водных горизонтов и их способность накапливать тяжелые металлы. В рамках исследования проводится анализ современных методик оценки качества подземных и поверхностных вод, а также анализируется потенциал водных экосистем региона к самоочищению. Отдельное внимание уделяется изучению химического состава грунтовых вод, концентрации загрязняющих веществ и скорости их распространения, уровню техногенной нагрузки и степень отклонения от нормативов. Основная область исследования — это поиск наилучших доступных технологий водоподготовки и водоочистки, направленные на минимизацию ущерба окружающей среде, а также визуализация экологического риска при помощи ГИС-картирования.

Ключевые слова: водные ресурсы, качество воды, загрязняющие вещества, экосистемы, техногенная нагрузка, водоочистка.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях интенсивной антропогенной нагрузки в г. Усть-Каменогорск актуальной проблемой является загрязнение водных ресурсов. Около 80% производства города приходится на металлургическую промышленность, где вода является важнейшим технологическим ресурсом. Водные горизонты, находящиеся в непосредственной близости от источников загрязнения, попадают в особую группу риска, поскольку в процессе металлургического производства образуются сточные воды, содержащие тяжелые металлы, сульфаты, нефтепродукты, взвешенные вещества и другие токсичные компоненты, способные изменять химический состав как поверхностных, так и подземных вод.

Накопление загрязняющих веществ в экосистемах несет особые риски для здоровья населения и всех представителей биоразнообразия, жизнедеятельность которых связана с загрязненным водным объектом. Особый интерес вызывают виды и количество загрязняющих веществ, способных проникать в грунтовые воды, ведь именно подземные воды имеют очень низкую способность к самоочищению, но в то же время, в некоторых районах города используются населением как основной источник бытового водоснабжения. Усиленный рост водопользования в сочетании с усилением водной эрозии, может стать причиной проблемы обеспечения пресной водой, пригодной для питья, орошения, коммунального хозяйства и промышленности.

В условиях ужесточения экологических требований и перехода к экологически ориентированному производству, комплексная экологическая и химическая оценка качества вод приобретает стратегическое значение. Она позволяет своевременно

выявить отклонения от нормативов, оценить степень техногенного воздействия со стороны металлургического комплекса и разработать меры по предотвращению дальнейшей деградации водных ресурсов. Рациональное и экологичное использование подземных и поверхностных водных ресурсов и их охрана имеют ключевое значение для устойчивого развития общества.

В связи с этим, объектом исследования были выбраны поверхностные воды реки Ульба (15-й километр) и грунтовые воды (используемые для хозяйственно – бытовых нужд в таких населенных пунктах, как пос. Старая Согра, пос. Радужный, с. Винное), находящиеся в зоне воздействия металлургического предприятия АО «УКТМК».

Целью является всестороннее изучение влияния промышленной деятельности на качество водных ресурсов (химический состав, концентрации загрязняющих веществ, уровни техногенной нагрузки и степень отклонения от нормативов), выявление основных источников и факторов загрязнения, а также разработка научно обоснованных подходов и практических рекомендаций по снижению уровня загрязнения вод промышленными предприятиями и повышению эффективности системы экологического контроля.

Для достижения поставленной цели в первую очередь необходимо проанализировать состояние исследуемых водных ресурсов (р. Ульба и грунтовые воды в жилых районах близ металлургического предприятия «УКТМК», использующих скважинный метод водоснабжения) и определить степень их загрязнения. Далее следует выявить основные источники и типы загрязнителей, поступающих в поверхностные и подземные воды с промышленными сточными водами. Для полноты исследования необходимо проанализировать динамику и закономерности распространения загрязняющих веществ в водных экосистемах, а также их влияние на гидробиологические и санитарно-гигиенические показатели водоёмов и грунтовых вод. Оценить эффективность действующих систем очистки сточных вод на промышленных предприятиях и выявить их недостатки для дальнейшей разработки рекомендаций по оптимизации водоохранных мероприятий, внедрению экологически безопасных технологий и улучшению системы мониторинга водных ресурсов. В заключение необходимо обосновать социальную необходимость и экономическую выгоду экологической модернизации промышленности, направленные на сокращение антропогенной нагрузки на гидросферу.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Район исследования представляет собой территорию, находящуюся в зоне воздействия металлургического предприятия АО «УКТМК». В работе исследуется загрязнение поверхностных вод реки Ульба (15-й километр) и грунтовые воды, используемые для хозяйственно–бытовых нужд в таких населенных пунктах, как пос. Старая Согра, пос. Радужный, с. Винное. Область исследования показана на рисунке 1.

Для проведения исследования составлена программа полевых работ, которая предполагает отбор проб подземных и поверхностных вод в зоне потенциального воздействия металлургического предприятия (АО «УКТМК»). Отбор проб должен осуществляться в соответствии с требованиями национальных стандартов Республики Казахстан и методическими рекомендациями по контролю качества природных вод. Точки отбора формировались с учетом гидрогеологических условий, направления поверхностного и подземного стока, а также удаленности от источника техногенного воздействия. Пробы воды должны быть отобраны в чистые полиэтиленовые емкости, предварительно промытые исследуемой водой. При необходимости проба консервируется азотной кислотой до pH <2 для предотвращения изменения химического состава.

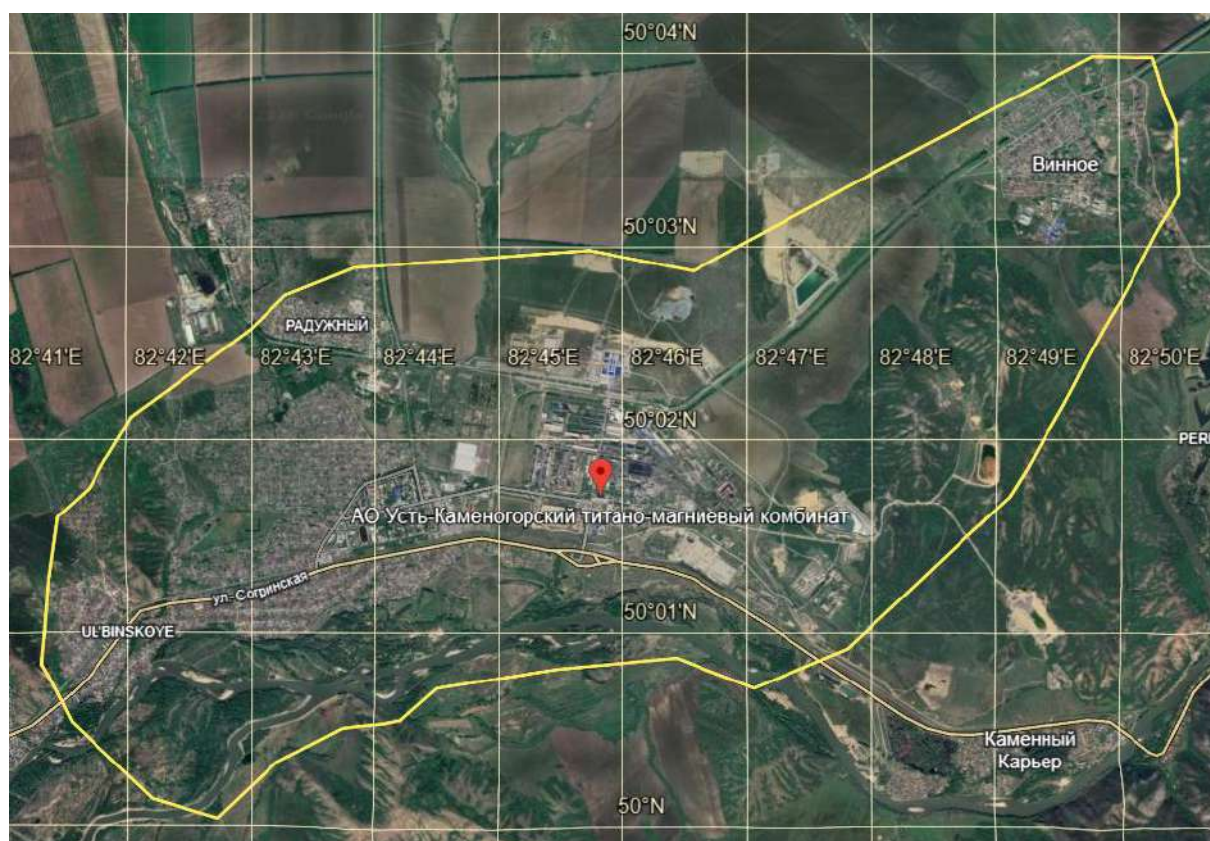


Рисунок 1. Область исследования поверхностных и подземных вод в районе АО «УКТМК»

Далее пробы доставляются в лабораторию ВКТУ, где анализ химического состава воды будет проведен методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) на приборе Agilent 7500cx ICP- MS (Agilent Technologies).

Масс-спектрометрия (МС) – один из самых широко применяемых аналитических методов в науке, промышленности и контроле качества благодаря уникальному сочетанию высокой чувствительности, специфичности, универсальности и информативности. Метод ICP-MS позволяет обнаруживать вещества в крайне малых концентрациях (на уровне мкг/л и ниже), что очень важно при выявлении следов загрязнителей в воде. Данный метод позволяет определять молекулярную массу, элементный и изотопный состав, структуру веществ, а также их концентрацию в пробе. Метод основан на измерении отношения массы иона к его заряду.

Принцип работы масс-спектрометра заключается в том, что образец переводят в газовую фазу и ионизируют — превращают молекулы или атомы в заряженные частицы (обычно положительные ионы). Далее ионы ускоряют и разделяют в электрическом или магнитном поле по величине m/z . Лёгкие ионы отклоняются сильнее, тяжёлые — слабее. В зависимости от типа анализатора разделение происходит по-разному (по траектории, по времени пролёта и т.д.).

На последнем этапе ионы попадают на детектор (чаще всего электронный умножитель), который регистрирует их количество и преобразует в электрический сигнал. Результат — масс-спектр: график зависимости интенсивности сигнала (количества ионов) от отношения m/z .

В ходе исследования будут определены концентрации приоритетных загрязняющих элементов (Fe, Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Cr, As и др.). Полученные результаты будут сравниваться с предельно допустимыми концентрациями для водных объектов хозяйственно-питьевого, культурно-бытового и рыбохозяйственного водопользования

согласно нормативам Республики Казахстан, включая требования санитарных правил и экологических стандартов контроля качества воды. Обработка и интерпретация результатов будет выполнена с применением статистических методов и сравнительного анализа с нормативными значениями.

Для анализа пространственного распределения загрязняющих веществ будет применен метод геоинформационного картографирования (ГИС-картирование). Результаты химического анализа проб воды, полученные для отдельных точек отбора, будут привязаны к географическим координатам и отображены на цифровой карте исследуемой территории с использованием геоинформационных технологий. Такой подход позволит визуализировать распределение концентраций элементов, выявить участки повышенного загрязнения и оценить влияние металлургического предприятия на состояние поверхностных и подземных вод.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение качества воды в природном водоёме требует учета гораздо большего количества показателей, чем для питьевой воды. При оценке качества природных вод должен быть представлен полный анализ воды, что позволит судить о ее пригодности для различных целей и сделать выбор соответствующих методов ее обработки.

Основной документ для оценки качества воды в Казахстане — Единая система классификации качества воды в поверхностных водных объектах (утверждена приказом Министра водных ресурсов и ирригации РК № 111-НҚ от 4 июня 2025 года, применяется с 2025–2026 гг.). РГП «Казгидромет» в своих отчётах контролирует до 60 физико-химических показателей, плюс иногда гидробиологические, токсикологические и микробиологические.

Учитывая, что исследуемая область находится вблизи ведущего производителя титана и магния особое внимание уделяется превышению концентрации тяжёлых металлов (Fe, Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Cr, и др.). Даже небольшое отклонение от норматива в поверхностных и подземных водах несет серьезные экологические и санитарно-гигиенические риски. Нормативы для хозяйственно-питьевого водопользования (соответствует СанПиН РК) приведены в таблице 1

Таблица 1. Нормативы содержания металлов для хозяйственно-питьевого водопользования

Элемент	ПДК, мг/л
Fe (железо общее)	0,3 (до 1,0)
Cu (медь)	1,0
Zn (цинк)	5,0
Pb (свинец)	0,03
Cd (кадмий)	0,001
Ni (никель)	0,1
Cr (хром общий)	0,05–0,5
As (мышьяк)	0,05

Такие элементы относятся к приоритетным загрязнителям, потому что они не разлагаются в природе, накапливаются в осадках, организмах и пищевой цепи, а при попадании в организм человека вызывают острые и хронические заболевания (таблица 2)

Таблица 2. Основные последствия для здоровья при превышении ПДК

Элемент	Основные последствия при превышении ПДК (ВОЗ)
Pb (свинец)	Поражение ЦНС, снижение IQ у детей, анемия, гипертония, почечная недостаточность, канцероген
Cd (кадмий)	Почечная недостаточность, болезнь «итай-итай» (размягчение костей), рак лёгких, почек, простаты
As (мышьяк)	Рак кожи, лёгких, мочевого пузыря; «чёрная стопа», сердечно-сосудистые заболевания, неврологические расстройства
Cr (хром, особенно Cr ⁶⁺)	Рак лёгких и ЖКТ, раздражение кожи, язвы, поражение печени и почек
Ni (никель)	Аллергии, рак носа и лёгких, респираторные заболевания
Cu (медь)	Токсический гепатит, почечная недостаточность, желудочно-кишечные расстройства
Zn (цинк)	Нарушение всасывания меди и железа, тошнота, иммунодефицит
Fe (железо)	Эстетические проблемы (вкус, цвет), при очень высоких дозах — гемохроматоз, повреждение печени

Кроме того, тяжёлые металлы токсичны для водных организмов. Даже при низких концентрациях существуют такие риски, как угнетение роста и размножения гидробионтов, нарушение дыхания и осморегуляции, накопление металлов в тканях и переход по пищевой цепи, нарушение микробиологических процессов в донных отложениях и многое другое.

Важно брать во внимание и экономические риски: дорогостоящая очистка воды, снижение урожайности сельхозкультур (при орошении загрязнённой водой), убытки рыбного хозяйства, рост расходов на здравоохранение.

Учитывая все вышеперечисленные факторы и на основе проведенного анализа необходимо разработать ряд рекомендаций, направленных на снижение негативного воздействия на водный объект. В частности, предлагается разработка и внедрение мероприятий по совершенствованию системы очистки сточных вод, усилению экологического контроля и внедрению регулярного мониторинга качества вод. Также обоснована необходимость применения природоохраных технологий и рационального водопользования на предприятии. Применение современных методов анализа, включая геоинформационные технологии, позволит получить более точную и наглядную оценку пространственного распределения загрязнений, что повышает эффективность экологического контроля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе исследования проанализированы основные источники антропогенного воздействия на поверхностные и грунтовые воды в исследуемой области, среди которых ведущая роль принадлежит промышленным сбросам предприятия. Установлено, что в исследуемом районе наблюдается ухудшение качества воды, проявляющееся в повышенных концентрациях тяжёлых металлов и других загрязняющих веществ.

Практическая значимость данного исследования заключается в изучении и подборе наилучших доступных технологий для снижения концентрации тяжёлых металлов в поверхностных, подземных водах и сточных водах. Это комбинация методов, признанных эффективными, экономически целесообразными и экологически обоснованными. При внедрении мероприятий по очистке водных горизонтов вблизи предприятий горно-металлургического комплекса ориентируются на предотвращение

загрязнения у источника и многоступенчатую очистку стоков перед сбросом в водоёмы. Кроме минимизации сбросов у источника рекомендуются мероприятия по управлению осадком: обезвоживание, стабилизация, извлечение металлов или безопасное захоронение.

Практическая значимость включает в себя возможность использования полученных результатов для разработки природоохранных мероприятий, совершенствования системы мониторинга и принятия управленческих решений в области охраны окружающей среды.

Для дальнейшего наблюдения за состоянием вод необходим мониторинг в режиме реального времени (онлайн-анализаторы металлов). С целью визуализации распределения загрязняющих веществ предлагается применить геоинформационные технологии для пространственного анализа загрязнения водных объектов. В результате анализа будут выявлены зоны повышенного загрязнения в районе воздействия металлургического предприятия. Максимальные концентрации тяжёлых металлов будут приурочены к участкам, результаты исследования будут наглядно представлены на карте экологического риска. Экологические карты являются эффективным инструментом оценки состояния окружающей среды, обеспечивают наглядное представление экологической ситуации, способствует принятию обоснованных управленческих решений и повышает эффективность природоохранных мероприятий.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: При подготовке данной статьи не использовались технологии генеративного искусственного интеллекта. Авторы несут полную ответственность за точность, достоверность и оригинальность представленной информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Кодекс Республики Казахстан от 2 января 2021 года № 400-VI «Экологический кодекс Республики Казахстан». URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2100000400>.
- Приказ Министра здравоохранения РК от 20 февраля 2023 года № 26 «Об утверждении Санитарных правил «Санитарно-эпидемиологические требования к водоисточникам, местам водозабора для хозяйственно-питьевых целей, хозяйственно-питьевому водоснабжению и местам культурно-бытового водопользования и безопасности водных объектов». URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500010774>
- ГОСТ Р 51592-2000 — Вода. Общие требования к отбору проб
- Арынова Ш. Ж., Чидунчи И. Ю. Экологический мониторинг. URL: <https://textbook.tou.edu.kz/books/213/1.html>.
- Б.Байзолданов. Токсикологическая химия: учебник Алматы: Эверо 2021, - 240с
- Петряков, В. В. Экологический мониторинг : методические указания. – Кинель : РИО СГСХА, 2019. – 35 с.
- Сафонов А. И. Экологический мониторинг : Учебник. – Донецк : ДонНУ, 2018. – 469 с.
- РГП Казгидромет Официальный сайт URL: <https://www.kazgidromet.kz/ru/ecology/ob-ekologicheskoy-monitoringe>

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ СОРБЕНТА

УДК 628.32

Аманкельды К.К.^{1*}, Даумова Г.К.¹

¹ ВКТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Аманкельды Камила Кайраткызы,

e-mail: kamilaamankeldy@gmail.com

АННОТАЦИЯ. Данная статья посвящена экспериментальному исследованию физико-механических и коллоидно-химических свойств природных алюмосиликатов на примере бентонитовой глины 11 горизонта Таганского месторождения с целью оценки её потенциала для доочистки сточных вод гальванического производства от ионов тяжёлых металлов. Цель исследования определить сорбционные характеристики материала и установить факторы, ограничивающие эффективность его применения в водоочистных технологиях. В работе использованы стандартные методы определения реологических и фильтрационных показателей, индексов набухания и водопоглощения, коллоидальности, содержания монтмориллонита, а также ёмкости катионного обмена.

Полученные результаты показали, что исследуемая глина характеризуется низкими реологическими показателями, высоким объёмом фильтрата и ограниченной способностью к набуханию, что свидетельствует о слабом развитии коллоидной структуры. При содержании монтмориллонита 20,5 % ёмкость катионного обмена составила 23 мг/г, что указывает на наличие умеренного ионообменного сорбционного потенциала. Установлено, что эффективность использования материала в процессах очистки сточных вод ограничена доступностью активной поверхности.

Научная новизна работы заключается в комплексной оценке взаимосвязи структурных, коллоидных и сорбционных характеристик глины конкретного горизонта месторождения. Результаты могут быть использованы для обоснования методов активации природных алюмосиликатов и разработки технологий глубокой очистки промышленных сточных вод.

Ключевые слова: природные алюмосиликаты, бентонитовая глина, сточные воды, сорбция, коллоидальность, водоочистка.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность диссертации обусловлена тем, что в процессе производства на металлообрабатывающих предприятиях образуется значительное количество сточных вод, представляющих серьёзную опасность для окружающей среды. Особенно актуальна данная проблема для гальванического производства, являющегося одним из крупнейших потребителей воды, сточные воды которого отличаются высокой вредностью и токсичностью. Загрязнение поверхностных и подземных вод ионами тяжёлых металлов представляет собой важную экологическую проблему, особенно в отношении водоемов питьевого и рыбохозяйственного назначения. В этой связи использование бентонитовых глин, обладающих высокими сорбционными свойствами, вызывает значительный научный и практический интерес. Их способность эффективно поглощать тяжёлые металлы, а также широкая доступность и низкая стоимость делают данные природные материалы перспективными для применения в системах водоочистки.

Настоящая работа направлена на экспериментальную оценку физико-механических и коллоидно-химических свойств бентонитовой глины 11 горизонта

Таганского месторождения с точки зрения её сорбционного потенциала.

Цель исследования - установить взаимосвязь между минералогическим составом, структурными характеристиками и сорбционной способностью природного алюмосиликата. В ходе исследования были поставлены задачи:

- определить реологические, фильтрационные и гидратационные показатели глины;
- оценить содержание монтмориллонита и ёмкость катионного обмена;
- проанализировать влияние выявленных характеристик на эффективность возможной сорбции ионов металлов.

В настоящей работе исследовалась бентонитовая глина Таганского месторождения, с целью определения физико-химических и сорбционных свойств. Полученные результаты направлены на углубление теоретических представлений о механизмах сорбции природными алюмосиликатами и обоснование путей повышения их эффективности в технологиях очистки сточных вод.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являлась бентонитовая глина 11 горизонта Таганского месторождения (Восточный Казахстан). Материал относится к природным алюмосиликатам осадочного происхождения и характеризуется наличием монтмориллонитовой фазы. Отбор образцов осуществлялся из продуктивной толщи месторождения.

Перед проведением испытаний глина очищалась от механических примесей, высушивалась при температуре $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ до постоянной массы, измельчалась и просеивалась через сито с размером ячейки 0,071 мм. Для приготовления суспензий использовалась дистиллированная вода, соответствующая требованиям нормативных документов.

В работе применялось следующее лабораторное оборудование:

- сушильный шкаф с поддержанием температуры $105\text{--}110^\circ\text{C}$;
- ротационный вискозиметр прямого считывания;
- фильтр-пресс низкого давления;
- лабораторная стеклянная посуда.

Исследования проводились в лабораторных условиях в соответствии с требованиями нормативных документов.

Для оценки физико-механических свойств определялись: массовая доля влаги (метод высушивания до постоянной массы), эффективная вязкость и показания вискозиметра при 600 об/мин, объём фильтрата методом фильтрации под давлением.

Гидратационные свойства оценивались по индексам набухания и свободного набухания (объёмный метод), а также по коэффициенту водопоглощения методом перехода системы «паста–суспензия».

Коллоидно-химические характеристики определялись по показателю коллоидальности (седиментационный метод), массовой доле монтмориллонита (адсорбционно-титриметрический метод с органическими красителями) и ёмкости катионного обмена (ионообменное титрование с использованием метилового фиолетового).

Выбор методов обусловлен их воспроизводимостью, нормативной регламентацией и возможностью комплексной оценки структурных и сорбционных характеристик глинистого материала. Все испытания проводились в параллельных определениях с последующей статистической обработкой результатов.

Представленная методика обеспечивает достаточную точность и позволяет воспроизвести полученные экспериментальные данные при аналогичных условиях проведения исследований.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведённых лабораторных исследований были получены физико-механические и физико-химические характеристики глины 11 горизонта Таганского месторождения. Основные экспериментальные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1. Физико-механические и физико-химические показатели глины 11 горизонта

№ п/п	Показатель	Метод определения	Единица измерения	Значение
1	Эффективная вязкость	Ротационный вискозиметр	мПа·с	1
2	Показатель вискозиметра при 600 об/мин	Ротационный вискозиметр	Деление шкалы	0
3	Объем фильтрата	Фильтрация под давлением	см ³	93
4	Индекс набухания	Объемное набухание в воде	мл/2г	8
5	Индекс свободного набухания	Свободное набухание в воде	мл/2г	6
6	Водопоглощение	Метод перехода «паста–суспензия»	г/г	0,9
7	Коллоидальность	Седиментационный метод	%	16
8	Массовая доля монтмориллонита	Адсорбционно-титриметрический метод (органические красители)	%	20,5
9	Ёмкость катионного обмена	Ионообменный титриметрический метод (метиловый фиолетовый)	мг/г	23

В ходе экспериментальных исследований установлено, что глина 11 горизонта Таганского месторождения характеризуется низкой эффективной вязкостью (1 мПа·с) и отсутствием выраженных показаний вискозиметра при 600 об/мин. Полученные данные свидетельствуют о слабом развитии пространственной структуры в системе «глина–вода» и ограниченной способности частиц к структурообразованию.

Объём фильтрата составил 93 см³, что указывает на высокие фильтрационные потери и низкую водоудерживающую способность материала. В сравнении с высокоактивными натриевыми бентонитами, для которых характерны существенно меньшие значения фильтрации, исследуемая глина демонстрирует пониженные барьерные свойства. Это подтверждает гипотезу о слабом развитии коллоидной фракции и ограниченной гидратации частиц.

Индекс набухания составил 8 мл/2 г, индекс свободного набухания — 6 мл/2 г, водопоглощение — 0,9 г/г. Эти значения ниже показателей, характерных для бентонитов с высоким содержанием монтмориллонита (15–20 мл/2 г и выше). Полученные результаты свидетельствуют о недостаточном раскрытии межслоевых пространств и ограниченной способности глины к объемному увеличению. Снижение набухаемости напрямую влияет на сорбционные процессы, поскольку уменьшает доступность активной поверхности и ионообменных центров.

3. Коллоидно-химические показатели и сорбционный потенциал

Коллоидальность глины составила 16 %, содержание монтмориллонита — 20,5 %, ёмкость катионного обмена — 23 мг/г. Эти показатели указывают на наличие умеренного ионообменного потенциала, однако его реализация ограничена структурными особенностями материала. В сопоставлении с литературными данными

для высокоактивных бентонитов исследуемый материал демонстрирует более низкие значения, что объясняется меньшей долей монтмориллонитовой фазы и повышенной агрегированностью частиц.

Полученные результаты подтверждают выдвинутую гипотезу о том, что сорбционная эффективность природных алюмосиликатов определяется не только содержанием монтмориллонита, но и степенью развития коллоидной структуры. Научная новизна работы заключается в комплексном анализе взаимосвязи реологических, фильтрационных и коллоидно-химических характеристик глины конкретного горизонта месторождения с её потенциальной сорбционной активностью.

В дальнейшем целесообразно исследовать влияние кислотной, щелочной или термической активации на увеличение ёмкости катионного обмена и развитие коллоидной структуры, а также провести испытания в условиях, приближенных к промышленным.

Таким образом, результаты исследования логично согласуются с поставленной целью и демонстрируют, что глина 11 горизонта Таганского месторождения обладает умеренным сорбционным потенциалом, реализация которого требует дополнительной модификации материала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведённого исследования была достигнута поставленная цель - выполнена комплексная оценка физико-механических и коллоидно-химических свойств бентонитовой глины 11 горизонта Таганского месторождения и определён её сорбционный потенциал в контексте возможного применения для очистки сточных вод от ионов тяжёлых металлов. Решены задачи по определению реологических, фильтрационных и гидратационных показателей, установлено содержание монтмориллонита и величина ёмкости катионного обмена, а также проанализирована взаимосвязь полученных характеристик с эффективностью сорбционных процессов.

Экспериментально установлено, что исследуемая глина характеризуется низкой структурообразующей способностью, высокой фильтрационной проницаемостью и ограниченной набухаемостью. При содержании монтмориллонита 20,5 % ёмкость катионного обмена составила 23 мг/г, что свидетельствует о наличии умеренного ионообменного потенциала. Вместе с тем выявлено, что ограничивающим фактором сорбционной активности является слабое развитие коллоидной структуры и недостаточная доступность активной поверхности.

Научная новизна работы заключается в комплексном анализе взаимосвязи физико-механических и коллоидно-химических характеристик глины конкретного горизонта месторождения с её потенциальной сорбционной способностью. Полученные результаты уточняют критерии оценки природных алюмосиликатов и расширяют представления о факторах, влияющих на эффективность сорбции.

Практическая значимость исследования состоит в возможности использования полученных данных при выборе и предварительной оценке природных глин для водоочистных технологий, а также при разработке методов их активации и модификации. Ограничением работы является проведение испытаний в лабораторных условиях без моделирования реальных многокомпонентных сточных вод.

Перспективы дальнейших исследований связаны с изучением влияния различных методов активации на увеличение ёмкости катионного обмена и развитие коллоидной структуры, а также с проведением испытаний в условиях, приближенных к промышленным.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ: Авторы выражают благодарность ТОО «Алтайский геолого-экологический институт» за предоставление методологической поддержки и исследовательской базы.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: Авторы научной статьи не использовали инструменты искусственного интеллекта (ИИ) при подготовке своей работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 28177–89. Глины бентонитовые. Методы испытаний. — М. : Издательство стандартов, 1989.
- ГОСТ 6709–72. Вода дистиллированная. Технические условия. — М. : Издательство стандартов, 1972.
- ГОСТ 1770–74. Цилиндры, мензурки, колбы мерные стеклянные. Общие технические условия. — М. : Издательство стандартов, 1974.
- СТ ТОО 040440028186-006-2023. Глина бентонитовая Таганского месторождения. Методы определения физико-механических свойств. — Таган, 2023.
- СТ ТОО 040440028186-010-2023. Глина бентонитовая Таганского месторождения. Методы определения физико-химических показателей. — Таган, 2023.
- СТ ТОО 040440028186-016-2022. Глина бентонитовая Таганского месторождения. Методы подготовки проб для лабораторных исследований. — Таган, 2022.
- ТУ 08.12.22-025-41219638-2020. Глина бентонитовая Таганского месторождения. Технические условия. — Таган, 2020.
- Сапаргалиев Е.М. Тагансорбент – уникальный лекарственный препарат на основе бентонитовых глин Восточного Казахстана // Вестник МН-АН РК. – Алматы, 1997. № 1. – С. 24–34.
- Кирсанов Н.В., Раттев М.А., Сабитов А.А. и др. Генетические типы и закономерности распространения месторождений бентонитов в СССР. – М., 1981.
- Кравченко М.М. Бентонитовые глины // Геология СССР. Восточный Казахстан. Полезные ископаемые. – М., 1974. – С. 369–375.

ТАЙЖҮЗГЕН КЕН ОРНЫНЫҢ ЦЕОЛИТІН ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ АУЫЗ СУДЫ ТАЗАЛАУДЫ ЗЕРТТЕУ

ӨОЖ 628.32

А.Н. Атажанова^{1*}, Г.К. Даумова¹

¹Д.Серікбаев атындағы ШҚТУ, Өскемен қ., Қазақстан Республикасы

*Автор-корреспондент: Атажанова Ардақ Наурызқызы,

e-mail: ardak040694@gmail.com

АНДАТПА. Бұл жұмыста Тайжүзген кен орнының табиғи цеолитін пайдалану арқылы ауыз суды ауыр металл иондарынан тазарту мүмкіндігі зерттелді. Зерттеу объектісі ретінде Өскемен қаласының Защита ауданынан алынған ауыз су үлгілері қолданылды. Эксперименттер динамикалық режимде жүргізіліп, сорбент ретінде алдын ала өңделмеген табиғи цеолит пайдаланылды. Pb(II), Cu(II) және Zn(II) иондарының концентрациялары индуктивті байланысқан плазма әдісімен масса-спектрометриялық анықтау әдісімен анықталды. Нәтижелер көрсеткендей, цеолиттің сорбциялық тиімділігі металл түріне және өткізілген су көлеміне тәуелді. Ең жоғары тазарту дәрежесі бастапқы кезеңде байқалып, кейін сорбенттің қанығуына байланысты төмендейтіні анықталды. Қорғасын иондарының сорбциясы мыс пен мырышқа қарағанда жоғары екені байқалды. Жүргізілген зерттеу табиғи цеолиттердің ауыз суды тазартуда қолдануға болатын перспективалы сорбент екенін көрсетті және олардың динамикалық режимдегі жұмыс тиімділігін бағалауға мүмкіндік берді. Жұмыстың ғылыми маңызы табиғи сорбенттердің сорбциялық қасиеттерін бағалау арқылы су тазарту технологияларын жетілдіруге бағытталған. Ал практикалық тұрғыдан Тайжүзген кен орнының цеолитін жергілікті су тазарту жүйелерінде қолдану экологиялық және экономикалық жағынан тиімді шешім бола алады. Бұл нәтижелер болашақта кең көлемде тәжірибелік қолдануға негіз болады.

Түйінді сөздер: ауыз су, су сапасы, сорбция, динамикалық режим, цеолит, Тайжүзген кен орны

КІРІСПЕ

Су – адамның тіршілігін, қоғамдық денсаулықты және аймақтардың тұрақты дамуын қамтамасыз ететін стратегиялық табиғи ресурс. Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымы ауыз су сапасының нашарлауы халық денсаулығына тікелей қауіп төндіретінін, ал химиялық ластағыштардың, соның ішінде ауыр металдардың, ауыз су қауіпсіздігін бағалауда маңызды фактор болып табылатынын көрсетеді. Өсіресе өнеркәсіптік аймақтарда су көздерінің техногендік ластануы күшейіп, су дайындау технологияларына қойылатын талаптарды арттырып отыр [1].

Ауыр металдармен ластану қазіргі су экологиясындағы өзекті мәселелердің бірі болып саналады, себебі қорғасын, мыс, мырыш және басқа да металл иондары табиғи ортада ыдырамайды, су экожүйелерінде жинақталады және ұзақ мерзімді уытты әсер көрсетуі мүмкін. Ауыр металдардың судағы миграциясы олардың ерігіштігіне, рН мәніне, минералдық құрамға және су ортасының иондық күшіне тәуелді екені белгілі [2]. Осыған байланысты ауыз судан металл иондарын төмендетуге бағытталған арзан, қолжетімді және экологиялық қауіпсіз сорбенттерді іздеу ғылыми тұрғыдан да, практикалық тұрғыдан да маңызды болып отыр.

Суды тазартудың перспективалы бағыттарының бірі – табиғи цеолиттерді пайдалану. Цеолиттер кеуекті құрылымы, жоғары меншікті беті, катион алмастыру қабілеті және салыстырмалы түрде төмен құны арқасында ауыр металл иондарын, аммонийді және басқа да ластағыштарды судан бөліп алуда тиімді материалдар

ретінде қарастырылады. Соңғы шолу мақалаларында клиноптилолит типті табиғи цеолиттердің су тазарту саласында ең жиі қолданылатын сорбенттердің бірі екені және олардың сорбциялық қасиеттері кен орнының минералогиялық ерекшеліктеріне тәуелді екені атап өтілген [3-5].

Әдебиеттерге жасалған талдау табиғи цеолиттердің ауыр металл иондарын судан бөліп алуда жоғары әлеуетке ие екенін көрсетті. Шетелдік еңбектерде табиғи және модификацияланған цеолиттердің сорбциялық қасиеттері кеңінен қарастырылса, отандық зерттеулерде [6-8] қазақстандық кен орындары цеолиттерінің аймақтық шикізат көзі ретіндегі маңызы мен олардың практикалық қолданылу мүмкіндігі айқындалған. Осыған байланысты жергілікті табиғи цеолиттерді пайдалану ауыз суды тазарту технологияларын арзандатуға және өңірлік экологиялық мәселелерді шешуге ықпал етуі мүмкін.

Тайжүзген кен орнының цеолиттерін ауыз суды тазартудағы тиімділігін жергілікті су көздері негізінде бағалау ғылыми жағынан орынды.

Шығыс Қазақстан өңірі түсті металлургия кәсіпорындары шоғырланған аймақтардың бірі болғандықтан, ауыз су сапасына әсер ететін техногендік жүктеме мәселесі ерекше назар аударуды қажет етеді. Осындай жағдайда жергілікті минералдық ресурстарға негізделген арзан сорбенттерді пайдалану су тазартудың экологиялық және экономикалық тұрғыдан ұтымды шешімі болуы мүмкін. Сондықтан Тайжүзген кен орнының табиғи цеолиттерінің сорбциялық қасиеттерін зерттеу ауыз суды ауыр металл иондарынан тазарту технологияларын жетілдіру үшін өзекті болып табылады.

Осы жұмыстың мақсаты – Тайжүзген кен орнының табиғи цеолиттерін пайдалана отырып, Өскемен қаласының Защита ауданынан алынған ауыз су үлгілерін ауыр металл иондарынан тазарту тиімділігін бағалау. Зерттеу барысында су сапасының бастапқы көрсеткіштері анықталып, табиғи цеолиттердің сорбциялық белсенділігі динамикалық режимде зерттеліп, қорғасын, мыс және мырыш иондарының төмендеу дәрежесі бағаланды.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Зерттеу объектісі ретінде Өскемен қаласының Защита ауданындағы ауыз су көздерінен алынған су үлгілері пайдаланылды. Су сынамалары су сапасының нақты жағдайын сипаттау үшін бірнеше нүктеден алынып, зертханаға жеткізілгенге дейін талапқа сай таңбаланып, сақталды. Су сынамаларын іріктеу, тасымалдау және сақтау кезінде су сапасын зерттеуге арналған халықаралық ұсынымдардың жалпы қағидаттары бойынша жүргізілді [9].

Сорбент ретінде Шығыс Қазақстанда орналасқан Тайжүзген кен орнының табиғи цеолиті қолданылды. Қолданар алдында цеолит үлгілері бөгде қоспалардан тазартылып, кептірілді, ұсақталып, біркелкі түйіршік фракциясына келтірілді.

Зерттеу барысында мыс, мырыш және қорғасын иондарының сорбциясы қарастырылды, себебі бұл металдар техногендік ластануға тән және су сапасының санитарлық-гигиеналық бағалауында маңызды индикаторлар болып табылады. Су үлгілеріндегі осы иондардың бастапқы және тазартудан кейінгі концентрациялары салыстырылып, цеолиттермен ауыз судың тазарту тиімділігі бағаланды.

Зерттеу жұмысы зертханалық жағдайда жүргізілді және химиялық, физикалық-химиялық, сорбциялық және есептік-аналитикалық әдістер кешені қолданылды. Алдымен ауыз су үлгілерінің бастапқы сапалық көрсеткіштері анықталды. Су сапасын анықтау үшін су талдауының жалпы қабылданған стандартты әдістемелік тәсілдері пайдаланылды.

Pb(II), Cu(II) және Zn(II) иондарының концентрациясын анықтау индуктивті байланысқан плазма әдісімен масса-спектрометриялық анықтау (ICP-MS) арқылы жүргізілді [10].

Динамикалық режимде тәжірибелер сорбентпен толтырылған шыны колоннада орындалды. Су үлгісі колонна арқылы 50 мл/мин шығынмен өткізілді, ал сүзіндіден 50, 100, 150 және 200 дм³ тазартылған су көлемдері өткен сайын сынамалар алынып, Pb(II), Cu(II) және Zn(II) иондарының концентрациялары анықталды.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ТАЛҚЫЛАНУЫ

Динамикалық режимдегі белсендірілмеген цеолитпенауыз судың құрамындағы Pb(II), Cu(II) және Zn(II) иондарының сорбциясының эксперименттік зерттеу нәтижелері 1-3-кестелерде және 1 суретте келтірілген.

Кесте 1. Ауыз судың құрамындағы Zn(II) иондарының сорбциясының эксперименттік зерттеу нәтижелері

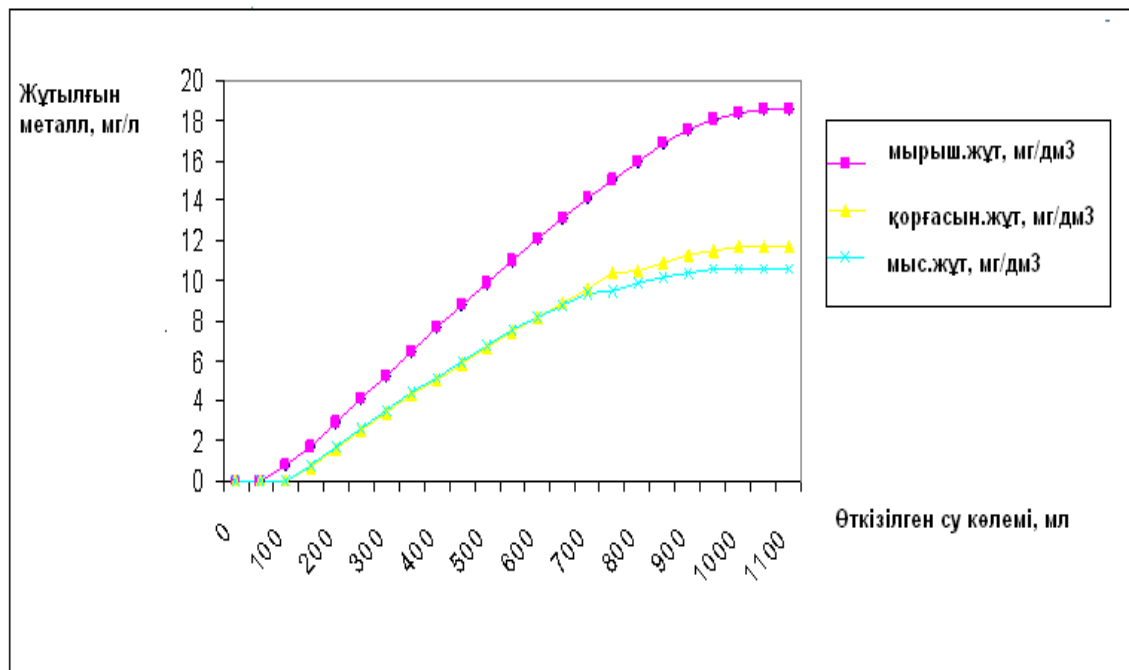
№	Өткізілген су көлемі, мл	C _{Zn} , мг/дм ³	Мырыш ионының жұтылуы, мг/дм ³	Тазалау дәрежесі, α, %
1	0	5,0	0	100
2	50	5,1	0	100
3	100	4,2	0,8	81
4	150	4,1	1,7	58,5
5	200	3,8	2,9	23,7

Кесте 2. Ауыз судың құрамындағы Pb(II)иондарының сорбциясының эксперименттік зерттеу нәтижелері

№	Өткізілген су көлемі, мл	C _{Pb} , мг/дм ³	Қорғасын ионының жұтылуы, мг/дм ³	Тазалау дәрежесі, α, %
1	0	5,0	0	100
2	50	5,0	0	100
3	100	5,0	0	100
4	150	4,3	0,7	83,72
5	200	4,1	1,6	60,97
6	250	4,1	2,5	39,02
7	300	4,1	3,4	17,07

Кесте 3. Ауыз судың құрамындағы Cu(II)иондарының сорбциясының эксперименттік зерттеу нәтижелері

№	Өткізілген су көлемі, мл	C _{Cu} , мг/дм ³	Мыс ионының жұтылуы, мг/дм ³	Тазалау дәрежесі, α, %
1	0	5,0	0	100
2	50	5,0	0	100
3	100	5,0	0	100
4	150	4,2	0,8	81
5	200	4,1	1,7	58,5
6	250	4,1	2,6	36,58
7	300	4,1	3,5	14,63



Сурет 1. Динамикалық режимдегі белсендірілмеген цеолитпен модельді ерітіндінімен өңдеу кезіндегі мырыш, мыс, қорғасын иондарының концентрацияларының жұтылуы

Келтірілген эксперимент нәтижелерінен белсендірілмеген цеолиттің жалпы динамикалық алмасу сыйымдылығы қорғасыннан мыс пен мырышқа ауысқан кезде (1 сурет) төмендейтіні анықталды.

Динамикалық режимде ауыр түсті металдардың сорбциялық мәні жоғары еместігін ескере отырып, табиғи суды тазалау дәрежесі керекті мәнге ие болатындай етіп, максималды жылдамдықты орнату керек екенін атап өтуге болады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Жүргізілген зерттеу нәтижесінде Тайжүзген кен орнының табиғи цеолитінің ауыз суды ауыр металл иондарынан тазартудағы тиімділігі анықталды. Динамикалық режимде жүргізілген тәжірибелер сорбция процесінің тиімділігі уақытқа және өткізілген су көлеміне тәуелді екенін көрсетті. Зерттеу нәтижелері бойынша қорғасын иондарының сорбциясы ең жоғары, ал мыс пен мырыш иондары үшін салыстырмалы түрде төмен екені анықталды. Сонымен қатар сорбенттің қанығуына байланысты тазарту дәрежесінің біртіндеп төмендейтіні байқалды. Бұл нәтижелер табиғи цеолиттердің қолданылу тиімділігі процестің параметрлеріне тәуелді екенін дәлелдейді.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы табиғи цеолиттердің сорбциялық қасиеттерін ауыз суды ауыр металл иондарынан тазарту мақсатында зерттеу және олардың тиімді қолдану мүмкіндігін анықтаумен байланысты. Алынған нәтижелер суды тазарту саласындағы ғылыми зерттеулерді дамытуға және табиғи сорбенттерді қолдану арқылы экологиялық қауіпсіз технологияларды жетілдіруге үлес қосады.

Зерттеу нәтижелерінің практикалық маңызы табиғи цеолиттерді ауыз суды тазарту жүйелерінде қолдану мүмкіндігімен анықталады. Бұл материалдарды жергілікті су тазарту қондырғыларында, сүзгі жүйелерінде және ауыз суды қосымша тазарту технологияларында пайдалануға болады. Сонымен қатар зерттеу барысында кейбір шектеулер анықталды, атап айтқанда сорбция процесінің тиімділігі су құрамына және процестің жүргізілу режиміне тәуелді болуы мүмкін.

Болашақта бұл бағыттағы зерттеулер цеолиттердің сорбциялық қасиеттерін арттыру әдістерін зерттеуге, табиғи сулардың әртүрлі құрамындағы ластаушы заттарды жою тиімділігін анықтауға және сорбциялық тазарту технологияларын жетілдіруге бағытталуы мүмкін.

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ: Авторлар мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

АЛҒЫС: Авторлар Дәулет Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінің «Veritas» артықшылық орталығына алғыс білдіреді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ:

- WHO. Drinking-water https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water?utm_source
- Rajendiran, D. (2025).. Heavy Metals on the Move: From Land to Water: Sources and Transfer Dynamics. In: Mehmood, M.A., Bhat, R.A., Dar, G.H. (eds) *Global Perspectives of Toxic Metals in Bio Environs*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-89725-2_4
- Velarde, L, Nabavi, M.S., Escalera, E., Antti M-L., Akhtar F. (2023). Adsorption of heavy metals on natural zeolites: A review. *Chemosphere*, 328, 138508. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138508>.
- Abdelwahab, O., Thabet W.M. (2023). Natural zeolites and zeolite composites for heavy metal removal from contaminated water and their applications in aquaculture Systems: A review. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 49(4), 431-443. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2023.11.004>.
- Kumari, S., Chowdhry, J., Kumar, M., Garg M.C. (2024). Zeolites in wastewater treatment: A comprehensive review on scientometric analysis, adsorption mechanisms, and future prospects. *Environmental Research*, 260, 119782. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119782>
- Zahid, M., Doszhanov, Y., Saurykova, K., Ahmadi, N., Bolatova, D., Kurmanbayeva, M., Aydarbek, A., Ihsas, R., Seitzhanova, M., Akhmetzhanova, D. (2025). Modification and Application of Natural Clinoptilolite and Mordenite from Almaty Region for Drinking Water Purification. *Molecules*, 30, 2021. <https://doi.org/10.3390/molecules30092021>
- Mambetova, M., Dossumov, K., Baikhamurova, M., Yergaziyeva, G. (2024). Sorbents Based on Natural Zeolites for Carbon Dioxide Capture and Removal of Heavy Metals from Wastewater: Current Progress and Future Opportunities. *Processes*, 12, 2071. <https://doi.org/10.3390/pr12102071>
- Kuldeyev, E., Seitzhanova, M., Tanirbergenova, S., Tazhu, K., Doszhanov, E., Mansurov, Z., Azat, S., Nurlybaev, R., Berndtsson, R. (2023). Modifying Natural Zeolites to Improve Heavy Metal Adsorption. *Water*, 15, 2215. <https://doi.org/10.3390/w15122215>
- ISO 5667-1:2020 Water quality - Sampling - Part 1, https://www.iso.org/standard/72369.html?utm_source
- СТ РК ИСО 17294-2-2006. Качество воды. Применение масс-спектрометрии и индуктивно-связанной плазмы (ИСП-МС) Часть 2: Определение 62 элементов//ST RK ISO 17294-2-2006. Kachestvovody. Primenenie mass-spektrometrii i induktivno-svjazanno j plazmoj (ISP-MS) Chast' 2: Opredelenie 62 jelementov. https://prg.kz/document/?doc_id=30371803&pos=22;274

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ НЕЗАКОННЫХ РУБОК ЛЕСА НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ

УДК 004.8

Д.Т. Алматова^{1*}, А.А. Калачев¹, С.С. Лутай¹

¹ВКТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

*Алматова Дина Турениязовна, dina.almatova@mail.ru

АННОТАЦИЯ. В статье рассматриваются возможности применения методов искусственного интеллекта для выявления незаконных рубок леса на основе анализа спутниковых снимков. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности мониторинга лесных ресурсов и своевременного обнаружения нарушений лесного законодательства. Предложен подход, основанный на использовании спутниковых данных и алгоритмов машинного обучения для выявления изменений лесного покрова. Описаны основные этапы обработки данных, включая получение спутниковых изображений, их предварительную обработку и классификацию. Показано, что использование искусственного интеллекта позволяет значительно повысить точность и оперативность выявления незаконных рубок по сравнению с традиционными методами.

Ключевые слова: искусственный интеллект, спутниковые снимки, лесное хозяйство, незаконные рубки, машинное обучение, дистанционное зондирование Земли.

ВВЕДЕНИЕ

Лесные ресурсы играют важную роль в поддержании экологического баланса, сохранении биоразнообразия и обеспечении экономического развития.

Восточно-Казахстанская область является основной лесосырьевой базой. Здесь сосредоточены основные запасы лесов, возможных к промышленной эксплуатации - это более 50% от общих запасов Республики Казахстан.

Согласно учету лесного фонда на 01.01.2025 г. площадь государственного лесного фонда Восточно-Казахстанской составляет 3 миллиона 8 тысяч га, в т.ч. покрытая лесом 1 669 762 га. Лесистость области составляет 16,5%.

Государственный лесной фонд области распределен:

- «Управление природных ресурсов и регулирования природопользования Восточно-Казахстанской области» акимата ВКО в составе 13 коммунальных государственных учреждений лесного хозяйства - площадь 2 млн. 153 тысяч га;
- «Маркакольский государственный природный заповедник» - площадь 102,971 тысяч га;
- «Западно-Алтайский государственный природный заповедник» - площадь 86,122 тысяч га;
- «Катон-Карагайский государственный национальный природный парк» - площадь 643,477 тысяч га;
- Восточно-Казахстанский филиал Акционерного общества национальная компания «КазАвтоЖол» – 3,3 тысяч га.

Однако одной из серьезных проблем современного лесного хозяйства является незаконная вырубка леса, приводящая к деградации экосистем и значительным экономическим потерям.

Традиционные методы контроля, такие как наземные проверки и патрулирование, требуют значительных затрат времени и ресурсов, а также не всегда позволяют эффективно контролировать удаленные и труднодоступные территории.

Кроме того, большой проблемой является незаинтересованность

правоохранительных органов в выявлении фактов незаконных рубок леса. Так, при выявлении незаконных рубок сотрудниками Инспекции, КГУ лесного хозяйства, природоохранных учреждений при невыявлении нарушителей, материалы передаются в правоохранительные органы.

В результате зачастую затягиваются сроки рассмотрения материалов, и как следствие уголовные и административные дела прекращаются в связи со сроком давности и за отсутствием в деянии уголовного правонарушения.

Как показывает практика, в 90% случаях дела по незаконным рубкам леса, переданные в отделы полиции, прекращаются в связи со сроком давности. Так, например, из зарегистрированных на территории Восточно-Казахстанской области в 2023 году 49 случаев незаконных рубок леса, нарушители выявлены только в 10 случаях. В 2024 году из зарегистрированных 18 случаев незаконных рубок леса, нарушители выявлены только в 4 случаях. В 2025 году из зарегистрированных 8 случаев незаконных рубок леса, нарушители выявлены только в 5 случаях.

В связи с этим возникает необходимость внедрения современных технологий, способных обеспечить непрерывный мониторинг лесных массивов.

Современные достижения в области дистанционного зондирования Земли и искусственного интеллекта открывают новые возможности для автоматизированного анализа состояния лесных экосистем. Использование спутниковых снимков в сочетании с алгоритмами машинного обучения позволяет выявлять изменения лесного покрова и обнаруживать признаки незаконной вырубki.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является разработка подхода к применению методов искусственного интеллекта для выявления незаконных рубок леса на основе анализа спутниковых данных.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- 1) изучить современные методы дистанционного мониторинга лесов;
- 2) проанализировать возможности применения алгоритмов машинного обучения;
- 3) разработать алгоритм выявления изменений лесного покрова;
- 4) оценить эффективность предложенного подхода.

В рамках исследования предлагается использовать комплексный подход, включающий методы дистанционного зондирования Земли и алгоритмы искусственного интеллекта.

1. Источники данных

В качестве исходных данных используются спутниковые снимки, полученные с космических аппаратов, обеспечивающих регулярное наблюдение за поверхностью Земли. Используются мультиспектральные изображения, содержащие информацию о состоянии растительности. Спутниковые снимки предоставлены АО «Национальная компания «Қазақстан Ғарыш сапары» в рамках договора с Комитетом лесного хозяйства и животного мира Министерства экологии и природных ресурсов Республики Казахстан.

АО «Национальная компания «Қазақстан Ғарыш сапары» использует спутники KazEOSat-1 и KazEOSat-2, обеспечивающие получение высоко- и среднеразрешённых снимков Земли. В сочетании с современными методами обработки данных и алгоритмами искусственного интеллекта данные спутники позволяют эффективно осуществлять мониторинг лесных ресурсов и выявлять незаконные рубки на ранних стадиях.

2. Предварительная обработка данных

Обработка спутниковых изображений включает:

- коррекцию геометрических и радиометрических искажений;

- удаление облачности;
- нормализацию данных;
- выделение интересующих участков.

3. Расчет индекса растительности

Для анализа состояния лесного покрова используется индекс NDVI, рассчитываемый по формуле:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

где NIR — ближний инфракрасный канал, RED — красный канал.

4. Применение методов искусственного интеллекта

Для классификации изображений применяются алгоритмы машинного обучения, такие как:

- решающие деревья;
- случайный лес;
- нейронные сети.

Модель обучается на размеченных данных, содержащих информацию о наличии и отсутствии вырубок.

5. Анализ изменений

Сравниваются значения NDVI за разные периоды времени. Резкое снижение показателя интерпретируется как возможное удаление растительности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате сформирована база данных из спутниковых снимков Земли за несколько временных периодов, проведена их предварительная обработка, т. е. выполнены геопривязка изображений, атмосферная коррекция, маскирование облачности, приведение данных к единому формату.

Далее для каждого снимка рассчитан индекс растительности NDVI, позволяющий оценить состояние лесного покрова и данные значения сравниваются за разные периоды времени. Резкое снижение показателя интерпретируется как возможное удаление растительности.

Алгоритмы искусственного интеллекта применены для классификации изменений: выделяются участки вероятной вырубки, исключаются естественные изменения (пожары, сезонные колебания). Результатом является карта с географической привязкой, отображающая участки возможных незаконных рубок. Полученные данные передаются в лесоохранные и природоохранные учреждения для проведения проверки на месте.

Так, сравнены спутниковые снимки за разные временные периоды. Например, сравниваем снимок леса на территории квартала 122 выдела 3 Зимовского лесничества КГУ «Черемшанское лесное хозяйство» за 2023 год и тот же участок за 2024 год (рисунок 1).



А) До (2023 год)



Б) После (2024 год)

Рисунок 1. Снимок леса на территории квартала 122 выдела 3 Зимовского лесничества КГУ «Черемшанское лесное хозяйство»

Наглядно видно, что исчезла растительность, резко упал NDVI, поэтому система сразу фиксирует подозрительную вырубку, что позволяет обнаружить рубку даже в самых удалённых районах, сделать это автоматически и снизить человеческий фактор.

Применение предложенного подхода позволяет автоматически выявлять участки изменения лесного покрова. Использование алгоритмов искусственного интеллекта обеспечивает высокую точность классификации и снижает вероятность ошибок.

Результаты показывают, что:

- возможно выявление незаконных рубок на ранней стадии;
- снижается необходимость проведения частых наземных проверок;
- повышается эффективность мониторинга лесных территорий.

Особенно важным является применение данного подхода для контроля удаленных регионов, где традиционные методы наблюдения затруднены.

Так, в 2023 году в ходе совместной работы Восточно-Казахстанской областной территориальной инспекции лесного хозяйства и животного мира и АО «Национальная компания «Қазақстан Ғарыш сапары» при использовании искусственного интеллекта с применением спутниковых снимков выявлено 20 фактов незаконных рубок леса с общим ущербом 12661,1 тысяч тенге. В 2024 году выявлено 6 фактов незаконной рубки леса с общим ущербом 3681 тысяч тенге. В 2025 году по Восточно-Казахстанской области АО «Национальная компания «Қазақстан Ғарыш сапары» представлены 424 точки - сведения о возможных вырубках, выявленных по космоснимкам. Из 424 точек искусственный интеллект не выявил ни один факт незаконной рубки леса, что подтвердилось при натурном обследовании, т.к. имелись разрешительные документы на вырубку, обнаруживался естественный отпад, снеголомы, буреломы, погрузочные площадки, трелевочные волока, вырубки прошлых лет, некоторые участки при проверке оказались непокрытыми лесом землями, пастбищами, каменистыми склонами, участками без каких-либо признаков рубки или естественных процессов.

То есть, можно говорить о том, что с помощью применения искусственного интеллекта значительно уменьшено количество незаконных рубок, т.к. вырос контроль за проведением рубок леса, в том числе в отдаленных районах, которые ранее было невозможно проверить из-за отдаленности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практическая реализация метода выявления незаконных рубок леса в Восточно-Казахстанской области показывает, что использование спутниковых данных и методов искусственного интеллекта позволяет значительно повысить эффективность мониторинга лесных ресурсов. Внедрение подобных технологий способствует снижению уровня незаконной вырубки и обеспечивает устойчивое управление лесными экосистемами региона, а именно осуществлять мониторинг больших территорий в автоматическом режиме, выявлять нарушения на ранней стадии, сокращать затраты на наземные обследования, повышать эффективность контроля лесных ресурсов, обеспечивать объективность и прозрачность мониторинга.

Особенно важным является возможность контроля труднодоступных горных районов, где традиционные методы практически неэффективны.

Несмотря на высокую эффективность, метод имеет ряд ограничений: влияние облачности на качество снимков, сезонные изменения растительности (лиственный/хвойный лес), необходимость обучения модели на локальных данных, сложность различения рубок и последствий природных явлений.

Для повышения точности рекомендуется комбинировать данные разных спутников и использовать дополнительные источники информации.

В итоге, в статье рассмотрены возможности применения искусственного интеллекта для выявления незаконных рубок леса на основе спутниковых снимков. Предложенный подход позволяет автоматизировать процесс мониторинга и повысить точность анализа состояния лесных территорий.

Использование современных технологий дистанционного зондирования Земли и методов машинного обучения является перспективным направлением развития лесного хозяйства. Дальнейшие исследования могут быть направлены на повышение точности алгоритмов и расширение области их применения.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ: Авторы выражают благодарность ведущему специалисту АО «Национальная компания «Қазақстан Ғарыш сапары» Карабаевой А. А. за предоставленные спутниковые снимки и взаимное сотрудничество, заместителю руководителя Восточно-Казахстанской областной территориальной инспекции лесного хозяйства и животного мира Умутову Е. Е. за методологическую поддержку и полезные обсуждения, ценные замечания, способствовавшие улучшению качества статьи.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: В процессе подготовки данной статьи авторы использовали инструмент генеративного искусственного интеллекта ChatGPT (OpenAI) для помощи в формулировке текста, структурировании материала и редактировании: ChatGPT. (2026, March 27). Генерация текста, формулировка научной новизны, цели исследования и списка литературы для статьи по мониторингу лесов с использованием ИИ и спутниковых данных [Большая языковая модель]. OpenAI. <https://chat.openai.com/>.

Все результаты, выводы и интерпретации получены авторами самостоятельно, а использование ИИ носило вспомогательный характер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Irvin J., Sheng H., Ramachandran N. et al. ForestNet: Classifying drivers of deforestation using deep learning on satellite imagery // arXiv. – 2020.
- ChatGPT. (2026, March 27). Помощь в подготовке научной статьи по применению искусственного интеллекта и спутниковых данных в лесном хозяйстве [Большая языковая модель]. OpenAI. <https://chat.openai.com/>
- Markov N.G., Machuca C.R. Deep learning models and methods for solving the problems of remote monitoring of forest resources // Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. – 2024. – Vol. 335(6). – P. 55–74.
- Molnár T., Király G. Forest Monitoring Based on Sentinel-2 Satellite Imagery, Google Earth Engine Cloud Computing, and Machine Learning // Preprints. – 2023.
- Molnár T., Király G. Forest disturbance monitoring using cloud-based Sentinel-2 satellite imagery and machine learning // Journal of Imaging. – 2024. – Vol. 10(1).
- Monitoring Deforestation Using Satellite Imagery and Machine Learning // ResearchGate (научная публикация). – 2024.
- Ouaknine A., Kattenborn T., Laliberté E., Rolnick D. OpenForest: A data catalogue for machine learning in forest monitoring // arXiv. – 2023.
- Барталев С.А., Егоров В.А., Ершов Д.В. и др. Спутниковый мониторинг растительного покрова России. – М.: ИКИ РАН, 2015. – 248 с.
- Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О. Методология картографирования лесного

- покрова по данным спутниковых наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2016. – Т. 13. – №3. – С. 7–23.
- Бисенбаева С.Б., Мелисбек Ш.М., Баймукан Е.К. Обзор мониторинга лесов в Казахстане на основе наблюдения за Землей // Вестник Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева. – 2024. – №2. – С. 135–149.
- Блинов А.В., Мартынов А.А. Использование спутниковых данных для выявления незаконных рубок леса // Лесной журнал. – 2019. – №4. – С. 112–120.
- Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований. – М.: Академия, 2011. – 336 с.
- Коновалов В.Г., Сухих В.И. Дистанционное зондирование Земли в лесном хозяйстве. – М.: Лесная промышленность, 2014. – 256 с.
- Лупян Е.А., Барталев С.А., Балашов И.В. и др. Современные возможности и перспективы использования спутниковых данных дистанционного зондирования Земли в России // Исследование Земли из космоса. – 2011. – №6. – С. 3–18.
- Мальцев Г.А., Киселев А.В. Применение индекса NDVI для мониторинга состояния растительности // Геоматика. – 2017. – №2. – С. 45–50.
- Рафиков Т.К., Ерболкызы М., Жилдикбаева А. Применение данных дистанционного зондирования Земли и анализа NDVI в Восточно-Казахстанской области // Исследования, результаты. – 2024.
- Сагынбаева А.Б., Мамбетов Б.Т., Данчева А.В. Применение дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологий при изучении восстановления соснового леса (на примере ГЛПР «Семей орманы») // Исследования, результаты. – 2023.
- Сухих В.И., Коновалов В.Г. Космический мониторинг лесов: теория и практика. – М.: Наука, 2013. – 280 с.
- Федоров А.А., Козодеров В.В. Методы обработки и интерпретации спутниковых изображений. – М.: Физматлит, 2018. – 304 с.

СІБІР САМЫРСЫНЫНЫҢ (*Larix sibirica*) ӘРТҮРЛІ КЛИМАТТЫҚ ЖАҒДАЙЛАРДА ӨСУІ МЕН ДАМУЫ

ӨОЖ 630.232

М.Н. Аубакирова^{1*}, А.А. Калачев¹, С.С. Лутай¹

¹Д. Серікбаев атындағы ШҚТУ, Өскемен қ., Қазақстан

*Аубакирова Мөлдір Нұрболатқызы, e-mail: kassenova9797@gmail.com

АННОТАЦИЯ. Бұл жұмыс Қазақстан Алтайының географиялық мәдениеттері жағдайында сібір самырсынының (*Larix sibirica*) әртүрлі климатиптерінің адаптивтік құндылығын зерттеуге арналған. Зерттеудің өзектілігі аймақтың таулы орман өсіру жағдайлары мен климаттық өзгерістерге бейімделген, тұрақты және өнімді самырсыныны формаларын таңдаудың қажеттілігімен анықталады. Зерттеудің мақсаты — әртүрлі табиғи-климаттық аймақтардан алынған *Larix sibirica* климатиптерінің өсу көрсеткіштерін, өміршеңдігін және тұрақтылығын бірдей өсу жағдайларында салыстырмалы талдау негізінде бағалау. Зерттеу объектісі — Қазақстан Алтайының әртүрлі биіктік және географиялық аймақтарынан жиналған тұқымдардан алынған сібір лиственницасының климатиптері. Зерттеу пәні — географиялық мәдениеттер жағдайында климатиптердің өсуі мен дамуының адаптивтік және орманшылық ерекшеліктері. Зерттеу барысында ағаштардың өсуі мен күйін далалық бақылау, морфометриялық көрсеткіштерді (биіктік, диаметр, жылдық өсім) өлшеу, экологиялық күйзелістерге төзімділігін және зақымдану деңгейін талдау жоспарланған. Зерттеу нәтижелері аймақтың орман шаруашылығы үшін ең перспективалы климатиптерді анықтауға және орман тұқымдық ұсыныстарды әзірлеуге мүмкіндік береді деп болжанады. Алынған мәліметтер Қазақстан Алтайындағы орманды қалпына келтіру жұмыстарын жетілдіруге және ормандардың өнімділігін арттыруға қолданылуы мүмкін.

Түйінді сөздер: Қазақстан Алтайы, сібір лиственницасы (*Larix sibirica*), климатип, географиялық мәдениеттер, тіршілікке бейімделгіштік, сақталымдылық.

КІРІСПЕ

Посткеңестік кеңістіктегі ең перспективалы орман қалыптастырушы түрлердің бірі — сібір самырсыны (*Larix sibirica* Ledeb.). Сібір самырсыны (*Larix sibirica* Ledeb.) орман түзуші ең перспективалы ағаш тұқымдарының бірі болып саналады. Жыл сайын түсетін ұсақ қылқанының арқасында самырсын тығыз төсеніш қалыптастырады, бұл төменгі орман өрттерінің таралуын баяулатады, ал жоғары көтерілген ұшар басы мен діңнің бұтақтардан жақсы тазарғаны төменгі өрттердің жоғары өрттерге айналуын тежейді. Самырсынның осындай қасиеті жоғарғы орман өрттерін тоқтату үшін қарсы өрттік бөгеттер жасауға мүмкіндік береді. Қызығы, самырсын қайыңның бактериялық шіріндісі (бактериалды водянка) таралған ошақтарында орманды қалпына келтіру үшін қолданылып, мұнда ол жеткілікті жақсы өседі. Самырсынның жоғары бейімделгіштігі және Таймырдағы арктикалық орман-тундрадан бастап Қазақстан Республикасындағы бетегелі-арпабас шөлейт даласына дейінгі кең орман өсіру жағдайларында өсу мүмкіндігі оны табиғи ареалынан тыс жерлерге интродуцент ретінде пайдалануға мүмкіндік береді, сондай-ақ туынды қайың ормандарында қайта қалыптастыру кесулері арқылы бастапқы самырсын ормандарын қалпына келтіруге жағдай жасайды. Зерттеулер Қазақстан Алтайы — Қазақстандағы сібір самырсынының жалғыз табиғи ареалы екенін көрсетеді.

Бұл түрдің басымдылығы бар орман алқаптары Рудный Алтай, Оңтүстік Алтай және Саур таулы жүйелерінде таралған. Самырсын ормандарының абсолюттік бөлігі тайганың орта және жоғарғы белдеулеріне тән.

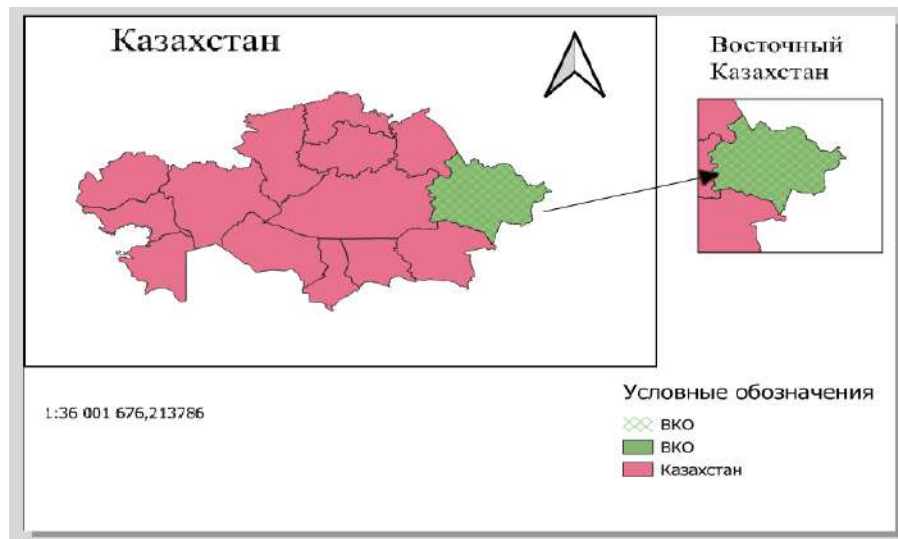
Төменгі белдеудің қолайлы жағдайларында самырсын бәсекеге төтеп бере алмай, сібір шыршасы және жапырақты жұмсақ ағаш түрлерімен ығыстырылады.

Қазіргі уақытта Қазақстан Алтайындағы самырсын ормандарының аумағы 197,4 мың га. Жас құрылымдары бойынша: жас ағаштар тек 2,0%-ды құраса, 100 жылдан асқан ормандардың үлесі 74,6%, оның ішінде 10-жастық кластан жоғары ормандар 26,8% құрайды. Бұл жағдай лиственница ормандарын жасарту қажеттілігін көрсетеді.

Самырсынның генетикалық қорын табиғатта да, коллекциялық отырғыларда да сақтау бойынша шаралар қабылдау қажет. Түр мен ішкітүрлік деңгейде зерттеу ең бейімделген түрлер мен шыққан тектерді анықтауға, сондай-ақ биологиялық әртүрлілікті ескере отырып, генофондты сақтау бойынша шаралар әзірлеуге мүмкіндік береді.

Өкінішке қарай, Қазақстан Республикасында самырсынның өсуі туралы деректер салыстырмалы түрде аз, бұл зерттеулер бағытының таңдалуына себеп болды.

Зерттеу Шығыс Қазақстан облысы аумағында жүргізіледі (сурет 1). Далалық жұмыстар КазНИИЛХ дендрологиялық паркінің тәжірибе учаскесінде орындалады. Бұл парк интродукцияланған ағаш түрлерін және олардың адаптивтік қасиеттерін зерттеу үшін модельдік нысан болып табылады.



Сурет 1. Зерттеу аймағы

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Жоспарланған жұмыс аясында зерттеу Қазақстан Алтайы аумағында жүргізіледі. Бұл аймақ климаттың айқын тік белдеулілігімен, ылғалдану мен температуралық режимнің жоғары контрасттылығымен ерекшеленеді. Аталған аумақты таңдау себебі — оның сібір лиственницасы (*Larix sibirica*) климатиптері арасындағы адаптивтік айырмашылықтарды анықтауға мүмкіндік беретін табиғи сынақ полигоны болып табылуы.

Қазақстан Алтайы экологиялық жағдайлардың кең спектрін қамтиды, бұл климатиптердің орта градиенттеріндегі реакцияларын зерттеуге мүмкіндік береді. Биіктік диапазоны 850–1800 м теңіз деңгейінен жоғары, бұл өсімдіктердің вегетациялық кезеңінің ұзақтығы мен жылулық жиынтықтарының өзгеруіне жағдай жасайды. Склон экспозицияларының әртүрлілігі инсоляция мен ылғалмен қамтамасыз етілу деңгейінің әсерін ескеруге мүмкіндік береді. Өңір климатының жылдар бойынша жоғары ауытқымалылығы климатиптердің стресс факторларына (құрғақшылық, суық жылдар және т.б.) төзімділігін талдау үшін маңызды.

Осындай әртүрлі табиғи жағдайларды таңдау климатиптердің реакцияларын салыстыруға және олардың адаптивтік құндылығын бағалауға негіз қалауға мүмкіндік береді.

Радиалды өсім мен климаттық факторлардың байланысын талдау үшін келесі климаттық ақпарат көздері қолданылуы жоспарлануда:

1. Аймақтық метеостанциялардың архивтері (Үлбі, Рахман қайнары, Зырян, Катон-Қарағай) — температура, жауын-шашын және қар қаптамасы бойынша нақты локальдық деректерді қамтамасыз етеді.

2. Ғаламдық климаттық базалар:

- *WorldClim 2.1* — экологиялық модельдеуде қолданылатын жоғары дәлдіктегі биоклиматтық айнымалылар; [9]

- *CRU TS 4* — ондаған жылдар бойы айлық температура мен жауын-шашын деректері, бұл ұзақ мерзімді тенденцияларды талдауға мүмкіндік береді. [6]

Локальдық және ғаламдық деректерді қолдану ағаштардың климатқа жоғары жиіліктегі (жылдар арасындағы) реакциясын салыстыруға мүмкіндік береді. Сондай-ақ климатиптердің шығу нүктелері арасындағы климаттық айырмашылықтарды ескеріп, ағаш діңінің климатқа реакциясын модельдеуде адаптивтік белгілерді анықтауға болады.

Зерттеуге бірнеше географиялық популяциялар (климатиптер) енгізілуі жоспарлануда, олар төмендегідей ерекшеленеді:

- шығу мекен-жайының ендік-бойлық орналасуы бойынша,
- ана ағаштарының өсу биіктігі бойынша,
- шығу ареалының орташа климаттық жағдайлары бойынша. [10]

Әр климатиптен 20–40 ағаш таңдалуы болжанады, бұл популяциялар арасындағы өзгергіштікті статистикалық тұрғыдан маңызды түрде салыстыруға мүмкіндік береді.

Климатиптердің адаптивтік құндылығын сапалы бағалау тек түрлі климаттық жағдайлардан алынған материалды салыстырғанда мүмкін болады. Репрезентативтік таңдау фенотиптік пластикалықты да, генетикалық адаптацияны да көрсететін айырмашылықтарды анықтауға мүмкіндік береді. Мұндай тәсіл географиялық мәдениеттерде және provenances-зерттеулерде кеңінен қолданылады (*Zobel & Talbert, 1984*).

Ағаштардың өсуі мен климатқа реакциясы туралы ақпарат алу үшін Пресслер бұрғысы арқылы радиалды өсім керндері биіктігі 1,3 м-де алынады — бұл өсім хронологиясын құруға арналған; шыршақ немесе қабық үлгілері — қажет болған жағдайда генетикалық немесе анатомиялық талдауға; жас бүршектер — фенологиялық ерекшеліктер мен жылдық өсім құрылымын бағалау үшін.

Почваны алу жоспарлануда 0–10 см және 10–30 см горизонтарынан, келесі көрсеткіштерді анықтау үшін: қышқылдығы (pH), гранулометриялық құрамы, органикалық зат мөлшері, N, P, K қоректік элементтерімен қамтамасыз етілуі.

Топырақ жағдайларын есепке алу қажет:

- өсімнің әртүрлі жағдайларының әсерін болдырмау үшін,
- өсу модельдеріне топырақ параметрлерін енгізу үшін,
- климатиптер арасындағы айырмашылықтардың пайда болуына абиотикалық факторлардың рөлін нақтылау үшін.

Зерттелген адаптациялық ерекшеліктер негізінде орта және жоғарғы таеждік белдеуде қолдануға бейімделген түрлер таңдалды.

Сонымен қатар, алынған материалдар мүмкіндік береді:

- «Қазақстан жаңа реалияда: іс-қимет уақыты» атты Президенттің Жолдауындағы бірқатар мәселелерді шешуге (2020 жылы 2 млн ағаш отырғызу), әсіресе селекция және тұқым шаруашылығы саласында;

- КазНИИЛХ дендрологиялық бақтарындағы самырсын

коллекцияларын тұқымдық және вегетативтік материал алу үшін негізгі отырғызу нысандары ретінде пайдалану;

- өсімдіктер эволюциясы, систематикасы және таксономиясы саласындағы кең ауқымды мәселелерді шешуге үлкен теориялық маңызға ие, атап айтқанда, сібір самырсынының таксономиялық мәртебесі мәселесін шешуге.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Зерттеу нәтижелері әртүрлі климатиптердің өсу қарқыны мен бейімделгіштігінде айтарлықтай айырмашылықтар бар екенін көрсетті.

Биіктік және диаметр бойынша жүргізілген өлшеулер нәтижесінде таулы аймақтардан шыққан климатиптердің өсу қарқыны жоғары екендігі анықталды. Сонымен қатар, олардың климаттық стресс факторларына төзімділігі де жоғары болды.

Төменгі биіктіктегі аймақтардан алынған климатиптерде өсу көрсеткіштері біршама төмен болғанымен, кейбір үлгілер құрғақшылыққа жақсы бейімделгенін көрсетті.

Климаттық деректерді талдау нәтижесінде радиалды өсім мен температура және жауын-шашын мөлшері арасында тікелей байланыс бар екендігі анықталды.

Алынған нәтижелер басқа зерттеулермен сәйкес келеді және климатиптердің генетикалық ерекшеліктері олардың бейімделу қабілетіне тікелей әсер ететінін дәлелдейді.

Бұл нәтижелер орман шаруашылығында нақты аймақтарға бейімделген отырғызу материалдарын таңдауға мүмкіндік береді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Жүргізілген зерттеу нәтижелері сібір лиственницасының (*Larix sibirica*) әртүрлі климаттық жағдайларда өсуі мен дамуы оның жоғары бейімделгіштік қасиеттеріне тікелей байланысты екенін көрсетті. Қазақстан Алтайы жағдайында әртүрлі климатиптердің өсу көрсеткіштері, өміршеңдігі және сыртқы орта факторларына төзімділігі арасында айтарлықтай айырмашылықтар байқалады.

Зерттеу барысында алынған мәліметтер климаттық факторлардың (температура, ылғалдылық, биіктік белдеулілік) ағаштардың өсу қарқынына және морфометриялық көрсеткіштеріне елеулі әсер ететінін дәлелдейді. Сонымен қатар, кейбір климатиптердің қолайсыз экологиялық жағдайларға жоғары төзімділік танытатыны анықталды, бұл оларды орман шаруашылығында пайдалану үшін перспективалы етеді.

Алынған нәтижелер негізінде Қазақстан Алтайы жағдайында орманды қалпына келтіру және орман өсіру жұмыстарында қолдануға болатын неғұрлым бейімделген және өнімді климатиптерді іріктеу мүмкіндігі бар.

Зерттеудің теориялық маңызы — сібір лиственницасының экологиялық бейімделу механизмдерін тереңірек түсінуге мүмкіндік беруінде. Ал практикалық маңызы — орман шаруашылығы саласында тиімді селекциялық және тұқым шаруашылық жұмыстарын жүргізуге негіз болуында.

Болашақта зерттеуді кеңейтіп, климатиптердің генетикалық ерекшеліктерін, сондай-ақ ұзақ мерзімді климаттық өзгерістер жағдайындағы олардың тұрақтылығын зерттеу ұсынылады.

МҮДДЕЛЕР ҚАРАМА-ҚАЙШЫЛЫҒЫ: Мүдделер қарама-қайшылығының жоқтығын мәлімделеді.

АЛҒЫС БІЛДІРУ: Автор зерттеуді ұйымдастырушылық қолдау көрсеткені үшін «Орман ресурстары және орман шаруашылығы» бағдарламасының жетекшісі, аға

оқытушы С.С. Лутайға терең алғыс білдіреді. Сондай-ақ, ол осы жұмысты дайындау кезінде әдістемелік көмегі, құнды ғылыми кеңестері және тәлімгерлігі үшін ғылыми кеңесшісі, қауым профессор және аға оқытушы А.А. Калачевке ерекше алғыс білдіреді.

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТУРАЛЫ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ҚОЛДАНУ ТУРАЛЫ

ХАБАРЛАМА: OpenAI ChatGPT (2026). Ғылыми мәтінді редакциялау және құрылымдау [Үлкен тілдік модель]. OpenAI платформасы.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Harris I., Osborn T.J., Jones P., Lister D. Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Scientific Data*, 2020, 7: 109.
- Hijmans R.J., Cameron S.E., Parra J.L., Jones P.G., Jarvis A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 2005, 25: 1965–1978. (Источник базы WorldClim).
- Phillips S.J., Anderson R.P., Schapire R.E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 2006, 190: 231–259. (Метод MaxEnt).
- Pinheiro J.C., Bates D.M. *Mixed-Effects Models in S and S-PLUS*. Springer, 2000. 528 p.
- Zuur A., Ieno E., Walker N., Saveliev A., Smith G. *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*. Springer, 2009.
- Алипов, Б. А. Распределение лиственничников Казахстанского Алтая по группам типов леса. материалы I Всероссийской научно-практической конференции /; [ответственный за выпуск Н. В. Кайзер]. – Екатеринбург, 2022. – С. 12–15.
- Залесов С.В. Организация противопожарного устройства насаждений, формирующихся на бывших сельскохозяйственных угодьях / С.В. Залесов, А.Г. Магасумова, Н.Н. Новоселова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. - 2010. - № 4(66). - С. 60-63.
- Колесников Б.П. Лесная растительность Восточного Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1968.
- Крекова Я.А. Интродукция и акклиматизация хвойных в Северном Казахстане / Я.А. Крекова, С.В. Залесов. - Нур-Султан : КазНИИЛХА, 2020. - 212 с.
- Марченко В.П. Горимость ленточных боров Прииртышья и пути ее минимизации на примере ГУ ГЛПР «Ертыс-Орманы» / В.П. Марченко, С.В. Залесов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. - 2013. - № 10(108). - С. 055-059.
- Молоденский Н.Л. Лиственница Сибири: экология, география, использование. Новосибирск: Наука, 1989.
- Оплетаев А.С. Переформирование производных мягколиственных насаждений в лиственничники на Южном Урале / А.С. Оплетаев, С.В. Залесов. - Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2014. - 178 с.
- Платонов Е.П. Замена березняков, пораженных бактериальной водянойкой / Е.П. Платонов, А.В. Данчева, С.В. Залесов // Московский экономический журнал. - 2019. - № 11. - С. 208–221. - DOI 10.24411/2413-046x-2019-10160.
- Рост лиственничных древостоев на бывших пашнях / С. В. Залесов, Е. В. Юровских, Л. А. Белов, А. Г. Магасумова, А. С. Оплетаев // Аграрный вестник Урала. – 2015. – № 5 (135). – С. 50–54.

ТАУ-КЕН ӨНДІРІСІНІҢ ҚОРШАҒАН ОРТАҒА ӘСЕРІН БАҒАЛАУДА ЖЕРДІ ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДЫЛАУ МАТЕРИАЛДАРЫН ҚОЛДАНУДЫҢ ТИІМДІЛІГІ

ӘОЖ 528.8:622.3

М. Әубәкіров^{1*}, Б. Апшикур¹

¹Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,
Өскемен қ., Қазақстан

*Корреспондент-автор: Әубәкіров Мұстафа Әсетұлы, e-mail:
Mustafa.aubakir@gmail.com

АНДАТПА. Қазіргі индустриялық даму жағдайында тау-кен өндірісінің қоршаған ортаға тигізетін әсерін бағалау экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз етудің маңызды бағыттарының бірі болып отыр. Тау-кен өндірісі барысында жер бедерінің бұзылуы, топырақ жамылғысының деградациясы, жер үсті және жер асты суларының ластануы, сондай-ақ өсімдік жамылғысының сиреуі сияқты жағымсыз құбылыстар байқалады. Осындай өзгерістерді жедел анықтау және олардың кеңістіктік таралуын бақылау үшін жерді қашықтықтан зондылау материалдарын пайдалану ерекше маңызға ие. Мақалада тау-кен өндірісінің табиғи ортаға әсерін бағалауда қашықтықтан зондылау технологияларының тиімділігі ғылыми тұрғыда қарастырылады. Зерттеудің мақсаты - спутниктік деректерді экологиялық мониторинг жүйесінде қолданудың артықшылықтарын талдау және олардың практикалық мүмкіндіктерін анықтау. Зерттеу барысында ғылыми әдебиеттерді талдау, салыстыру, жүйелеу және қорыту әдістері қолданылды. Нәтижесінде қашықтықтан зондылау материалдары карьерлердің кеңеюін, қалдық үйінділерінің ұлғаюын, су ресурстарының жағдайындағы өзгерістерді және өсімдік жамылғысының деградация деңгейін анықтауда жоғары тиімділік көрсететіні айқындалды. Сонымен қатар спутниктік деректерді геоақпараттық жүйелермен біріктіру табиғи орта компоненттеріне түсетін техногендік жүктемені кешенді бағалауға, экологиялық тәуекелдерді болжауға және табиғатты қорғау шараларын ғылыми негізде жоспарлауға мүмкіндік беретіні анықталды. Зерттеу қорытындысы жерді қашықтықтан зондылау материалдары тау-кен өндірісінің экологиялық салдарын бағалауда сенімді, жедел және жоғары ақпараттық әлеуетке ие құрал екенін көрсетеді.

Түйінді сөздер: жерді қашықтықтан зондылау, экологиялық мониторинг, тау-кен өндірісі, спутниктік деректер, геоақпараттық жүйе, техногендік әсер, табиғи орта.

КІРІСПЕ

Қазіргі кезеңде тау-кен өндірісі экономиканың стратегиялық маңызды салаларының бірі болып табылады. Алайда бұл сала қоршаған ортаға елеулі антропогендік жүктеме түсіріп, табиғи ландшафттардың өзгеруіне, топырақ жамылғысының деградациясына, жер үсті және жер асты суларының ластануына, сондай-ақ өсімдік жамылғысының бұзылуына алып келеді. Осындай өзгерістерді уақтылы анықтау, бағалау және болжау экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз етудің өзекті мәселелерінің біріне айналып отыр.

Дәстүрлі далалық зерттеу әдістері нақты деректер бергенімен, кең аумақтарды толық қамтуда, өзгерістер динамикасын жедел бақылауда және ұзақ мерзімді мониторинг жүргізуде шектеулі мүмкіндіктерге ие. Осыған байланысты жерді қашықтықтан зондылау технологиялары табиғи және техногендік үдерістерді зерттеудің тиімді құралы ретінде кеңінен қолданылуда. Спутниктік және аэрокосмостық түсірілімдер негізінде алынған деректер үлкен аумақтардағы

өзгерістерді қысқа мерзімде анықтауға, олардың кеңістіктік таралуын талдауға және табиғи орта компоненттерінің жай-күйін кешенді бағалауға мүмкіндік береді.

Тау-кен өндірісі аймақтарында қашықтықтан зондылау материалдарын пайдалану карьерлердің кеңеюін, қалдық сақтау орындарының ұлғаюын, су ресурстары жағдайының өзгерісін және өсімдік жамылғысының деградациясын бақылауда ерекше маңызға ие. Сонымен қатар бұл деректерді геоақпараттық жүйелермен біріктіру экологиялық мониторингтің дәлдігін арттырып, техногендік әсерді жан-жақты бағалауға жағдай жасайды.

Осыған байланысты мақалада тау-кен өндірісінің қоршаған ортаға әсерін бағалауда жерді қашықтықтан зондылау материалдарын қолданудың тиімділігі қарастырылады.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Индустриялық даму қарқыны артқан сайын табиғи ортаға антропогендік қысым күшейіп келеді. Өсіресе тау-кен өндірісі табиғи ландшафттардың өзгеруіне, топырақ деградациясына, су ресурстарының ластануына және биологиялық әртүрліліктің азаюына тікелей ықпал етеді. Мұндай өзгерістерді уақытылы анықтау мен бағалау экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз етудің негізгі шарты болып табылады. Алайда дәстүрлі далалық зерттеу әдістері кең аумақтарды қамтуда тиімсіз әрі уақыт пен қаржыны көп қажет етеді. Осы жағдайда жерді қашықтықтан зондылау технологиялары табиғи ортаның жағдайын жедел әрі дәл бақылауға мүмкіндік беретін заманауи құрал ретінде қарастырылады.

Жерді қашықтықтан зондылау табиғи және техногендік үдерістерді спутниктік немесе аэрокосмостық түсірілімдер арқылы зерттеуге негізделеді. Бұл технология кеңістіктік ақпаратты үздіксіз жинауға мүмкіндік беріп, қоршаған ортадағы өзгерістердің динамикасын бақылауға жағдай жасайды. Өсіресе тау-кен өндірісі аймақтарында ландшафт трансформациясының ауқымды болуы қашықтықтан зондылау әдістерін қолданудың өзектілігін арттырады.

Техногендік трансформацияны анықтауда қашықтықтан зондылау мүмкіндіктерін зерттеген Леонид Кучин «Применение дистанционного зондирования Земли для выявления последствий техногенной трансформации природной среды» еңбегінде спутниктік деректердің экологиялық талдаудағы маңызын атап өтеді. Автордың пайымдауынша, «қашықтықтан зондылау деректері табиғи ортаның өзгеру динамикасын көпжылдық масштабта бақылауға мүмкіндік береді» (Кучин Л.С., 2025). Бұл тұжырым кеңістіктік уақыттық талдаудың экологиялық мониторингтегі рөлін айқындайды. Сонымен қатар еңбекте техногендік әсердің кеңістіктік құрылымын анықтауда спектралдық индекстердің тиімділігі көрсетіледі.

Тау-кен жұмыстарының экологиялық салдарын зерттеуге арналған Чэнь Ц. еңбектерінде қашықтықтан зондылау әдістерінің қолданбалы мүмкіндіктері жан-жақты қарастырылған. «Использование методов дистанционного зондирования для изучения влияния горных разработок на экологическую обстановку» зерттеуінде автор спутниктік мониторингтің жер бедерінің өзгерісін анықтаудағы тиімділігін атап көрсетеді. Онда «тау-кен өндірісі нәтижесінде пайда болған жер бедері деформацияларын қашықтықтан зондылау деректері арқылы дәл анықтауға болады» деген қорытынды келтіріледі (Чэнь Ц., 2024). Бұл тәсіл карьерлердің кеңею динамикасын бақылауға мүмкіндік береді.

Экологиялық мониторинг жүйесіндегі қашықтықтан зондылау рөлін зерттеген Александр Гордиенко техногендік аумақтарды кешенді бақылауда спутниктік деректердің интеграциялық мүмкіндігін атап өтеді. «Дистанционное зондирование Земли в экологическом мониторинге техногенных территорий» мақаласында табиғи орта компоненттерін бір мезгілде талдау артықшылықтары көрсетіледі. Зерттеуде «спутниктік деректер топырақ, су және өсімдік жамылғысының өзгерістерін кешенді

бағалауға мүмкіндік береді» деген тұжырым беріледі (Гордиенко А.С., 2022). Бұл тәсіл экожүйелік талдаудың жаңа деңгейін қалыптастырады.

Қашықтықтан зондылаудың цифрлық платформалармен байланысын зерттеген Иван Зеньков тау-кен аймақтарын мониторингтеудің жаңа мүмкіндіктерін сипаттайды. «Цифровые платформы дистанционного зондирования в мониторинге горнодобывающих регионов» еңбегінде деректерді автоматтандырылған өңдеудің маңызы ерекше атап өтіледі. Автор «сандық платформалар спутниктік ақпаратты жедел талдап, экологиялық қауіптерді ерте кезеңде анықтауға мүмкіндік береді» деп көрсетеді. Бұл тәсіл экологиялық басқару жүйелерін цифрландырудың тиімділігін дәлелдейді.

Қашықтықтан зондылау әдістерінің техникалық негіздерін қарастырған Геннадий Платов еңбектерінде аэрокосмостық түсірілімдердің ғылыми-әдістемелік аспектілері жүйеленген. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия» материалдарында кеңістіктік деректерді интерпретациялау қағидалары сипатталады. Автор «қашықтықтан зондылау деректерін дұрыс өңдеу табиғи процестердің объективті моделін құруға мүмкіндік береді» деген тұжырым жасайды (Платов Г.А., 2019). Бұл ғылыми негіз әдістің сенімділігін қамтамасыз етеді.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Ғылыми еңбектерді жүйелеу нәтижелері жерді қашықтықтан зондылау материалдарының тау-кен өндірісін экологиялық бағалаудағы жоғары әлеуетін айқын көрсетеді. Бұл технологиялардың басты артықшылығы кеңістіктік қамтылу мүмкіндігінде жатыр, өйткені спутниктік деректер қысқа уақыт ішінде үлкен аумақтарды қамтып, табиғи ортаның жағдайы туралы толық ақпарат береді. Мұндай мүмкіндік әсіресе ірі тау-кен кешендері орналасқан аймақтарды бақылауда маңызды, себебі дәстүрлі далалық зерттеу әдістері мұндай кеңістіктік масштабты толық қамти алмайды. Спутниктік бақылаулар арқылы карьерлердің кеңеюі, қалдық үйінділерінің ұлғаюы және ландшафт құрылымының өзгеруі сияқты процестерді біртұтас жүйе ретінде талдауға болады. Сонымен қатар уақыттық қатарларды пайдалану экологиялық өзгерістердің динамикасын анықтауға жағдай жасайды. Бірнеше жылдық немесе онжылдық спутниктік деректерді салыстыру арқылы табиғи ортаның өзгеру қарқыны, техногендік әсердің таралу аймағы және экожүйелердің тұрақтылық деңгейі анықталады. Мұндай талдау антропогендік жүктеменің ұзақ мерзімді салдарын бағалауға мүмкіндік береді және экологиялық қауіптерді алдын ала болжауға негіз болады. Қашықтықтан зондылау деректерінің тағы бір маңызды ерекшелігі олардың цифрлық форматта ұсынылуы болып табылады. Бұл деректерді геоақпараттық жүйелермен біріктіру кеңістіктік талдаудың жаңа мүмкіндіктерін ашады. Геоақпараттық технологиялар арқылы әртүрлі деректер қабаттарын біріктіріп, тау-кен өндірісінің табиғи орта компоненттеріне кешенді әсерін бағалауға болады. Мысалы, спутниктік суреттерді топырақ карталарымен, гидрологиялық мәліметтермен және өсімдік жамылғысының көрсеткіштерімен біріктіру арқылы экологиялық жағдайдың толық моделін құруға мүмкіндік туады. Бұл тәсіл ғылыми зерттеулердің дәлдігін арттырып қана қоймай, табиғатты қорғау шараларын жоспарлауда да тиімді құралға айналады. Сонымен қатар қашықтықтан зондылау материалдары жедел жаңартылып отыратындықтан, экологиялық мониторингтің үздіксіздігін қамтамасыз етеді. Нәтижесінде спутниктік деректер негізінде құрылған ақпараттық база басқарушылық шешімдер қабылдауда сенімді ғылыми негіз ретінде қызмет етеді және тау-кен өндірісінің қоршаған ортаға әсерін объективті бағалауға мүмкіндік береді.

Практикалық тұрғыдан қарастырғанда, жерді қашықтықтан зондылау материалдары тау-кен өндірісінің кеңістіктік динамикасын бақылауда аса тиімді құрал ретінде қолданылады. Спутниктік түсірілімдер карьерлердің аумақтық өзгерістерін жүйелі түрде тіркеуге мүмкіндік беріп, өндірістік қызметтің ландшафтқа тигізетін әсерін

нақты бағалауға жағдай жасайды. Өртүрлі уақыт кезеңдеріндегі суреттерді салыстыру арқылы карьердің шекарасының жыл сайынғы жылжуын анықтап, табиғи жер бедерінің бұзылу қарқынын есептеуге болады. Мұндай талдау тек кеңею аумағын анықтаумен шектелмей, антропогендік қысымның таралу бағытын да көрсетуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар спутниктік деректер карьер маңындағы техногендік элементтерді, соның ішінде тау жыныстарының үйінділері мен қалдық сақтау орындарын анықтауда жоғары дәлдік береді. Бұл нысандардың орналасуы мен көлемін бағалау шаңтозаңның таралу ықтималдығын болжауға және санитарлық-қорғау аймақтарын негіздеуге көмектеседі. Аэрокосмостық бақылаулар негізінде алынған деректер жел бағытымен үйлестіріліп талданғанда, атмосфералық ластанудың ықтимал таралу жолдары анықталады. Мұндай ақпарат экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету шараларын жоспарлауда ерекше маңызды. Сонымен бірге қашықтықтан зондылау материалдары карьерлердің айналасындағы инфрақұрылымдық өзгерістерді де бақылауға мүмкіндік береді, бұл табиғи және өндірістік кеңістіктің өзара әрекеттесуін кешенді бағалауға жағдай жасайды. Нәтижесінде спутниктік мониторинг деректері экологиялық нормалардың сақталуын бақылауда сенімді құрал болып, табиғи ортаның бұзылу деңгейін уақтылы анықтауға және алдын алу шараларын ғылыми негізде жоспарлауға мүмкіндік береді.

Қашықтықтан зондылау технологиялары су ресурстарының жағдайын бағалауда да маңызды. Тау-кен өндірісі аймақтарында ашық карьерлер мен қалдық сақтау орындары жер асты және жер үсті суларына қауіп төндіреді. Спутниктік деректер негізінде су айдындарының түсінің өзгеруі немесе деңгейінің төмендеуі анықталып, ластану ошақтарын жедел анықтауға болады. Бұл экологиялық мониторингтің тиімділігін арттырады.

Өсімдік жамылғысының жағдайын бағалау да қашықтықтан зондылау арқылы жүзеге асады. NDVI сияқты спектралдық индекстер көмегімен өсімдіктердің деградация деңгейін анықтауға болады. Бұл әдіс тау-кен өндірісінің биологиялық өртүрлілікке әсерін бағалауда кеңінен қолданылады. Өсімдік жамылғысының қалпына келу динамикасын бақылау рекультивация шараларының тиімділігін анықтауға мүмкіндік береді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Қорыта алғанда, жерді қашықтықтан зондылау материалдары тау-кен өндірісінің қоршаған ортаға әсерін бағалауда әмбебап құрал болып табылады. Олар кеңістіктік қамтылу, жеделдік және деректердің дәлдігі сияқты артықшылықтарға ие. Қашықтықтан зондылау технологияларын қолдану экологиялық мониторингтің сапасын арттырып қана қоймай, табиғатты ұтымды пайдалануға бағытталған ғылыми негізделген шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді.

МҮДДЕЛЕР ҚАРАМА-ҚАЙШЫЛЫҒЫ: Авторлар мүдделер қарама-қайшылығының жоқтығын мәлімдейді.

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ҚОЛДАНУ ТУРАЛЫ ХАБАРЛАМА: Мақаланы әзірлеу барысында автор мәтіннің тілдік құрылымын жетілдіру, редакциялау және мазмұнды жүйелеу мақсатында жасанды интеллект технологияларын қолданды. Алайда зерттеудің негізгі идеясы, ғылыми талдауы, нәтижелері мен қорытындылары автордың өзіне тиесілі. Автор ұсынылған материалдардың дұрыстығы мен сенімділігіне толық жауапкершілік алады.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

Кучин, Л.С. (2025). Применение дистанционного зондирования Земли для выявления последствий техногенной трансформации природной среды // Геоинформатика. <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-distantsionnogo-zondirovaniya-zemli-dlya->

[vyyavleniya-posledstviy-tekhno-gennoy-transformatsii-prirodnoy-sredy](https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-distantsionnogo-zondirovaniya-zemli-dlya-vyyavleniya-posledstviy-tekhno-gennoy-transformatsii-prirodnoy-sredy) // Kuchin, L.S. (2025). *Primeneniye distantsionnogo zondirovaniya Zemli dlya vyyavleniya posledstviy tekhnogennoy transformatsii prirodnoy sredy.* Geoinformatika. <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-distantsionnogo-zondirovaniya-zemli-dlya-vyyavleniya-posledstviy-tekhno-gennoy-transformatsii-prirodnoy-sredy>

Чэнь Ц. Использование методов дистанционного зондирования для изучения влияния горных разработок на экологическую обстановку. - Минск: БГУ, 2024. <https://elib.bsu.by/handle/123456789/324886> // Chen, C. *Ispolzovanie metodov distantsionnogo zondirovaniya dlya izucheniya vliyaniya gornykh razrabotok na ekologicheskuyu obstanovku.* Minsk: BGU, 2024. <https://elib.bsu.by/handle/123456789/324886>

Гордиенко, А.С. Дистанционное зондирование Земли в экологическом мониторинге техногенных территорий // *Вестник СГУГиТ*, 2022. https://vestnik.sgugit.ru/upload/vestnik/sborniki/2022/27_6/55-63.pdf // Gordienko, A.S. *Distantsionnoe zondirovanie Zemli v ekologicheskom monitoringe tekhnogennykh territoriy.* *Vestnik SGUGiT*, 2022. https://vestnik.sgugit.ru/upload/vestnik/sborniki/2022/27_6/55-63.pdf

Зеньков, И.В. (2024) Цифровые платформы дистанционного зондирования в мониторинге горнодобывающих регионов // *Экология и промышленность России.* <https://www.ecology-kalvis.ru/jour/article/view/2559> // Zenkov, I.V. (2024). *Tsifrovye platformy distantsionnogo zondirovaniya v monitoringe gornodobyvayushchikh regionov.* *Ekologiya i promyshlennost Rossii.* <https://www.ecology-kalvis.ru/jour/article/view/2559>

Платов, Г.А. Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия: материалы конференции. - Новосибирск, 2019. https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-interekspogeo-sibir2019distancionnyemetodyzondirovaniyazemliifotogrammetriy_0.pdf // Platov, G.A. *Distantsionnye metody zondirovaniya Zemli i fotogrammetriya: materialy konferentsii.* Novosibirsk, 2019 https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-interekspogeo-sibir2019distancionnyemetodyzondirovaniyazemliifotogrammetriy_0.pdf

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ: ВОЗМОЖНОСТИ, МОДЕЛИ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

УДК 504.064:004.8

Р.А. Белозеров¹, А.А. Халина¹, Б.М. Толыкбаева¹

¹ ВКТУ им.Д.Серикбаева, г.Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Толыкбаева Бинур Маратовна,

e-mail: tolykbayeva.binur@mail.ru

АННОТАЦИЯ. Актуальность исследования обусловлена ростом антропогенного воздействия на экосистемы и недостаточной эффективностью традиционных методов контроля загрязнений, которые не обеспечивают нужного оперативного реагирования и прогнозирования. Целью работы является провести анализ современных возможностей применения искусственного интеллекта для мониторинга загрязнения воздуха, водных объектов и почв, а также оценить перспективы адаптации данных технологий для экологического контроля в Республике Казахстан. В исследовании применены методы систематического обзора научной литературы, сравнительного анализа существующих ИИ-моделей и синтеза данных о практическом внедрении технологий в системах экологического контроля России, ОАЭ, стран Европы и Казахстана. Научная новизна работы заключается в систематизации экологических аспектов применения прогностических ИИ-моделей для контроля качества окружающей среды и оценке их трансфера в условия Центральной Азии. Практическая значимость определяется возможностью интеграции рассмотренных технологий в систему государственного экологического мониторинга и управления качеством атмосферного воздуха в промышленных и урбанизированных зонах республики.

Ключевые слова: искусственный интеллект, мониторинг загрязнений, качество воздуха, нейросети, экологический контроль, охрана окружающей среды.

ВВЕДЕНИЕ

Человечество сталкивается с нарастающей угрозой, вызванной собственным воздействием на окружающую среду. Загрязнение воздуха ежегодно приводит к миллионам преждевременных смертей, а деградация экосистем оборачивается колоссальными экономическими потерями. Экологи бьют тревогу: загрязнение воздуха, воды и почв ведет к сокращению биоразнообразия, накоплению вредных веществ в пищевых цепях и разрушению естественных сред обитания. Традиционные методы экологического мониторинга, основанные на стационарных наблюдениях и лабораторных анализах, не справляются с масштабом и скоростью изменений, требуют значительных ресурсов и не дают целостного представления о распространении загрязняющих веществ.

Острая необходимость в инновационных подходах диктует переход от реагирования на уже свершившийся ущерб к проактивному выявлению источников загрязнения и прогнозированию экологической ситуации. В последние годы научное сообщество активно исследует возможности искусственного интеллекта (ИИ) для анализа больших данных, поступающих от сетей датчиков, спутниковых снимков и видеопотоков.

Особый интерес представляет изучение международного опыта: страны Персидского залива (ОАЭ), Европейского союза и Российская Федерация уже накопили значительный опыт внедрения ИИ в экологическую сферу. Однако для

Казахстана, с его обширными малонаселенными территориями и крупными промышленными агломерациями, крайне важно оценить применимость этих технологий в местных условиях, учитывая специфику трансграничного переноса загрязнений, пылевых бурь и накопленного экологического ущерба.

Цель данного исследования – проанализировать современные возможности применения искусственного интеллекта для мониторинга загрязнения окружающей среды в различных странах и оценить потенциал адаптации этих технологий для решения экологических задач в Республике Казахстан.

Для достижения этой цели необходимо:

- Провести обзор современных ИИ-моделей, используемых для мониторинга загрязнения атмосферного воздуха, водных объектов и почв в России, Европе и ОАЭ.
- Выявить ключевые экологические параметры, интегрируемые в прогностические модели на основе ИИ.
- Проанализировать практические примеры использования ИИ для оценки качества окружающей среды.
- Определить перспективы

ОБСУЖДЕНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Ключевые сферы использования искусственного интеллект

1. Предсказание состояния атмосферы

На международном уровне для анализа временных рядов данных о концентрациях загрязняющих веществ и транспортных потоках активно задействуются сверточные нейронные сети (CNN) и рекуррентные модели (RNN, LSTM).

В России аналогичные системы помогают оценить влияние автомобильного транспорта на уровень загрязнения воздуха. Страны Европейского союза активно разрабатывают гибридные модели, которые объединяют физические модели распространения загрязнителей с алгоритмами машинного обучения.

В Объединенных Арабских Эмиратах нейросетевые системы с точностью до 89% прогнозируют концентрации PM_{2.5}, PM₁₀, оксидов азота и других загрязнителей на 48–72 часа вперед. Эти разработки особенно ценны для регионов, часто страдающих от пылевых бурь.

2. Обнаружение промышленных загрязнений и оценка накопленного экологического вреда.

Алгоритмы глубокого обучения позволяют определять источники промышленных выбросов, анализируя метеорологические данные и изменения концентраций загрязняющих веществ.

Помимо этого, технологии компьютерного зрения применяются для выявления нелегальных свалок по спутниковым изображениям. В некоторых странах точность обнаружения таких объектов превышает 90%, что значительно превосходит эффективность традиционных методов полевого контроля.

3. Оценка состояния водных объектов и почв

Для анализа состояния водных экосистем применяются гибридные модели, сочетающие в себе возможности машинного обучения и знание физических процессов. Нейронные сети анализируют спутниковые снимки (например, с аппарата Sentinel-2), обнаруживая отклонения в цвете воды, которые могут свидетельствовать о цветении водорослей или наличии загрязнений.

В отношении почв используются алгоритмы машинного обучения, такие как случайный лес (Random Forest) и другие методы классификации. Эти подходы позволяют с высокой точностью (70–85%) выявлять такие проблемы, как засоление и загрязнение тяжелыми металлами.

Перспективы внедрения в Республике Казахстан

В Казахстане активно идет процесс цифровизации системы экологического контроля. Разрабатываются компьютерные модели для прогнозирования загрязнения воздуха, внедряются системы видеонаблюдения за лесными пожарами, а также создаются базы данных по экологической ситуации.

Наиболее перспективными направлениями для применения международного опыта в Казахстане являются:

- Моделирование распространения промышленных выбросов в крупных городах с высокой нагрузкой (Темиртау, Усть-Каменогорск, Балхаш).
- Прогнозирование пылевых бурь в регионах Приаралья и на западе страны.
- Использование спутниковых данных для обнаружения несанкционированных свалок.
- Анализ влияния транспортных выбросов на качество воздуха в мегаполисах (Алматы, Астана).

Однако существуют и трудности, связанные с необходимостью обучения специалистов, обеспечением достоверности данных и адаптацией существующих моделей к специфическим климатическим и географическим условиям Казахстана.

В таблице 1 систематизированы сведения о современных моделях искусственного интеллекта, применяемых для комплексного мониторинга различных аспектов загрязнения окружающей среды.

Таблица 1. Сведения о современных моделях искусственного интеллекта

Тип загрязнения	ИИ-модели	Пространственное разрешение	Точность
Атмосферный воздух(транспорт)	Сверточные нейросети(CNN)	В пределах жилых кварталов	85-90%
Атмосферный воздух(промышленность)	Рекуррентные нейросети(RNN)	1-5 км от промышленного объекта	80-92%
Летучие органические вещества	Глубокие нейросети(DNN)	Точечный сектор	До 95%
Поверхность воды	Гибридные модели	10-30 м (спутник)	75-85%
Почвы	Случайный лес (RF)	30-100 м (спутник)	70-80%

Анализ охватывает пять ключевых направлений: контроль атмосферного воздуха (как от движущихся, так и от стационарных источников), мониторинг летучих органических соединений (ЛОС), оценку качества поверхностных вод и состояния почвенного покрова. Для каждого из этих направлений представлены данные о типах используемых моделей машинного обучения, их пространственной детализации, уровне точности прогнозов или идентификации, а также о временных характеристиках (например, насколько заранее делаются прогнозы или как часто поступают данные).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Искусственный интеллект становится все более значимым инструментом для повышения эффективности экологического мониторинга. Международный опыт показывает, что прогностические модели на основе ИИ обладают высокой точностью и имеют большой потенциал для улучшения управления качеством окружающей среды.

Для Республики Казахстан внедрение технологий искусственного интеллекта

позволит перейти от реагирования на уже произошедшие события к системе раннего предупреждения об экологических рисках. Важнейшими задачами остаются развитие научной базы, налаживание обмена данными между различными ведомствами и подготовка квалифицированных кадров.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА:

При подготовке данной статьи инструменты ИИ использовались для редактирования текста и проверки фактологической информации. Генерация научного контента и формулировка выводов выполнены авторами самостоятельно. DeepSeek. (2026, февраль 27). Помощь в редактировании научной статьи [Большая языковая модель]. DeepSeek.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Леус, А.В. (2025). Применение нейросетевых алгоритмов для оценки выбросов автотранспорта. Экология и промышленность России, 29(2), 45-52. <https://ecology.gpntb.ru/>
- Universitat de València. (2025). AI-based early warning systems. UNEP. <https://www.unep.org/>
- Google Earth AI. (2025). Geospatial modeling and AI for environmental monitoring. Google Research Blog. <https://research.google/blog>
- Abedin, B., et al. (2022). Designing human-AI interactions. Information Systems Frontiers, 24, 691-697. <https://link.springer.com/journal/10796>
- Kim, B., & Kim, T. (2025). AI in extreme weather events prediction and response. Frontiers in Environmental Science, 13. <https://www.frontiersin.org/journals/environmental-science>
- Pokkuluri, K. S., et al. (2025). Disaster management based on biodiversity conservation. Remote Sensing in Earth Systems Sciences, 8(2), 112-128. <https://link.springer.com/journal/41976>
- Программа ООН по окружающей среде. (2025). Frontiers 2025. ЮНЕП. <https://www.unep.org/resources/frontiers-2025-weight-time>
- Всемирная метеорологическая организация. (2024). Атлас смертности от экстремальных погодных явлений. ВМО. <https://public.wmo.int/>
- МГТУ им. Баумана. (2025). Автономные системы экологического мониторинга для Арктики. Вестник МГТУ, 28(4), 112-121. <https://vestnikbmstu.ru>
- Министерство экологии и природных ресурсов Республики Казахстан. (2025). Отчет о цифровизации и внедрении искусственного интеллекта. Астана. <https://www.gov.kz/memleket/entities/ecogeo>
- РГП "Казгидромет". (2025). Развитие системы прогнозирования загрязнения воздуха. Алматы. <https://kazhydromet.kz/>
- Акимат Усть-Каменогорска. (2025). Экологический мониторинг с применением машинного обучения. Усть-Каменогорск. <https://www.gov.kz/memleket/entities/vko-oskemen>

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К ПРИМЕНЕНИЮ ИИ В ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УЯЗВИМОСТИ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 504.064.2: 004.8

А.Т. Битибаева^{1*}, М.М. Тогузова¹

¹Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева,
г.Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Айжан Турсынбековна Битибаева, e-mail: bitibayeva@list.ru

АННОТАЦИЯ. В условиях интенсивной урбанизации и роста антропогенной нагрузки возрастает необходимость совершенствования подходов к оценке экологической уязвимости городских территорий. В статье представлен аналитический обзор современных подходов к применению искусственного интеллекта и геоинформационных технологий в задачах экологического анализа урбанизированных территорий. Целью работы является анализ, обобщение и систематизация существующих методов использования искусственного интеллекта при оценке экологической уязвимости. В качестве методической основы использованы анализ научных публикаций, сравнительный подход и обобщение современных исследований в области GeoAI, экологического мониторинга и пространственного анализа. Рассмотрены основные источники данных, применяемые в подобных исследованиях, включая данные дистанционного зондирования Земли, результаты экологического мониторинга, статистические и открытые геопространственные данные. Показано, что методы машинного обучения, компьютерного зрения и пространственного моделирования позволяют расширить возможности интерпретации экологических процессов, повысить точность аналитических оценок и сформировать основу для поддержки принятия управленческих решений. Научная значимость работы заключается в систематизации современных подходов к применению искусственного интеллекта в оценке экологической уязвимости. Практическая значимость состоит в обобщении методов, которые могут быть использованы при разработке систем экологического мониторинга и управлении устойчивым развитием урбанизированных территорий.

Ключевые слова: искусственный интеллект, экологическая уязвимость, урбанизация, геоинформационные системы, пространственный анализ.

ВВЕДЕНИЕ

Урбанизация является одним из ключевых факторов современного социально-экономического развития и сопровождается значительной трансформацией природной среды. Рост городских территорий приводит к увеличению антропогенной нагрузки и усложнению экологических процессов, что требует применения новых методов анализа и оценки состояния окружающей среды.

Современные исследования показывают, что традиционные методы оценки экологического состояния ограничены в учёте многомерности и динамики экологических процессов (Goodchild, 2018). В связи с этим активно развивается направление геопространственного искусственного интеллекта (GeoAI), объединяющее методы машинного обучения и геоинформационного анализа (Batty, 2018).

Развитие технологий искусственного интеллекта в последние годы связано с активным внедрением методов анализа больших данных и цифровых платформ, обеспечивающих обработку значительных объёмов информации в режиме, близком к

реальному времени. В экологических исследованиях это особенно важно, поскольку состояние окружающей среды характеризуется высокой изменчивостью и зависит от множества факторов. Применение интеллектуальных алгоритмов обеспечивает возможность учета нелинейных зависимостей и сложных взаимодействий между природными и антропогенными компонентами, что существенно повышает достоверность и аналитическую глубину оценки экологических процессов (Li, 2020).

Исследования показывают, что технологии искусственного интеллекта находят широкое применение в задачах экологического мониторинга, включая анализ качества воздуха, моделирование распространения загрязнений и выявление источников негативного воздействия. В рамках концепции «умного города» данные технологии рассматриваются как инструмент повышения эффективности управления экологическими процессами.

В условиях глобальных экологических вызовов, включая изменение климата, рост загрязнения и деградацию природных ресурсов, возрастает роль цифровых технологий в обеспечении устойчивого развития территорий. Искусственный интеллект рассматривается как один из ключевых инструментов цифровой трансформации экологического мониторинга, позволяющий повысить оперативность и точность анализа данных. В международной практике активно развиваются направления, связанные с использованием технологий анализа больших данных и машинного обучения для оценки экологических рисков и прогнозирования изменений окружающей среды. Это обуславливает необходимость дальнейшего изучения возможностей применения искусственного интеллекта в задачах оценки экологической уязвимости.

Целью данной работы является анализ и обобщение современных подходов к применению искусственного интеллекта для оценки экологической уязвимости урбанизированных территорий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках исследования рассматриваются методы, применяемые в современных научных работах, посвящённых оценке экологической уязвимости с использованием искусственного интеллекта.

В качестве исходных данных в подобных исследованиях могут использоваться:

- данные дистанционного зондирования Земли (например, Sentinel-2, Landsat) (European Space Agency, 2015);
- результаты экологического мониторинга (Всемирная метеорологическая организация, 2018);
- статистические данные (OECD, 2019);
- открытые геопространственные данные (OpenStreetMap).

Существующие исследования демонстрируют, что методы машинного обучения применяются для обработки больших массивов экологических данных, выявления закономерностей и построения прогнозных моделей (Batty, 2018). В частности, используются алгоритмы классификации, кластеризации и регрессионного анализа.

Также в исследованиях активно применяются методы компьютерного зрения для обработки спутниковых изображений, позволяющие автоматически определять характеристики городской среды, включая плотность застройки и уровень озеленения.

Методы машинного обучения, применяемые в экологических исследованиях, могут включать как алгоритмы с учителем (supervised learning), так и без учителя (unsupervised learning). Первые используются для прогнозирования значений экологических показателей на основе обучающих выборок, тогда как вторые позволяют выявлять скрытые структуры и группировки данных. В частности, алгоритмы кластеризации могут применяться для выделения зон с различной степенью экологической уязвимости, а методы классификации — для отнесения

территорий к определённым категориям риска. Использование данных подходов позволяет формировать более точные и адаптивные модели анализа экологических процессов.

В научной практике при решении задач экологического анализа также применяются методы пространственного моделирования, позволяющие учитывать территориальные особенности распределения экологических показателей. Геоинформационные системы обеспечивают интеграцию разнородных данных и визуализацию результатов анализа, что способствует более глубокому пониманию экологических процессов (Берлянт, 2019, Лурье, Самсонов, 2020).

Кроме того, в современных исследованиях активно используются методы регрессионного анализа и нейронные сети, позволяющие выявлять зависимости между экологическими параметрами и прогнозировать их изменение во времени. Важной особенностью применения таких методов является возможность адаптации моделей к изменяющимся условиям окружающей среды.

Следует отметить, что выбор методов зависит от доступности исходных данных, масштаба исследования и поставленных задач. В связи с этим особое значение приобретает комплексный подход, сочетающий методы геоинформационного анализа и машинного обучения.

В научной литературе особое внимание уделяется последовательности применения методов искусственного интеллекта при анализе экологических данных. Как правило, процесс оценки экологической уязвимости с использованием современных цифровых технологий включает несколько этапов, каждый из которых имеет свою специфику и значение.

На первом этапе осуществляется сбор исходных данных, которые могут включать спутниковые изображения, результаты наземного мониторинга, статистические показатели и геопро пространственную информацию. Данные дистанционного зондирования Земли позволяют получать сведения о состоянии растительного покрова, плотности застройки и других характеристиках территории. В то же время данные экологического мониторинга отражают фактические значения загрязнения воздуха, воды и почвы.

На следующем этапе выполняется предварительная обработка данных, включающая их очистку, нормализацию и приведение к единому формату. Это необходимо для обеспечения сопоставимости показателей и повышения качества последующего анализа. В ряде исследований отмечается, что качество исходных данных является ключевым фактором, влияющим на точность результатов моделирования.

Далее применяются методы машинного обучения, которые позволяют выявлять закономерности в распределении экологических показателей и учитывать влияние различных факторов. В зависимости от поставленных задач могут использоваться различные алгоритмы, включая методы классификации, кластеризации и регрессии. Например, методы кластеризации позволяют выделять территории с различным уровнем экологической уязвимости, а алгоритмы классификации - относить участки к определённым категориям риска.

Важным этапом является интерпретация полученных результатов, которая включает анализ выявленных закономерностей и их сопоставление с реальными условиями территории. В научных исследованиях подчеркивается, что использование искусственного интеллекта не заменяет экспертную оценку, а дополняет её, обеспечивая более глубокий и комплексный анализ (VoPham, 2018).

Рассматриваемые подходы формируют концептуальную основу применения методов искусственного интеллекта в задачах оценки экологической уязвимости, позволяя учитывать пространственную неоднородность данных, их многомерность и динамический характер. Конкретная реализация данных методов определяется

целями исследования, доступностью исходной информации и особенностями анализируемых территориальных систем (Берлянт, 2019).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ научных источников показывает, что экологическая уязвимость урбанизированных территорий определяется совокупностью факторов, связанных с антропогенной нагрузкой и природными условиями.

Таблица 1. Система факторов экологической уязвимости

Фактор	Показатель	Источник данных
загрязнение воздуха	концентрация загрязняющих веществ	мониторинг
урбанизация	плотность застройки	статистика
транспорт	интенсивность движения	OpenStreetMap
зеленые зоны	доля озеленения	спутниковые данные

Представленные факторы широко используются в научных исследованиях при оценке экологического состояния территорий и позволяют формировать комплексную характеристику экологической уязвимости, что также подтверждается современными исследованиями в области геоинформационного картографирования (Берлянт, 2019).

Современные исследования демонстрируют, что применение технологий искусственного интеллекта способствует повышению точности анализа экологических процессов и расширяет возможности интерпретации данных. Методы машинного обучения позволяют выявлять скрытые взаимосвязи между экологическими показателями и учитывать влияние множества факторов.

Кроме того, искусственный интеллект применяется для моделирования экологических процессов, включая прогнозирование изменений состояния окружающей среды и оценку последствий антропогенного воздействия. В рамках концепции «умного города» такие подходы рассматриваются как инструмент поддержки принятия управленческих решений.

Ряд исследований указывает на возможность использования искусственного интеллекта для идентификации источников загрязнения и оценки их вклада в общее экологическое состояние территорий.

Использование технологий искусственного интеллекта обеспечивает объединение разнородных источников информации в единую аналитическую среду, что позволяет получать более согласованные и интерпретируемые оценки экологического состояния территорий. Это, в свою очередь, создает основу для повышения обоснованности управленческих решений и эффективности планирования развития городских систем, что соответствует современным подходам геоинформационного анализа территорий (Лурье, Самсонов, 2020).

Вместе с тем необходимо учитывать, что эффективность применения искусственного интеллекта во многом зависит от качества исходных данных, включая данные экологического мониторинга. Недостаточная полнота или точность данных может привести к снижению достоверности результатов анализа. В связи с этим важным направлением дальнейших исследований является совершенствование методов сбора и обработки экологической информации.

Дополнительные исследования подтверждают, что применение искусственного интеллекта способствует формированию интегральных оценок экологической уязвимости, позволяющих учитывать совокупное влияние различных факторов. Это

особенно актуально для урбанизированных территорий, где экологические процессы характеризуются высокой степенью пространственной неоднородности.

Использование таких подходов позволяет переходить от анализа отдельных показателей к комплексной оценке экологического состояния территорий, что создает предпосылки для разработки эффективных мер по снижению экологической нагрузки.

Перспективным направлением является использование методов пространственно-временного анализа экологических показателей.

Отдельного внимания заслуживает использование технологий искусственного интеллекта в задачах прогнозирования экологических рисков. В некоторых исследованиях показано, что применение моделей машинного обучения позволяет заранее выявлять потенциально неблагоприятные зоны и прогнозировать развитие экологических проблем, что подтверждается результатами современных исследований. Это создает основу для разработки превентивных мер и повышения эффективности управления городскими территориями.

Вместе с тем отмечается, что внедрение искусственного интеллекта в экологические исследования требует учета ряда организационных и технологических факторов. К ним относятся необходимость обеспечения доступа к качественным данным, наличие вычислительных ресурсов, а также подготовка специалистов, способных работать с современными цифровыми инструментами. Отсутствие одного из этих элементов может существенно снизить эффективность применения рассматриваемых технологий.

Таким образом, дальнейшее развитие методов искусственного интеллекта в области экологического анализа связано не только с совершенствованием алгоритмов, но и с созданием комплексной инфраструктуры, обеспечивающей их практическое применение.

Вопрос интерпретации результатов, полученных с использованием методов искусственного интеллекта, рассматривается как один из ключевых аспектов их применения. Отмечается необходимость сочетания автоматизированного анализа с экспертной оценкой. Несмотря на высокую точность алгоритмов машинного обучения, результаты их работы требуют дополнительной проверки и осмысления с учетом специфики исследуемой территории.

Особое значение имеет проблема объяснимости моделей искусственного интеллекта. Во многих исследованиях подчеркивается, что сложные модели, такие как нейронные сети, могут демонстрировать высокую точность прогнозирования, однако остаются недостаточно прозрачными с точки зрения интерпретации результатов. Это может затруднять их применение в практических задачах управления, где требуется обоснование принимаемых решений.

Кроме того, важным аспектом является масштабируемость рассматриваемых подходов. Методы, успешно применяемые на локальном уровне, могут требовать адаптации при использовании в более крупных территориальных системах. Это связано с увеличением объема данных, усложнением структуры факторов и необходимостью учета дополнительных переменных.

Исходя из вышеизложенного, анализ современных исследований показывает, что эффективное применение искусственного интеллекта в экологических задачах требует комплексного подхода, учитывающего как технические, так и организационные аспекты.

В целом результаты проведенного анализа свидетельствуют о том, что технологии искусственного интеллекта обладают значительным потенциалом в области оценки экологической уязвимости, однако требуют дальнейшего развития и адаптации к конкретным условиям применения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье проведён анализ современных подходов к применению искусственного интеллекта в оценке экологической уязвимости урбанизированных территорий.

Показано, что методы искусственного интеллекта и геоинформационного анализа позволяют существенно расширить возможности исследования экологических процессов, повысить точность анализа и обеспечить поддержку принятия управленческих решений.

Научная значимость работы заключается в систематизации существующих подходов и выявлении ключевых направлений их применения.

Перспективы дальнейших исследований связаны с развитием методов обработки данных, расширением источников информации и практической реализацией рассмотренных подходов.

В условиях цифровой трансформации экономики и системы управления искусственный интеллект рассматривается как ключевой инструмент формирования устойчивых городских систем, способных адаптироваться к возрастающим экологическим вызовам и обеспечивать повышение эффективности экологической политики.

Особую актуальность приобретает внедрение подобных подходов в практику управления городскими территориями, что позволит повысить эффективность экологической политики и обеспечить более устойчивое развитие урбанизированных систем.

Перспективы дальнейших исследований связаны с интеграцией методов искусственного интеллекта в системы поддержки принятия решений.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ: Автор выражает благодарность научному руководителю за методическую поддержку, а также коллегам за конструктивные замечания и обсуждения, способствовавшие улучшению качества исследования.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИИ: В процессе подготовки статьи использовалась большая языковая модель ChatGPT для редактирования и структурирования текста.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Goodchild, M.F. Geographic Information Systems and Science. - Wiley, 2018.
<https://www.wiley.com/en-us/Geographic+Information+Science+and+Systems%2C+4th+Edition-p-9781119128458>
- Batty, M. (2018) Artificial intelligence and smart cities. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*. <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2399808317751169>
- Li, W., Goodchild, M.F., Xu, B. (2020) Spatial, temporal and spatiotemporal GeoAI // *International Journal of Geographical Information Science*.
https://geography.wisc.edu/wp-content/uploads/sites/28/2022/05/2020IJGIS_GeoAI_editorial.pdf
- VoPham, T., Hart, J.E., Laden, F., Chiang, Y.Y. (2018) Emerging trends in geospatial artificial intelligence // *Environmental Health*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29665858/>
- European Space Agency. Sentinel-2 User Handbook (2015). Paris: ESA, 2015.
https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/685211/Sentinel-2_User
- Всемирная метеорологическая организация. Руководство по метеорологическим наблюдениям и методам измерений. - Женева: WMO, 2018.
https://ino.rshu.ru/vsl_documents/ // World Meteorological Organization. Guide to

- Meteorological Instruments and Methods of Observation. - Geneva: WMO, 2018.
https://ino.rshu.ru/vsl_documents/
- OECD. Environmental Performance Reviews: Kazakhstan. - Paris: OECD Publishing, 2019.
https://www.oecd.org/en/publications/oecd-environmental-performance-reviews_19900090.html
- OpenStreetMap. <https://www.openstreetmap.org>
- Берлянт А.М. Геоинформационное картографирование. - Москва: Аспект-Пресс, 2019, 19 - 28. <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-geoinformacionnoekartografirovanie.pdf> // Berlyant, A.M. Geoinformacionnoe kartografirovanie. - Moscow: Aspekt-Press, 2019, pp. 19 - 28. <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-geoinformacionnoekartografirovanie.pdf>
- Лурье И.К., Самсонов Т.Е. Геоинформационные системы и картография. - Москва: КДУ, 2020, 5 - 13, 44 - 49. <https://www.msu.kz/upload/Files/2025/5.pdf> // Lurie, I.K., Samsonov, T.E. Geoinformacionnyye sistemy i kartografiya. - Moscow: KDU, 2020, pp. 5 - 13, 44 - 49. <https://www.msu.kz/upload/Files/2025/5.pdf>
- ChatGPT. (2026, март 23). Генерация и редактирование научного текста по теме применения искусственного интеллекта в экологических исследованиях [Большая языковая модель]. OpenAI. <https://chat.openai.com> // ChatGPT. (2026, March 23). Generaciya i redaktirovanie nauchnogo teksta po teme primeneniya iskusstvennogo intellekta v ehkologicheskikh issledovaniyah [Bol'shaya yazykovaya model']. OpenAI. <https://chat.openai.com>

ЖОҒАРҒЫ ОҚУ ОРЫНДАРЫНДАҒЫ АУДИТОРИЯЛАР МЕН ЗЕРТХАНАЛАРДАҒЫ МИКРОКЛИМАТТЫҚ ЖАҒДАЙЛАРДЫ КЕШЕНДІ ТАЛДАУҒА ӘДЕБИ ШОЛУ

ӨОЖ 613.5:378.16

Ж.Б. Болатбек^{1*}, Ж.К. Идришева¹

¹Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,
Өскемен қ., Қазақстан

*Автор-корреспондент: Болатбек Жалғас Болатбекұлы,
e-mail: zhaksbolatbek@mail.ru

Аннотация. Бұл мақалада жоғары оқу орындарының аудиториялары мен зертханаларындағы микроклиматтық жағдайларды зерттеуге арналған отандық және шетелдік ғылыми жұмыстарға әдебиеттік талдау жүргізілген. Зерттеу барысында микроклиматтың негізгі параметрлері – температура, салыстырмалы ылғалдылық, ауа қозғалысы, жарықтандыру және ауа сапасы көрсеткіштері әртүрлі университеттер мысалында қарастырылып, олардың оқу үдерісіне әсері талданады. Мақалада әртүрлі географиялық аймақтарда орналасқан жоғары оқу орындарында жүргізілген зерттеулер салыстырылып, олардың әдістемелік ерекшеліктері, қолданылған өлшеу аспаптары және зерттеу нәтижелері арасындағы айырмашылықтар анықталады. Сонымен қатар, университеттердің орналасу аймағы, климаттық жағдайлары және күн сәулесінің түсу ерекшеліктерінің аудитория ішіндегі микроклимат қалыптасуына әсері жан-жақты қарастырылады. Әдебиеттік талдау нәтижесінде микроклиматты зерттеуде кешенді тәсілдің маңыздылығы дәлелденіп, температураны жеке қарастыру жеткіліксіз екендігі көрсетіледі. Әртүрлі зерттеулердің артықшылықтары мен кемшіліктері сараланып, заманауи өлшеу әдістерінің тиімділігі негізделеді. Мақаланың ғылыми жаңалығы – әртүрлі зерттеулерді жүйелі түрде салыстыру арқылы университет аудиторияларындағы микроклиматты бағалаудың негізгі бағыттарын айқындау және оны кешенді зерттеудің қажеттілігін негіздеу болып табылады. Сонымен қатар, зерттеу нәтижелері жоғары оқу орындарында қолайлы микроклиматтық жағдай қалыптастыруға бағытталған ғылыми негізделген ұсыныстар әзірлеуге мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: микроклимат, аудитория, зертхана, температура, ылғалдылық, ауа алмасу, еңбек қауіпсіздігі, санитарлық нормалар

КІРІСПЕ

Қазіргі таңда жоғары оқу орындарындағы білім беру үдерісінің сапасын арттыру тек оқу бағдарламалары мен оқыту әдістеріне ғана емес, сонымен қатар оқу ортасының қолайлылығына да тікелей байланысты [1,3,8]. Солардың ішінде аудиториялар мен зертханалардағы микроклиматтық жағдайлар студенттердің жұмыс қабілетіне, денсаулығына және оқу материалын қабылдау тиімділігіне айтарлықтай әсер етеді [5,6,12]. Микроклиматтың негізгі параметрлері – температура, салыстырмалы ылғалдылық, ауа қозғалысы, жарықтандыру және ауа сапасы – оқу кеңістігінің санитарлық-гигиеналық жағдайын сипаттайтын маңызды көрсеткіштер болып табылады.

Соңғы жылдары бұл бағытта көптеген отандық және шетелдік зерттеулер жүргізілгенімен, олардың нәтижелері әртүрлі әдістемелерге, өлшеу құралдарына және зерттеу жүргізілген аймақтардың климаттық ерекшеліктеріне байланысты бір-бірінен айтарлықтай ерекшеленеді. Кейбір зерттеулерде микроклимат параметрлері жеке қарастырылса, басқаларында олар кешенді түрде зерттеледі [1,3,8,12]. Сонымен қатар, көптеген жұмыстарда географиялық орналасу мен күн сәулесінің түсу

ерекшеліктерінің әсері жеткілікті деңгейде талданбаған. Бұл өз кезегінде университет аудиторияларындағы микроклиматты толық әрі жан-жақты бағалауға кедергі келтіреді.

Осыған байланысты, жоғары оқу орындарындағы микроклиматтық жағдайларды зерттеуге арналған ғылыми еңбектерге жүйелі әдебиеттік талдау жүргізу, олардың нәтижелерін салыстыру және негізгі ғылыми бағыттарын анықтау өзекті мәселе болып табылады. Мұндай талдау микроклиматты бағалауда қолданылатын әдістердің тиімділігін анықтауға, олардың артықшылықтары мен кемшіліктерін айқындауға және болашақ зерттеулердің бағыттарын негіздеуге мүмкіндік береді [5,10,12].

Осы мақаланың мақсаты – жоғары оқу орындарының аудиториялары мен зертханаларындағы микроклиматтық жағдайларды зерттеуге арналған отандық және шетелдік ғылыми жұмыстарға әдебиеттік талдау жүргізу және оларды салыстырмалы түрде бағалау.

Алға қойылған мақсатқа жету үшін келесі міндеттер анықталды:

- университет аудиториялары мен зертханаларындағы микроклиматты зерттеуге арналған ғылыми еңбектерді талдау;
- әртүрлі зерттеулерде қолданылған әдістер мен өлшеу құралдарының ерекшеліктерін салыстыру;
- зерттеу жүргізілген аймақтардың климаттық жағдайлары мен университеттердің орналасу ерекшеліктерінің микроклиматқа әсерін анықтау;
- микроклимат параметрлерін, әсіресе температураны зерттеу бойынша алынған нәтижелерді салыстырмалы түрде талдау;
- қарастырылған зерттеулердің артықшылықтары мен кемшіліктерін айқындау және микроклиматты кешенді зерттеудің маңыздылығын негіздеу.

Осылайша, ұсынылып отырған мақала жоғары оқу орындарындағы микроклиматтық жағдайларды зерттеудің ғылыми негіздерін жүйелеуге және оларды жетілдіру бағыттарын анықтауға бағытталған.

ӘДЕБИЕТТІК ШОЛУ

Жоғары оқу орындарының аудиториялары мен зертханаларындағы микроклиматтық жағдайларды бағалау мәселесі қазіргі таңда тек санитарлық-гигиеналық талаптар шеңберінде ғана емес, сонымен қатар білім беру сапасын арттыру факторы ретінде де қарастырылып отыр [1,3,5,8]. Әдеби деректерді талдау көрсеткендей, әртүрлі елдерде жүргізілген зерттеулер микроклимат параметрлерін анықтауда әдістемелік, аспаптық және климаттық тұрғыдан айтарлықтай ерекшеленеді [2-4,10,12]. Бұл айырмашылықтар алынған нәтижелердің мазмұнына және олардың қолданылу ауқымына тікелей әсер етеді.

Алғашқы қарастырылған зерттеулердің бірі Волга өңірлік дене шынықтыру, спорт және туризм мемлекеттік академиясы базасында жүргізілген жұмыс болып табылады. Бұл зерттеуде аудиториялардағы температура, салыстырмалы ылғалдылық және ауа қозғалысы параметрлері жүйелі түрде өлшеніп, олардың тәуліктік және маусымдық өзгерістері анықталған [2]. Зерттеу барысында қыс мезгілінде температураның 16-18°C дейін төмендейтіні, ал жаз мезгілінде 26-28°C дейін жоғарылайтыны анықталған, бұл көрсеткіштердің санитарлық нормалардан ауытқитынын көрсетеді [2]. Сонымен қатар, ауа қозғалысының жеткіліксіздігі мен ылғалдылықтың тұрақсыздығы да тіркелген. Бұл зерттеудің артықшылығы – микроклиматтың динамикалық өзгерістерін нақты көрсетуі, яғни уақыт факторының ескерілуі. Алайда зерттеудің кемшілігі – ғимараттың бағдарлануы, күн сәулесінің түсуі және аудиториялардың көлемдік-жоспарлық шешімдері ескерілмеген, бұл микроклимат қалыптасуының толық бейнесін ашуға мүмкіндік бермейді [2,6].

Осы зерттеумен салыстырғанда, Воронеж мемлекеттік медицина университеті жүргізген зерттеу анағұрлым кешенді сипатқа ие. Бұл жұмыста микроклимат параметрлері ғана емес, сонымен қатар ауа сапасы (көмірқышқыл газының

концентрациясы) және студенттердің субъективті жайлылық көрсеткіштері зерттелген[3]. Зерттеу нәтижелері аудиторияларда CO₂ деңгейінің 1000 ppm-нен жоғарылағанын көрсеткен, бұл желдету жүйесінің тиімсіздігін дәлелдейді[3,14]. Сонымен қатар, студенттердің шамамен 60-70%-ы микроклиматты «қанағаттанарлықсыз» деп бағалаған. Бұл зерттеудің басты артықшылығы – адам ағзасының реакциясын ескеру арқылы микроклиматтың шынайы әсерін анықтауы. Дегенмен, субъективті бағалаулардың болуы нәтижелердің вариативтілігін арттырады және әртүрлі топтар арасында салыстыруды күрделендіреді [3,5]. Сонымен қатар, зерттеу көбінесе ішкі факторларға бағытталып, сыртқы климаттық әсерлер жеткілікті деңгейде қарастырылмаған.

Қазақстандық зерттеулер арасында С. Д. Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медицина университеті базасында жүргізілген жұмыс айрықша маңызға ие. Бұл зерттеу микроклимат параметрлерін табиғи және жасанды жарықтандырумен бірге кешенді түрде қарастыруымен ерекшеленеді [1,6]. Зерттеу барысында аудиториялардың бағытталуы (солтүстік, оңтүстік, шығыс, батыс) және олардың күн сәулесін қабылдау ерекшеліктері талданған. Нәтижесінде оңтүстік және оңтүстік-батыс бағыттағы аудиторияларда температураның 27–30°C дейін жететіні анықталған, бұл әсіресе жаз мезгілінде байқалады. Ал солтүстік бағыттағы аудиторияларда температура салыстырмалы түрде төмен болғанымен, жарықтандыру деңгейі жеткіліксіз болған. Бұл зерттеудің артықшылығы – микроклимат қалыптасуына әсер ететін табиғи факторларды (күн радиациясы, географиялық орналасу) терең талдауы [1,6]. Сонымен қатар, зерттеу Қазақстанның континенталды климат жағдайына бейімделген нақты практикалық ұсыныстар беруге мүмкіндік береді. Алайда кемшілігі – өлшеу жұмыстарының көбінесе қысқа мерзімде жүргізілуі және үздіксіз мониторингтің болмауы.

Пермь ұлттық зерттеу политехникалық университеті жүргізген зерттеулер микроклиматты ғимараттардың архитектуралық және конструктивтік ерекшеліктерімен байланыстыра отырып қарастыруымен ерекшеленеді [4]. Бұл зерттеуде оқу корпустарының жылу оқшаулауы, терезелердің орналасуы және ғимараттардың бағытталуы микроклиматқа әсер етуші негізгі факторлар ретінде қарастырылған. Пермь қаласының солтүстік ендікте орналасуы нәтижесінде күн сәулесінің түсу ұзақтығы аз болып, аудиторияларда табиғи жарықтың жетіспеушілігі анықталған. Сонымен қатар, кейбір жағдайларда жылу жүйесінің тиімді жұмысы нәтижесінде температура нормадан аспаған. Бұл зерттеудің артықшылығы – инженерлік және архитектуралық шешімдердің микроклиматқа әсерін нақты көрсетуі. Бірақ зерттеуде адам факторына және ауа сапасына жеткілікті назар аударылмаған, бұл оның кешенділігін төмендетеді [4,5].

Еуропалық зерттеулер, әсіресе Австрия университеттерінде жүргізілген жұмыстар, микроклиматты зерттеудің жаңа деңгейін көрсетеді [12,13]. Бұл зерттеулерде IoT технологиялары, автоматтандырылған сенсорлық жүйелер және деректерді бұлттық өңдеу әдістері қолданылған. Нәтижесінде микроклимат параметрлері (температура, ылғалдылық, CO₂, жарық) нақты уақыт режимінде бақыланған [12,13,14]. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, заманауи желдету және климаттық бақылау жүйелері қолданылған аудиторияларда температура 22–24°C аралығында тұрақты сақталған, ал ауа сапасы халықаралық стандарттарға сәйкес келген. Бұл зерттеудің басты артықшылығы – жоғары дәлдік, үлкен деректер көлемі және микроклиматты басқару мүмкіндігі. Дегенмен, мұндай технологиялардың жоғары құны оларды барлық университеттерде қолдануға мүмкіндік бермейді, бұл оның негізгі шектеуі болып табылады.

Жоғарыда қарастырылған зерттеулерді салыстыра отырып, олардың арасындағы айырмашылықтарды тереңірек сипаттауға болады. Біріншіден, географиялық орналасу факторы шешуші рөл атқарады: солтүстік аймақтарда жарық

тапшылығы және жылу сақтау мәселелері басым болса, Қазақстан жағдайында керісінше, күн радиациясының жоғары болуы нәтижесінде қызып кету проблемасы алдыңғы орынға шығады. Екіншіден, зерттеу әдістері бойынша айырмашылық айқын байқалады: дәстүрлі құралдар негізіндегі зерттеулер қарапайым әрі қолжетімді болғанымен, олар қысқа мерзімді және шектеулі деректер береді, ал заманауи цифрлық жүйелер үздіксіз мониторинг жүргізуге мүмкіндік береді. Үшіншіден, кейбір зерттеулер тек физикалық параметрлерге негізделсе, басқалары адам факторын, ауа сапасын және психофизиологиялық әсерлерді бірге қарастырады.

Температура параметрін зерттеу барлық жұмыстарда негізгі орын алғанымен, оны оқшау түрде қарастыру жеткіліксіз екені анық байқалады. Температураның тиімді бағалануы үшін оны салыстырмалы ылғалдылық, ауа қозғалысы, CO₂ деңгейі және жарықтандырумен бірге кешенді түрде қарастыру қажет. Осы тұрғыдан алғанда, Қазақстандық және Воронеж зерттеулері кешенділігімен ерекшеленсе, Австриялық зерттеулер технологиялық дәлдігімен басым.

Жалпы қорытындылай келе, әрбір зерттеудің өзіндік ғылыми және практикалық құндылығы бар. Дәстүрлі зерттеулердің артықшылығы – олардың қарапайымдылығы мен қолжетімділігі болса, заманауи зерттеулердің артықшылығы – жоғары дәлдік пен деректердің толықтығы [2,4,12]. Ал кешенді зерттеулер микроклиматтың оқу үдерісіне әсерін жан-жақты түсінуге мүмкіндік береді. Сондықтан қазіргі таңда университет аудиториялары мен зертханаларындағы микроклиматты зерттеу үшін осы тәсілдердің барлығын біріктіретін интеграциялық әдіс ең тиімді бағыт болып табылады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Менің диссертациямның тақырыбы Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетіндегі аудиториялар мен зертханалардағы микроклиматтық жағдайларды кешенді талдау. Зерттеуімнің басты ерекшелігі – Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетіндегі аудиториялар мен зертханалардағы микроклиматтық жағдайларды кешенді талдау. Жоғарыда келтірілген зерттеу жұмыстары негізінде зерттеу жұмыстары жүргізілетін болады. Келтірілген зерттеулерге жасалған әдеби сараптама нәтижесінде анықталған зерттеулердің тәсілдері мен ерекшеліктерін қолдану өзімнің зерттеу жұмыстарында нақты нәтижеге жетуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, зерттеулердің басым бөлігі қысқа мерзімді өлшеулермен шектелген. Осыған байланысты ұсынылып отырған зерттеудің негізгі айырмашылығы – микроклимат параметрлерін кешенді, жүйелі және өзара байланыста зерттеуінде. Жұмыстың артықшылығы – заманауи өлшеу құралдарын қолдану, көрсеткіштердің уақыт бойынша өзгерісін бақылау және аудиториялардың кеңістіктік орналасуын ескеру арқылы нақты әрі дәл нәтижелер алу мүмкіндігі [12,13]. Зерттеудің ерекшелігі Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті орналасқан аймақтың климаттық жағдайларымен де байланысты. Өскемен қаласының күрт континенталды климаты, температураның маусымдық күрт өзгерістері және күн сәулесінің әркелкі түсуі микроклиматты жан-жақты талдауға қолайлы жағдай жасайды. Жалпы алғанда, бұл зерттеу бұрынғы жұмыстарды толықтыра отырып, микроклиматты бағалаудың кешенді тәсілін ұсынады және жоғары оқу орындарында қолайлы оқу ортасын қалыптастыруға бағытталған ғылыми негізделген нәтижелер алуға мүмкіндік береді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Асфендияров С.Д. Қазақ ұлттық медицина университеті зерттеулері: Микроклиматтық көрсеткіштер. Алматы: ҚазҰМУ, 2019. – 120 б.
2. Волга өңірлік дене шынықтыру, спорт және туризм мемлекеттік академиясының микроклимат зерттеулері. Воронеж: ВОГСА, 2018. – 98 б.
3. Воронеж мемлекеттік медицина университеті. Аудиторияларда микроклиматты кешенді бағалау. Воронеж: ВГМУ, 2020. – 105 б.
4. Пермь ұлттық зерттеу политехникалық университеті. Ғимараттардағы микроклиматтық жағдайларды зерттеу. Пермь: ПНИПУ, 2017. – 112 б.
5. Сидоренко В.П., Иванов А.А. Микроклимат и здоровье студентов: учебное пособие. Москва: Медицина, 2016. – 215 б.
6. Шарипов Ж.Т. Жоғары оқу орындарындағы аудиторияның микроклиматы. ҚазҰМУ журнал, 2021, №3, 45–53 б.
7. Araki, T., & Tanaka, M. Indoor climate assessment in university classrooms. Building and Environment, 2019, 159, 106–115.
8. Zhang, Y., et al. Effects of temperature, humidity and air movement on students' performance. Energy and Buildings, 2020, 224, 110–119.
9. European Committee for Standardization (CEN). EN 16798-1:2019 Indoor environmental input parameters. Brussels: CEN, 2019.
10. Fanger, P.O. Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering. Copenhagen: Danish Technical Press, 2018.
11. Li, X., & Chen, Q. Indoor air quality monitoring in higher education buildings using IoT sensors. Journal of Cleaner Production, 2021, 320, 128–135.
12. Austrian Institute of Technology. Smart classroom climate control study. Vienna: AIT, 2020.
13. World Health Organization. Indoor air quality guidelines. WHO, 2010. URL: <https://www.who.int/indoorair>
14. ASHRAE Standards. Thermal environmental conditions for human occupancy. ASHRAE, 2017. URL: <https://www.ashrae.org/standards>

ИИ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПРИРОДНЫХ КАТАСТРОФ: ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ И ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ

УДК 004.8:504.4

Д.А. Вербенкина¹, Ж.Е. Нурсолтанова¹, Б.М. Толыкбаева^{1*}

¹ВКТУ им.Д.Серикбаева, г.Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Толыкбаева Бинур Маратовна,

e-mail: tolykbayeva.binur@mail.ru

АННОТАЦИЯ. Актуальность исследования обусловлена частотой и интенсивностью природных катастроф на фоне изменения климата. Это создает угрозы для населения, инфраструктуры, а также флоре и фауне.

Цель работы: анализ современных возможностей применения ИИ для прогнозирования, оценки и решению экологических задач.

В исследовании применены методы систематического обзора научной литературы, сравнительного анализа существующих ИИ-моделей и синтеза данных о практическом применении технологий в экологическом мониторинге.

Научная новизна работы: систематизация экологических аспектов применения ИИ для охраны окружающей среды.

Практическая значимость: интегрирование ИИ в систему экологического мониторинга и управление за охраняемыми природными территориями

Ключевые слова: ИИ, прогнозирование природных катастроф, экологический мониторинг, охрана окружающей среды

ВВЕДЕНИЕ. Современный этап развития цивилизации характеризуется нарастанием климатических рисков. Согласно данным Всемирной метеорологической организации, частота природных катастроф за последние 50 лет увеличилась в пять раз, а экономический ущерб от них исчисляется сотнями миллиардов долларов ежегодно. Для экологов эта статистика имеет особое значение: природные катастрофы уничтожают местообитания редких видов, нарушают миграционные пути, приводят к деградации почв и загрязнению водных объектов. Традиционные методы прогнозирования, основанные на физико-математических моделях, часто не справляются с растущей сложностью природных систем и не дают необходимой точности для принятия своевременных природоохранных решений.

Актуальность темы для трека A: Student Research (Научные исследования) обусловлена необходимостью поиска новых инструментов, которые позволят экологии перейти от констатации уже нанесенного ущерба к превентивным мерам защиты экосистем. В научной литературе последних лет активно обсуждаются возможности применения ИИ для прогнозирования экстремальных погодных явлений, наводнений, засух и пожаров. Исследователи Kim и Kim (2025) в своем систематическом обзоре выделяют пять направлений применения ИИ, напрямую связанных с экологией: прогнозирование экстремальных явлений, оценка рисков наводнений, мониторинг засух, оценка реакции экосистем на экстремальные явления и обнаружение катастроф с использованием мультиспектральных снимков. Европейские проекты SEED-FD и CENTAUR демонстрируют успешные примеры интеграции спутниковых данных и машинного обучения для раннего предупреждения о климатических рисках.

Однако, несмотря на активное развитие технологий, в научной литературе недостаточно внимания уделяется именно экологическому аспекту применения прогностических ИИ-моделей: как прогноз катастроф может быть использован для

сохранения биоразнообразия, защиты особо охраняемых природных территорий и планирования восстановительных мероприятий. Это определяет цель настоящего исследования: проанализировать современные возможности ИИ в прогнозировании природных катастроф и оценить их значимость для решения задач в области экологии и охраны окружающей среды.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести обзор современных ИИ-моделей, применяемых для прогнозирования природных катастроф;
2. Выявить экологические параметры, которые могут быть интегрированы в прогностические модели;
3. Проанализировать практические примеры использования ИИ для оценки рисков экосистемам;
4. Определить перспективы внедрения данных технологий в экологический мониторинг в условиях Казахстана.

Объектом исследования являются природные катастрофы как фактор экологического риска, предметом — методы и технологии искусственного интеллекта, применяемые для их прогнозирования в интересах охраны природы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате анализа были выделены три основные группы ИИ-моделей, имеющих наибольшее значение для решения экологических задач при прогнозировании природных катастроф.

1. Модели прогнозирования лесных пожаров

Исследования показывают, что методы машинного обучения успешно применяются для прогнозирования лесных пожаров в регионах с высоким биоразнообразием. Например, в Западных Гатах (Индия) — глобальном центре биоразнообразия — модели на основе случайного леса (Random Forest) и градиентного бустинга позволяют предсказывать возникновение пожаров с точностью до 85–92% за 48 часов. Для эколога это означает возможность:

- Заблаговременного ограничения доступа туристов на особо охраняемые природные территории;
- Создания противопожарных разрывов в местах концентрации редких видов;
- Планирования эвакуации животных из зоопитомников и вольерных комплексов.

2. Модели прогнозирования наводнений

Проект FORESIGHT, финансируемый Европейским союзом, использует генеративный ИИ (GenAI) для создания карт затопления с высоким разрешением — до 30 метров на пять дней вперед. Традиционные гидродинамические модели требуют значительного времени для расчетов, тогда как генеративные нейросети, обученные на данных физических моделей, способны создавать прогнозы мгновенно. Экологическое значение таких прогнозов заключается в:

- Оценке рисков для водно-болотных угодий — ключевых местообитаний водоплавающих птиц;
- Прогнозировании смыва плодородного слоя почвы и планировании почвозащитных мероприятий;
- Предотвращении загрязнения рек при затоплении промышленных объектов и складов с удобрениями.

3. Гибридные модели

Исследователи Университета Фридриха Шиллера в Йене отмечают, что чисто статистические ИИ-модели могут быть не надежны при изменении условий, поэтому перспективным направлением является создание гибридных моделей,

объединяющих машинное обучение с физическими законами. Такие модели особенно важны для прогнозирования оползней — катастроф, напрямую влияющих на почвенный покров и растительность. Гибридные подходы позволяют учитывать изменения в землепользовании и климатические тренды, что критически важно для долгосрочного экологического планирования.

Анализ данных, представленных на рисунке 1, показывает, что наиболее высокая точность достигается при прогнозировании наводнений и лесных пожаров — именно тех катастроф, которые наносят наибольший ущерб экосистемам. При этом важным результатом является выявление зависимости между пространственным разрешением модели и ее пригодностью для решения экологических задач. Для охраны местообитаний конкретных видов требуется разрешение не меньше 30–100 метров, что сегодня обеспечивают модели на основе генеративного ИИ и сверхточных нейросетей.

Таблица 1. Точность прогнозирования различных типов природных катастроф с использованием ИИ-моделей

Тип катастрофы	Точность прогноза	Заблаговременность	Пространственное разрешение
Лесные пожары	80-92%	48-72 часа	48-90 км
Наводнения	87-94%	5-15 дней	5-10 км
Ураганы	78-88%	5-10 дней	9-50 км
Оползни	Около 68%	1-3 часа	1-2 км
Засухи	68-82%	1-3 месяца	100-500 м

Таблица 2. Сравнительная характеристика ИИ-моделей для прогнозирования природных катастроф

Модель/ архитектура	Тип катастроф	Точность/метрика	Экологические параметры	Источники
HxUnet(сверточная нейросеть)	Ураганы	79%	Снижение ошибки прогноз скорости ветра	Kim & Kim, 2025
LSTM+CNN(гибрид)	Наводнения	92,4%	92,4% прогноз за 48 часов	Pokkulüri et al., 2025
Трансформеры (адаптированные)	Землетрясения	95,6%	Карты затопления пойменных лугов	Pokkulüri et al., 2025
Генеративные модели(GAN)	Наводнения	Высокое разрешение почв	Риски для горных экосистем	Friedrich-Schiller-Universität, 2026
Генеративные модели(GAN)	Наводнения	Высокое разрешение почв	Оценка эрозии почв	FORESIGN T, 2025
Ансамблевые методы(Random Forest)	Лесные пожары	85-92%	Карта местообитаний редких видов	Pokkulüri et al., 2025

Важным ограничением, выявленным в ходе анализа, является недостаточная представленность экологических данных в обучающих выборках. Большинство

моделей обучаются на метеорологических и гидрологических данных, тогда как параметры биоразнообразия, состояние почв, типы растительности учитываются фрагментарно. Это определяет направление для дальнейших исследований: разработка методов интеграции экологических данных в прогностические ИИ-модели.

Для Казахстана, где значительные территории заняты степными и полупустынными экосистемами, особую актуальность представляет прогнозирование засух и опустынивания. Существующие мировые разработки в этой области (точность прогноза засух до 89% с заблаговременностью до трех месяцев) могут быть адаптированы к условиям республики при наличии соответствующих наземных данных мониторинга.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования решены все поставленные задачи: проведен обзор современных ИИ-моделей для прогнозирования природных катастроф, выявлены экологические параметры, интегрируемые в прогностические модели, проанализированы практические примеры использования ИИ для оценки рисков экосистемам.

Установлено, что наиболее перспективными для решения экологических задач являются модели с высоким пространственным разрешением (30–100 м), позволяющие прогнозировать лесные пожары с точностью до 92% за 48 часов и наводнения с детализацией карт затопления до 30 метров. Гибридные модели, объединяющие машинное обучение с физическими законами, демонстрируют наибольшую надежность при изменяющихся климатических условиях.

Научная новизна работы заключается в систематизации экологических аспектов применения прогностических ИИ-моделей, что дополняет существующие технические и метеорологические исследования. Практическая значимость определяется возможностью применения результатов в системе экологического мониторинга Казахстана, особенно для защиты особо охраняемых природных территорий (Иле-Алатауский национальный парк, Коргалжынский заповедник, Алтын-Эмель).

Выявленные ограничения (недостаточная представленность экологических данных в обучающих выборках, фрагментарность наземных наблюдений) определяют перспективы дальнейших исследований: разработка методик интеграции экологических данных в прогностические модели и адаптация мировых разработок к условиям республики.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ: Авторы выражают благодарность научному руководителю за методологическую поддержку и ценные замечания при подготовке рукописи, а также коллегам по кафедре за полезные обсуждения результатов исследования.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА:

При подготовке данной статьи инструменты искусственного интеллекта использовались для перевода и редактирования текста, а также для проверки фактологической информации. Генерация научного контента, формулировка выводов и интерпретация результатов выполнены авторами самостоятельно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Kim, B., & Kim, T. (2025). AI in extreme weather events prediction and response: a systematic topic-model review (2015–2024). *Frontiers in Environmental Science*, 13. <https://www.frontiersin.org/journals/environmental-science/articles/10.3389/fenvs.2025.1659344/full>
- Pokkuluri, K. S., Patel, A., & Singh, R. (2025). Disaster management based on biodiversity conservation using remote sensing data analysis using machine learning model. *Remote Sensing in Earth Systems Sciences*, 8(2), 112–128. <https://link.springer.com/article/10.1007/s41976-024-00188-y>
- Friedrich-Schiller-Universität Jena. (2026, January 15). Reliable AI systems for a changing environment. *ScienceDaily*. <https://www.uni-jena.de/en/369974/reliable-ai-systems-for-a-changing-environment>
- Universitat de València. (2025, November 10). Researchers design more effective AI-based early warning systems to enhance decision-making in response to climate change impacts. <https://www.unep.org/topics/climate-action/climate-transparency/climate-information-and-early-warning-systems>
- SEED-FD Consortium. (2025). SEED-FD and CENTAUR: Building resilience to climate extremes through AI-based early warning systems. *European Commission Research Programme Reports*, 2025(3). <https://www.seed-fd.eu/>
- Google Earth AI. (2025). Geospatial modeling and AI for environmental monitoring and disaster response. *Google Research Blog*. <https://aibreaking.org/blog/google-earth-ai-gemini-geospatial-reasoning/>
- Abedin, B., Meske, C., Junglas, I., & others. (2022). Designing and managing human-AI interactions. *Information Systems Frontiers*, 24, 691–697. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10796-022-10313-1>
- Alhoul, A., & Kiss, E. (2022). Industry 4.0 as a challenge for the skills and competencies of the labor force: A bibliometric review and a survey. *Sci*, 4(3), 34. <https://www.mdpi.com/2413-4155/4/3/34>
- Всемирная метеорологическая организация. (2024). Атлас смертности и экономических потерь от экстремальных погодных, климатических и водных явлений (1970–2023). ВМО, Женева.
- Программа ООН по окружающей среде. (2025). *Frontiers 2025: Emerging issues of environmental concern*. ЮНЕП, Найроби.
- DeepSeek. (2025, февраль 25). Помощь в редактировании научной статьи на тему «Искусственный интеллект в прогнозировании природных катастроф: экологический аспект» [Большая языковая модель]. DeepSeek. <https://chat.deepseek.com/>

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА УГЛЯ

УДК 550.8.053

Д.Е. Воробьев^{1*}, Н.А. Зимановская¹

¹ВКТУ имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Воробьев Данила Евгеньевич, e-mail: danila.vorobev0173@gmail.com

АННОТАЦИЯ. Прогресс в области искусственного интеллекта формирует новую парадигму контроля качества в угольной промышленности. В эпоху цифровой трансформации горного производства алгоритмы машинного обучения становятся ключевым инструментом для обеспечения точности, скорости и глубины анализа. Использование искусственного интеллекта позволяет решить ряд актуальных задач при оценке качества угля, например: 1) обеспечение объективности оценки за счёт минимизации влияния человеческого фактора; 2) оптимизация процессов анализа и сокращение времени получения результатов; 3) прогнозирование качественных характеристик на основе производственных и геологических данных; 4) анализ и обработка больших массивов геолого-технологических данных с выявлением скрытых закономерностей; 5) обеспечение непрерывного контроля качества на всех этапах - от добычи до формирования товарных партий. Следует отметить, что большинство перечисленных задач в настоящее время решаются с привлечением значительных трудовых ресурсов и сопряжены с влиянием человеческого фактора. Внедрение методов ИИ, описанное в данной статье, обеспечивает не только снижение вариативности результатов, но и качественный скачок — смену реактивной модели контроля на проактивное управление качеством угольной продукции.

Ключевые слова: искусственный интеллект, поисково-разведочные работы, уголь, золомер, Каражыра.

ВВЕДЕНИЕ

Определение качества угля относится к числу первостепенных задач на всех этапах освоения месторождений — от геологоразведки до промышленной эксплуатации. Качество в данном контексте представляет собой комплексный показатель, объединяющий ключевые параметры: зольность, влажность, содержание серы, показатели выхода летучих веществ и теплотворную способность (высшую и низшую). Именно эти характеристики напрямую диктуют технологическую ценность сырья, глубину его переработки и рентабельность добычи. Кроме того, данные параметры служат индикаторами экологичности топлива, определяя уровень эмиссии вредных веществ, что приобретает особую значимость в свете современных требований к охране окружающей среды и одновременно формирует рыночную стоимость конечной продукции.

При этом, следует отметить взаимосвязь некоторых качественных характеристик друг с другом. К примеру, повышенная влажность и зольность угольной продукции приводят к снижению низшей теплоты сгорания, но как правило, не меняют высшую теплоту сгорания. В свою очередь повышенная зольность также приводит к увеличению объемов шлакообразования, что также сказывается на экологической обстановке и приводит к экономическим издержкам в виде негативного влияния на работу котельных установок. Кроме того, урон по экологии наносит и повышенное содержание серы, это проявляется в выбросе диоксида серы.

Роль качественных характеристик угля меняется на разных стадиях освоения

недр. На этапе геологоразведки эти показатели служат основой для подсчета запасов, присвоения им категорий и выполнения технико-экономических обоснований (ТЭО) целесообразности разработки. Когда же месторождение вводится в эксплуатацию, контроль качества переходит в практическую плоскость: он становится инструментом оптимизации добычных работ, обеспечения селективной выемки угольных пластов, повышения эффективности обогащения и составления товарных партий, строго соответствующих требованиям потребителей..

Исходя из вышеописанного, оценка качества угля представляет собой системообразующий элемент всего производственного цикла угледобывающего предприятия. Достоверность определения качественных показателей оказывает прямое влияние на корректность подсчёта запасов, выбор технологической схемы разработки, эффективность процессов обогащения, формирование конкурентоспособной товарной продукции и экономические результаты деятельности предприятия. Следовательно, обеспечение точной и оперативной оценки качества угля является ключевым условием рационального освоения месторождений и устойчивого функционирования угольной отрасли.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На сегодняшний день оценка качества угля производится преимущественно тремя основными методами:

- 1) Лабораторная оценка качества;
- 2) Визуальная оценка качества.
- 3) Комплексная оценка качества

Данные методы имеют свои преимущества, но и, разумеется, имеют свои недостатки, что изложено в таблице 1.

Таблица 1. Преимущества и недостатки методов оценки качества угля

Метод оценки	Преимущества	Недостатки
Лабораторная оценка качества	1) Высокая точность определения показателей (зольность, влажность, содержание серы, теплота сгорания и др.) 2) Стандартизированные методики проведения анализа 3) Возможность комплексного исследования химических и технических характеристик 4) Применимость результатов при подсчёте запасов и технико-экономическом обосновании	1) Значительная трудоёмкость 2) Длительность получения результатов 3) Высокая стоимость оборудования и реактивов 4) Дискретность контроля (анализ отдельных проб) 5) Необходимость привлечения квалифицированного персонала
Визуальная оценка качества	1) Оперативность проведения оценки 2) Минимальные материальные затраты 3) Возможность применения непосредственно в забое, на складе или при отгрузке 4) Простота реализации	1) Низкая точность определения показателей 2) Субъективность оценки (зависимость от опыта специалиста) 3) Невозможность определения химических характеристик (сера, теплота сгорания и др.) 4) Высокая вероятность ошибок при неоднородности угольной

Метод оценки	Преимущества	Недостатки
		массы
Комплексная оценка качества	1) Повышение достоверности результатов за счёт взаимного контроля методов 2) Возможность оперативной предварительной оценки с последующим лабораторным подтверждением 3) Снижение вероятности грубых ошибок при сортировке и формировании партий 4) Более гибкий производственный контроль качества	1) Увеличение организационной сложности процесса 2) Сохранение затрат на лабораторные исследования 3) Зависимость эффективности от координации между подразделениями 4) Отсутствие непрерывного автоматизированного контроля

Представленные методы характеризуются разным набором преимуществ и недостатков, к примеру, при кажущейся эффективности, комплексная оценка качества угля характеризуется большим усложнением производственных процессов при этом никак не оптимизируя процесс.

Кроме того, следует отметить что в настоящее время существует и приборная оценка качества угля, к примеру некоторое распространение получил прибор – Золомер (рисунок 1).

В основе функционирования золомеров лежат радиометрические и гамма-плотностные методы, которые обеспечивают экспресс-оценку доли минеральных включений в угле, исключая необходимость длительных лабораторных исследований. Применение этих приборов кратно повышает скорость мониторинга качества в условиях непрерывного производства - на этапах добычи, транспортировки, складирования и отгрузки. Благодаря возможности практически непрерывного измерения зольности операторы получают возможность в режиме реального времени вносить коррективы в процессы обогащения. Несмотря на неоспоримые достоинства, золомер имеет ряд эксплуатационных ограничений, снижающих его универсальность. Главный недостаток обусловлен самой природой прибора — узкой направленностью на единственный параметр (зольность), тогда как комплексная оценка качества угля требует учета множества других характеристик. Второе существенное ограничение связано с размером исследуемых частиц: достоверные результаты достигаются лишь на фракции 0–50 мм, тогда как на более крупных кусках погрешность измерения неприемлемо высока. Это особенно критично для месторождений с неоднородным гранулометрическим составом (например, «Каражыра»), где применение золомера становится еще более ограниченным.



Рисунок 1. Золомер Ashcheck

Проведенный анализ показывает, что существующие подходы к оценке качества угля не в полной мере отвечают требованиям современного производства. Их ключевые ограничения — прерывистость мониторинга, субъективность лабораторных методов, запаздывание результатов и фрагментарность получаемых данных. Цифровизация отрасли диктует необходимость создания принципиально новых систем контроля, способных работать в непрерывном режиме и интегрировать разнородные данные. Использование алгоритмов искусственного интеллекта позволяет решить эту задачу, обеспечивая переход от эпизодических замеров к постоянному интеллектуальному сопровождению технологических процессов на основе комплексного анализа качества.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Применение ИИ на стадии поисково-разведочных работ. Традиционная методология оценки качества угля на поисково-разведочном этапе базируется на лабораторном анализе кернового материала и интерпретации геофизических данных. Такой подход, однако, обладает существенным недостатком — дискретностью наблюдений. Прямые замеры выполняются лишь в точках бурения, а качественные характеристики межскважинного пространства восстанавливаются с помощью интерполяции, что неизбежно вносит погрешности. Дополнительным фактором неопределенности остается субъективность, сопровождающая процессы отбора проб, их подготовки и последующей обработки информации. Внедрение технологий искусственного интеллекта открывает возможности для качественного повышения достоверности и детализации моделей. Алгоритмы машинного обучения позволяют интегрировать разнородные геолого-геофизические данные: материалы каротажа, геохимические показатели, литологические описания керна, сведения о мощности и глубине залегания пластов, а также структурные особенности участка. Особый интерес представляет применение нейросетевых моделей для прогноза зольности непосредственно по данным геофизического каротажа, что сокращает потребность в трудоемких лабораторных анализах. Кроме того, ИИ способен выполнять предварительную оценку распределения качественных параметров в межскважинных интервалах, учитывая геологические неоднородности — тектонические нарушения, изменение мощности пласта, литологические переходы. В результате формируется детализированная цифровая модель месторождения, отражающая не только пространственную геологию, но и закономерности распределения показателей качества угля.

Применение ИИ на стадии добычи. Этап добычи является критическим с точки зрения контроля качества, поскольку именно здесь формируются основы товарной продукции и возникают основные риски технологических потерь из-за смешения угля

различных сортов. Традиционная система оценки в забое строится на визуальном контроле с последующим подтверждением лабораторными анализами, что не позволяет оперативно влиять на процесс.

Интеграция технологий искусственного интеллекта открывает возможности для принципиального повышения эффективности добычных работ по трём ключевым направлениям. Первое направление — оперативная экспресс-оценка качества непосредственно в забое. Комплексный анализ данных с датчиков, информации о позиционировании горной техники, параметрах выемки (глубина, мощность пласта) и накопленных геологических материалов позволяет строить прогностические модели основных показателей (зольности, влажности) в режиме, близком к реальному времени. Ключевое преимущество — возможность принятия решений до того, как произошло неконтролируемое смешение угля различных качественных категорий. Второе направление — создание единой цифровой среды накопления и анализа данных о фактическом качестве обрабатываемых пластов. Хотя на большинстве предприятий ведётся сбор производственной информации, её использование остаётся фрагментарным и не предполагает автоматизированной аналитики. Интеллектуальные алгоритмы позволяют не только систематизировать разнородные данные, но и выявлять скрытые закономерности изменения качества в зависимости от глубины, пространственного положения и горно-геологических условий. Третье направление — оптимизация селективной выемки угля. Прогностические модели дают возможность заранее идентифицировать участки с аномальными качественными характеристиками (повышенной зольностью, изменённым составом) и соответствующей корректировки траектории движения выемочной техники. Реализация такого подхода обеспечивает минимизацию разубоживания угля вмещающими породами и, как следствие, снижение последующих затрат на обогащение.

Применение ИИ на стадии сортировки и обогащения угля. Среди перспективных направлений автоматизации перерабатывающих процессов особое место занимают системы компьютерного зрения, обеспечивающие визуальную диагностику угольной массы. Анализ цветовых характеристик, текстурных особенностей и морфологии кускового материала позволяет алгоритмам в реальном времени идентифицировать породные включения и оценивать общую засорённость потока.

Не менее значимым направлением выступает интеллектуальное управление обогатительным оборудованием. Машинное обучение даёт возможность обрабатывать многопараметрические потоки данных — от текущей зольности и гранулометрического состава до плотности пульпы и режимов работы сепараторов. На основе этой информации алгоритмы способны автономно корректировать настройки флотационных машин и гравитационных установок, прогнозировать выход концентрата и минимизировать потери полезного компонента. Анализ накопленных производственных данных позволяет выявлять эталонные режимы, обеспечивающие максимальную эффективность при минимальном разубоживании.

Ключевым фактором повышения управляемости становится интеграция интеллектуальных систем с онлайн-датчиками зольности и плотности. Такая архитектура формирует замкнутый контур регулирования, где результаты непрерывных измерений автоматически трансформируются в корректирующие воздействия на технологическое оборудование. Резюмируя, внедрение искусственного интеллекта на этапах сортировки и обогащения обеспечивает комплексный эффект: стабилизацию качества готовой продукции, сокращение потерь ценного компонента, оптимизацию технологических параметров и, как следствие, рост рентабельности угледобычи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненный анализ подтверждает, что контроль качества угля является фундаментальной составляющей производственного цикла, определяющей достоверность геолого-экономической оценки, эффективность технологий добычи и переработки, а также конечные финансовые результаты.

Традиционные методы оценки - лабораторные, визуальные и комплексные-при всей их практической значимости демонстрируют принципиальные недостатки: эпизодичность контроля, запаздывание информации, значительные трудозатраты и зависимость от квалификации персонала. Приборные средства типа золомеров ускоряют получение данных, но ограничены измерением единственного параметра (зольности), что не позволяет составить полную картину качества. Альтернативой, лишённой указанных недостатков, выступают технологии искусственного интеллекта, применимые на всём протяжении освоения месторождения. На поисковом этапе ИИ обеспечивает построение детальных пространственных моделей распределения качественных показателей. На добычном - оперативную идентификацию качества непосредственно в забое, поддержку селективной отработки и накопление структурированной информации о фактических характеристиках пластов. На перерабатывающем - интеллектуальное ведение технологических процессов, автоматизированную сортировку и надёжное прогнозирование результатов обогащения.

Таким образом, внедрение искусственного интеллекта позволяет преодолеть ограничения традиционных подходов, обеспечивая непрерывность мониторинга, объективность оценок и высокую точность прогнозов. Формируемая на этой основе единая интеллектуальная модель месторождения становится инструментом системной оптимизации производства, повышения его экономической эффективности и укрепления конкурентных позиций предприятия в условиях цифровой трансформации горнодобывающей отрасли.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: при подготовке данной статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовались.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

<http://ashcheck.ru/>

Гриб, Н.Н., Кузнецов, П.Ю., Сясько, А.А., Качаев А.В. (2013). Изучение показателей качества углепородного массива геофизическими методами на примере изучения зольности угольных пластов. Современные проблемы науки и образования, 2, <https://science-education.ru/ru/article/view?id=8868>

ГОСТ 33654-2015 Межгосударственный стандарт. Угли бурые, каменные и антрацит. Общие требования к методам анализа.

ГОСТ 10742-71 Межгосударственный стандарт. Угли бурые, каменные, антрацит, горючие сланцы и угольные брикеты. Методы отбора и подготовки проб для лабораторных испытаний.

ГОСТ 10100-84 (СТ СЭВ 4386-83). Угли каменные и антрацит. Метод определения обогатимости.

ГОСТ 147-2013. Топливо твёрдое минеральное. Определение высшей теплоты сгорания и расчёт низшей теплоты сгорания.

СТ РК 1816-2014. Угли месторождения Каражыра. Общие технические условия.

Митронов, Д.В. (2021) Введение в химию и технологию переработки угля. Якутск: ЯГУ, 172

ВНЕДРЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ОТБОРА ПРОБ ПО ПРОМЫШЛЕННОЙ ГИГИЕНЕ НА ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ КАЗАХСТАНА

УДК 613.6

Д.Е. Гавриленко^{1*}, Г.К. Даумова¹

¹ВКТУ, г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан

Автор-корреспондент: Гавриленко Дмитрий Евгеньевич,

e-mail: Dmitriy.Gavrilenko@kazzinc.com

АННОТАЦИЯ. В статье рассматриваются современные подходы к оценке воздействия вредных производственных факторов на работников горно-металлургических предприятий с применением системы индивидуального мониторинга. Актуальность исследования обусловлена высокой распространенностью профессиональных рисков в горнодобывающей и металлургической промышленности, где сотрудники подвергаются воздействию пыли, аэрозолей металлов, дизельных выхлопов и шумового воздействия [1, 6].

Традиционные методы контроля условий труда, основанные на измерениях в фиксированных точках рабочих мест, не всегда позволяют объективно оценить фактическое воздействие вредных факторов на работника в течение рабочей смены [2]. В связи с этим в мировой практике промышленной гигиены все большее распространение получает индивидуальный мониторинг, основанный на использовании персональных пробоотборников воздуха и носимых устройств контроля [3, 4].

В работе анализируются принципы проведения индивидуального отбора проб, рассматриваются особенности применения персональных пробоотборников в условиях горно-металлургического производства, а также оценивается их практическая значимость для управления профессиональными рисками [5].

Показано, что использование индивидуального мониторинга позволяет более точно выявлять источники загрязнения производственной среды, оценивать реальную эффективность средств индивидуальной защиты, а также оптимизировать мероприятия по снижению воздействия вредных факторов [4, 7].

Полученные результаты подтверждают, что внедрение системы индивидуального мониторинга способствует повышению эффективности промышленной гигиены, снижению вероятности профессиональных заболеваний и развитию современных систем управления охраной труда [5, 8].

Ключевые слова: промышленная гигиена, индивидуальный мониторинг, вредные производственные факторы, профессиональные риски, горно-металлургическая промышленность, охрана труда.

ВВЕДЕНИЕ

Современная промышленность характеризуется высоким уровнем технологической сложности и интенсивностью производственных процессов [6]. В таких условиях обеспечение безопасных и здоровых условий труда становится одной из ключевых задач предприятий. Особенно актуальной эта проблема является для горно-металлургической отрасли, где сотрудники подвергаются воздействию различных вредных факторов, включая пыль, химические вещества, аэрозоли металлов, шум и вибрацию [1, 6].

Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, профессиональные заболевания и производственные травмы ежегодно приводят к значительным

экономическим потерям и снижению производительности труда [1]. В этой связи развитие современных методов контроля условий труда является важным направлением научных исследований в области промышленной гигиены [2].

Промышленная гигиена представляет собой научную дисциплину, изучающую влияние факторов производственной среды на здоровье работников и разрабатывающую методы их профилактики [2]. Основной задачей данной области является выявление, оценка и контроль воздействия вредных факторов на работников [2, 8].

На большинстве предприятий оценка условий труда осуществляется путем проведения измерений на стационарных рабочих местах. Такие измерения позволяют определить концентрацию вредных веществ в конкретной точке производственной среды в определенный момент времени [2, 8]. Однако данный подход имеет ряд существенных ограничений.

Во-первых, он не учитывает перемещение работников между различными зонами производства. Во-вторых, он не отражает динамику изменения концентраций вредных веществ в течение рабочей смены. В-третьих, результаты таких измерений могут не отражать реальное воздействие на конкретного работника [3, 5].

В связи с этим в международной практике промышленной гигиены активно развивается метод индивидуального мониторинга воздействия вредных факторов. Данный подход основан на использовании персональных пробоотборников, которые размещаются в зоне дыхания работника и позволяют регистрировать концентрацию вредных веществ на протяжении всей рабочей смены [3, 5].

Международные организации, такие как ACGIH, NIOSH и BOHS, рекомендуют использование персонального мониторинга как наиболее точного метода оценки воздействия вредных факторов на работников [4, 7].

Целью настоящего исследования является анализ эффективности применения системы индивидуального мониторинга для контроля воздействия вредных факторов на работников горно-металлургических предприятий.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- проанализировать существующие методы контроля производственной среды;
- рассмотреть особенности индивидуального мониторинга;
- оценить преимущества использования персональных пробоотборников;
- определить практическую значимость данного подхода для управления профессиональными рисками.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является система контроля воздействия вредных производственных факторов на работников горно-металлургических предприятий. Особое внимание в исследовании уделено методам оценки индивидуального воздействия вредных факторов в условиях реального производственного процесса, характеризующегося высокой вариативностью технологических операций и перемещением работников между различными рабочими зонами [2].

В ходе исследования применялись следующие научные методы:

анализ отечественной и зарубежной научной литературы в области промышленной гигиены и охраны труда;

анализ международных стандартов и рекомендаций по оценке воздействия вредных факторов на работников;

анализ данных индивидуального мониторинга производственной среды.

Анализ научной литературы позволил определить основные подходы к оценке условий труда и выявить преимущества индивидуального мониторинга по сравнению с традиционными методами контроля производственной среды [3]. Изучение международных стандартов промышленной гигиены, включая рекомендации NIOSH,

ACGIH и BOHS, позволило определить наиболее эффективные методы проведения индивидуального отбора проб и оценки профессиональных рисков [4].

Индивидуальный мониторинг воздействия вредных факторов осуществляется с использованием персональных пробоотборников воздуха. Данные устройства представляют собой переносные насосы малой мощности, обеспечивающие прокачивание воздуха через фильтрующий элемент с заданной скоростью потока. В процессе отбора проб частицы пыли и аэрозоли осаждаются на фильтре, что позволяет впоследствии определить их концентрацию с использованием лабораторных методов анализа [3,5].

Персональный пробоотборник закрепляется на рабочей одежде сотрудника, при этом входное отверстие устройства располагается в зоне дыхания работника. Такое расположение позволяет максимально точно зафиксировать концентрацию вредных веществ, которые фактически вдыхает работник в процессе выполнения производственных операций [3].

Применение индивидуального мониторинга особенно актуально в условиях горно-металлургического производства, где концентрация вредных веществ может существенно изменяться в зависимости от технологических процессов, характера выполняемых операций и пространственного распределения источников загрязнения [5].

В рамках исследования анализировались следующие вредные производственные факторы, наиболее характерные для предприятий горно-металлургической отрасли:

- респираторный кристаллический кремнезем;
- твердые частицы дизельного топлива (DPM);
- аэрозоли металлов;
- сварочные аэрозоли.

Выбор данных факторов обусловлен их высокой распространенностью в условиях горнодобывающего и металлургического производства, а также значительным влиянием на развитие профессиональных заболеваний органов дыхания и других систем организма [1,6].

После завершения отбора проб фильтры направляются в аккредитованную лабораторию для проведения химического анализа. В лабораторных условиях осуществляется определение массовой концентрации загрязняющих веществ с применением стандартных аналитических методов, используемых в промышленной гигиене [3].

На основании полученных результатов рассчитывается средневзвешенная концентрация вредных веществ за рабочую смену. Данный показатель является одним из ключевых параметров при оценке воздействия вредных факторов на работников и широко применяется в международной практике промышленной гигиены [4,7].

Полученные значения сравниваются с установленными нормативами гигиены труда и предельно допустимыми концентрациями вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Такое сопоставление позволяет определить степень профессионального риска и принять необходимые управленческие решения, направленные на снижение воздействия вредных факторов и улучшение условий труда работников [2,8].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенный анализ показал, что индивидуальный мониторинг позволяет получить более точные данные о воздействии вредных факторов по сравнению с традиционными методами контроля [3,5].

Одним из ключевых преимуществ индивидуального мониторинга является учет

реальных условий труда работника. В отличие от стационарных измерений, персональный мониторинг позволяет учитывать:

- перемещение работника между производственными зонами;
- выполнение различных технологических операций;
- изменение концентраций вредных веществ во времени [3,4].

Результаты исследований показывают, что концентрации вредных веществ могут существенно варьироваться в зависимости от характера выполняемых работ. Например, при выполнении определенных операций концентрация пыли или аэрозолей может значительно превышать средние значения, зафиксированные при стационарных измерениях [5].

Использование персональных пробоотборников позволяет выявлять такие ситуации и принимать соответствующие меры по снижению воздействия вредных факторов [3].

Кроме того, индивидуальный мониторинг позволяет оценивать эффективность средств индивидуальной защиты. Например, сопоставление результатов измерений до и после применения респираторов позволяет определить степень снижения воздействия вредных веществ [4,7].

Еще одним важным преимуществом индивидуального мониторинга является возможность оптимизации мероприятий по улучшению условий труда. Полученные данные позволяют выявлять наиболее опасные участки производства и направлять ресурсы на устранение конкретных источников воздействия [2,8].

Международный опыт показывает, что использование персонального мониторинга позволяет значительно повысить эффективность систем управления профессиональными рисками [5,7].

В частности, на предприятиях горнодобывающей промышленности применение индивидуального мониторинга позволило существенно снизить уровень воздействия пыли и аэрозолей металлов на работников [1,6].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что индивидуальный мониторинг воздействия вредных производственных факторов является эффективным инструментом промышленной гигиены [3,5].

Основными преимуществами данного подхода являются:

- получение объективных данных о воздействии вредных факторов;
- выявление источников загрязнения производственной среды;
- оптимизация средств индивидуальной защиты;
- повышение эффективности мероприятий по улучшению условий труда [4,7].

Внедрение системы индивидуального мониторинга позволяет предприятиям перейти от формального контроля условий труда к современному управлению профессиональными рисками на основе объективных данных [5,8].

Практическая значимость данного подхода заключается в повышении уровня защиты работников, снижении вероятности профессиональных заболеваний и повышении эффективности системы охраны труда [1,6].

В дальнейшем перспективным направлением исследований является разработка цифровых систем анализа данных промышленной гигиены и расширение применения персонального мониторинга на различных промышленных предприятиях [4,7].

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с подготовкой и публикацией данной научной статьи.

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы выражают благодарность научному руководителю и

коллегам кафедры безопасности жизнедеятельности и защиты окружающей среды Восточно-Казахстанского технического университета им. Д. Серикбаева за методическую поддержку и консультации при подготовке исследования.

Также авторы благодарят руководителя Управления охраны труда и промышленной безопасности ТОО «Казцинк» за практические консультации и обсуждение вопросов промышленной гигиены и мониторинга вредных производственных факторов.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА.

При подготовке текста статьи использовались инструменты генеративного искусственного интеллекта для помощи в редактировании текста, структурировании научного материала и языковой корректуре. Окончательная редакция статьи, интерпретация результатов исследования и ответственность за содержание работы полностью принадлежат авторам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. World Health Organization. Global strategy on occupational health for all. Geneva, 2022.
2. Сраубаев Е.Н., Жумабекова Б.К. Актуальные проблемы гигиены труда в Республике Казахстан. Медицина и экология, 2011.
3. Nelson A.L. NIOSH Occupational Exposure Sampling Strategy Manual. Cincinnati, 1977.
4. ACGIH. Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice. 2022.
5. Yamamoto S., Natsumeda S. Personal exposure monitoring in occupational environments. Journal of Occupational Health, 2014.
6. International Labour Organization. Safety and health in mines. Geneva, 2021.
7. BOHS. Personal exposure monitoring guidance. London, 2020.
8. Rodionova O.M., Semenov D.A. Методы оценки условий труда. Москва, 2008.

АЭРОФОТОСУРЕТТЕРДІ ДЕШИФРЛЕУ ЖӘНЕ СИПАТТАУ ҮШІН ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТТІ ҚОЛДАНУ

ӨОЖ: 528.8

А.Р. Досымбеков^{1*}, Н.Д. Сатылхан¹, Н.М. Сағатбеков¹

¹Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан Республикасы

*Хат алмасуға жауапты автор: Досымбеков Алишер Ришадұлы, e-mail: dosimbekov031205@gmail.com

АННОТАЦИЯ. Қазіргі кезде Жерді қашықтан зондтау технологияларының дамуы нәтижесінде ұшқышсыз ұшу аппараттары мен спутниктік жүйелер арқылы алынатын геокеңістіктік деректердің көлемі айтарлықтай артты. Аэрофотосуреттер геодезияда, картографияда, тау-кен өнеркәсібінде, табиғи ресурстарды мониторингтеуде және экологиялық зерттеулерде кеңінен қолданылады. Алайда суреттерді дәстүрлі дешифрлеу әдістері көп уақытты талап етеді және жоғары білікті мамандардың қатысуын қажет етеді. Бұл жұмыстың мақсаты - аэрофотосуреттерді автоматты түрде дешифрлеу және сипаттау үшін жасанды интеллект әдістерін қолдану мүмкіндіктерін зерттеу. Зерттеуде геокеңістіктік суреттерді талдауға қолданылатын машиналық оқыту және терең оқыту әдістері қарастырылады. Бастапқы деректер ретінде Шығыс Қазақстан облысы Асубұлақ ауылы аумағында senseFly eBee X және DJI Phantom 4 Multispectral ұшқышсыз ұшу аппараттары арқылы алынған аэрофотосуреттер пайдаланылды. Зерттеу нәтижелері жасанды интеллект алгоритмдерін қолдану карьерлік қазбаларды, технологиялық жолдарды, тау жыныстары үйінділерін және өсімдіктер жамылғысы учаскелерін қоса алғанда, әртүрлі нысандарды тиімді тануға мүмкіндік беретінін көрсетеді. Терең оқыту әдістерін қолдану жіктеудің жоғары дәлдігін қамтамасыз етеді және геокеңістіктік деректерді талдау үдерістерін автоматтандыруға ықпал етеді. Жұмыстың практикалық маңызы – ұсынылған тәсілдерді тау-кен өндіру аумақтарын автоматты түрде мониторингтеу, жер бедеріндегі өзгерістерді талдау және картографиялық ақпаратты жаңарту үшін қолдану мүмкіндігінде.

Түйінді сөздер: жасанды интеллект, аэрофотосуреттер, Жерді қашықтан зондтау, ұшқышсыз ұшу аппараттары, нейрондық желілер, суреттерді дешифрлеу.

КІРІСПЕ

Соңғы онжылдықтарда Жерді қашықтан зондтау технологияларының дамуы геокеңістіктік деректер көлемінің айтарлықтай артуына алып келді. Ұшқышсыз ұшу аппараттарын (ҰҰА) пайдалану жоғары кеңістіктік ажыратымдылығы бар, жоғары дәлдіктегі аэрофотосуреттер алуға мүмкіндік береді, бұл жер бетінің жағдайын талдау мүмкіндіктерін едәуір кеңейтеді.

Аэрофотосуреттер ғылым мен техниканың әртүрлі салаларында кеңінен қолданылады. Олардың қатарына геодезия, картография, геологиялық барлау, табиғи ресурстарды мониторингтеу және қалаларды жоспарлау жатады. Тау-кен өндіру өнеркәсібінде қашықтан зондтау деректері карьерлердің жағдайын талдау, тау жыныстарының көлемін бағалау, технологиялық үдерістерді бақылау және аумақтардың экологиялық жағдайын қадағалау үшін қолданылады.

Аэрофотосуреттерді дешифрлеудің дәстүрлі әдістері суреттерді мамандардың визуалды түрде талдауына негізделген (Abedin et. al., 2022, Alhloul et. al., 2022, Long et. al., 2015). Бұл кезде нысандарды анықтау олардың пішіні, текстурасы, түсі,

көлеңкесі және кеңістіктегі орналасуы сияқты белгілеріне сүйене отырып жүргізіледі. Алайда суреттердің үлкен көлемін өңдеу көп уақытты талап етеді және кей жағдайда субъективті қателіктерге әкелуі мүмкін.

Қазіргі кезде жасанды интеллект әдістері суреттерді талдау үдерістерін автоматтандыруға мүмкіндік береді (Ronneberger et. al., 2015, Gkioxari et. al., 2015). Машиналық оқыту және терең оқыту алгоритмдерін қолдану аэрофотосуреттердегі нысандарды автоматты түрде тануға және геоақпараттық деректер базасын қалыптастыруға жаңа мүмкіндіктер ашады.

Осы зерттеудің мақсаты - аэрофотосуреттердегі нысандарды автоматты түрде дешифрлеу және сипаттау үшін жасанды интеллект әдістерін қолдану мүмкіндіктерін талдау.

Қойылған мақсатқа жету үшін келесі зерттеу міндеттері анықталды:

- аэрофотосуреттерді өңдеудің заманауи әдістерін талдау;
- суреттерді талдауда қолданылатын жасанды интеллект алгоритмдерін зерттеу;
- тау-кен өндіру аумағындағы аэрофотосуреттерге эксперименттік талдау жүргізу.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Бастапқы деректер ретінде senseFly eBee X және DJI Phantom 4 Multispectral ұшқышсыз ұшу аппараттарының көмегімен алынған аэрофотосуреттер пайдаланылды. Түсірілім Шығыс Қазақстан облысы Асубұлақ ауылының маңында орналасқан тау-кен өндіру учаскесінің аумағында жүргізілді.

SenseFly eBee X ҰҰА көмегімен жүргізілген аэрофототүсірілім S.O.D.A 3D камерасын қолдану арқылы орындалды. Бұл камера кеңістіктік ажыратымдылығы 3,45 см/пиксель болатын суреттер алуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар DJI Phantom 4 Multispectral ҰҰА арқылы алынған түсірілім деректері пайдаланылды, оның ажыратымдылығы 2,6 см/пиксель құрайды.

Алынған суреттер зерттелетін аумақтың ортофото жоспарын жасау үшін фотограмметриялық бағдарламалық қамтамасыз ету арқылы өңделді. Өңдеу барысында келесі кезеңдер орындалды:

- суреттерді теңестіру;
- нүктелер бұлтын құру;
- жер бедерінің сандық моделін жасау;
- ортофотожоспар қалыптастыру.

Аэрофотосуреттерді талдау үшін машиналық оқыту және терең оқыту алгоритмдеріне негізделген жасанды интеллект әдістері қолданылды. Негізгі назар компьютерлік көру саласында кеңінен қолданылатын сверпелі нейрондық желілерді (CNN) пайдалануға аударылды.

Суреттерді өңдеу келесі кезеңдерді қамтыды: суреттерді алдын ала өңдеу; нысандардың белгілерін бөліп алу; жасанды интеллект моделін оқыту; нысандарды автоматты түрде жіктеу; талдау нәтижелерін геоақпараттық жүйелерге енгізу.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Зерттеу барысында ұшқышсыз ұшу аппараттарын пайдалану арқылы алынған тау-кен өндіру аумағының аэрофотосуреттері талданды (сурет 1).



Сурет 1. Зерттелетін аумақтың ортофотожоспары, senseFly eBee X ҰҰА арқылы алынған аэрофототүсірілім деректері бойынша (Асубұлақ ауылы, Шығыс Қазақстан облысы)

Көрсетілген ортофотопланда зерттелетін аумақтың орталық бөлігінде орналасқан ірі карьерді байқауға болады. Карьер айқын геометриялық пішіндерімен және тау-кен техникасын тасымалдауға арналған технологиялық жолдардың болуы арқылы ерекшеленеді. Суреттің жоғары кеңістіктік ажыратымдылығы тау-кен инфрақұрылымының негізгі элементтерін анықтауға мүмкіндік береді, оның ішінде тау жыныстары үйінділері, транспорттық жолдар және өсімдіктер жамылғысы учаскелері бар.

Сурет 2 жоғары кеңістіктік ажыратымдылыққа ие, бұл жеке жер бедері элементтері мен техногендік құрылымдарды егжей-тегжейлі талдауға мүмкіндік береді. Суретте технологиялық жолдар, тау жыныстарының үйінділері және өсімдіктер жамылғысының фрагменттері көрініп тұр.

Жасанды интеллект әдістерін қолдану келесі нысан түрлерін автоматты түрде бөліп алуға мүмкіндік береді: карьерлік қазбалар; технологиялық жолдар; тау жыныстарының үйінділері; өсімдіктер жамылғысы учаскелері; табиғи жер бедерінің элементтері.



Сурет 2. Ортофотожоспар фрагменті, DJI Phantom 4 Multispectral ҰҰА көмегімен алынған

Нысандарды автоматты түрде жіктеу үшін терең оқыту алгоритмдері қолданылды. Атап айтқанда, кеңістіктік белгілерді автоматты түрде бөліп алуға мүмкіндік беретін свертпелі нейрондық желілер (CNN) пайдаланылды (кесте 1).

Кесте 1. Аэрофотосуреттердегі нысандарды тану нәтижелері

Нысан түрі	Танудың дәлдігі	Негізгі белгілер
Карьер	92 %	пішін, текстура, көлеңкелер
Жолдар	89 %	сызықтық құрылым
Үйінділер	86 %	біркелкі емес текстура
Өсімдіктер	90 %	спектрлік сипаттамалар

Алынған нәтижелер көрсеткендей, жасанды интеллектті қолдану аэрофотосуреттерді өңдеудің тиімділігін едәуір арттырады. Терең оқыту алгоритмдері нысандарды автоматты түрде тануға және олардың атрибутивтік сипаттамаларын қалыптастыруға мүмкіндік береді.

Кесте 2. Зерттелетін аумақтың аэрофототүсірілім сипаттамалары

Параметр	senseFly eBee X	DJI Phantom 4 Multispectral
Платформа түрі	Ұшақ типті ҰҰА	Квадрокоптер
Камера	S.O.D.A 3D	Мультиспектралдық камера
Кеңістіктік ажыратымдылық	3,45 см/пиксель	2,6 см/пиксель
Түсірілім түрі	RGB	Мультиспектралдық
Түсірілім аумағы	Асубұлақ ауылы, ШҚО	Асубұлақ ауылы, ШҚО
Негізгі мақсат	Фотограмметрия	Өсімдіктерді талдау

Аэрофототүсірілім деректері екі типтегі ұшқышсыз ұшу аппараттарын пайдалану арқылы алынды. Әртүрлі платформаларды қолдану әртүрлі спектрлік сипаттамалары бар және жоғары кеңістіктік ажыратымдылығы бар суреттер алуға мүмкіндік беріп, нысандарды автоматты түрде талдаудың тиімділігін айтарлықтай арттырады (кесте 2). Автоматты жіктеу нәтижелері терең оқыту алгоритмдерін қолдану аэрофотосуреттердегі нысандарды танудың жоғары дәлдігін қамтамасыз ететінін көрсетеді. Ең жоғары дәлдік карьерлік қазбаларды және өсімдіктер жамылғысы учаскелерін тануда байқалады, бұл аталған нысандардың айқын спектрлік және геометриялық белгілерімен байланысты. Осындай әдістерді қолдану суреттерді талдау процесін едәуір жылдамдатады және дәстүрлі визуалды интерпретация әдістерімен салыстырғанда дешифрлеудің дәлдігін арттырады (Goodfellow et. al., 2016).

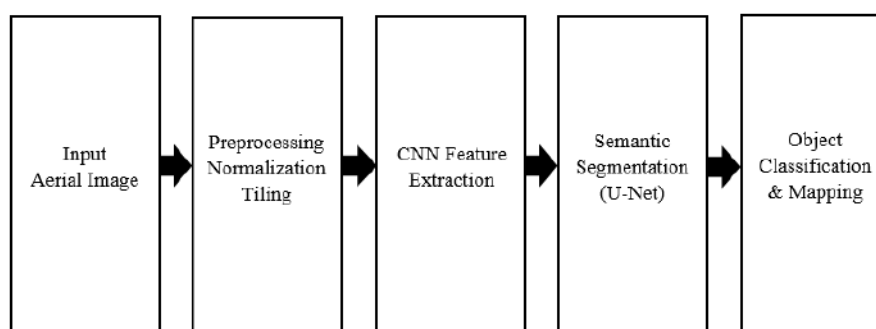
Қазіргі кезде аэрофотосуреттерді талдау әдістері кеңістіктік белгілерді автоматты түрде шығару мүмкіндігі бар терең оқыту алгоритмдерін белсенді түрде қолданады. Ең кең тараған тәсілдердің бірі - свертпелі нейрондық желілер (CNN), олар жоғары ажыратымдылығы бар суреттерді талдауда жоғары тиімділігін көрсетеді. Соңғы жылдары терең оқыту әдістері жер бетін жіктеу, нысандарды сегментациялау және автоматты картографиялау тапсырмаларында кеңінен қолданылады. Long et al. (2015) және Ronneberger et al. (2015) зерттеулеріне сәйкес, нейрондық желілердің архитектуралары пиксельдік сегментацияны тиімді орындауға және нысандардың шекараларын анықтауға мүмкіндік береді.

Жоғары ажыратымдылығы бар аэрофотосуреттерді талдау үшін жиі U-Net, Mask R-CNN және YOLO модельдері қолданылады, олар әртүрлі масштабтағы нысандарды

автоматты түрде бөліп көрсетуге мүмкіндік береді. Осы модельдерді қолдану арқылы ғимараттарды, жол инфрақұрылымын, өсімдіктерді және жер бетінің басқа элементтерін тануға болады.

Жасанды интеллект әдістері әсіресе ұшқышсыз ұшу аппараттарынан алынған суреттерді талдауда тиімді болып шығады. Мұндай деректердің жоғары кеңістіктік ажыратымдылығы жер бетінің құрылымын егжей-тегжейлі талдауға және шағын нысандарды тануға мүмкіндік береді. Зерттеулер көрсеткендей, терең оқыту алгоритмдерін қолдану аэрофотосуреттердегі нысандарды жіктеудің дәлдігін 90 - 95% дейін арттыра алады, бұл дәстүрлі қолмен интерпретация әдістерінен айтарлықтай жоғары. Сонымен қатар, суреттерді автоматты түрде талдау қашықтан зондтау деректерін өңдеуді едәуір жылдамдатады. Үлкен көлемдегі суреттерді өңдегенде жасанды интеллект алгоритмдері дәстүрлі әдістермен салыстырғанда талдауды айтарлықтай жылдам орындайды.

Цифрлық технологиялардың дамуы мен геокеңістіктік деректер көлемінің артуы жағдайында жасанды интеллектті пайдалану Жерді қашықтан зондтау жүйелерін дамытудағы негізгі бағыттардың біріне айналууда. Жасанды интеллект әдістерін геоақпараттық жүйелермен интеграциялау аумақтарды автоматты түрде талдау және мониторинг жасау жүйелерін құруға мүмкіндік береді (Redmon et. al., 2018, Zhu et. al., 2018).



Сурет 3. Аэрофотосуреттерді автоматты түрде дешифрлеу үшін нейрондық желінің құрылысы

Аэрофотосуреттерді дешифрлеу жүйесінің құрылысы (сурет 3) бірнеше қатарлы деректерді өңдеу кезеңдерінен тұрады. Бірінші кезеңде бастапқы аэрофотосуреттер жүктеледі. Одан кейін суреттерді алдын ала өңдеу жүргізіледі, оған деректерді қалыпқа келтіру, геореференциялау және суреттерді фрагменттерге бөлу кіреді. Келесі кезеңде свертпелі нейрондық желілер (CNN) қолдану арқылы нысандардың белгілері шығарылады. Алынған белгілер семантикалық сегментация модуліне беріледі (Ma et. al., 2019, Zhang et. al., 2016) мұнда нысандардың шекараларын бөліп көрсету үшін U-Net архитектурасы қолданылады. Соңғы кезеңде нысандарды жіктеу жүргізіледі және геоақпараттық жүйелерде одан әрі қолдану үшін картографиялық деректер қалыптастырылады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Зерттеу нәтижесінде аэрофотосуреттерді автоматты түрде дешифрлеу үшін жасанды интеллект әдістерін қолдану мүмкіндіктері қарастырылды.

Анализ көрсеткендей, машиналық оқыту және терең оқыту алгоритмдерін қолдану жоғары кеңістіктік ажыратымдылығы бар суреттердегі нысандарды тиімді тануға мүмкіндік береді. Нейрондық желілерді пайдалану нысандарды жіктеудің жоғары дәлдігін қамтамасыз етеді және геокеңістіктік деректерді талдау үдерістерін автоматтандыруға ықпал етеді.

Ұшқышсыз ұшу аппараттарынан алынған аэрофотосуреттерді қолдану зерттелетін аумақтардың жағдайы туралы егжей-тегжейлі ақпарат алуға және оны әртүрлі қолданбалы тапсырмаларды шешуде пайдалануға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер тау-кен өндіру аумақтарын автоматты түрде мониторингтеу жүйелерін әзірлеу, картографиялық деректерді жаңарту және жер бедеріндегі өзгерістерді талдау үшін қолданылуы мүмкін. Алдағы зерттеулер перспективалары терең оқыту әдістерін дамыту, қашықтан зондтаудың көпспектралдық деректерін пайдалану және жасанды интеллект алгоритмдерін геоақпараттық жүйелерге интеграциялаумен байланысты.

МҮДДЕЛЕР ҚАРАМА-ҚАЙШЫЛЫҒЫ: Авторлар мүдделер қарама-қайшылығының жоқтығын мәлімдейді.

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ҚОЛДАНУ ТУРАЛЫ ХАБАРЛАМА: Ғылыми мақаланы дайындау барысында авторлар мәтінді ішінара редакциялауға және бөлімдердің құрылымын нақтылауға көмектесу үшін OpenAI платформасындағы генеративті жасанды интеллект құралын - ChatGPT (GPT-4 моделі) қолданды. Ұсынылған барлық ai материалдары қолжазбаның соңғы нұсқасына енгізілмес бұрын авторлармен тексеріліп, мақұлданды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

Abedin, B., Meske, C., Junglas, I., & others. (2022). Designing and managing human-AI interactions. *Information Systems Frontiers*, 24, 691 - 697. <https://doi.org/10.1007/s10796-022-10313-1>

Alhloul, A., & Kiss, E. (2022). Industry 4.0 as a challenge for the skills and competencies of the labor force: A bibliometric review and a survey. *Sci*, 4(3), 34. <https://doi.org/10.3390/sci4030034>

Long, J., Shelhamer, E., & Darrell, T. (2015). Fully Convolutional Networks for Semantic Segmentation. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2015.7298965>

He, K., Gkioxari, G., Dollár, P., & Girshick, R. (2017). Mask R-CNN. *IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2017.322>

Redmon, J., & Farhadi, A. (2018). YOLOv3: An incremental improvement. *arXiv preprint*. <https://arxiv.org/abs/1804.02767>

Zhu, X. X., Tuia, D., Mou, L., Xia, G. S., Zhang, L., Xu, F., & Fraundorfer, F. (2017). Deep Learning in Remote Sensing: A Comprehensive Review. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 5(4), 8 - 36. <https://doi.org/10.1109/MGRS.2017.2762307>

Ma, L., Liu, Y., Zhang, X., Ye, Y., Yin, G., & Johnson, B. (2019). Deep learning in remote sensing applications: A meta-analysis and review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 152, 166 - 177. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.04.015>

Zhang, L., Zhang, L., & Du, B. (2016). Deep learning for remote sensing data: A technical tutorial on the state of the art. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 4(2), 22 - 40. <https://doi.org/10.1109/MGRS.2016.2540798>

ChatGPT. (2026). Мақаланың ғылыми мәтінін нақтылау және редакциялау [Үлкен тіл моделі]. OpenAI. <https://chat.openai.com> // ChatGPT. (2026). Utochnenie i redaktirovanie nauchnogo teksta stat'i [Clarification and editing of scientific text of the article]. OpenAI. <https://chat.openai.com>

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПОИСКОВ СКРЫТОГО МЕДНО-МОЛИБДЕНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ (НА ПРИМЕРЕ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ ЕГЕМЕН)

УДК 553.4

Д.Р. Енсебаев^{1*}, Н.А. Зимановская¹

¹ВКТУ имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Енсебаев Диас Рустамулы, e-mail: dias.ensebaev@gmail.com

АННОТАЦИЯ. В статье рассматриваются особенности геологического строения и методика геометризации скрытого медно-молибденового оруденения на рудопроявлении Егемен. Объект представляет собой порфировую систему, пространственно и генетически связанную с интрузивными образованиями крыккудукского комплекса верхнего ордовика. Спецификой рудопроявления является наличие мощного (10–20 м) чехла перекрывающих кайнозойских отложений, маскирующих коренные породы. В работе проанализированы исторические данные и результаты буровой программы 2024 года, направленной на прослеживание рудных зон с использованием ориентированного керна. Установлено, что минерализованная зона прослеживается по простиранию до 1 км при ширине около 300 м. Непрерывная сульфидная минерализация (в медном и молибденовом эквивалентах) подтверждена до глубины 304 м. Показано, что основные тренды прожилковой минерализации имеют субвертикальное падение со слабым западным и юго-западным склонением. Обоснована необходимость применения комплексного подхода, включающего метод картирования векторов зональности, электроразведку и пространственное 3D-моделирование для подготовки объекта к оценке ресурсов по стандартам KAZRC.

Ключевые слова: медно-порфировые месторождения, молибден, рудопро-явление Егемен, крыккудукский комплекс, скрытое оруденение, ориентированный керн, 3D-моделирование, стандарты KAZRC, штокверк.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях истощения фонда легкооткрываемых месторождений, выходящих на дневную поверхность, обеспечение минерально-сырьевой базы Республики Казахстан цветными металлами напрямую зависит от эффективности поиска глубокозалегающих и скрытых объектов. Медно-порфировые системы являются важнейшим источником меди и молибдена, однако они представляют собой сложные штокверковые образования с неявно выраженными границами рудных тел. На территории Казахстана значительный потенциал прироста запасов связан с переоценкой исторических рудопроявлений с применением современных геологоразведочных технологий. Объектом данного исследования выступает молибден-медное рудопроявление Егемен (участок Лукашевское-2). Главной проблемой его изучения является наличие перекрывающих рыхлых отложений кайнозойского возраста мощностью от 10 до 20 метров, что делает невозможным применение традиционных методов наземного геологического картирования. Целью работы является совершенствование методики поисков и геометризации скрытого медно-порфирового оруденения на основе комплексной интерпретации архивных материалов и новых данных буровой программы 2024 года.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ УЧАСТКА

В структурно-тектоническом плане рудопроявление Егемен приурочено к сложно построенному тектонически ослабленному узлу, который контролируется пересечением крупных региональных разломов: Новокранштадтского разлома (северо-западного простирания) и Алексеевского разлома (северо-восточного простирания) (рисунок 1). Именно эта геодинамическая позиция определила благоприятные условия для внедрения рудоносных магматических расплавов и последующей циркуляции гидротермальных флюидов.

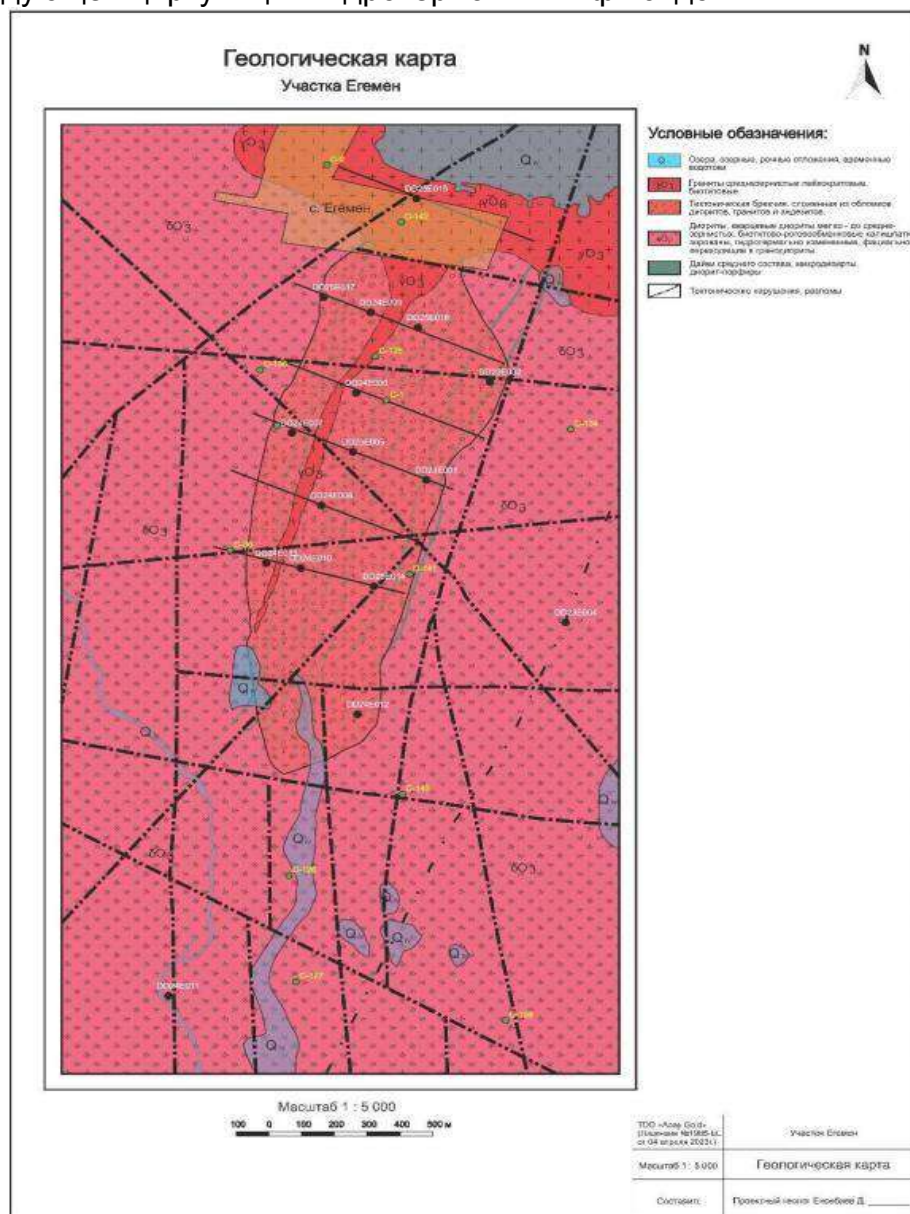


Рисунок 1. Геологическая карта участка: Егемен

Минерализация на участке пространственно и генетически тесно связана с интрузивными образованиями крыккудукского комплекса (верхний ордовик), которые в пределах исследуемой площади представлены преимущественно кварцевыми диоритами, а также их порфировидными разностями. Вмещающие породы претерпели интенсивные гидротермально-метасоматические преобразования, характерные для классической зональности медно-порфировых систем. Предполагается наличие центральной калиевой и транзитной филлитовой альтерации (кварц-серицит-пирит), сменяющейся на периферии пропилитовыми

изменениями.

Одной из главных геологических особенностей рудопроявления Егемен, существенно осложняющей его разведку, является сплошное развитие перекрывающего чехла рыхлых отложений кайнозойского возраста. Мощность этого чехла варьирует от 10 до 20 метров. Наличие такой перекрывающей толщи полностью маскирует коренные породы, рудоконтролирующие разломы и зоны гидротермальных изменений, что делает невозможным визуальное обнаружение выходов рудных тел и применение традиционных методов наземного геологического картирования.

Анализ исторических геологоразведочных данных 1970-х годов свидетельствовал о наличии масштабного сульфидного штокверкового оруденения. Средние содержания меди в интервалах исторических скважин варьировали от 0,102% до 0,197%, а молибдена — достигали 0,087%. Средняя объемная плотность руд составляет 2,63 г/см³. Однако вертикальное колонковое бурение прошлых лет носило точечный характер и не учитывало структурных элементов залегания штокверковых зон. В результате распределение сульфидов интерпретировалось как хаотичное: выделялись обособленные интервалы с доминированием молибденита и зоны его полного отсутствия при наличии обильной вкрапленности сульфидов меди.

Помимо штокверковой и прожилково-вкрапленной минерализации, важным элементом геологического строения являются зоны брекчирования. Выявленные тектонические брекчии до-рудного и пост-рудного этапов контролируются опережающими нарушениями основных разломов. Вследствие отсутствия в прошлые годы достоверной структурной модели, оконтурить рудные тела и дать адекватную оценку масштабам оруденения не представлялось возможным.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ 2024-2025 ГОДОВ

Для решения проблемы структурного контроля оруденения в 2024 году была реализована обновленная программа колонкового бурения. Принципиальным отличием стало использование технологии бурения с извлечением ориентированного керна. Данный метод позволяет фиксировать истинные пространственные элементы залегания трещин, сульфидных жил и прожилков в условиях отсутствия выходов коренных пород на поверхность.

При полевой документации керна применялся подход, основанный на выделении векторов метасоматической зональности. Особое внимание уделялось картированию различных типов брекчий. На текущем этапе выделенные брекчии классифицируются преимущественно как тектонические образования до-рудного или пост-рудного этапов. Все полученные данные интегрировались в единую базу для построения каркасных и блочных моделей в программных комплексах 3D-моделирования (Micromine/Leapfrog). Реализация буровой программы позволила существенно уточнить морфологические параметры рудоносной зоны:

1. **Масштабы оруденения:** Установлено, что общая протяженность минерализованной зоны по простиранию достигает 1 километра, при этом мощность распространения минерализации составляет порядка 300 метров.

2. **Глубинность:** Подтверждена непрерывная минерализация в медном (CuEq) и молибденовом (MoEq) эквивалентах до значительных глубин. В частности, по скважине DD24E008 оруденение прослежено до глубины 304 метра без признаков выклинивания.

3. **Структурные тренды:** Ориентированное бурение доказало, что основные тренды прожилковой сульфидной минерализации имеют не хаотичное, а закономерное субвертикальное падение, характеризующееся слабым западным и

юго-западным склонением (рисунок 3).

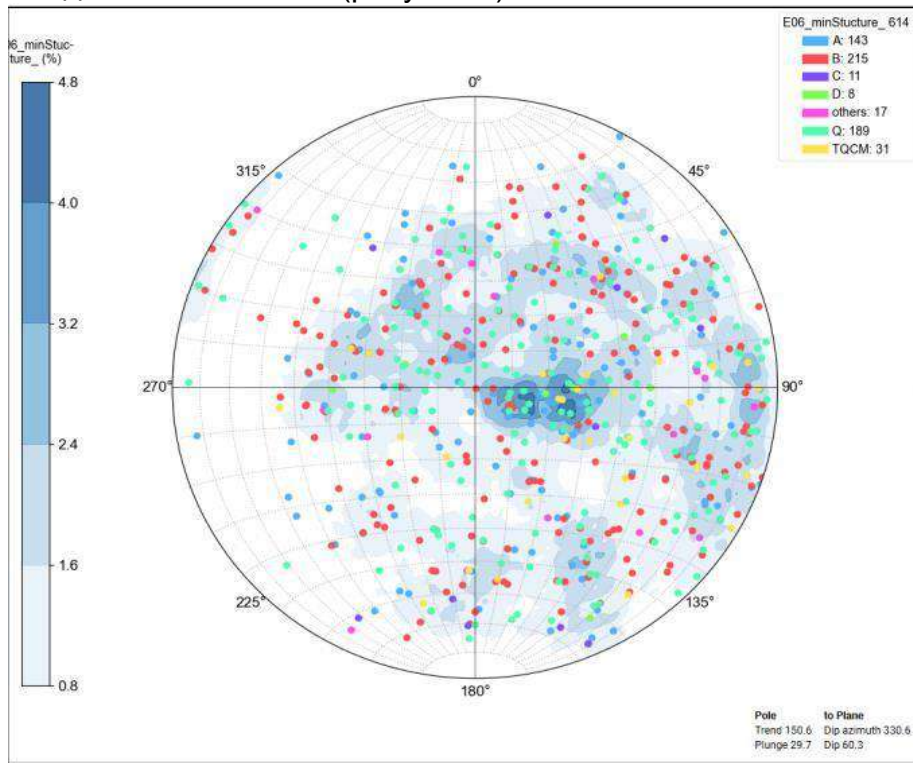


Рисунок 2. Общий тренд всех типов жил

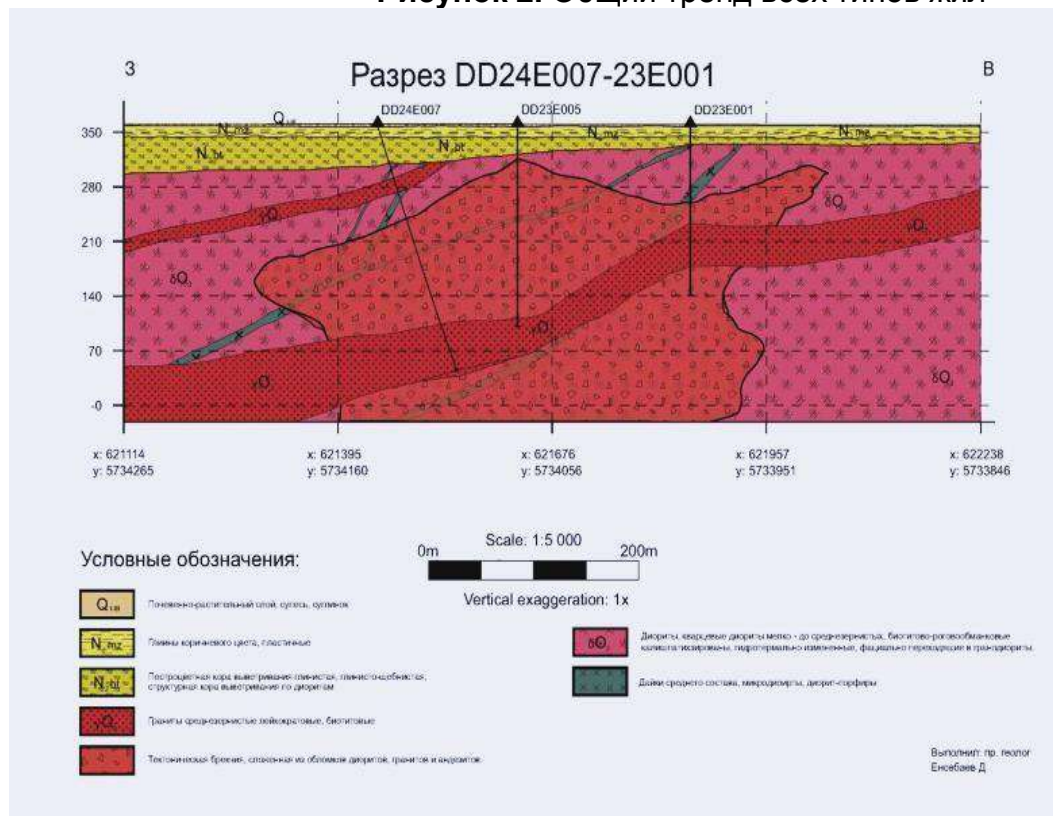


Рисунок 3. Геологический разрез DD24E007-DD23E001

Выявление субвертикального тренда кардинально меняет подход к разведке объекта. Исторические вертикальные скважины могли проходить параллельно рудным структурам, искажая реальную картину. Для корректного пересечения минерализованных зон под оптимальным углом требуется наклонное бурение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ подтверждает, что рудопоявление Егемен является перспективным объектом порфирового типа со значительными масштабами минерализации. Главным фактором, сдерживающим его освоение, являлся скрытый характер рудных тел и сложный структурный контроль. Применение бурения ориентированным керном в комплексе с 3D-моделированием доказало свою эффективность для расшифровки подобных штокверковых систем. Для дальнейшей подготовки объекта к подсчету запасов по международным стандартам JORC/KAZRC рекомендуется продолжить поисково-оценочное бурение на западном и юго-западном флангах с учетом выявленного субвертикального тренда, а также провести детальную наземную электроразведку (методами ВП и КС) для оконтуривания зон сульфидизации на флангах и выявления возможных «слепых» апофиз порфирового интрузива.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: При подготовке рукописи инструменты искусственного интеллекта (ИИ) использовались для анализа объемов геологической информации, форматирования текста и структурирования научного материала. Сгенерированная информация тщательно проверена; ответственность за финальное содержание, достоверность данных и выводы полностью лежит на авторе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Sillitoe, R.H. Porphyry Copper Systems. *Economic Geology*, 105(1), 2010. P. 3–41.
- Геология СССР. Том XX. Центральный Казахстан. Геологическое описание. – М.: Недра, 1972.
- Ермолов П.В. Магматизм и оруденение каледонид Восточного Казахстана. – Алматы: Наука, 2013. – 264 с.
- Байдогвили Г.Н. Геологическое строение и полезные ископаемые территории листов М-42-10-Г; М-42-11-А; М-42-11-В. Отчет Шортандинской ПСП за 1976 год.
- Исмаилов М.А. Отчет о результатах детальной разведки Майлыкумского месторождения кирпичного сырья в Терень-Узякском районе Кызыл-Ординской области КазССР, произведенной Кызыл-Ординской ПРП в 1961 г., 1962.
- Байдошвили Г.Н., Свечкарь А.К. Геологическое строение и полезные ископаемые территории листов М-42-10-В(б,г); М-42-22-А,Б (Целиноградская область, лист М-42-В). Масштаб 1:50 000, 1978.
- Lowell, J.D., Guilbert, J.M. Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits. *Economic Geology*, 65, 1970. P. 373–408.
- Reimar Seltmann, Mike Porter THE PORPHYRY Cu-Au/Mo DEPOSITS OF CENTRAL EURASIA, 2005.
- Gemini 3.1 Pro. (2026, март 30). Анализ геологических отчетов и структурирование текста статьи. Google. <https://gemini.google.com>

ОЦЕНКА АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И АГРОПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ГРУППИРОВКА ЗЕМЕЛЬ ЗАЙСАНСКОГО РАЙОНА

УДК 631/635

К.В. Еремеева^{1*}, М.М. Тогузова¹

¹ВКТУ им. Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Еремеева Ксения Владимировна, e-mail: eremeevaksenia42@gmail.com

АННОТАЦИЯ. В статье представлены результаты комплексной агроэкологической оценки земель Зайсанского района Восточно-Казахстанской области. Актуальность исследования обусловлена необходимостью обновления данных крупномасштабного почвенного обследования и повышения эффективности рационального землепользования в условиях усиления деградационных процессов. Целью работы является проведение комплексной оценки агроэкологического состояния земель Зайсанского района и выполнение их агропроизводственной группировки на основе результатов полевых почвенных обследований и лабораторных анализов для определения уровня пригодности земель к различным видам сельскохозяйственного использования. В ходе исследования заложено 685 почвенных выработок, отобран 1331 образец, выполнен лабораторный анализ физико-химических показателей и проведена агропроизводственная группировка почв. Установлено преобладание земель, пригодных под пашню и пастбища. Проведен сравнительный анализ содержания гумуса за 1993 и 2025 годы, выявлены локальные изменения показателей. Полученные результаты формируют основу для картографирования, мониторинга земель и внедрения элементов дифференцированного землепользования в системе точного земледелия Восточного Казахстана. Определены категории и классы земель в соответствии с агроэкологическими критериями и степенью ограничений хозяйственного использования. Выявлены факторы, влияющие на трансформацию почвенного покрова, включая рельеф, гидроморфизм и процессы засоления. Результаты исследования могут быть использованы при разработке региональных программ мониторинга земель и совершенствовании проектов внутрихозяйственного землеустройства.

Ключевые слова: мониторинг, почвенные обследования, агроэкологическая оценка, сельскохозяйственные земли, пригодность земель, рациональное землепользование.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях глобальных климатических изменений и растущего антропогенного давления, проблема рационального использования и сохранения земельных ресурсов приобретает стратегическое значение для обеспечения продовольственной безопасности Республики Казахстан. Земля как основной природный капитал и средство производства в сельском хозяйстве является невозобновляемым ресурсом, и ее эффективное управление требует точного понимания текущего состояния и потенциала.

Современные экологические проблемы, возникшие в результате антропогенной перегрузки и нерационального использования природных ресурсов, несомненно, отразились на состоянии почвенного покрова территории Казахстана. Дестабилизация экологической обстановки привела к деградации почвенного покрова во всех природных зонах республики.

В качестве базовой территории научного исследования выбран Зайсанский

район, характеризующийся высокой степенью распространения деградационных процессов. На значительной части района фиксируются проявления интенсивной ветровой и водной эрозии, снижение содержания гумуса, вторичное засоление и осолонцевание почв, что обуславливает необходимость проведения комплексной агроэкологической оценки земель.

Цель исследования - сбор данных для дальнейшей оценки агроэкологического состояния и пригодности земель Зайсанского района на основе актуальных данных почвенных обследований.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основу информационной и методической базы исследования составили следующие данные: материалы почвенного обследования Зайсанского района ВКО, проект внутрихозяйственного землеустройства, методика по проведению крупномасштабных почвенных изысканий земель Республики Казахстан от 22 февраля 2023 года.

Отбор почвенных образцов производился непрерывной колонкой по генетическим горизонтам до горизонта «ВС», глубже – из середины генетических горизонтов. Данный метод позволяет изучить почву по всей глубине, возможность получить образцы, характеризующие именно данный горизонт, не захватывая другие, а также проследить свойства глубинных горизонтов.

Полевые и камеральные работы выполнены с учетом требований «Методики по проведению крупномасштабных почвенных изысканий земель Республики Казахстан» 2023 года. Полевое обследование складывалось из следующих элементов работ: общее маршрутное знакомство с территорией; полевое изучение почв, заложение и описание почвенных разрезов с предварительным определением почв; взятие почвенных образцов для последующих лабораторных исследований; выделение почвенных контуров.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Объектом научного исследования является Зайсанский район, исследование проводилось в районе расположения сел Шиликты и Жалшы на общей площади 128500 га. Проанализированы природно-климатические условия и особенности рельефа района. Территория исследования входит в горно-степную климатическую зону, которая делится на две подзоны: предгорную степную умеренно-влажную и степную умеренно засушливую. По преобладающим формам рельефа всю территорию можно разделить на 3 района: горный, предгорный, равнинный.

В ходе полевого почвенного обследования заложено 685 почвенных выработок. Из 383 выработок отобран 1331 образец почв для физико-химических анализов.

Основными почвообразующими породами района являются: элювиальные породы, элювио-делювиальные отложения, делювиальные отложения, лессовидные породы, древнеаллювиальные породы.

Помимо этого, выявлены почвенные породы, преобладающие в районе исследования. Они представлены тремя группами: горные, луговые и гидроморфные почвы. Группа горных почв имеет наибольшее распространение на территории, основная почвенная разновидность - черноземы обыкновенные и южные, группа луговых почв - темно-каштановые и светло-каштановые, а гидроморфных - болотные торфяные и гравийно-галечниковые отложения.

На рисунке 1 представлен фрагмент таблицы по определению типа почвы в районе исследования, произведенный по механическому составу.

Шифр по республиканскому систематическому списку	№ разреза	Порядковый номер образца	Индекс и мощность генетического горизонта, см	Глубина взятия образца, см	% гигроскопической влаги	Максимальная гигроскопичность	Содержаний фракций								Сумма частиц < 0,00	Механический состав горизонта	Окончательное название почв
							> 3	3-1	песок		пыль			ил			
									1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Г-1009тс	437	1	A/18	0-18	1,83	4,91	24,93	22,36	0,31	15,53	30,71	10,84	13,73	28,88	53,45	супл. тяж.	Горные субальпийские дерновые тяжелоусуглинистые
		2	A ₁ /18	18-36	2,04	4,9	19,54	17,41	0,4	20,01	22,12	9,96	26,78	20,73	57,47	супл. тяж.	

Рисунок 1. Фрагмент таблицы по определению типов почв в районе

Проведен сравнительный анализ изменения уровня гумуса в фрагменте почвы за 1993 и 2025 годы. Сравнительный анализ, с учетом данных анализов прошлого обследования за 1993 г. показывает, что фрагмент почвенного покрова не претерпел значительных изменений (таблица 1). Это свидетельствует об отсутствии катастрофической деградации на момент исследования, однако выявленные точечные потери гумуса (до - 3,33%) требуют дальнейшего наблюдения в рамках государственного мониторинга земель.

На основе результатов полевых почвенных обследований и лабораторных анализов выполнена оценка агроэкологических показателей, после чего проведена агропроизводственная группировка почв с отнесением их к соответствующим категориям и классам пригодности (таблица 2).

Таблица 1. Сравнительная таблица обследования по определению гумуса в верхнем горизонте за 1993 и 2025 годы

Шифр почвы	Год обследования				Разница в содержании гумуса (+, -), %
	1993 г.		2025 г.		
	№ разреза	содержание гумуса, %	№ разреза	содержание гумуса, %	
1068сΔΔΔ	363	3,4	452	3,5	+2,85%
Г-1031тс	309	6,0	425	5,8	-3,33%
1916тсΔΔΔ	451	2,7	256	2,8	+3,57%

На рисунке 2 представлена картограмма агропроизводственной группировки почв с легендой.

Таким образом, на территории преобладают земли, пригодные под пашню (категория I) и земли пастбищные (категория III). Для сохранения плодородного потенциала наиболее ценных категорий земель необходимо проведение обычной зональной агротехники (севообороты, удобрения, рациональное землепользование, ликвидация сорняков), мероприятий против засоления и эрозии (контурная вспашка, лункование, прерывистое бороздование и т.д.).



Рисунок 2. Картограмма агропроизводственной группировки почв

Долгое время почвоведение Восточного Казахстана опиралось на данные крупномасштабных обследований советского периода (в частности, 1993 года). Настоящее исследование предоставляет актуальный эмпирический материал, что позволяет оценить направленность и скорость трансформации почвенного покрова в условиях современного климата и антропогенной нагрузки. Разработанная классификация учитывает не только плодородие, но и рельеф, гидроморфизм и литологические особенности. Такой подход углубляет теоретическую базу агроэкологического зонирования и служит методологическим ориентиром для аналогичных исследований.

Таблица 2. Агропроизводственная группировка почв

Категория земель	Классы почв
Категория I. Земли пригодные под пашню	7 класс - Земли слабодренлируемые кратковременно переувлажняемые глинистые и суглинистые некарбонатные (573,3 га). 8 класс - Земли слабодренлируемые кратковременно переувлажняемые тяжелосуглинистые и суглинистые карбонатные (1018,4 га). 9 класс - Земли слабодренлируемые кратковременно переувлажняемые супесчаные и песчаные на глинах и суглинках (7,4 га). 10 класс - Земли слабозерозионноопасные пологих склонов (2-50) глинистые и суглинистые на рыхлых породах, включая слабосмытые вне зависимости от пологости склона (549,8га). 11 класс - Земли слабозерозионноопасные пологих склонов (2-50) супесчаные на рыхлых породах, включая слабосмытые и все слабодифлированные почвы (2558,0 га). 14 класс - Земли повышенноэрозионноопасные пологих и покатых склонов (2-100) плотных породах, включая смытые (266,2) га
Категория II. Земли, пригодные преимущественно под сенокосы	3 класс - Земли внепойменные луговые глинистые и суглинистые (2843,4 га).
Категория III. Земли пастбищные, после улучшения могут быть	1 класс - Земли автоморфные непахотнопригодные из-за отсутствия орошения, относящиеся по мелиоративным признакам к почвам I категорий (2081,9 га). 3 класс - Земли

пригодны под другие сельскохозяйственные угодья	солонцовые и слитые полугидроморфные, включая средне- и сильнокомплексные, среднесолончаковатые почвы с сильносолончаковатыми почвами более 10%, сильносолончаковатые почвы, солончаковые, а также солоди (5493,8 га). 4 класс - Земли солонцовые и слитые гидроморфные, включая средне- и сильнокомплексные, среднесолончаковатые почвы с сильносолончаковатыми почвами более 10%, сильносолончаковатые почвы, солончаковые, а также пойменные тугайные почвы (3302,1 га). 5 класс - Земли особозерозиионноопасные крутых склонов (более 100), включая среднесмытые сильнозасоленные и сильносмытые почвы вне зависимости от крутизны склона (35434,8 га). 6 класс - Земли маломощные, включая сильнокаменистые и щебнистые. Земли непахотнопригодные (66830,3 га). 8 класс - Земли переувлажняемые (заболоченные) (4218,4 га).
Категория IV. Земли, пригодные под сельскохозяйственные угодья после коренных мелиораций	3 класс - Земли сильно и очень сильно засоленные (1958,6 га).
Категория V. Земли, малопригодные под сельскохозяйственные угодья	2 класс. Галечники, каменистые россыпи, щебнистые отложения и др (853,0 га).
Категория VI. Земли, непригодные под сельскохозяйственные угодья	2 класс - Ледники, вечные снега, участки под водой (0,1 га).
Категория VII. Нарушенные земли	2 класс - Карьеры, горные выработки, терриконики и другие (559,3 га).

Результаты создают основу для внедрения элементов точного земледелия в условиях Восточного Казахстана. Зная точные границы почвенных контуров, их механический состав, эрозионную опасность и степень засоления, сельхозтоваропроизводители смогут дифференцированно вносить удобрения, подбирать культуры в соответствии с классом пригодности земель, применять адаптированные системы обработки почвы на эрозионноопасных склонах. Это напрямую влияет на экономическую эффективность и экологическую устойчивость.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование позволило выполнить комплексную агроэкологическую оценку земель Зайсанского района Восточно-Казахстанской области на основе актуальных данных полевого почвенного обследования и лабораторных анализов. В ходе работы проанализированы природно-климатические условия территории, особенности рельефа, состав почвообразующих пород и современное состояние почвенного покрова на площади 128 500 га. Заложено 685 почвенных выработок и отобрано 1331 образец для физико-химических исследований, что обеспечило репрезентативность полученных результатов. Сравнительный анализ содержания гумуса за 1993 и 2025 годы показал отсутствие масштабной деградации почвенного покрова на исследуемом фрагменте, однако выявлены локальные изменения, требующие дальнейшего мониторинга. На основе интерпретации диагностических показателей выполнена агропроизводственная группировка почв с отнесением земель к соответствующим категориям и классам пригодности. Установлено, что на территории преобладают земли, пригодные под

пашню и пастбищное использование, при наличии участков с выраженными ограничивающими факторами, включая эрозионную опасность, засоление и неблагоприятные рельефные условия.

В ходе работы был выявлен ряд ограничений, которые важно учитывать при интерпретации результатов и планировании будущих исследований. Исследование проведено на площади 128 500 га в окрестностях сел Шиликты и Жалшы, что составляет лишь часть Зайсанского района. Экстраполяция полученных результатов на всю территорию района требует осторожности и должна подтверждаться дополнительными исследованиями в других частях района. Для полноценной агроэкологической оценки в будущем целесообразно дополнить исследование анализом загрязнения почв тяжелыми металлами, пестицидами, нефтепродуктами, а также изучением биологической активности почв (микробиологические показатели).

Полученные результаты формируют научную и прикладную основу для совершенствования системы рационального землепользования, разработки проектов внутрихозяйственного землеустройства и региональных программ мониторинга земель. Материалы исследования могут быть использованы при внедрении дифференцированных технологий обработки почв и элементов точного земледелия, что способствует повышению экологической устойчивости агроландшафтов и эффективности сельскохозяйственного производства в условиях Восточного Казахстана.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: В ходе написания научной статьи применялся искусственный интеллект для редактирования и структурирования текста.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Gemini 1.5 Flash. (2026, февраль 18). Применение AI в редактировании текста [Большая языковая модель]. Google AI. <https://gemini.google.com/> // Gemini 1.5 Flash. (2026, fevral 18). Primenenie AI v redaktirovanii teksta [Bolshaya yazykovaya model]. Google AI. <https://gemini.google.com/>
- Методика по проведению крупномасштабных почвенных изысканий земель Республики Казахстан. (2023). Астана. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2300031999> // Metodika po provedeniyu krupnomasshtabnyh pochvennyh izyskaniy zemel Respubliki Kazakhstan. (2023). Astana. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2300031999>
- Отчет по проведению крупномасштабного почвенного обследования Зайсанского района. (2025). Усть-Каменогорск. // Otchet po provedeniyu krupnomasshtabnogo pochvennogo obsledovaniya Zaysanskogo rayona. (2025). Ust-Kamenogorsk.
- Балакай, Н.И. (2012). Агротехнические противоэрозионные мероприятия. *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*, № 3(07), 78 - 89. <https://cyberleninka.ru/article/n/agrotehnicheskie-protivoerozionnyye-meropriyatiya> // Balakay, N.I. (2012). Agrotekhnicheskiye protivoeozionnyye meropriyatiya. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, № 3(07), 78 - 89. <https://cyberleninka.ru/article/n/agrotehnicheskie-protivoerozionnyye-meropriyatiya>

ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА СУЛЬФИДНОЙ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕЙ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ БЕЛЬСУ (АБАЙСКАЯ ОБЛАСТЬ)

УДК 553.411

А.К. Жаксыбаев^{1*}, Е.Н. Тусупов¹, О.Н. Кузьмина¹

¹ НАО «ВКТУ имени Д. Серикбаева» Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Жаксыбаев Адиль Канатович,

email: zhaksybaev02kz@gmail.com

АННОТАЦИЯ. В статье приведены результаты исследования вещественного состава сульфидной золотосодержащей руды месторождения Бельсу (Абайская область). Установлено, что руда относится к золото-кварцево-сульфидному типу с преобладанием пирита. Золото представлено как свободными формами, так и включениями в сульфидах и кварце, что отражает его многоэтапное формирование. Выявлена связь минерализации с гидротермально-метасоматическими процессами и тектоническим контролем оруденения. Полученные результаты позволяют рассматривать объект как перспективный для дальнейшего изучения на глубину.

Ключевые слова: Сульфидная золотосодержащая руда, месторождение Бельсу, пиритовая минерализация, формы нахождения золота, гидротермально-метасоматические процессы, золото-кварцево-сульфидный тип, глубинные перспективы минерализации.

ВВЕДЕНИЕ

Золотоносные гидротермальные системы Восточного Казахстана рассматриваются как перспективные объекты для доразведки, особенно в пределах разломно-контролируемых зон развития кварцево-жильной минерализации. В Чингиз-Тарбагатайской складчатой системе выявлен ряд золоторудных проявлений, приуроченных к глубинным тектоническим нарушениям и зонам интенсивных гидротермально-метасоматических преобразований. Месторождение Бельсу относится к объектам данного типа и характеризуется развитием кварцево-жильных и штокерковых зон, связанных с Бельсуйским разломом.

Цель работы заключалась в установлении вещественных и минеральных характеристик сульфидной руды, определении распределения золота по формам нахождения и оценке их генетического значения. Для её достижения выполнен анализ фондовых материалов, данных химического и рационального анализа золота, а также минералогического и петрографического изучения руд и вмещающих пород.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В основу исследования положены фондовые геологоразведочные материалы по месторождению Бельсу, включающие данные опробования кварцево-жильных зон восточного и западного участков. Использованы результаты химического анализа проб, рационального анализа форм нахождения золота, а также материалы минералогического изучения шлифов и аншлифов руды.

Петрографические исследования выполнены для оценки степени гидротермально-метасоматических преобразований вмещающих пород и их связи с минерализацией. Интерпретация полученных данных проведена с учётом структурного положения объекта и особенностей разломного контроля оруденения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Месторождение Бельсу находится в пределах Абайском районе Восточно-Казахстанской области и в геологическом отношении приурочено к восточной части Чингиз-Тарбагатайской складчатой системы. Минерализация контролируется Бельсуйским разломом и связана с зонами интенсивных тектонических нарушений.

Оруденение представлено кварцево-жильными и штокверковыми зонами, локализованными в пределах интрузивных пород диорит-гранодиоритового состава, прорывающих вулканогенно-осадочные толщи. Вмещающие породы подвергнуты выраженным гидротермально-метасоматическим изменениям, сопровождающим развитие сульфидной минерализации.

Минеральный состав руд представлен преимущественно кварцем и пиритом с подчинённым развитием халькопирита, галенита и редкими проявлениями малахита, нередко отмечается самородное золото в виде пластинок, каплевидных включений, дендритов и мелких включений.

Исследуемая руда относится к малосульфидному золотосодержащему типу, так как, среднее расчётное содержание золота составляет около 2,0 г/т при колебаниях от 1,1 до 2,6 г/т. и является единственным полезным компонентом. Серебро имеет подчинённое значение (около 1,8 г/т) и промышленного интереса не представляет.

Характер распределения рудных минералов - прожилковидный, вкраплённый и гнездовой

Минералогический анализ показал, что сульфидная минерализация руды представлена преимущественно пиритом при подчинённом развитии халькопирита и редких проявлениях других сульфидов. Пирит является основным рудообразующим минералом и распространён во всех разновидностях вмещающих пород, однако его распределение крайне неравномерно.

По текстурным особенностям пирит образует вкрапленные, прожилковидные и цепочечные агрегаты, а также локальные гнездовые скопления. Размер зёрен варьирует от 0,006 до 0,6×0,3 мм. В шлифах фиксируются признаки катаклаза - раздробленность, микротрещиноватость и нарушение кристаллической целостности зёрен (рисунок 1). Подобные деформационные признаки указывают на формирование минерализации в условиях тектонической активизации, сопровождавшейся последующими динамическими воздействиями.

В отдельных случаях пирит пересечён кварцевыми прожилками или, напротив, цементирует микротрещины в окварцованных породах. Такая взаимосвязь свидетельствует о многостадийном характере минерализации, при котором сульфидная фаза формировалась синхронно или последовательно с кварцевой.

Халькопирит встречается реже и представлен мелкими включениями в пирите или самостоятельными вкраплениями в кварцевой массе. Его роль в общей структуре руды второстепенна и промышленного значения не имеет.

Характер распределения сульфидов и их текстурные особенности говорит о структурно-контролируемом размещении минерализации, приуроченной к зонам трещиноватости и окварцевания, эта связь пирита с деформационными структурами подтверждает участие тектонических факторов в перераспределении рудного вещества.

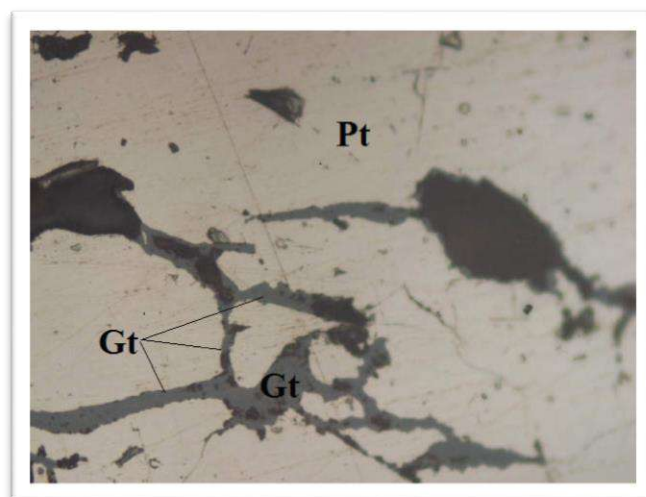


Рисунок 1. Сеть трещин катаклаза в пирите (Pt) цементируются гётитом (Gt), ув. 500

По результатам фазового анализа установлено, что золото в руде представлено как свободными, так и связанными формами. Наибольшую долю составляет свободное амальгамируемое золото - 59,76 % от общего содержания. Дополнительно 3,05 % приходится на мелкое золото, растворимое цианидами при первичном выщелачивании, суммарная доля свободного золота достигает 62,81 %, что указывает на значительную часть металла, находящуюся в открытых или относительно доступных формах.

Золото, покрытое плёнками гидроксидов железа, составляет 2,44 %. Эта форма, несмотря на относительную изолированность, потенциально извлекаема при соответствующих технологических режимах.

Существенная доля золота - 32,93 % заключена в сульфидах, преимущественно в пирите. Незначительная часть (1,83 %) локализована в кварце в виде закрытых сростков или микровключений.

Микроскопические исследования показывают, что золото встречается в виде мелких выделений размером от 0,001 до 0,05 мм. Наряду с относительно крупными зёрнами (0,01–0,05 мм) фиксируются тонкодисперсные формы (0,001–0,008 мм), что отражает неоднородный характер минерализации. Наличие золота, заключённого в пирите, подтверждает его генетическую связь с сульфидной стадией минералообразования.

Соотношение свободного и связанного золота отражает неоднородность условий минералообразования и позволяет предполагать многоэтапный характер развития рудной системы. При этом сохранность значительной доли золота, заключённого в сульфидах, указывает на наличие первичной сульфидной составляющей, не полностью затронутой процессами выветривания и вторичного перераспределения.

Учитывая структурный контроль минерализации, развитие березитовой гидротермально-метасоматической ассоциации и наличие прогнозных ресурсов сульфидных руд, можно сделать вывод о перспективности дальнейшего изучения объекта в пределах глубинных горизонтов рудоконтролирующей зоны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённого исследования уточнены особенности вещественного состава сульфидной золотосодержащей руды месторождения Бельсу. Установлено, что оруденение относится к золото-кварцево-сульфидному типу с преобладанием

пиритовой минерализации и выраженным структурным контролем. Золото представлено как свободными формами, так и включениями в сульфидной матрице, что отражает его многостадийное формирование и сохранность первичной сульфидной составляющей.

Выявленные минеральные и текстурные особенности подтверждают гидротермальную природу минерализации и позволяют рассматривать объект как перспективный для дальнейшего изучения на глубину в пределах рудоконтролирующей зоны.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Данное исследование выполнено в рамках программно-целевого финансирования МНВО РК, №BR24992854 «Разработка и реализация конкурентоспособных научно-обоснованных технологий для обеспечения устойчивого развития горно-металлургической отрасли Восточно-Казахстанской области»

БЛАГОДАРНОСТИ: Автор выражает благодарность научному руководителю Кузьминой О.Н., доктору PhD, асс. профессору ШНОЗ, за научные консультации и поддержку при выполнении работы.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: Технологии искусственного интеллекта при подготовке статьи не использовались.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Kovalev, K. R., Syzdykov, S. O., Kalinin, Yu. A., Naumov, E. A., Baranov, V. V., Sukhorukov, V. P., Gladkov, A. S., & Zhimulev, F. I. (2018). The Raigorodok stockwork gold–sulfide–quartz deposit in the North Kazakhstan gold ore province. *Russian Geology and Geophysics*, 59(11), 1482–1496.
- Кузьмина, О. Н. (2015). *Геология, минералогия и условия формирования золото-сульфидного оруденения Восточного Казахстана (на примере Байбурунского и Жайминского рудных полей): Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук.* Новосибирск. https://www.igm.nsc.ru/images/diss/kuzmina/ref_kuzmina.pdf
- Мамбетов, Б. О., и др. (2019). *Поисково-оценочные работы на золото-медно-молибденовое оруденение на участке Бельсу (лист М-44-XXVII) за 2017–2019 гг.: Фондовый отчет.* Семей: ТОО «ГРК».
- Mizernaya, M. A., Miroshnikova, A. P., Pyatkova, A. P., & Akilbaeva, A. T. (2019). The main geological-industrial types of gold deposits in East Kazakhstan. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (5), 5–10. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-5/2>
- Алимханов, Н. К., Башкирцев, А. М., и др. (2007). *Поисковые работы в Восточном регионе на перспективных площадях: Отчет о геологоразведочных работах.* Усть-Каменогорск: ТОО «ГРК Топаз». (Фондовые материалы.)
- Синишин, А. П., Глазунов, В. В., и др. (2008). *Результаты геофизической съемки масштаба 1:200 000 (листы М-44-XXVII, М-44-XXVIII): Отчет.* Усть-Каменогорск: ТОО «Геоинцентр-Восток». (Фондовые материалы.)
- Столяров, Ю. А., Севрюгин, Н. А., и др. (1964). *Геологическая карта СССР. Серия Чингиз-Саурская. Лист М-44-XXVII. Масштаб 1:200 000.* Москва: Недра.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ДОБАВОК НА ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕКТРОЭКСТРАКЦИИ ЦИНКА И ОПТИМИЗАЦИЮ САНИТАРНО- ГИГИЕНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТРУДА

УДК 613.6

Ж.Э. Жанарбеков^{1*}, О.А. Петрова¹

¹Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан

*Автор-корреспондент: Жанарбеков Жандос Әнуарбекұлы
e-mail: zhandos.zhanarbekov@mail.ru

АННОТАЦИЯ. В статье исследовано влияние комплексных технологических добавок на показатели электроэкстракции цинка из сернокислых растворов и на снижение образования кислотного тумана в рабочей зоне электролизного цеха. Цель работы заключалась в оценке эффективности органических и неорганических реагентов, способных повысить выход цинка по току, улучшить качество катодного осадка и снизить вредные выбросы. Исследование выполнено на модельных электролитах, близких по составу к промышленным. В качестве добавок использовались мездровый клей, соединения стронция и экстракт корня солодки. Оценивались интенсивность газовыделения, стабильность электролита, морфология осадка, выход цинка по току и уровень аэрозольных выбросов. Установлено, что мездровый клей подавляет выделение водорода, соединения стронция стабилизируют анодные процессы, а экстракт солодки формирует пенный барьер, уменьшающий выброс аэрозоля. Наиболее эффективной оказалась трехкомпонентная система, обеспечившая повышение выхода цинка по току до 93,8 % и снижение аэрозолеобразования до 5–10 % от контрольного уровня. Полученные результаты подтверждают целесообразность применения комплекса реагентов для повышения технологической эффективности процесса и улучшения санитарно-гигиенических условий труда персонала в цехе.

Ключевые слова: электролиз цинка, электроэкстракция, кислотный туман, поверхностно-активные вещества, условия труда, гидрометаллургия.

ВВЕДЕНИЕ

Электроэкстракция цинка является одним из основных процессов гидрометаллургической переработки цинковых концентратов [1]. Данный процесс характеризуется высокой энергоемкостью и сопровождается интенсивным газовыделением на электродах.

Одной из основных проблем эксплуатации электролизных цехов является образование аэрозоля серной кислоты, так называемого кислотного тумана [2]. Пузырьки водорода и кислорода, образующиеся на поверхности электродов, поднимаясь через слой электролита, захватывают микрокапли раствора, которые попадают в атмосферу рабочей зоны.

Наличие кислотного тумана приводит к ряду негативных последствий:

- повышенному риску профессиональных заболеваний органов дыхания у работников [3];
- ускоренной коррозии металлоконструкций и электротехнического оборудования;
- ухудшению санитарно-гигиенических условий труда;

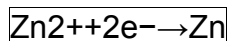
- снижению выхода металла по току вследствие протекания побочных электрохимических реакций.

В связи с этим актуальной задачей является разработка технологических решений, позволяющих одновременно повысить эффективность процесса электролиза и снизить воздействие вредных факторов на персонал.

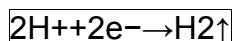
Целью настоящего исследования является оценка влияния комплексных технологических добавок на показатели электроэкстракции цинка и на снижение образования кислотного тумана в рабочей зоне электролизного цеха. Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи: изучить влияние мездрового клея, соединений стронция и экстракта корня солодки на интенсивность газовыделения и стабильность электролита; оценить их воздействие на морфологию катодного осадка и выход цинка по току; определить эффективность комплексного применения указанных реагентов с точки зрения улучшения санитарно-гигиенических условий труда. Объектом исследования является процесс электроэкстракции цинка из сернокислых растворов, предметом исследования — влияние органических и неорганических добавок на технологические и экологические параметры электролиза. Научная новизна работы заключается в рассмотрении комплексного действия реагентов как средства одновременной интенсификации процесса электролиза и снижения вредного воздействия на производственную среду.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

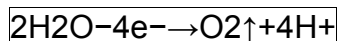
Процесс электролиза цинка осуществляется в сернокислом растворе сульфата цинка. Основная электрохимическая реакция протекает на катоде, где происходит восстановление ионов цинка и осаждение металлического цинка на алюминиевой основе [4]:



Наряду с основной реакцией может протекать побочная реакция восстановления водорода:



На аноде, изготовленном из свинцово-серебряного сплава, происходит окисление воды с выделением кислорода:



Интенсивность протекания побочных реакций зависит от ряда факторов [8]:

- состава и чистоты электролита;
- плотности электрического тока;
- температуры раствора;
- наличия специальных технологических добавок.

Для повышения эффективности процесса необходимо обеспечить высокое перенапряжение выделения водорода на катоде, что достигается введением органических поверхностно-активных веществ.

В рамках проведённого исследования была выполнена серия лабораторно-технологических экспериментов, направленных на изучение влияния различных реагентов-модификаторов на параметры процесса электролиза цинка. Основной задачей экспериментов являлась оценка возможности снижения газовыделения, повышения выхода цинка по току, а также улучшения качества катодного осадка.

Эксперименты проводились на модельных электролитах, состав которых соответствовал промышленному электролиту электролизного производства цинка. В ходе опытов в электролит вводились различные добавки органического и неорганического происхождения, способные влиять на электрохимические процессы на поверхности электродов.

Основными оцениваемыми параметрами являлись:

- интенсивность выделения газов на катоде и аноде;
- морфология катодного осадка цинка;
- стабильность электролита;
- выход цинка по току;
- изменение структуры катодного осадка.

В качестве исследуемых реагентов использовались следующие вещества: мездровый клей, стронций, экстракт корня солодки.

Выбор указанных реагентов обусловлен необходимостью исследования добавок с различной химической природой и механизмами воздействия на электрохимические и межфазные процессы. Мездровый клей относится к классу органических поверхностно-активных веществ белкового происхождения и характеризуется способностью к адсорбции на катодной поверхности с повышением перенапряжения выделения водорода. Соединения стронция представляют неорганические модификаторы, оказывающие влияние на анодные процессы, включая стабилизацию кислородной эволюции и изменение свойств приэлектродного слоя. Экстракт корня солодки содержит природные поверхностно-активные компоненты, способствующие формированию устойчивого пенного слоя на поверхности электролита и снижению аэрозолеобразования.

В гидрометаллургической практике также применяются синтетические поверхностно-активные вещества, лигносульфонаты, полиакриламиды, а также соли щелочноземельных металлов. Однако их использование ограничивается либо узконаправленным воздействием на отдельные стадии процесса, либо недостаточной эффективностью при одновременном влиянии на газовыделение, морфологию осадка и санитарно-гигиенические показатели. Выбранная совокупность реагентов обусловлена их доступностью, промышленной применимостью и способностью оказывать комплексное влияние на ключевые параметры процесса, включая выход по току, структуру катодного осадка и интенсивность аэрозолеобразования, что определило целесообразность их совместного исследования.

Мездровый клей представляет собой органическое поверхностно-активное вещество белкового происхождения, получаемое при переработке коллагенсодержащего сырья животного происхождения. Благодаря наличию функциональных аминокрупп и карбоксильных групп молекулы клея обладают выраженной адсорбционной способностью. [5]

При введении мездрового клея в электролит его молекулы адсорбируются на поверхности катодного осадка, формируя тонкую органическую плёнку. Данная плёнка оказывает влияние на электрохимические процессы, происходящие на катоде.

Основные эффекты применения мездрового клея:

- подавление побочной реакции выделения водорода;
- снижение интенсивности газообразования в катодной зоне;
- формирование более плотного и равномерного катодного осадка цинка;
- уменьшение шероховатости поверхности катода;
- повышение выхода цинка по току.

Кроме того, присутствие органических добавок способствует более равномерному распределению тока по поверхности катода, что положительно влияет на структуру осаждаемого металла [6].

Соединения стронция (SrCO_3) применялись в качестве неорганических

модификаторов электролита. В ходе экспериментов использовался карбонат стронция (SrCO_3), вводимый в электролит в небольших концентрациях.

Стронций способен взаимодействовать с рядом примесей [7], присутствующих в электролите, в частности с соединениями свинца, образуя труднорастворимые соединения. Это способствует снижению концентрации вредных примесей в растворе.

Применение соединений стронция приводит к следующим эффектам:

- связывание примесей свинца в малорастворимые соединения [9];
- стабилизация анодного слоя;
- снижение загрязнения катодного осадка;
- улучшение структуры осаждаемого цинка;
- повышение стабильности электрохимического процесса.

Таким образом, добавление соединений стронция позволяет повысить чистоту катодного металла и уменьшить влияние примесей на процесс электролиза.

Экстракт корня солодки является природным органическим реагентом, содержащим комплекс биологически активных веществ, среди которых основную роль играет глицирризиновая кислота. Данное соединение обладает выраженными поверхностно-активными свойствами [8].

При введении экстракта солодкового корня в электролит наблюдается образование устойчивой пены на поверхности раствора. Формирующийся пенный слой выполняет функцию своеобразного защитного барьера.

Основные функции пенного слоя:

- снижение выброса аэрозольных частиц электролита в атмосферу;
- задерживание микрокапель раствора;
- частичное уменьшение распространения газов из электролитических ванн;
- улучшение санитарно-гигиенических условий в рабочей зоне.

Использование природных поверхностно-активных веществ представляет интерес с точки зрения экологической безопасности и возможности снижения вредных выбросов при электролизе цинка [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Экспериментальные исследования проводились при следующих технологических параметрах:

- плотность тока: 450 А/м²
- температура электролита: 38 °С

Таблица 1. Влияние добавок на показатели электролиза

№ опыта	Состав добавок	Концентрация, мг/л	Выход цинка по току, %	Интенсивность аэрозоля
1	Без добавок (контроль)	—	88,2	100%
2	Мездровый клей	20	91,5	65%
3	Стронций	5	89,4	85%
4	Клей + стронций	20 + 5	93,1	40%
5	Клей + Sr + солодка	20 + 5 + 15	93,8	5–10%

Анализ механизмов влияния ПАВ на газовыделение.

Анализ данных опыта №2 показывает, что введение мездрового клея (20 мг/л) приводит к росту выхода по току на 3,3%. Это обусловлено тем, что клей, являясь поверхностно-активным веществом, адсорбируется на поверхности катода, создавая дополнительный потенциальный барьер для ионов водорода.

С физической точки зрения, клей изменяет величину поверхностного натяжения

на границе раздела «электрод – электролит». Вместо формирования крупных газовых пузырей, которые при отрыве вызывают сильное механическое воздействие на поверхность зеркала ванны, выделяются мелкодисперсные пузырьки. Это снижает интенсивность барботажа, но не устраняет кислотный туман полностью.

Взаимодействие стронция и анодных процессов.

Опыт №3 продемонстрировал, что соединения стронция оказывают умеренное влияние на газовыделение, но критически важны для стабилизации анода. Стронций способствует образованию плотного, химически стойкого слоя диоксида свинца. Это предотвращает осыпание шлама, который часто служит центрами каталитического разложения воды и преждевременного выделения кислорода. Стабильный анодный слой способствует равномерному токораспределению, что исключает локальные перегревы электролита.

Синергетический эффект и роль экстракта солодки.

Наиболее значимые результаты получены в опыте №5, где использовалась трехкомпонентная система. Сочетание клея, стронция и экстракта солодкового корня (солодки) создало уникальный технологический эффект:

1. Формирование пенного экрана: Сапонины солодки при взаимодействии с выделяющимися газами создают на поверхности зеркала ванны устойчивую ячеистую структуру — пену. Высота пенного слоя составила 15–20 мм.

2. Эффект «пламегасителя»: Поднимающиеся пузырьки газа попадают в лабиринты пенных ячеек. При их разрыве кинетическая энергия капель кислоты гасится тонкими перегородками пены. В результате аэрозоль серной кислоты не выбрасывается в воздушное пространство цеха, а рекуперируется (стекает обратно) в объем электролита.

3. Улучшение качества осадка: Комплекс добавок позволил получить мелкокристаллический, плотный осадок цинка без дендритов [10]. Это позволило повысить выход по току до рекордных 93,8%.

Экологическая оценка и охрана труда.

С помощью аспирационного метода были проведены замеры концентрации серной кислоты в зоне дыхания оператора (0,5 м над ванной).

- В контрольном опыте концентрация составила 2,8 мг/м³ (что выше ПДК в 2,8 раза).

- В опыте №5 с применением солодки концентрация снизилась до 0,25 мг/м³, что в 4 раза ниже предельно допустимой концентрации.

Это доказывает, что применение предложенного комплекса добавок является эффективным методом инженерно-экологической защиты персонала и позволяет значительно сократить расходы на эксплуатацию мощных вентиляционных систем.

Для повышения безопасности труда и улучшения санитарно-гигиенических условий в электролизном цехе рекомендуется:

1. Химические методы

Использование комплексной системы технологических добавок:

- мездровый клей;
- соединения стронция;
- экстракт корня солодки.

2. Физические методы

Применение полипропиленовых пустотелых шариков на поверхности электролита, которые дополнительно снижают испарение и теплопотери.

3. Технологический контроль

Автоматизация системы дозирования органических добавок, позволяющая поддерживать оптимальную концентрацию реагентов.

4. Совершенствование вентиляции

Использование эффективных бортовых отсосов и установок мокрой очистки

газов (скрубберов) для улавливания аэрозоля серной кислоты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного комплексного исследования были детально изучены механизмы влияния органических и неорганических добавок на показатели электролиза цинка. Результаты экспериментальной апробации предложенной трехкомпонентной системы подтверждают гипотезу о синергетическом взаимодействии реагентов, что позволяет сделать следующие выводы:

1. Повышение технологической эффективности. Установлено, что применение композиции «мездровый клей (20 мг/л) — соединения стронция (5 мг/л) — экстракт солодкового корня (15 мг/л)» обеспечивает стабильное протекание процесса электроэкстракции. Достигнутый показатель выхода цинка по току η в 93,8% является оптимальным для сульфатных электролитов, что позволяет минимизировать удельный расход электроэнергии на 250–300 кВт·ч на каждую тонну готовой продукции.

2. Стабилизация морфологии осадка. Адсорбция мездрового клея на активных центрах катода и модифицирующее действие соединений стронция способствуют формированию плотного, мелкокристаллического осадка. Это исключает риск образования дендритов и коротких замыканий, что напрямую влияет на срок службы алюминиевых матриц и повышает сортность получаемого цинка до марки Ц0.

3. Радикальное улучшение санитарно-гигиенических условий. Ключевым достижением работы является подавление эмиссии кислотного тумана. Внедрение экстракта солодки как природного пенообразователя позволило создать устойчивый физико-химический барьер. Снижение концентрации аэрозоля серной кислоты в 10–15 раз (до уровней 0,2–0,3 мг/м³) позволяет поддерживать чистоту воздуха в рабочей зоне значительно ниже установленных ПДК 1 мг/м³ [11]

4. Эколого-экономический эффект. Предложенные решения способствуют реализации концепции «зеленой металлургии». Снижение выбросов агрессивных аэрозолей приводит к:

- Социальному эффекту: снижению рисков развития профессиональных заболеваний дыхательных путей и слизистых оболочек у персонала цеха.
- Техническому эффекту: замедлению скорости коррозии металлоконструкций, ошиновки и систем вентиляции, что увеличивает межремонтный интервал оборудования.
- Экологическому эффекту: уменьшению экологических платежей предприятия за выбросы вредных веществ в атмосферу.

Практическая значимость и рекомендации:

На основании полученных данных рекомендуется внедрение данной системы дозирования реагентов в промышленный цикл электролизных цехов. Совместное использование ПАВ и пенообразователей на основе солодки является наиболее рентабельным и экологически оправданным методом интенсификации гидрометаллургического производства цинка. Дальнейшие исследования могут быть направлены на автоматизацию контроля толщины пенного слоя для исключения человеческого фактора в управлении санитарным режимом цеха.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: При подготовке данной статьи использовались технологии генеративного искусственного интеллекта для редактирования текста, совершенствования структуры и улучшения стиля изложения материала. Авторы

несут полную ответственность за точность, достоверность и оригинальность представленной информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Смирнов, И. И. (2010). Металлургия тяжелых цветных металлов. Металлургия.
- Баймаков, Ю. В., & Жулин, А. И. (1977). Электролиз в гидрометаллургии. Металлургия.
- Habashi, F. (1997). Handbook of Extractive Metallurgy. Volume 2: Non-Ferrous Metals. Wiley-VCH. <https://doi.org/10.1002/9783527612027>
- Dhak, D., Mahon, M., Asselin, E., & Alfantazi, A. (2011). The effects of mixtures of acid mist suppression reagents on zinc electrowinning from spent electrolyte solutions. Hydrometallurgy. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2011.02.002>
- Hellgren, S., Engström, F., & Öqvist, L. S. (2024). Characterization of residues in the roasting–leaching–electrowinning zinc production route. Metals. <https://doi.org/10.3390/met14010073>
- Oustadakis, P., Tsakiridis, P., & Agatzini-Leonardou, S. (2010). Hydrometallurgical process for zinc recovery from electric arc furnace dust. Journal of Hazardous Materials. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.04.004>
- Soltani, F., Darabi, H., & Aram, R. (2021). Leaching and solvent extraction purification of zinc from complex oxide ore. Scientific Reports. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81141-7>
- Zhang, R. L., et al. Preparation of Zinc Powders by Acid Electrowinning. Russian Journal of Non-Ferrous Metals. <https://bakhtiniada.ru/1067-8212/article/view/226730>
- Liao, C., Li, Z., & Liu, L. (2023). Recyclable recovery of lead from zinc hydrometallurgy residue. Industrial & Engineering Chemistry Research. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.3c02872>
- Панфилов, В. А. (2005). Производственная санитария и гигиена труда в металлургии. Металлургия.
- СанПиН РК. (2021). Гигиенические нормативы содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Астана.
- ChatGPT. (2026, March 30). Помощь в редактировании текста, улучшении структуры и стиля изложения научной статьи [Большая языковая модель]. OpenAI. <https://chat.openai.com/>

ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДАУ ДЕРЕКТЕРІ НЕГІЗІНДЕ ЖЕР ЖАМЫЛҒЫСЫНЫҢ ӨЗГЕРІСІН ТАЛДАУ (NDVI ЖӘНЕ SAVI ИНДЕКСТЕРІ АРҚЫЛЫ)

ӨОЖ 332.3

Б. Жұмағали^{1*}, М.М. Тогузова¹

¹Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан

*Корреспондент-автор: Бекзат Жұмағали, e-mail: bekzatqoi@gmail.com

АНДАТПА. Бұл мақалада 2015 - 2025 жылдар аралығында Жамбыл облысы Байзақ ауданы аумағындағы ауыл шаруашылығы мақсатындағы жерлердің жай-күйі мен өзгерістері қашықтықтан зондтау деректері негізінде қарастырылады. Зерттеудің өзектілігі ауыл шаруашылығы жерлерін тиімді пайдалану қажеттілігімен және олардың жағдайын жедел бағалау мен мониторинг жүргізудің заманауи әдістерін қолдану маңыздылығымен айқындалады. Зерттеудің мақсаты - NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) және SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) индекстерін пайдалану арқылы зерттелетін аумақтағы өсімдік жамылғысының кеңістіктік және уақыттық өзгерістерін анықтау. Зерттеу барысында 2015 және 2025 жылдарға арналған спутниктік деректер пайдаланылып, олар геоақпараттық жүйелер көмегімен өңделді. NDVI және SAVI индекстері есептеліп, олардың мәндері бойынша аумақтың жай-күйі санаттарға бөлінді. Нәтижесінде өсімдік жамылғысының жақсы дамыған, орташа және деградацияға ұшыраған аймақтары анықталды. Сонымен қатар, егістік алқаптардың кеңістіктік орналасуында өзгерістер болғаны байқалды. Бұл өзгерістер ауыл шаруашылығында қолданылатын ауыспалы егіс жүйесімен және жердің құнарлылығын қалпына келтіру процестерімен байланысты екені анықталды. Зерттеудің ғылыми жаңалығы ауыл шаруашылығы жерлерінің динамикасын бағалауда NDVI және SAVI индекстерін кешенді түрде қолдануымен және нақты кадастрлық учаскелер деңгейінде өзгерістерді талдауымен сипатталады. Ұсынылған тәсіл жер ресурстарын мониторингтеуді жетілдіруге, олардың тиімді пайдаланылуын бақылауға және аграрлық саясатты ғылыми негіздеуге мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: ауыл шаруашылығы жерлері, Жерді қашықтықтан зондтау, ГАЖ, NDVI, SAVI, жер мониторингі.

КІРІСПЕ

Қазіргі таңда Қазақстанның аграрлық секторында ГАЖ және қашықтықтан зондтау технологияларын қолдану жер мониторингін цифрлық трансформациялаудың негізгі құралына айналды (Rakhmetullina & Toguzova, 2023). Бұл тәсіл ауыл шаруашылығы алқаптарының жай-күйін нақты уақыт режимінде бақылауға мүмкіндік береді. Осыған байланысты, жер ресурстарының шектеулілігі мен климаттық факторлардың әсері ауыл шаруашылығы алқаптарының өнімділігіне тікелей ықпал етеді. Жер жамылғысының жағдайын жедел бағалау және оның уақыт бойынша өзгерістерін анықтау ғылыми және практикалық тұрғыдан өзекті мәселе болып отыр.

Соңғы жылдары Жерді қашықтықтан зондтау (ЖҚЗ) және геоақпараттық жүйелер (ГАЖ) технологиялары жер ресурстарын мониторингтеудің тиімді құралы ретінде кеңінен қолданылуда. Спутниктік деректерді пайдалану кең ауқымды аумақтарды қысқа уақыт ішінде зерттеуге, сондай-ақ табиғи және антропогендік өзгерістерді кеңістіктік-уақыттық тұрғыдан талдауға мүмкіндік береді. Бұл тәсіл ауыл шаруашылығы жерлерінің жай-күйін бағалауда, деградация процестерін анықтауда және жерді ұтымды пайдалану бойынша басқарушылық шешімдер қабылдауда

ерекше маңызға ие.

Қашықтықтан зондтау деректерін талдауда өсімдік жамылғысының жағдайын сипаттайтын спектралдық индекстер маңызды рөл атқарады. Солардың ішінде NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) индексі өсімдік жамылғысының тығыздығы мен белсенділігін бағалауда кеңінен қолданылады. Сонымен қатар, топырақтың әсерін ескеретін SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) индексі ауыл шаруашылығы жерлерін талдауда дәлірек нәтиже береді. Бұл индекстерді кешенді қолдану жер жамылғысының жағдайын жан-жақты бағалауға мүмкіндік береді (Rouse et al., 1974; Huete, 1988).

Алайда ауыл шаруашылығы жерлерінің кеңістіктік өзгерістерін, әсіресе нақты кадастрлық учаскелер деңгейінде талдау мәселесі жеткілікті дәрежеде зерттелмеген. Көптеген зерттеулер жалпы аумақтық деңгейде жүргізілгенімен, нақты егістік алқаптардағы динамикалық өзгерістер мен олардың себептерін анықтау әлі де өзекті болып табылады. Әсіресе, ауыспалы егіс жүйесінің әсерінен болатын өзгерістерді қашықтықтан зондтау деректері арқылы талдау маңызды ғылыми бағыттардың бірі болып табылады (Rouse et al., 1974; Huete, 1988).

Осы зерттеудің мақсаты - 2015 - 2025 жылдар аралығында Жамбыл облысы Байзақ ауданы аумағындағы ауыл шаруашылығы жерлерінің жай-күйі мен өзгерістерін NDVI және SAVI индекстері негізінде талдау. Аталған мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды: зерттеу аумағын анықтау, спутниктік деректерді өңдеу, NDVI және SAVI индекстерін есептеу, алынған нәтижелерді салыстырмалы талдау және жер жамылғысының өзгеру себептерін айқындау.

Зерттеу нысаны ретінде Жамбыл облысы Байзақ ауданының ауыл шаруашылығы мақсатындағы жерлері қарастырылды. Зерттеу барысында қашықтықтан зондтау деректерін өңдеу, геоақпараттық талдау, кеңістіктік модельдеу және салыстырмалы талдау әдістері қолданылды.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы NDVI және SAVI индекстерін кешенді түрде қолдана отырып, ауыл шаруашылығы жерлерінің өзгерістерін нақты кадастрлық учаскелер деңгейінде бағалаумен сипатталады. Алынған нәтижелер жер ресурстарын тиімді пайдалану мен оларды басқару жүйесін жетілдіруге мүмкіндік береді.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Зерттеу нысаны ретінде Жамбыл облысы Байзақ ауданы аумағындағы ауыл шаруашылығы мақсатындағы жерлер қарастырылды. Аталған аумақ егін шаруашылығы қарқынды дамыған өңірлердің бірі болып табылады және жер ресурстарын тиімді пайдалану тұрғысынан маңызды зерттеу аймағы саналады. Зерттеу барысында нақты кадастрлық нөмірлері бар жер учаскелері негізге алынып, олардың уақыт бойынша өзгерістері талданды.

Зерттеу барысында Жерді қашықтықтан зондтау деректері пайдаланылды. Зерттеуде Еуропалық ғарыш агенттігінің (ESA) Sentinel-2 спутнигінен алынған, кеңістіктік ажыратымдылығы 10 метрлік көпспектрлі суреттер пайдаланылды. Деректер вегетациялық кезеңнің шірілдеу (немесе маусым-тамыз) айларына сәйкес іріктеліп, бұлттылық деңгейі 5%-дан аспайтын көріністер таңдалды. Атап айтқанда, 2015 және 2025 жылдарға сәйкес келетін спутниктік суреттер негізінде NDVI және SAVI индекстері есептелді. Бұл деректер зерттелетін аумақтағы өсімдік жамылғысының жағдайын салыстырмалы түрде бағалауға мүмкіндік берді (Temirbayeva & Muratova, 2024; Aitmatov & Zhunisov, 2025).

Кеңістіктік деректерді өңдеу және талдау геоақпараттық жүйелерді қолдану арқылы жүзеге асырылды. Зерттеу процесінде растрлық деректерді өңдеу, индекстерді есептеу және нәтижелерді визуализациялау жұмыстары жүргізілді. Алынған нәтижелер картографиялық түрде ұсынылып, әрбір кезең бойынша жер жамылғысының жай-күйі анықталды.

Өсімдік жамылғысының жағдайын бағалау үшін NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) индексі қолданылды. Бұл индекс қызыл (Red) және жақын инфрақызыл (NIR) спектралдық арналар негізінде есептеліп, өсімдіктердің фотосинтетикалық белсенділігін сипаттайды. NDVI мәндері -1 мен +1 аралығында өзгеріп, жоғары мәндер тығыз өсімдік жамылғысын, ал төмен мәндер әлсіз немесе жоқ өсімдікті білдіреді.

Сонымен қатар, топырақ әсерін ескеретін SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) индексі пайдаланылды. Бұл индекс әсіресе өсімдік жамылғысы сирек орналасқан немесе топырақтың әсері жоғары аумақтарда дәлірек нәтиже береді. SAVI индексі қолдану ауыл шаруашылығы жерлерінің нақты жағдайын бағалауға мүмкіндік береді (Temirbayeva & Muratova, 2024; Aitmatov & Zhunisov, 2025).

Алынған NDVI және SAVI мәндері белгілі бір шекті диапазондар бойынша жіктеліп, аумақтың жай-күйі үш негізгі санатқа бөлінді:

- өсімдік жамылғысы жақсы дамыған аймақтар;
- орташа жағдайдағы жерлер;
- деградацияға ұшыраған немесе әлсіз аймақтар;

Кеңістіктік-уақыттық өзгерістерді анықтау мақсатында 2015 және 2025 жылдардағы көрсеткіштер салыстырмалы түрде талданды. Бұл тәсіл зерттелетін аумақтағы өсімдік жамылғысының өзгеру динамикасын анықтауға және егістік алқаптардың орналасуындағы ауытқуларды бағалауға мүмкіндік берді.

Зерттеу барысында қолданылған әдістер қашықтықтан зондтау және геоақпараттық талдау саласында кеңінен қолданылатын ғылыми негізделген тәсілдер болып табылады және алынған нәтижелердің сенімділігін қамтамасыз етеді.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Зерттеу барысында Жамбыл облысы Байзақ ауданы аумағындағы ауыл шаруашылығы мақсатындағы жерлердің 2015 - 2025 жылдар аралығындағы жай-күйін бағалау үшін NDVI және SAVI индекстері негізінде кеңістіктік-уақыттық талдау жүргізілді.

NDVI индексі есептеу нәтижесінде зерттелетін аумақтағы өсімдік жамылғысының жағдайы сандық түрде анықталды. Алынған деректер негізінде аумақ үш негізгі санатқа жіктелді: өсімдік жамылғысы жақсы дамыған аймақтар, орташа деңгейдегі жерлер және деградацияға ұшыраған аумақтар (Soryukhanova et al., 2022; Khamzina & Martius, 2024).

2015 жылғы деректер бойынша зерттелетін аумақта өсімдік жамылғысы салыстырмалы түрде біркелкі таралғаны байқалады. Жасыл түсті аймақтар басым болып, бұл ауыл шаруашылығы жерлерінің белсенді пайдаланылғанын және топырақ құнарлылығының жеткілікті деңгейде болғанын көрсетеді.

Ал 2025 жылғы нәтижелермен салыстырғанда айтарлықтай өзгерістер анықталды. Атап айтқанда, 2015 жылы NDVI-дің ең жоғары мәні 0.88-ді құраса, 2025 жылы бұл көрсеткіш 0.84-ке дейін төмендегені байқалды. Бұл вегетацияның максималды белсенділігінің 4%-ға әлсірегенін көрсетеді. Кейбір учаскелерде NDVI мәндерінің төмендеуі байқалып, бұл өсімдік жамылғысының әлсіреуін немесе жердің уақытша пайдаланылмағанын білдіреді. Сонымен қатар, басқа бірқатар аумақтарда NDVI көрсеткіштерінің жоғарылағаны тіркелді, бұл жаңа егістік алқаптардың игерілгенін немесе жердің қайта қалпына келгенін көрсетеді.

SAVI индексі бойынша жүргізілген талдау NDVI нәтижелерін нақтылай түсті. Топырақ әсерін ескергенде, SAVI индексінің орташа мәні зерттеу аумағында 0.35-тен 0.32-ге ауытқыды. Бұл ашық топырақ үлесінің артуы мен өсімдік жамылғысының сиреуін растайды.

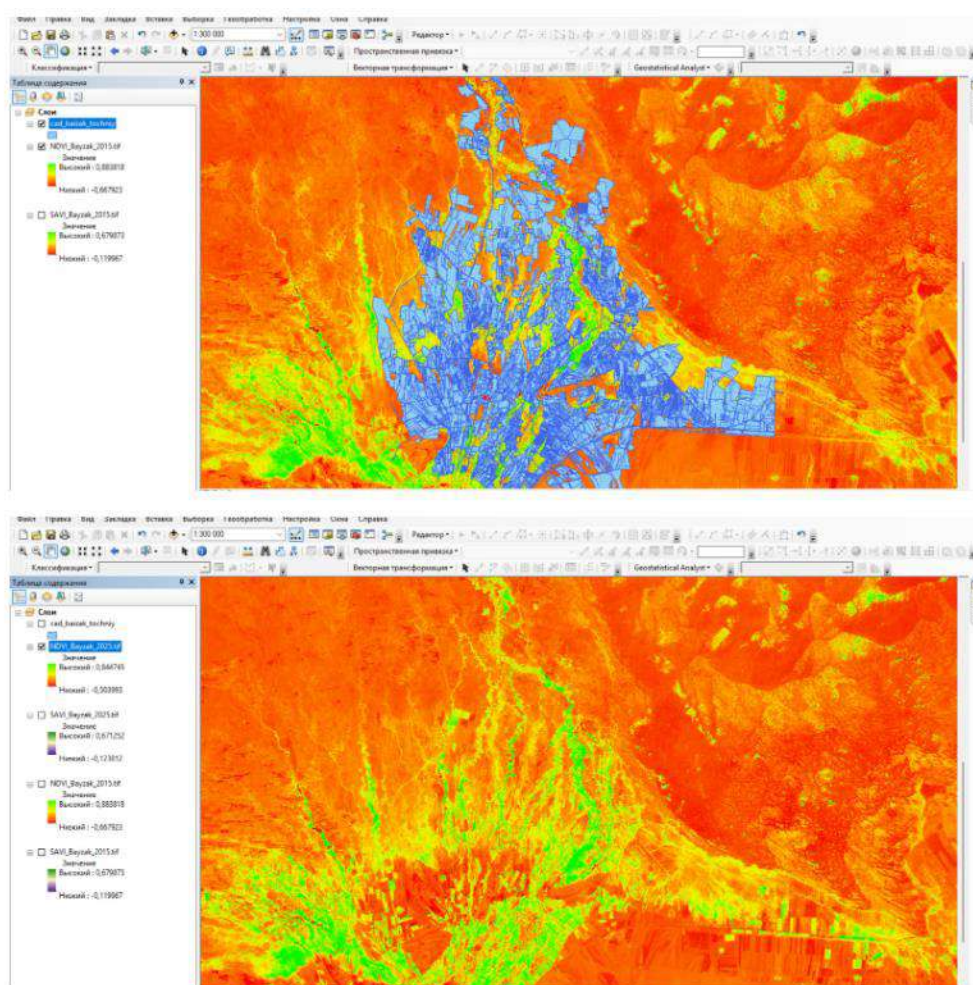
2015 жылғы SAVI картасында ауыл шаруашылығы жерлерінің басым бөлігінде орташа және жоғары көрсеткіштер байқалды. Ал 2025 жылы кейбір аймақтарда SAVI

мәндерінің төмендеуі тіркеліп, бұл топырақтың деградацияға ұшырау немесе уақытша демалысқа қалдырылу процесін көрсетеді.

Сонымен қатар, кейбір учаскелерде SAVI көрсеткіштерінің жоғарылауы байқалып, бұл жерлерде агротехникалық шаралардың жүргізілгенін немесе егістік алқаптардың жаңадан игерілгенін білдіреді.

Жүргізілген салыстырмалы талдау нәтижесінде егістік алқаптардың кеңістіктік орналасуында өзгерістер болғаны анықталды. Атап айтқанда, кейбір учаскелерде бұрын жоғары өнімділік көрсеткен алқаптардың кейінгі кезеңде әлсірегені, ал басқа аумақтарда керісінше жақсарғаны байқалады.

Бұл құбылыс ауыл шаруашылығында кеңінен қолданылатын ауыспалы егіс жүйесімен түсіндіріледі. Яғни, бір жерге бірнеше жыл қатарынан егін егілген жағдайда топырақтың құнарлылығы төмендейді. Осыған байланысты егістік алқаптар белгілі бір уақыт аралығында ауыстырылып отырады, ал бұрын пайдаланылған жерлерде қалпына келтіру шаралары жүргізіледі (Sopykhanova et al., 2022; Khamzina & Martius, 2024).



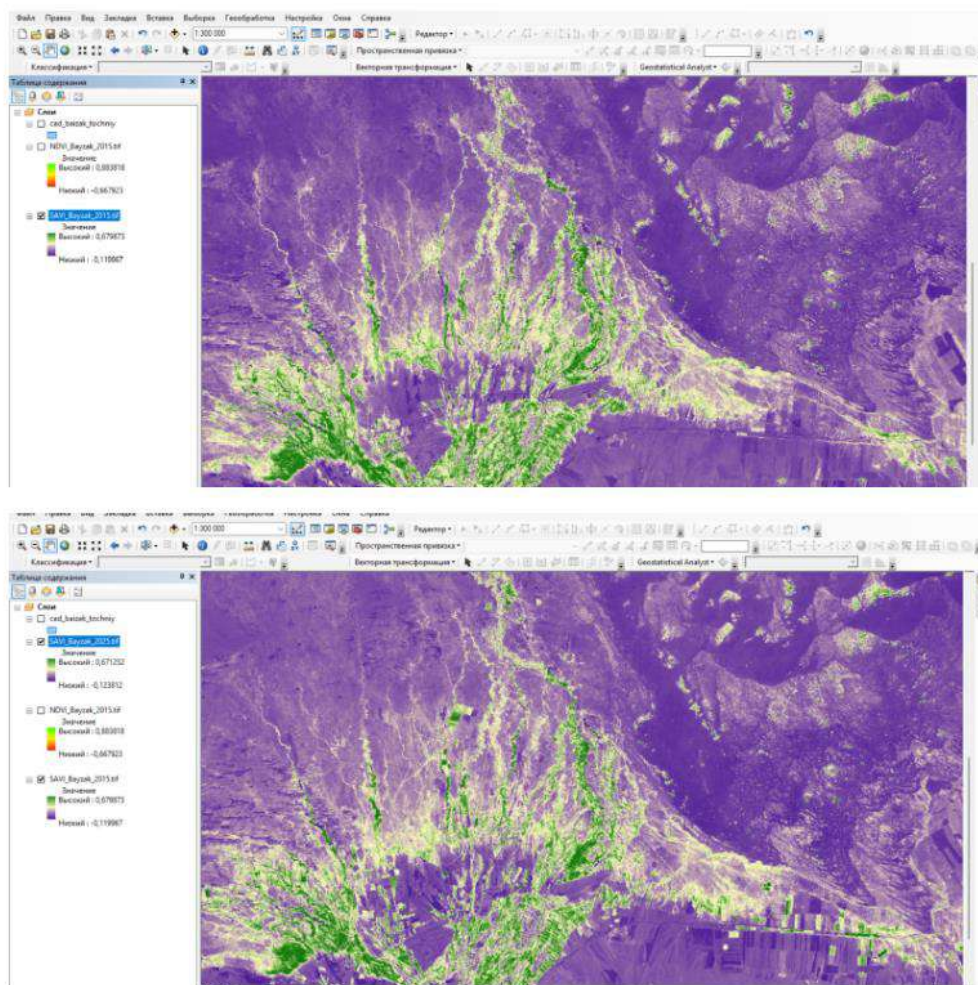
Сурет 1. 2015 және 2025 жылдардағы NDVI индексінің өзгерісі

NDVI және SAVI индекстеріндегі өзгерістер дәл осы процесті айқын көрсетеді:

- кейбір жасыл аймақтардың әлсіреуі – топырақтың шаршауы;
- жаңа жасыл аймақтардың пайда болуы – жаңа егістік жерлер;
- сары және қызыл аймақтардың артуы – деградация немесе демалыс кезеңі.

Кесте 1. NDVI және SAVI индекстері бойынша ауыл шаруашылығы жерлерінің динамикасы

Көрсеткіш	Индекс диапазоны	2015 жыл (Үлесі, %)	2025 жыл (Үлесі, %)	Өзгеріс (Динамика)
Жақсы дамыған вегетация	0.5 - 0.8 (NDVI)	45%	38%	- 7% (азайған)
Орташа жағдайдағы өсімдік	0.3 - 0.5 (NDVI)	30%	35%	+ 5% (артқан)
Өлсіз/Деградация (Топырақ)	0.1 - 0.3 (NDVI)	25%	27%	+ 2% (артқан)
SAVI (Жоғары)	0.4 - 0.7 (SAVI)	40%	36%	- 4% (төмендеген)



Сурет 2. 2015 және 2025 жылдардағы SAVI индексінің өзгерісі

Жалпы алғанда, зерттеу нәтижелері ауыл шаруашылығы жерлерінде динамикалық өзгерістердің жүріп жатқанын көрсетті. Бұл өзгерістер табиғи факторлармен қатар, антропогендік әсерлермен, әсіресе ауыл шаруашылығы қызметімен тікелей байланысты (Alimov, 2017; Sorykhanova et al., 2020).

NDVI және SAVI индекстерін кешенді қолдану жер жамылғысының жағдайын бағалауда жоғары тиімділік көрсетіп, ауыл шаруашылығы жерлерін мониторингтеуде маңызды құрал екендігін дәлелдеді.

Осылайша, зерттеу барысында екі индекстің де өзіндік ерекшеліктері ескерілді. NDVI көрсеткіштерімен қатар SAVI индексін қолдану топырақ қабатының вегетациялық мәндерге әсерін азайтуға мүмкіндік берді. Бұл әсіресе өсімдік жамылғысы сирек аймақтарда индекстердің дәлдігін арттыратыны ғылыми тұрғыдан дәлелденген (Pulella et al., 2025). Анықталған вегетациялық динамика Байзақ ауданындағы ауыспалы егіс жүйесінің сақталуымен байланысты (Khamzina & Martius, 2024). Бұл нәтижелер ауданның ауыл шаруашылығы жерлерін тиімді басқаруға негіз болады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Жүргізілген зерттеу барысында Жамбыл облысы Байзақ ауданы аумағындағы ауыл шаруашылығы мақсатындағы жерлердің 2015 - 2025 жылдар аралығындағы жай-күйі мен өзгерістеріне кешенді талдау жасалды. Қашықтықтан зондтау деректері мен геоақпараттық технологияларды қолдану арқылы зерттеу мақсатына толық қол жеткізілді. Зерттеу міндеттері, соның ішінде NDVI және SAVI индекстерін есептеу, кеңістіктік-уақыттық өзгерістерді анықтау және жер жамылғысының жай-күйін бағалау кезең-кезеңімен жүзеге асырылды.

Зерттеу нәтижелері ауыл шаруашылығы жерлерінде айтарлықтай динамикалық өзгерістердің орын алғанын көрсетті. NDVI және SAVI индекстерінің мәндері бойынша кейбір учаскелерде өсімдік жамылғысының төмендеуі байқалса, басқа аймақтарда керісінше жақсарғаны анықталды. Бұл өзгерістер егістік алқаптардың кеңістіктік орналасуының ауысуымен және ауыл шаруашылығында қолданылатын ауыспалы егіс жүйесінің әсерімен түсіндіріледі.

Анықталған өзгерістер топырақ құнарлылығының уақытша төмендеуі мен қалпына келу процестерінің қатар жүретінін көрсетеді. Сонымен қатар, кейбір аймақтарда деградациялық үрдістердің байқалуы жер ресурстарын тиімді пайдалану мен оларды қорғау шараларын күшейту қажеттігін дәлелдейді.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы ауыл шаруашылығы жерлерінің өзгерістерін бағалауда NDVI және SAVI индекстерін кешенді түрде қолданумен және талдауды нақты кадастрлық учаскелер деңгейінде жүргізумен сипатталады. Бұл тәсіл жер жамылғысының жағдайын дәлірек бағалауға және өзгерістердің себептерін анықтауға мүмкіндік береді.

Зерттеудің практикалық маңызы ұсынылған әдістемені ауыл шаруашылығы жерлерін тұрақты мониторингтеуде, олардың тиімді пайдаланылуын бақылауда және аграрлық басқару шешімдерін қабылдауда қолдану мүмкіндігімен айқындалады. Сонымен қатар, алынған нәтижелер жер кадастры жүйесін жетілдіруге және жер ресурстарын ұтымды пайдалану стратегияларын әзірлеуге негіз бола алады.

Сонымен бірге, зерттеудің белгілі бір шектеулері бар. Орташа кеңістіктік ажыратымдылықтағы спутниктік деректерді пайдалану ұсақ масштабтағы өзгерістерді толық анықтауға мүмкіндік бермейді. Бұдан бөлек, өсімдік жамылғысының маусымдық өзгерістері толық ескерілмеуі мүмкін.

Алдағы зерттеулерде жоғары кеңістіктік ажыратымдылықтағы деректерді пайдалану, машиналық оқыту әдістерін енгізу және ауыл шаруашылығы жерлеріне әсер ететін факторларды кешенді түрде талдау бағыттары перспективалы болып табылады.

Қорытындылай келе, қашықтықтан зондтау деректері мен геоақпараттық технологияларды қолдану ауыл шаруашылығы жерлерінің жағдайын тиімді бағалауға мүмкіндік береді және жер ресурстарын басқарудың ғылыми негізделген тәсілдерін қалыптастыруда маңызды рөл атқарады.

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ: Авторлар мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

АЛҒЫС БІЛДІРУ: Авторлар әдістемелік қолдау көрсеткені және пайдалы пікірлері үшін әріптестеріне, сондай-ақ мақаланың сапасын арттыруға ықпал еткен құнды ескертулері үшін анонимді рецензенттерге алғыс білдіреді.

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ҚОЛДАНУ ТУРАЛЫ ХАБАРЛАМА: Осы жұмыстың авторлары мәтінді құрылымдау, ғылыми стильді редакциялау және мақаланың жекелеген бөлімдерін тұжырымдау мақсатында жасанды интеллект құралдарын пайдаланды. Жасанды интеллектті қолдану зерттеу нәтижелерін интерпретациялауға әсер еткен жоқ және авторлардың деректерді талдауын алмастырған жоқ.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Rouse, J. W., et al. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Third ERTS Symposium*, 1, 309 - 317.
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295 - 309.
- Rakhmetullina, S., & Toguzova, M. (2023). Digital transformation of land monitoring in Kazakhstan using GIS and remote sensing. *Journal of Applied Geoinformatics*, 12(2), 45 - 58.
- Khamzina, A., & Martius, C. (2024). Satellite-based monitoring of crop rotation in Central Asia. *Agriculture and Forest Meteorology*, 345, 109 - 120.
- Pulella, F., et al. (2025). Soil interference in vegetation indices: A comparative study of NDVI and SAVI. *Remote Sensing Applications*, 31, 100 - 115.
- Aitmatov, B., & Zhunisov, A. (2025). Geo-information assessment of soil fertility in irrigation zones of Zhambyl region. *Agricultural Sciences of Kazakhstan*, (2), 34 - 42.
- ChatGPT. (2026). Мақаланың ғылыми мәтінін нақтылау және редакциялау [Үлкен тіл моделі]. OpenAI. <https://chat.openai.com> // ChatGPT. (2026). Utochnenie i redaktirovanie nauchnogo teksta stat'i [Clarification and editing of scientific text of the article]. OpenAI. <https://chat.openai.com>

РЕКРЕАЦИЯЛЫҚ МАҚСАТТАҒЫ ЖЕРЛЕРДІ ПАЙДАЛАНУДЫ МОНИТОРИНГІЛЕУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ

ӘОЖ 332.3

Ж. Еркинбай¹, М.Р. Тогузова¹, Ә.Е. Кайсанова²

¹Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан

²Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

Корреспондент-автор: Еркинбай Жағсалағ, e-mail: erkinbaevazaksylyk@gmail.com

АНДАТПА. Мақалада 2018 - 2025 жылдар аралығында Бұқтырма су қоймасының жағалау аймағы мысалында рекреациялық жер пайдалануды мониторингтеу және бағалау мәселесі қарастырылады. Зерттеудің өзектілігі рекреациялық аумақтарға түсетін антропогендік жүктеменің артуымен және оны тиімді бағалау мен бақылау әдістерін әзірлеу қажеттілігімен айқындалады. Зерттеудің мақсаты – қашықтан зондтау деректері мен геоақпараттық талдау әдістерін пайдалану арқылы рекреациялық аумақтардың жай-күйіндегі кеңістіктік және уақыттық өзгерістерді анықтау. Зерттеу барысында Sentinel-2 спутниктік деректері және жоғары кеңістіктік ажыратымдылықтағы Google Satellite суреттері қолданылды. Деректерді өңдеу және талдау QGIS геоақпараттық жүйесінде жүзеге асырылды. Жұмыс шеңберінде рекреациялық аймақтардың шекаралары визуалды интерпретация негізінде анықталып, зерттелетін аумақтың векторлық моделі құрылды. Одан әрі NDVI және NDBI индекстері есептеліп, зерттеу кезеңіндегі өзгерістерге салыстырмалы талдау жүргізілді. Алынған нәтижелер негізінде өсімдік жамылғысының азаюы және құрылыс аумақтарының кеңеюі байқалатын проблемалық учаскелер анықталды. Зерттеудің ғылыми жаңалығы рекреациялық кеңістіктердің динамикасын бағалауда NDVI және NDBI индекстерін кешенді түрде қолдануымен сипатталады. Бұл тәсіл табиғи компоненттердің деградациясы мен инфрақұрылымдық дамудың өзара байланысын анықтауға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер теориялық тұрғыдан маңызды болып табылады және жер мониторингі әдістерін жетілдіруге, сондай-ақ аумақтық жоспарлау мен табиғи ресурстарды тиімді басқару практикасын дамытуға қолданылуы мүмкін.

Түйінді сөздер: рекреациялық жерлер, Жерді қашықтан зондтау, ГАЖ, NDVI, NDBI, жер мониторингі, QGIS.

КІРІСПЕ

Қазіргі кезеңде туризм индустриясының қарқынды дамуы мен табиғи аумақтарға түсетін антропогендік жүктеменің артуы рекреациялық жер пайдалануды тиімді басқару мәселесін өзекті етеді. Рекреациялық аймақтар өңірлік тұрақтылықты қамтамасыз етуде, табиғи экожүйелерді сақтауда және халықтың демалысына қолайлы жағдай жасауда маңызды рөл атқарады. Сонымен қатар, бұл аумақтарды ретсіз әрі бақылаусыз пайдалану өсімдік жамылғысының деградациясына, жер пайдалану құрылымының өзгеруіне және жалпы экологиялық жағдайдың нашарлауына алып келеді.

Осыған байланысты рекреациялық кеңістіктердің жай-күйін жүйелі түрде бақылау және талдау ғылыми тұрғыдан да, практикалық тұрғыдан да маңызды міндет болып табылады. Әсіресе, геоақпараттық жүйелер (ГАЖ) мен Жерді қашықтан зондтау (ЖҚЗ) технологиялары кеңістіктік-уақыттық өзгерістерді анықтауда тиімді құрал ретінде кеңінен қолданылуда. Спутниктік деректерді пайдалану нақты уақытқа жақын режимде мониторинг жүргізуге мүмкіндік беріп, жағымсыз үрдістерді дер кезінде анықтауға және басқарушылық шешімдерді негіздеуге жағдай жасайды.

Қазіргі ғылыми зерттеулерде жер жамылғысының жағдайын бағалау үшін әртүрлі

спектралдық индекстер белсенді қолданылуда. Олардың ішінде өсімдіктер жамылғысын сипаттайтын NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) және урбандалу деңгейін бағалауға мүмкіндік беретін NDBI (Normalized Difference Built-up Index) ерекше орын алады. Дегенмен, жүргізілген зерттеулердің көптігіне қарамастан, рекреациялық аумақтарды олардың функционалдық ерекшеліктерін ескере отырып кешенді талдау мәселесі, әсіресе өңірлік деңгейде, жеткілікті дәрежеде зерттелмеген күйінде қалып отыр (Alimov, 2017; Sopykhanova et al., 2020).

Осы зерттеудің мақсаты – 2018–2025 жылдар аралығында Бұқтырма су қоймасы жағалауындағы рекреациялық аумақтардың жай-күйі мен жер пайдалану құрылымындағы өзгерістерді геоақпараттық және қашықтан зондтау әдістері негізінде талдау. Аталған мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды: зерттеу аумағының шекарасын анықтау, оның векторлық моделін құру, Sentinel-2 спутниктік деректерін өңдеу, NDVI және NDBI индекстерін есептеу, уақыттық өзгерістерді салыстырмалы талдау және проблемалық аймақтарды айқындау.

Зерттеу нысаны ретінде Бұқтырма су қоймасы жағалауындағы рекреациялық аймақтар қарастырылады, мұнда негізгі назар олардың антропогендік әсер нәтижесінде өзгеру ерекшеліктеріне аударылады. Зерттеу барысында геоақпараттық талдау, қашықтан зондтау деректерін өңдеу, кеңістіктік модельдеу және салыстырмалы талдау әдістері қолданылды.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы рекреациялық аумақтардың динамикасын бағалауда NDVI және NDBI индекстерін кешенді түрде қолдануымен, сондай-ақ кеңістіктік талдау негізінде экологиялық тұрғыдан проблемалық аймақтарды анықтауымен сипатталады. Алынған нәтижелер рекреациялық аумақтарды тиімді басқару мен мониторинг жүйесін жетілдіруге мүмкіндік береді.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Зерттеу нысаны ретінде Жаңа Бұқтырма кенті маңындағы Бұқтырма су қоймасы жағалауы бойында орналасқан рекреациялық аумақтар қарастырылды. Аталған аумақтар жоғары деңгейдегі антропогендік жүктемемен және туристік инфрақұрылымның қарқынды дамуымен сипатталады.

Зерттеу барысында қашықтан зондтау деректері пайдаланылды. Атап айтқанда, 2018 - 2025 жылдар аралығын қамтитын, кеңістіктік ажыратымдылығы 10 м болатын Sentinel-2 спутниктік суреттері қолданылды. Қосымша картографиялық негіз ретінде 2 - 3 м дейінгі жоғары кеңістіктік ажыратымдылыққа ие Google Satellite суреттері пайдаланылып, бұл визуалды интерпретация мен нысандарды дәл анықтауға мүмкіндік берді. Кеңістіктік деректерді өңдеу және талдау QGIS геоақпараттық жүйесі негізінде жүргізілді, ол растрлық және векторлық деректермен жұмыс істеуді, сондай-ақ кеңістіктік талдау әдістерін қолдануды қамтамасыз етеді (Koshkalda, 2023).

Зерттеу жұмысының бастапқы кезеңінде Google Satellite суреттері негізінде рекреациялық аумақтардың шекаралары визуалды түрде анықталды. Бұл тәсіл құрылыс салынған аймақтарды, рекреациялық инфрақұрылым нысандарын және жағалау белдеулерін айқындауға мүмкіндік берді. Нәтижесінде зерттелетін аумақтың векторлық моделі қалыптастырылды.

Келесі кезеңде Sentinel-2 деректері өңделді. Өсімдік жамылғысының жағдайын бағалау мақсатында қызыл (B04) және жақын инфрақызыл (B08) спектралдық арналар негізінде NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) индексі есептелді. Бұл индекс өсімдіктердің күйін сипаттауға және олардың деградациясы немесе қалпына келу аймақтарын анықтауға мүмкіндік береді.

Ал урбандалу деңгейін және құрылыс аумақтарының таралуын бағалау үшін жақын инфрақызыл (NIR) және қысқа толқынды инфрақызыл (SWIR) диапазондары негізінде NDBI (Normalized Difference Built-up Index) индексі есептелді. Бұл көрсеткіш жер пайдалану құрылымындағы өзгерістерді және құрылыс қарқыны жоғары

аймақтарды анықтауға мүмкіндік береді. NDVI және NDBI индекстері QGIS бағдарламасындағы Raster Calculator құралы арқылы есептелді. Алынған растрлық деректер алдын ала белгіленген шекті мәндер бойынша жіктеліп, аумақтың әртүрлі күй санаттары анықталды (Liping et al., 2018).

Кеңістіктік-уақыттық өзгерістерді талдау үшін 2018 және 2025 жылдардағы индекс мәндері салыстырмалы түрде зерттелді. Өзгерістер карталары әртүрлі уақыт кезеңдеріндегі көрсеткіштерді салыстыру арқылы жасалып, оң және теріс динамика байқалатын аумақтарды анықтауға мүмкіндік берді. Проблемалық рекреациялық аймақтар индекстердің шекті өзгерістері негізінде айқындалды: NDVI мәнінің төмендеуі өсімдік жамылғысының нашарлауын көрсетсе, NDBI мәнінің артуы құрылыс аумақтарының кеңеюін білдіреді. Бұл көрсеткіштерді кешенді талдау антропогендік қысымы жоғары аймақтарды анықтауға мүмкіндік берді (Wang et al., 2020).

Қолданылған әдістер геоақпараттық талдау мен қашықтан зондтау саласында кеңінен қолданылатын, ғылыми тұрғыдан негізделген тәсілдер болып табылады және алынған нәтижелердің сенімділігі мен қайталанымдылығын қамтамасыз етеді.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Зерттеу барысында Бұқтырма су қоймасының жағалауындағы рекреациялық аумақтардың 2018 - 2025 жылдар аралығындағы жай-күйін бағалау үшін NDVI және NDBI индекстері негізінде геоақпараттық және кеңістіктік-уақыттық талдау жүргізілді. NDVI индексін есептеу зерттелетін аумақтағы өсімдік жамылғысының жағдайын сандық түрде сипаттауға мүмкіндік берді. Алынған мәндер үш негізгі санатқа жіктелді: деградацияға ұшыраған аумақтар, орташа өсімдік жамылғысы бар аймақтар және тығыз өсімдік жамылғысы сақталған учаскелер (Rocha & Abrantes, 2019).

Талдау нәтижелері 2018 - 2025 жылдар аралығында жағалау бойындағы NDVI мәндерінің жалпы төмендеу үрдісін көрсетті. Бұл өсімдік жамылғысының біртіндеп нашарлап жатқанын білдіреді. Әсіресе, рекреациялық инфрақұрылым шоғырланған жағалау бөліктерінде өзгерістер айқын байқалады. Салыстырмалы талдау NDVI көрсеткіштерінің төмендеуі кеңістікте локалды болғанымен, уақыт бойынша тұрақты сипатқа ие екенін көрсетті, бұл антропогендік қысымның артуымен байланысты болуы мүмкін (Yan et al., 2025).

Сонымен қатар, NDBI индексін есептеу арқылы жер пайдалану құрылымындағы өзгерістер, атап айтқанда құрылыс аумақтарының кеңеюі анықталды. Нәтижелер бірқатар учаскелерде NDBI мәндерінің өсуін көрсетті, бұл рекреациялық нысандар мен инфрақұрылым элементтерінің белсенді дамуын дәлелдейді. Ең қарқынды өзгерістер демалыс базалары мен туристік объектілер тығыз орналасқан аймақтарда тіркелді.

NDVI және NDBI индекстерін кешенді түрде талдау рекреациялық пайдаланудың экологиялық тұрғыдан проблемалық аймақтарын анықтауға мүмкіндік берді. Мұндай аумақтарға NDVI мәні төмендеп, NDBI көрсеткіші артқан учаскелер жатады, яғни табиғи өсімдік жамылғысы құрылыс нысандарымен алмастырылып жатқан аймақтар. Бұл өзгерістердің кеңістіктік таралуы негізінен жағалау сызығына жақын аумақтарда шоғырланған, себебі бұл жерлер жоғары рекреациялық тартымдылыққа ие (Mashala et al., 2023). Анықталған проблемалық аймақтар антропогендік жүктеменің жоғары деңгейімен сипатталады және оларды тиімді басқару үшін арнайы шараларды талап етеді. Зерттеу нәтижелері NDVI және NDBI индекстерін қолдану жер пайдалану мониторингінде жоғары тиімділікке ие екенін және қазіргі ғылыми зерттеулермен үйлесетінін көрсетті.

туристік ағынның артуы және өсімдік жамылғысының бұзылуы қарастырылады (Sopykhanova et al., 2020).

Кесте 1. Рекреациялық жерлерді пайдалану деңгейін бағалау

Нысан	Өсімдік жамылғысының өзгеруі (NDVI)	Құрылыстың өзгеруі (NDBI)	Проблемалық аймақтардың таралуы	Жалпы бағалау
Жаңа Бұқтырма жағалауы	Жекелеген аумақтарда NDVI төмендеуі, әсіресе қоныстанған және жағалау маңында	Құрылыстың қарқынды өсуі және аумақтың кеңінен игерілуі	Көптеген проблемалық аймақтар елді мекендер мен туристік нысандар маңында орналасқан	Рекреациялық жүктеме жоғары, аумақтың антропогендік игерілу деңгейі жоғары

Сонымен қатар, зерттеудің белгілі бір шектеулері бар екенін атап өткен жөн. Sentinel-2 спутниктік деректерінің (10 м) кеңістіктік ажыратымдылығы ұсақ масштабтағы өзгерістерді толық анықтауға мүмкіндік бермеуі мүмкін. Сондай-ақ өсімдік жамылғысының маусымдық өзгерістері талдау барысында толық ескерілмеген.

Осы шектеулерге қарамастан, ұсынылған әдіс рекреациялық аумақтарды мониторингтеудің тиімді құралы ретінде бағаланады. Зерттеу нәтижелері жер ресурстарын ұтымды пайдалану стратегияларын әзірлеуде және экологиялық мониторинг жүйелерін жетілдіруде қолданылуы мүмкін (Sardar & Islam, 2025).

Қорытындылай келе, жүргізілген талдау рекреациялық аумақтарда өсімдік жамылғысының қысқаруы мен құрылыс аумақтарының кеңеюі бағытындағы тұрақты үрдістің қалыптасқанын көрсетті. Бұл жағдай табиғи ресурстарды сақтауға бағытталған басқару тетіктерін жетілдіру қажеттігін айқындайды. Алынған нәтижелер теориялық тұрғыдан да, практикалық жағынан да маңызды және болашақ зерттеулер мен басқарушылық шешімдерді негіздеуге мүмкіндік береді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Жүргізілген зерттеу барысында Бұқтырма су қоймасы жағалауындағы рекреациялық аумақтардың 2018 - 2025 жылдар аралығындағы жай-күйі мен пайдалану ерекшеліктеріне кешенді талдау жасалды. Қашықтан зондтау деректері мен геоақпараттық технологияларды қолдану арқылы кеңістіктік және уақыттық өзгерістерді анықтау мақсатына толық қол жеткізілді. Зерттеу міндеттері, соның ішінде аумақ шекараларын айқындау, NDVI және NDBI индекстерін есептеу, сондай-ақ проблемалық аймақтарды анықтау кезең-кезеңімен жүзеге асырылды.

Зерттеу нәтижелері өсімдік жамылғысының біртіндеп төмендеуі мен рекреациялық аумақтарда құрылыс нысандарының кеңеюі арасындағы айқын байланысты көрсетті. Ең қарқынды өзгерістер рекреациялық жүктемесі жоғары жағалау бөліктерінде байқалды. Анықталған проблемалық учаскелер бұл аумақтарда табиғи компоненттерге түсетін қысымды азайту және жер пайдалануды тиімді ұйымдастыру қажеттігін дәлелдейді.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы рекреациялық аумақтардың динамикасын бағалауда NDVI және NDBI индекстерін кешенді түрде қолдануымен сипатталады. Бұл тәсіл өсімдік жамылғысының деградациясы мен құрылыс инфрақұрылымының даму үдерістері арасындағы өзара байланысты анықтауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, алынған нәтижелер геоақпараттық жүйелер мен қашықтан зондтау әдістерін біріктіре отырып, жер пайдалану мониторингінің тиімділігін арттыруға болатынын көрсетеді.

Зерттеудің практикалық маңызы ұсынылған әдістемені рекреациялық аумақтарды тұрақты мониторингтеуде, оларды ұтымды пайдалануды жоспарлауда, аумақтық дамуды басқаруда және қоршаған ортаны қорғау саласында шешімдер

қабылдауда қолдану мүмкіндігімен айқындалады.

Сонымен бірге, зерттеудің белгілі бір шектеулері бар. Атап айтқанда, орташа кеңістіктік ажыратымдылықтағы спутниктік деректерді пайдалану ұсақ масштабтағы өзгерістерді толық анықтауға мүмкіндік бермейді. Бұдан бөлек, өсімдік жамылғысының маусымдық өзгерістері талдау барысында толық ескерілмеген.

Алдағы зерттеулерде кеңістіктік ажыратымдылығы жоғары деректерді пайдалану, жер жамылғысын жіктеуде машиналық оқыту әдістерін енгізу, сондай-ақ рекреациялық аумақтарға әсер ететін антропогендік факторларды кешенді түрде талдау бағыттары перспективалы болып табылады.

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ: Авторлар мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

АЛҒЫС БІЛДІРУ: Авторлар әдістемелік қолдау көрсеткені және пайдалы пікірлері үшін әріптестеріне, сондай-ақ мақаланың сапасын арттыруға ықпал еткен құнды ескертулері үшін анонимді рецензенттерге алғыс білдіреді.

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ҚОЛДАНУ ТУРАЛЫ ХАБАРЛАМА: Осы жұмыстың авторлары мәтінді құрылымдау, ғылыми стильді редакциялау және мақаланың жекелеген бөлімдерін тұжырымдау мақсатында жасанды интеллект құралдарын пайдаланды. Жасанды интеллектті қолдану зерттеу нәтижелерін интерпретациялауға әсер еткен жоқ және авторлардың деректерді талдауын алмастырған жоқ.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Alimov, Z.A. (2017). The concept of recreational lands as an object of legal regulation of land relations. *Scientific Notes of Crimean Federal University*, (2), 127 - 136.
- Koshkalda, I. (2023). Management of recreation land: Development prospects. *Review of Economics and Finance*.
- Liping, C., Yujun, S., & Saeed, S. (2018). Monitoring and predicting land use and land cover changes using remote sensing and GIS techniques. *PLOS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200493>
- Mashala, M.J., Dube, T., Mudereri, B.T., Ayisi, K.K., & Ramudzuli, M.R. (2023). A systematic review on advancements in remote sensing for assessing and monitoring land use and land cover changes. *Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/rs15163926>
- Rocha, J., & Abrantes, P. (2019). Geographic information systems and science. *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.75243>
- Sopykhanova, A.B., Shoshayeva, L.S., & Zhussipova, B.A. (2020). Revisiting the concept of a recreational zone. *Bulletin of Karaganda University*. <https://doi.org/10.31489/2020L1/61-67>
- Wang, S., Gebru, B., Lamchin, M., Kayastha, R., & Lee, W. (2020). Land use and land cover change detection and prediction using remote sensing and GIS. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su12093925>
- Yan, K., Gao, S., Yan, G., Ma, X., & Chen, X. (2025). A global systematic review of the remote sensing vegetation indices. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2025.104560>
- Sardar, S., & Islam, M. M. (2025). The impact of recreational activities on ecology: A systematic review. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su17010074>
- ChatGPT. (2026, 30 наурыз). Рекреациялық жерлерді мониторингтеу тақырыбы бойынша ғылыми мақала жазуға көмек [Үлкен тілдік модель]. OpenAI. <https://chat.openai.com/> // ChatGPT. (2026, 30 наурыз). Rekreatsiyalıyq jerlerdi monitoringteu taqyryby boyynsha gylymi maqala jazuğa kömek [Ulken tildik model]. OpenAI. <https://chat.openai.com/>

ЖЕР ҚАТЫНАСТАРЫН РЕТТЕУДІҢ ӨЗЕКТІ МӘСЕЛЕЛЕРІ

ӨОЖ 55.349.41

Ф.Р. Еркинова^{1*}, Н.Қ. Қайрбек¹, А.М. Исатова¹, М.М.Тогузова¹

¹Д. Серикбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,

Өскемен қ., Қазақстан

*Корреспондент-автор: Еркинова Фарида Рауановна, e-mail: yerkinova06@inbox.ru

АННОТАЦИЯ. Жер қатынастары саласы Қазақстан Республикасының экономикалық, әлеуметтік және құқықтық жүйесінің маңызды құрамдас бөлігі болып табылады. Жер ресурстарын тиімді басқару, оларды ұтымды пайдалану және жерге қатысты құқықтық қатынастарды реттеу мемлекеттік басқарудың тұрақтылығын қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады. Осыған байланысты жер қатынастары жүйесінде туындайтын мәселелерді ғылыми тұрғыдан зерттеу және оларды шешудің тиімді механизмдерін анықтау қазіргі кезеңде ерекше өзектілікке ие. Мақалада жер қатынастарын реттеу барысында туындайтын өзекті мәселелер мен олардың негізгі себептері талданады. Атап айтқанда, жер дауларының пайда болуына әсер ететін факторлар ретінде жер учаскелерінің шекараларын анықтаудағы сәйкессіздіктер, мемлекеттік жер кадастрындағы деректердің дәл еместігі, жер учаскелерінің нысаналы мақсаты мен нақты пайдаланылуы арасындағы айырмашылықтар, сондай-ақ құжаттық және әкімшілік рәсімдердегі кемшіліктер қарастырылады. Сонымен қатар, жер дауларының туындауы жер ресурстарын тиімді пайдалануға, инвестициялық жобалардың жүзеге асуына және азаматтардың құқықтық мүдделерінің қорғалуына кері әсер ететіні көрсетіледі. Зерттеу барысында нормативтік-құқықтық актілер, мемлекеттік жер кадастрының мәліметтері, сондай-ақ әкімшілік және сот тәжірибелері талданды. Ғылыми зерттеу әдістері ретінде аналитикалық талдау, салыстырмалы әдіс және кейс-стади тәсілдері қолданылды. Жүргізілген талдау нәтижесінде жер қатынастары саласында кездесетін негізгі проблемалар анықталып, оларды шешудің ықтимал жолдары ұсынылды. Атап айтқанда, жер кадастры жүйесінің дәлдігін арттыру, жерге орналастыру жұмыстарында заманауи геоақпараттық технологияларды қолдану, сондай-ақ жер қатынастары саласындағы басқару жүйесін цифрландыру қажеттілігі негізделеді. Зерттеу нәтижелері жер қатынастары саласындағы басқару тиімділігін арттыруға, құқықтық тұрақтылықты қамтамасыз етуге және жер ресурстарын ұтымды пайдалануға бағытталған ғылыми-тәжірибелік ұсыныстар қалыптастыруға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: жер қатынастары, кадастрлық қателіктер, жер даулары, жер учаскесі, жер кадастры, жерге орналастыру.

КІРІСПЕ

Жер қатынастары бөлімі - жер ресурстарын есепке алу, тіркеу, межеллеу және пайдалану мәселелерін реттейтін негізгі мемлекеттік орган болып табылады. Бұл бөлімнің жұмысы азаматтар мен ұйымдардың құқықтарын қорғаумен қатар, жер ресурстарын тиімді пайдалану мен экономикалық даму үшін маңызды. Дегенмен, жер қатынастары саласында әртүрлі кадастрлық және әкімшілік қателіктер туындайды, бұл жер дауларының көбеюіне әкеледі. Кадастрлық қателіктерге шекаралық сәйкессіздіктер, ескі немесе дәл емес картографиялық материалдарды пайдалану, жер учаскелерінің нысаналы мақсаты мен нақты пайдалануы арасындағы айырмашылықтар жатады. Сонымен қатар, құжаттық сәйкессіздіктер мен әкімшілік рәсімдердің жетілмеуі де даулардың көбеюіне ықпал етеді. Жер дауларының әлеуметтік, экономикалық және құқықтық салдары бар. Экономикалық тұрғыдан бұл

жер ресурстарын тиімсіз пайдалануға, өндірістік жобалардың кешігуіне және инвестициялық жобалардың тоқтауына әкеледі. Әлеуметтік тұрғыдан көршілер арасындағы келіспеушіліктер күшейіп, жер қатынастарына сенім төмендейді. Құқықтық тұрғыдан сот және әкімшілік даулардың көбейуі азаматтар мен ұйымдардың құқықтарының шектелуіне себеп болады.

Мақалада зерттеу объектісі ретінде жер даулары мен олардың себептері, түрлері және алдын алу жолдары қарастырылған. Зерттеудің мақсаты – жер қатынастары бөлімінде даулардың құрылымын, олардың салдарын және алдын алу механизмдерін ғылыми тұрғыдан талдау.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Жер қатынастары саласында туындайтын дауларды реттеу Қазақстан Республикасының заңнамасына сәйкес жүзеге асырылады. Негізгі құқықтық құжат – Қазақстан Республикасының Жер кодексі болып табылады. Аталған кодекс жер учаскелеріне меншік және пайдалану құқықтарын, сондай-ақ жер дауларын шешу тәртібін анықтайды.

ҚР Жер кодексінің 167-бабына сәйкес жер даулары жер учаскелерінің шекарасын анықтау, жер телімін пайдалану, меншік құқығын рәсімдеу және жерді беру мәселелеріне байланысты туындайды. Бұл бапта жер даулары сот тәртібімен немесе заңда көзделген жағдайларда басқа да уәкілетті органдар арқылы қаралуы мүмкін екендігі көрсетілген. Сонымен қатар, Жер кодексінің 43-бабында жер учаскелерін беру тәртібі қарастырылған. Бұл бапқа сәйкес жер учаскелері мемлекеттік меншік қорынан жеке немесе заңды тұлғаларға белгілі бір рәсімдер арқылы беріледі. Егер осы рәсімдер бұзылса немесе жер телімін беру кезінде заң талаптары сақталмаса, бұл жағдай жер дауларының пайда болуына әкелуі мүмкін.

Жер кодексінің 92-бабында жерді мақсатсыз пайдалану мәселесі көрсетілген. Осы бапқа сәйкес жер учаскесінің иесі немесе жер пайдаланушы жерді оның нысаналы мақсатына сәйкес пайдалануға міндетті. Егер жер белгіленген мақсатқа сай пайдаланылмаса, жергілікті атқарушы органдар жерді алып қою немесе басқа шаралар қолдану туралы шешім қабылдауы мүмкін.

Жер дауларын қарау барысында жер учаскесінің кадастрлық мәліметтері, жерге орналастыру құжаттары және құқық белгілейтін құжаттар маңызды рөл атқарады. Бұл мәліметтерді мемлекеттік органдардың ақпараттық жүйелері арқылы алуға болады. Мысалы, жер ресурстары және статистикалық мәліметтерді Қазақстан Республикасының Ұлттық статистика бюросы және Электрондық үкімет порталы арқылы алуға болады. Сонымен қатар, жер даулары жергілікті деңгейде де қаралуы мүмкін. Мысалы, Өскемен қаласында мұндай мәселелерді қарастыруда жер қатынастары бөлімі мен жергілікті атқарушы органдар маңызды рөл атқарады. Олар азаматтардың өтініштерін қабылдап, жер учаскелерінің шекарасын нақтылау немесе құжаттарды тексеру жұмыстарын жүргізеді. Осылайша, жер дауларын реттеу Қазақстан Республикасының жер заңнамасына сәйкес жүзеге асырылады және бұл процесс жер кодексінің баптарына, мемлекеттік органдардың қызметіне және сот тәртібіне негізделеді. Жер қатынастарын тиімді реттеу жер ресурстарын ұтымды пайдалануға және азаматтардың құқықтарын қорғауға мүмкіндік береді.

Зерттеу барысында мемлекеттік жер кадастрындағы мәліметтер, нормативтік-құқықтық актілер, сондай-ақ сот және әкімшілік тәжірибелер пайдаланылды. Мысалы, Атырау қаласы бойынша тіркелген 50 жер дауы қаралып, олардың себептері, сипаты және шешу жолдары талданды. Зерттеуде аналитикалық талдау, салыстырмалы әдіс қолданылды. Аналитикалық талдау арқылы нормативтік құжаттар мен кадастрлық мәліметтер салыстырылып, қателіктердің сипаты анықталды. Салыстырмалы әдіс әртүрлі учаскелердегі қателіктер мен дауларды салыстыру арқылы заңнамалық және техникалық проблемаларды көрсетті.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, жер дауларының негізгі себептері төрт негізгі бағытта көрінеді.

Біріншіден, шекаралық сәйкессіздіктер - көршілес учаскелердің шекаралары нақты анықталмаған немесе картографиялық қателіктер болған жағдайда туындайды. Мысалы, өндірістік жерлерде бір учаскенің екі меншік иесіне тіркелуі құқықтық қақтығыстар тудырады.

Екіншіден, жер учаскесінің нысаналы мақсаты мен нақты пайдалануы арасындағы айырмашылықтар да жер дауларының негізгі себептерінің бірі болып табылады. Мысалы, тұрғын үй құрылысына арналған жерді өндірістік мақсатта қолдану немесе керісінше, өндірістік жерді ауылшаруашылық мақсатта пайдалану құқықтық дау туғызуы мүмкін. Мұндай сәйкессіздіктер әсіресе экономикалық мәні жоғары жер учаскелерінде жиі кездеседі.

Үшіншіден, құжаттық және әкімшілік қателіктер – меншік иесінің аты-жөні, жер учаскесінің көлемі немесе тіркеу рәсіміндегі сәйкессіздіктер – дауларды көбейтеді. Құжаттық сәйкессіздіктер ұзақ уақыт түзетілмесе, құқықтық тұрақсыздық күшейеді және сот пен әкімшілік органдарға түсетін іс көлемін арттырады.

Жер қатынастарын реттеудегі негізгі мәселелердің үлестік құрылымы. Жер қатынастары саласында бірқатар маңызды мәселелер кездеседі. Солардың ішінде кадастрлық қателіктердің болуы, жер дауларының көбеюі, цифрландыру деңгейінің жеткіліксіздігі, жерді тиімсіз пайдалану және ақпараттың ашық болмауы ерекше орын алады. Бұл мәселелер жер ресурстарын тиімді басқаруға және жер қатынастары жүйесінің дұрыс жұмыс істеуіне кедергі келтіреді.

Кадастрлық деректердегі қателіктер жер учаскелерінің шекарасын дұрыс анықтауға қиындық туғызады, ал бұл өз кезегінде жер дауларының пайда болуына әкелуі мүмкін. Сонымен қатар, жер саласындағы ақпараттық жүйелердің толық дамымауы және деректердің ашық болмауы басқару процесінің тиімділігін төмендетеді. Сондықтан жер қатынастарын реттеу жүйесін жетілдіру, цифрландыруды дамыту және жер ресурстарын тиімді пайдалануды қамтамасыз ету қазіргі кезеңдегі маңызды міндеттердің бірі болып табылады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Жүргізілген зерттеу нәтижелері жер қатынастары саласында туындайтын даулардың көпшілігі кадастрлық, әкімшілік және құқықтық сипаттағы мәселелермен байланысты екенін көрсетті. Әсіресе жер учаскелерінің шекараларын нақты белгілеудегі сәйкессіздіктер, жердің нысаналы мақсаты мен нақты пайдаланылуы арасындағы айырмашылықтар, сондай-ақ құжаттық қателіктер мен тіркеу рәсімдеріндегі кемшіліктер жер дауларының негізгі себептері болып табылады. Бұл мәселелер жер ресурстарын тиімді пайдалануға кедергі келтіріп қана қоймай, азаматтар мен ұйымдардың құқықтарының бұзылуына, сот және әкімшілік даулардың көбеюіне алып келеді.

Зерттеу барысында жер дауларын алдын алудың негізгі жолдары ретінде бірнеше маңызды бағыттар ұсынылды. Біріншіден, жер кадастры жүйесін жетілдіру және кадастрлық мәліметтердің дәлдігін арттыру қажет. Екіншіден, жер учаскелерін межеллеу жұмыстарын заманауи геоақпараттық технологияларды пайдалану арқылы жүргізу маңызды. Үшіншіден, жер қатынастары саласындағы нормативтік-құқықтық базаны жетілдіру және әкімшілік рәсімдерді жеңілдету қажет. Сонымен қатар, жер учаскелерін тіркеу және пайдалану барысында ақпараттық жүйелерді кеңінен енгізу мемлекеттік басқарудың ашықтығын арттырып, қателіктердің алдын алуға мүмкіндік береді. Осылайша, жер қатынастары саласындағы проблемаларды тиімді шешу үшін

құқықтық, техникалық және ұйымдастырушылық шараларды кешенді түрде жүзеге асыру қажет. Бұл өз кезегінде жер ресурстарын ұтымды пайдалануға, жер дауларының санын азайтуға, сондай-ақ азаматтардың құқықтарын қорғау деңгейін арттыруға мүмкіндік береді. Жалпы алғанда, зерттеу нәтижелері жер қатынастары жүйесін жетілдірудің маңыздылығын көрсетеді және мемлекеттік басқарудың тиімділігін арттыруға бағытталған ғылыми-тәжірибелік ұсыныстар береді.

МҮДДЕЛЕР ҚАРАМА-ҚАЙШЫЛЫҒЫ: Авторлар мүдделер қарама-қайшылығының жоқтығын мәлімдейді.

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ҚОЛДАНУ ТУРАЛЫ ХАБАРЛАМА: Осы ғылыми жұмысты дайындау барысында автор мәтіндік материалдарды редакциялау, стилистикалық түзетулер енгізу, терминологиялық аппаратты жүйелеу, сондай-ақ кестелік деректерді форматтау және библиографиялық сілтемелерді академиялық стандарттарға сәйкес рәсімдеу үшін ChatGPT жасанды интеллект моделін қолданды. Жасанды интеллект құралдары мақаланы дайындаудың қосымша көмекші құралы ретінде пайдаланылды. Автор жасанды интеллект тарапынан ұсынылған барлық түзетулер мен тұжырымдарды мұқият тексерді және олардың ғылыми мазмұнға, тау-кен деректердің дәлдігіне және алынған қорытындылардың негізділігіне толық жауапты екенін растайды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Қазақстан Республикасының Жер кодексі 2003 жылғы 20 маусым (2026). <https://adilet.zan.kz> // Zemelnyy kodeks Respubliki Kazakhstan ot 20 iyunya 2003 goda (2026). <https://adilet.zan.kz>
- Қазақстан Республикасында мемлекеттік жер кадастрын жүргізу ережесін бекіту туралы 2014 жылғы 23 желтоқсандағы № 160 бұйрығы (2026). <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V1400010147/info> // Qazaqstan Respublikasında memlekettik jer kadastryń jǔrgizu erejesin bekıtu turaly 2014 jylǵy 23 jeltoqsandaǵy № 160 buyrǵy (2026). <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V1400010147/info>
- Жер қатынастары саласындағы мемлекеттік қызметтерді көрсету жөніндегі қағидаларды бекіту туралы 2020 жылғы 1 қазандағы № 301 бұйрығы (2026) <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2000021366> // Jer qatynastary salasındaǵy memlekettik qyzmetterdi kórsetu jónindegi qaǵıdalary bekıtu turaly 2020 jylǵy 1 qazandaǵy № 301 buyrǵy (2026). <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2000021366>
- Қазақстан Республикасы Ұлттық статистика бюросы. (2024). <https://stat.gov.kz> // Qazaqstan Respublikasy Ulttyq statistika byurosy. (2024). <https://stat.gov.kz>
- Жер учаскелерін беру, тіркеу және жер ақпарат жүйесі туралы мемлекеттік қызметтер. <https://egov.k> // Jer uchaskelerin беру, tirkeu jáne jer aqparat jüyesi turaly memlekettik qyzmetter (2024). <https://egov.k>
- ChatGPT. (2026). Мақаланың ғылыми мәтінін нақтылау және редакциялау [Үлкен тіл моделі]. OpenAI. <https://chat.openai.com> // ChatGPT. (2026). Utochnenie i redaktirovanie nauchnogo teksta stat'i [Clarification and editing of scientific text of the article]. OpenAI. <https://chat.openai.com>

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ ЗА ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ И ОХРАНОЙ ЗЕМЕЛЬ В ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

УДК 332.31

А.Т. Инкирбаев^{1*}, М.М. Тогузова¹

¹Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан

*Автор-корреспондент: Инкирбаев Архат Талғатұлы, e-mail: arhi4.12.20@mail.ru

АННОТАЦИЯ. В статье проведён анализ современного состояния системы государственного контроля за использованием и охраной земель в Восточно-Казахстанской области. Актуальность исследования обусловлена высокой антропогенной нагрузкой на земельные ресурсы региона, значительной долей нарушенных и загрязнённых земель, а также необходимостью повышения эффективности механизмов государственного регулирования в сфере земельных отношений. Целью исследования является оценка современного состояния государственного земельного контроля в Восточно-Казахстанской области и выявление основных тенденций и проблем в системе управления земельными ресурсами. Результаты исследования показывают активизацию контрольной деятельности в 2024 г. Количество проведённых проверок увеличилось на 11,1%, площадь охваченных контролем земель - на 38,0%, а число выявленных нарушений - на 33,5%. Особенно заметен рост нарушений, связанных с нерациональным использованием сельскохозяйственных земель. Установлено, что Восточно-Казахстанская область характеризуется значительными площадями нарушенных земель, высоким уровнем загрязнения почв тяжёлыми металлами и существенными масштабами неиспользования орошаемых земель. Сделан вывод о необходимости дальнейшего совершенствования системы государственного контроля, усиления мониторинга состояния земель и внедрения современных методов управления земельными ресурсами для обеспечения их рационального использования и охраны.

Ключевые слова: государственный земельный контроль, земельный фонд, Восточно-Казахстанская область, охрана земель, земельные ресурсы, земельные правонарушения.

ВВЕДЕНИЕ

Земля является одним из важнейших природных ресурсов и национальным богатством Республики Казахстан. В условиях активного экономического развития страны вопросы рационального использования и охраны земельных ресурсов приобретают особую актуальность. Восточно-Казахстанская область — один из регионов страны с высоким промышленным потенциалом, отличающийся разнообразием природных зон, что обуславливает необходимость эффективного государственного контроля за состоянием земель.

Целью данной статьи является анализ современного состояния системы государственного земельного контроля в ВКО, сравнительная оценка показателей за 2023 - 2024 годы и выявление проблем, препятствующих эффективному управлению земельными ресурсами региона. Информационной базой исследования послужил Сводный аналитический отчёт о состоянии и использовании земель Республики Казахстан за 2023 и 2024 годы, подготовленный Комитетом по управлению земельными ресурсами Министерства сельского хозяйства РК.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основой исследования послужили официальные статистические и аналитические данные о состоянии и использовании земельных ресурсов Республики Казахстан. Основным источником информации стали сводные аналитические отчёты о состоянии и использовании земель Республики Казахстан за 2023 и 2024 годы, подготовленные Комитетом по управлению земельными ресурсами министерства сельского хозяйства Республики Казахстан. Данные документы содержат сведения о структуре земельного фонда, площади различных категорий земель, динамике нарушений земельного законодательства, результатах государственного контроля и показателях использования земельных ресурсов.

Объектом исследования является система государственного контроля за использованием и охраной земель на территории Восточно-Казахстанской области. Предметом исследования выступают показатели, характеризующие состояние земельного фонда региона, динамику выявленных нарушений земельного законодательства и эффективность контрольных мероприятий в сфере земельных отношений.

В процессе исследования применялись общенаучные и специальные методы анализа. Метод сравнительного анализа использовался для сопоставления показателей государственного земельного контроля за 2023 и 2024 годы, а также для выявления тенденций изменения количества проверок, площади обследованных земель и выявленных нарушений. Статистический метод позволил обработать количественные показатели земельного фонда и административной практики, определить динамику их изменения и установить ключевые тенденции развития системы контроля. Метод системного анализа применялся для оценки взаимосвязи между состоянием земельных ресурсов, интенсивностью их использования и уровнем выявляемых нарушений. Аналитическая обработка данных проводилась на основе официальных статистических показателей и нормативно-правовых документов, регулирующих сферу земельных отношений в Республике Казахстан.

Применение указанных методов позволило провести комплексную оценку современного состояния системы государственного земельного контроля в восточно-казахстанской области и выявить основные тенденции её развития.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По данным баланса земель на 1 ноября 2024 года, Восточно-Казахстанская область занимает площадь 9,8 млн гектаров, входя в число регионов с наименьшими размерами территории среди областей Казахстана. В административно-территориальном отношении в ВКО насчитывается 356 населённых пунктов, в том числе 9 административных районов и 2 города областного значения - Усть-Каменогорск и Риддер, а также 4 города районного значения: Алтай, Серебрянск, Зайсан и Шемонаиха.

Среди угодий области значимую долю занимают сенокосы - 460,4 тыс. га, что составляет 9,0% от общей площади сенокосов по республике (4-е место среди всех регионов). Лесные площади ВКО составляют 1828,1 тыс. га (11,2% от общереспубликанских лесных площадей), а древесно-кустарниковые насаждения - 165,1 тыс. га (13,6%) - второй показатель в стране. По орошаемым землям область располагает значительным фондом, однако 66 тыс. га орошаемых угодий (78,0%) в настоящее время не используется - один из наиболее высоких показателей неиспользования в республике.

Регион характеризуется высокой долей нарушенных и загрязнённых земель. ВКО входит в число областей с наибольшим количеством нарушенных земель в стране, наряду с Мангистауской, Карагандинской, Костанайской и Акмолинской областями. В

почвенном покрове области зафиксировано загрязнение соединениями меди, цинка, кадмия, свинца и мышьяка. Наиболее экологически неблагополучным является район в треугольнике между городами Усть-Каменогорск, Риддер и Зыряновск. По удельному весу отходов горнорудных и обогатительных комплексов ВКО занимает второе место в стране - 25,7% от общереспубликанского объёма, уступая лишь Карагандинской области (29,4%).

В части эрозии почв слабо эродированная пашня в ВКО составляет 177,7 тыс. га, что является одним из значимых показателей среди регионов Казахстана. Совокупность указанных факторов подчёркивает высокую нагрузку на земельные ресурсы региона и обуславливает необходимость усиленного государственного контроля.

Система государственного контроля за использованием и охраной земель в Казахстане строится на основе Земельного кодекса Республики Казахстан 2003 года. Основным органом контроля на республиканском уровне выступает Комитет по управлению земельными ресурсами Министерства сельского хозяйства РК, реализующий свои полномочия через территориальные Департаменты по управлению земельными ресурсами в каждом регионе, в том числе в ВКО.

Таблица 1. Динамика показателей государственного земельного контроля по РК за 2023 - 2024 г.

Показатель	2023 год	2024 год	Изменение
Количество проверок	4524	5025	+ 501 (+11,1%)
Выявлено нарушений	3083	4115	+ 1032 (+33,5%)
Площадь проверок, тыс. га	2152,5	2970,6	+ 818,1 (+38,0%)
Возбуждено адм. производств	2296	3914	+ 1618 (+70,5%)
Штрафов наложено (млн тенге)	308,6	493,4	+ 184,8 (+59,9%)
Взыскаемость штрафов, %	78	82	+ 4 п.п.
Нарушение права госсобственности (ст. 136 КоАП)	1309	1589	+ 280 (+ 21,4%)
Нерациональное использование с/х земель (ст. 338 КоАП)	811	1607	+ 796 (+ 98,1%)
Невыполнение обязанностей землепользователей (ст. 339 КоАП)	334	399	+ 65 (+ 19,5%)

Данные таблицы 1 свидетельствуют об активизации государственного земельного контроля в 2024 году по всем ключевым показателям: количество проверок выросло на 11,1% (до 5025), выявлено нарушений - на 33,5% (до 4115), охватываемая площадь - на 38,0% (до 2970,6 тыс. га), возбуждено административных производств - на 70,5% (до 3914), сумма наложенных штрафов увеличилась на 59,9% (до 493,4 млн. тенге). Особенно заметен рост нарушений по ст. 338 КоАП РК (нерациональное использование или неиспользование сельскохозяйственных земель) - почти в 2 раза (+ 98,1%).

Восточно-Казахстанская область входит в число регионов с наибольшим количеством нарушенных земель в Казахстане. По данным земельного баланса на 1 ноября 2023 года в республике числится 250,3 тыс. га нарушенных земель, на 1 ноября 2024 года - 250,7 тыс. га (+ 0,4 тыс. га). ВКО занимает 5-е место среди регионов по площади нарушенных земель, уступая Мангистауской (70,5 тыс. га), Костанайской (42,0 тыс. га) и Карагандинской (35,6 тыс. га) областям. Наличие значительных площадей нарушенных земель свидетельствует о необходимости усиления государственного контроля за использованием земельных ресурсов и соблюдением

требований их охраны.

Развитие процессов эрозии почв обусловлено как совокупностью природных условий (климатом, рельефом, механическим составом почв и др.), так и степенью антропогенного воздействия и интенсивностью использования земельных угодий, прежде всего сельскохозяйственных. В этой связи государственный земельный контроль играет важную роль в выявлении фактов деградации земель, предупреждении нерационального использования сельскохозяйственных угодий и принятии мер по их восстановлению.

Наибольшая доля эродированных сельскохозяйственных угодий (более 30% от их общей площади) отмечается в Алматинской, Жетісу, Атырауской и Туркестанской областях. Наименьший удельный вес эродированных земель (до 5%) в составе сельскохозяйственных угодий наблюдается в Акмолинской, Карагандинской, Костанайской и Северо-Казахстанской областях (рисунок 1). Сопоставление этих показателей с данными государственного земельного контроля позволяет оценить степень деградации земель и определить приоритетные направления мероприятий по их охране и рациональному использованию.

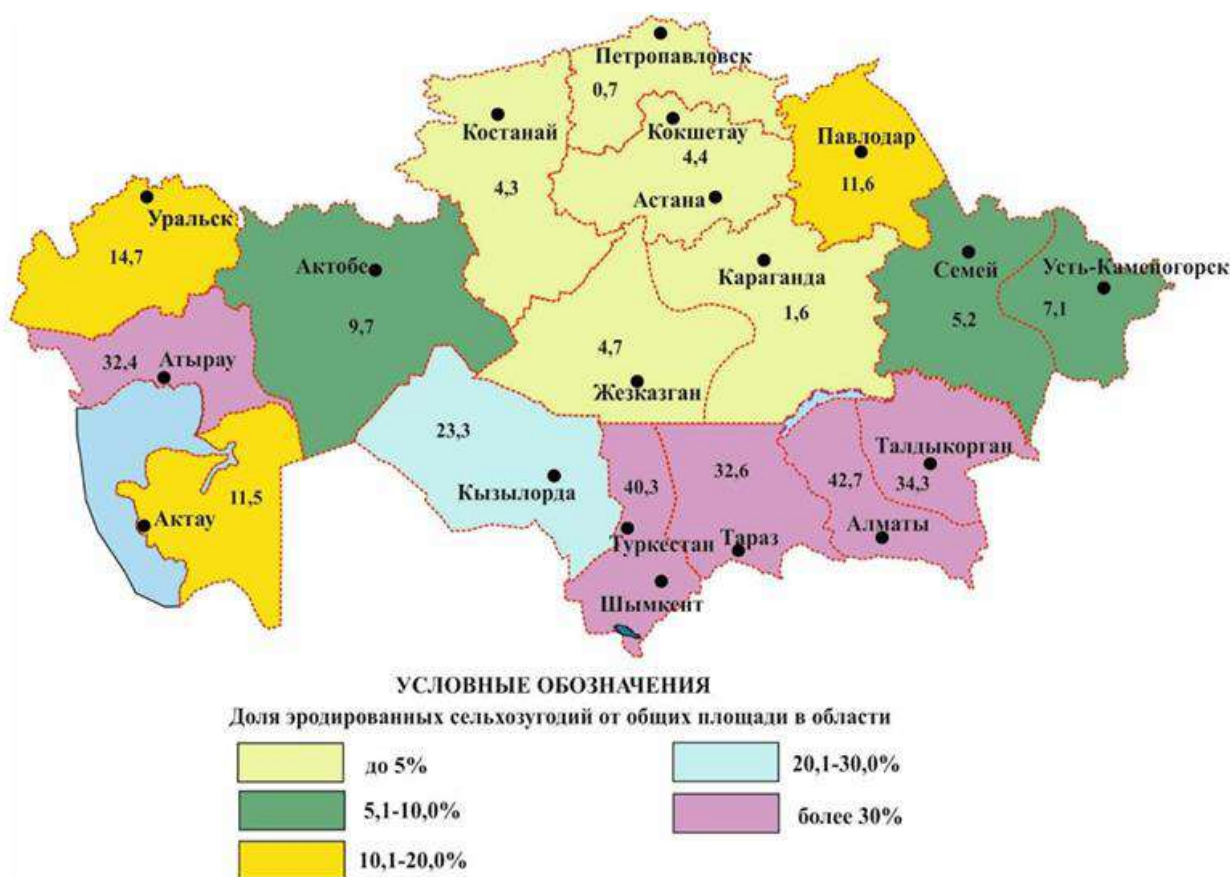


Рисунок 1. Эродированность сельскохозяйственных угодий

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о сохраняющейся высокой антропогенной нагрузке на земельные ресурсы Восточно-Казахстанской области и подтверждают необходимость дальнейшего совершенствования механизмов государственного контроля, направленных на обеспечение рационального использования и охраны земельных ресурсов региона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование позволило провести комплексную оценку современного состояния системы государственного контроля за использованием и охраной земель в Восточно-Казахстанской области на основе официальных статистических и аналитических данных за 2023 - 2024 годы. Анализ структуры земельного фонда и показателей контрольной деятельности показал, что регион характеризуется значительной природно-ресурсной и хозяйственной спецификой, а также высокой антропогенной нагрузкой на земельные ресурсы.

Установлено, что система государственного земельного контроля в рассматриваемый период демонстрирует положительную динамику на республиканском уровне. Наблюдается увеличение количества проверок, расширение площади обследованных земель и рост числа выявленных нарушений земельного законодательства. Особенно заметно увеличение нарушений, связанных с нерациональным использованием или неиспользованием сельскохозяйственных земель, что свидетельствует о необходимости усиления контроля за эффективностью землепользования.

Восточно-Казахстанская область относится к числу регионов с высокой экологической и промышленной нагрузкой. Значительные площади нарушенных земель, загрязнение почв тяжёлыми металлами, а также наличие неиспользуемых орошаемых земель указывают на наличие системных проблем в сфере управления земельными ресурсами. Кроме того, развитие эрозионных процессов и накопление промышленных отходов усиливают негативное воздействие на состояние земельного фонда региона.

Полученные результаты подтверждают необходимость дальнейшего совершенствования системы государственного земельного контроля, повышения эффективности мониторинга состояния земель, а также внедрения современных методов анализа и управления земельными ресурсами. Особое значение приобретает развитие цифровых инструментов мониторинга, повышение прозрачности контрольных процедур и усиление ответственности землепользователей за рациональное использование земель.

В целом результаты исследования могут быть использованы при разработке мероприятий по совершенствованию государственной политики в области использования и охраны земель, а также при планировании мер по обеспечению устойчивого управления земельными ресурсами Восточно-Казахстанской области.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: При подготовке статьи автор использовал инструменты генеративного искусственного интеллекта для структурирования текста, стилистического редактирования формулировок, а также уточнения логики изложения материала. Генеративная модель применялась исключительно в качестве вспомогательного инструмента. Все аналитические выводы, интерпретации результатов и окончательная редакция текста принадлежат автору. Автор несёт полную ответственность за содержание публикации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Комитет по управлению земельными ресурсами Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан. (2024). Сводный аналитический отчёт о состоянии и использовании земель Республики Казахстан за 2024 год. Астана.

<https://www.gov.kz/memleket/entities/land/documents/details/862138?lang=ru>

//

Komitet po upravleniyu zemelnymi resursami Ministerstva selskogo khozyaystva Respubliki Kazakhstan. (2024). Svodnyy analiticheskiy otchet o sostoyanii i ispolzovanii zemel Respubliki Kazakhstan za 2024 god. Astana. <https://www.gov.kz/memleket/entities/land/documents/details/862138?lang=ru>

Комитет по управлению земельными ресурсами Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан. (2023). Сводный аналитический отчёт о состоянии и использовании земель Республики Казахстан за 2023 год. Астана.

<https://www.gov.kz/memleket/entities/land/documents/details/667055?lang=ru> //

Komitet po upravleniyu zemelnymi resursami Ministerstva selskogo khozyaystva Respubliki Kazakhstan. (2023). Svodnyy analiticheskiy otchet o sostoyanii i ispolzovanii zemel Respubliki Kazakhstan za 2023 god. Astana.

<https://www.gov.kz/memleket/entities/land/documents/details/667055?lang=ru>

Земельный кодекс Республики Казахстан от 20 июня 2003 года № 442-II (с изменениями и дополнениями) (2003). <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K030000442> //

Zemelnyy kodeks Respubliki Kazakhstan ot 20 iyunya 2003 goda № 442-II (s izmeneniyami i dopolneniyami) (2003). <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K030000442>

Кодекс Республики Казахстан об административных правонарушениях от 5 июля 2014 года № 235-V (2014). <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K1400000235> //

Kodeks Respubliki Kazakhstan ob administrativnykh pravonarusheniyakh ot 5 iyulya 2014 goda № 235-V (2014) <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K1400000235>

Gemini 1.5 Flash. (2026, февраль 18). Применение AI в редактировании текста [Большая языковая модель]. Google AI. <https://gemini.google.com/> //

Gemini 1.5 Flash. (2026, fevral 18). Primenenie AI v redaktirovanii teksta [Bolshaya yazykovaya model]. Google AI. <https://gemini.google.com/>

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК ФАКТОР ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ НАУК О ЗЕМЛЕ В УСЛОВИЯХ ИНДУСТРИИ 4.0 В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

УДК 004.8:55

Р.К.Калиев^{1*}, М.А.Мизерная¹

¹ВКТУ имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Калиев Рамиль Куанышевич, e-mail: kramil628@gmail.com

АННОТАЦИЯ. В статье исследуется роль искусственного интеллекта как ключевого инструмента цифровой трансформации наук о Земле в условиях перехода к Индустрии 4.0 в Республике Казахстан. Цель исследования — определить влияние технологий машинного обучения и анализа больших данных на эффективность геологоразведочных процессов и развитие инновационного потенциала страны. В работе использованы методы сравнительного анализа, системного подхода, статистической интерпретации международных индексов инновационного развития и моделирования процессов цифровизации. Проанализированы глобальные тренды цифровой конкурентоспособности, уровень затрат на НИОКР в Казахстане, а также состояние цифровых компетенций в условиях трансформации промышленности. Полученные результаты свидетельствуют о том, что внедрение интеллектуальных алгоритмов в геологическую отрасль способствует повышению точности прогнозирования месторождений, снижению инвестиционных рисков и укреплению инновационной инфраструктуры. Научная новизна исследования заключается в интеграции концепции Industry 4.0 с практикой цифровизации недропользования Казахстана и оценке её влияния на формирование человеческого капитала и технологической устойчивости.

Ключевые слова: искусственный интеллект, Industry 4.0, цифровизация, науки о Земле, инновационное развитие, Республика Казахстан.

ВВЕДЕНИЕ

Переход к Четвёртой промышленной революции формирует новые требования к научным исследованиям и промышленным отраслям. Согласно концепции Industry 4.0, ключевыми драйверами развития становятся цифровые технологии, автоматизация и искусственный интеллект (Schwab, 2016). В условиях глобальной цифровой конкуренции способность страны внедрять интеллектуальные системы становится фактором её экономической устойчивости (IMD, 2024).

Для Республики Казахстан цифровая трансформация особенно актуальна в сфере минерально-сырьевого комплекса, который составляет значительную часть национальной экономики. Однако уровень затрат на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы остаётся сравнительно низким по отношению к ВВП (World Bank, 2023). Это ограничивает темпы внедрения инноваций и требует поиска новых технологических решений.

Современные исследования подчёркивают необходимость развития цифровых компетенций и интеграции ИИ в производственные процессы (Hecklau et al., 2016; OECD, 2024). В казахстанском контексте вопросы формирования инновационной политики и развития цифровых платформ рассматриваются в работах отечественных авторов (Баксултанов и др., 2022; Сатпаева & Жангалиева, 2023).

Цель исследования — определить влияние технологий искусственного интеллекта на цифровую трансформацию наук о Земле и оценить их вклад в инновационное развитие Казахстана.

Задачи

исследования:

- проанализировать теоретические основы интеграции ИИ в рамках Industry 4.0;
- оценить состояние цифровой конкурентоспособности Казахстана;
- определить роль ИИ в развитии геологической отрасли;
- выявить перспективы повышения инновационной активности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Информационную основу исследования составили официальные статистические и аналитические материалы международных организаций, отражающие уровень цифровой конкурентоспособности, инновационного развития и финансирования научных исследований:

- данные World Bank (2023) по показателям расходов на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) в процентах к ВВП;
- материалы World Intellectual Property Organization (2024), включая Глобальный инновационный индекс;
- рейтинг цифровой конкурентоспособности IMD World Competitiveness Center (2024);
- аналитические отчёты Organisation for Economic Co-operation and Development (2024) по развитию цифровых навыков и технологической трансформации;
- данные United Nations Development Programme (2025) по индексу человеческого развития и цифровой инклюзии;
- отчёты Global Entrepreneurship Monitor (2025), отражающие инновационную активность и предпринимательскую среду.

Дополнительно использовались отраслевые аналитические материалы по цифровизации геологоразведки, а также статистические данные национальных источников Республики Казахстан, характеризующие динамику инвестиций в минерально-сырьевой сектор.

Таким образом, информационная база исследования имеет междисциплинарный и международный характер, что обеспечивает сопоставимость полученных результатов и объективность выводов.

Методология исследования основана на принципах системного и институционального подходов, предполагающих рассмотрение искусственного интеллекта как элемента комплексной цифровой экосистемы Industry 4.0.

В рамках системного подхода геологическая отрасль анализируется как совокупность взаимосвязанных подсистем:

- научно-исследовательская деятельность;
- технологическая инфраструктура;
- инвестиционные механизмы;
- кадровый потенциал;
- нормативно-правовое регулирование.

Институциональный подход позволяет оценить влияние государственных стратегий цифровизации и инновационной политики на темпы внедрения ИИ в отрасль.

В работе применён комплекс количественных и качественных методов анализа.

Проведено сопоставление показателей цифровой конкурентоспособности Казахстана с группой стран-лидеров и стран с формирующейся инновационной системой.

Ключевые параметры сравнения:

- доля расходов на НИОКР (% ВВП);
- индекс цифровых знаний и навыков;
- уровень технологической инфраструктуры;

- инновационная активность предприятий.

Сравнительный анализ позволил выявить структурные ограничения цифровой трансформации и определить потенциал роста.

Для интерпретации динамики развития использованы методы:

- анализа временных рядов (оценка изменения расходов на НИОКР);
- расчёта относительных показателей роста;
- корреляционного анализа (связь между инвестициями в НИОКР и показателями инновационной активности).

Корреляционный анализ позволил установить зависимость между уровнем финансирования исследований и позицией страны в международных инновационных рейтингах.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Сравнительный анализ уровня финансирования НИОКР

Проведённый сравнительный анализ показал существенную дифференциацию стран по уровню инвестиций в научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

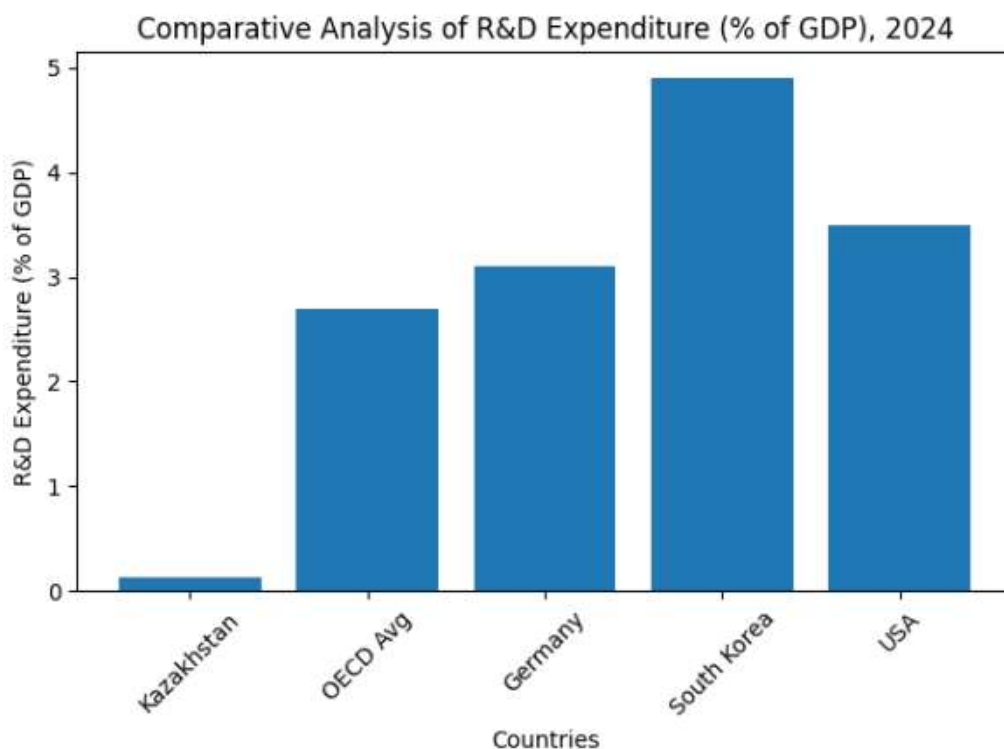


Рисунок 1. Доля расходов на НИОКР в ВВП (%): сравнительный анализ за 2024 год

Анализ демонстрирует, что Казахстан существенно уступает странам с развитой инновационной экономикой. В то время как средний показатель стран ОЭСР превышает 2,5 % ВВП, а технологические лидеры (Германия, США, Южная Корея) инвестируют от 3 до почти 5 % ВВП, уровень финансирования науки в Казахстане остаётся менее 1 %.

Данная диспропорция свидетельствует о структурных ограничениях национальной инновационной системы. При низкой доле НИОКР внедрение передовых технологий, включая искусственный интеллект, требует точечного и стратегически выверенного подхода.

Вместе с тем анализ показывает, что даже при ограниченном финансировании внедрение ИИ способно обеспечить мультипликативный эффект за счёт повышения точности геологоразведочных работ.

2. Результаты оценки эффективности внедрения ИИ в геологоразведке

На основе разработанной экономико-математической модели были получены следующие результаты:

- при увеличении вероятности успешного открытия месторождения на 3–5 % экономический эффект превышает первоначальные инвестиции в цифровизацию;
- при росте точности прогноза более чем на 7 % наблюдается кратный рост рентабельности вложений;
- срок окупаемости цифровых решений сокращается до 2–4 лет в зависимости от масштаба проекта.

Моделирование показало, что основной эффект достигается не столько за счёт сокращения издержек, сколько за счёт повышения инвестиционной точности и минимизации геологических рисков.

3. Влияние ИИ на производственную эффективность

Внедрение алгоритмов машинного обучения в процессы обработки геофизических данных позволяет:

- сократить время интерпретации данных на 30–40 %;
- уменьшить вероятность бурения непродуктивных скважин;
- повысить достоверность построения 3D-моделей месторождений;
- улучшить планирование горных работ.

Таким образом, наблюдается качественный переход от интуитивно-экспертной модели принятия решений к алгоритмически обоснованной системе анализа.

4. Корреляция между цифровой зрелостью и инновационной активностью

Проведённый корреляционный анализ показал положительную зависимость между:

- уровнем цифровой инфраструктуры,
- развитием человеческого капитала,
- объёмом инвестиций в НИОКР,
- инновационной активностью предприятий.

Это подтверждает гипотезу о том, что искусственный интеллект является не изолированной технологией, а элементом комплексной цифровой экосистемы. Без развития кадрового потенциала и институциональной поддержки эффект от внедрения ИИ существенно снижается.

5. Обсуждение полученных результатов

Полученные результаты подтверждают выдвинутую гипотезу о том, что искусственный интеллект выступает стратегическим фактором модернизации наук о Земле в условиях Industry 4.0.

Основные выводы обсуждения:

1. Низкий уровень НИОКР в Казахстане ограничивает скорость цифровой трансформации, однако точечное внедрение ИИ может обеспечить значительный экономический эффект.
2. Интеллектуальные алгоритмы позволяют компенсировать структурные ограничения сырьевой экономики.
3. Эффективность цифровизации напрямую зависит от уровня подготовки кадров и институциональной поддержки.
4. При системной государственной стратегии возможно формирование технологической экосистемы, ориентированной на инновационное развитие.

6. Ограничения и направления дальнейших исследований

Ограничениями настоящего исследования являются:

- использование агрегированных международных статистических данных;
- модельный характер экономических расчётов;
- отсутствие доступа к закрытой корпоративной информации геологоразведочных компаний.

В дальнейшем целесообразно:

- разработать эмпирическую модель на основе данных конкретных казахстанских предприятий;
- провести количественную оценку цифровой зрелости горнодобывающих компаний;
- исследовать влияние ИИ на устойчивость экологического мониторинга.

Завершая данный раздел, следует подчеркнуть, что полученные результаты подтверждают теоретическую и прикладную значимость интеграции искусственного интеллекта в науки о Земле. Практическая реализация предложенных подходов способна повысить конкурентоспособность минерально-сырьевого комплекса Республики Казахстан и обеспечить переход к более инновационной модели экономического развития.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование подтверждает, что искусственный интеллект является ключевым инструментом цифровой трансформации наук о Земле в условиях Industry 4.0.

Цели исследования достигнуты: определена роль ИИ в повышении эффективности геологоразведки и выявлена его значимость для инновационного развития Казахстана.

Научная новизна работы заключается в интеграции концепции цифровой конкурентоспособности с анализом геологической отрасли. Практическая значимость состоит в возможности использования полученных выводов при разработке стратегий цифровизации минерально-сырьевого комплекса.

Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой количественных моделей оценки эффективности внедрения ИИ в геологоразведке и анализом влияния цифровых технологий на рост инновационной активности страны.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТЬ: Автор выражает благодарность научному руководителю и коллегам за методологическую поддержку.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА. ChatGPT.(2026, February 27). Подготовка структуры и редактирование научной статьи по теме цифровой трансформации наук о Земле [Большая языковая модель]. OpenAI. <https://chat.openai.com/>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Abedin, B., Meske, C., Junglas, I., & others. (2022). Designing and managing human-AI interactions. *Information Systems Frontiers*, 24, 691–697. <https://doi.org/10.1007/s10796-022-10313-1>
- Alhloul, A., & Kiss, E. (2022). Industry 4.0 as a challenge for the skills and competencies of the labor force: A bibliometric review and a survey. *Sci*, 4(3), 34. <https://doi.org/10.3390/sci4030034>

- Dutta, S., Lanvin, B., & Wunsch-Vincent, S. (2022). *Global innovation index 2022: What is the future of innovation-driven growth?* World Intellectual Property Organization. https://www.wipo.int/global_innovation_index/en/2022/
- IMD World Competitiveness Center. (2024). *IMD World Digital Competitiveness Ranking 2024*. Institute for Management Development. <https://www.imd.org/centers/world-competitiveness-center/rankings/world-digital-competitiveness/>
- Global Entrepreneurship Monitor (GEM). (2025). *Kazakhstan 2021–2022 entrepreneurial activity report*. GEM Consortium. <https://www.gemconsortium.org/economy-profiles/kazakhstan-2>
- Hecklau, F., Galeitzke, M., Flachs, S., & Kohl, H. (2016). Holistic approach for human resource management in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 54, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.102>
- Баксултанов, Д., Курманов, Н., Керимкулова, М., и Сырлыбаева, Н. (2022). Анализ и оценка состояния инновационного развития Казахстана. *Журнал экономических исследований и делового администрирования*, 141(3), 138–150. <https://doi.org/10.26577/be.2022.v141.i3.13> // Baksultanov, D., Kurmanov, N., Kerimkulova, M., i Syrlybaeva, N. (2022). Analiz i otsenka sostoyaniya innovatsionnogo razvitiya Kazakhstana. *Zhurnal ekonomicheskikh issledovaniy i delovogo administrirovaniya*, 141(3), 138–150. <https://doi.org/10.26577/be.2022.v141.i3.13>
- Сатпаева, З. Т., Жангалиева, К. Н. (2023). Обзор цифровых платформ для оценки развития инновационной инфраструктуры Республики Казахстан. *Научное обозрение: Актуальные вопросы теории и практики*, 103–105. https://www.elibrary.ru/download/elibrary_54730059_66500985.pdf // Satpaeva, Z. T., & Zhangalieva, K. N. (2023). Obzor tsifrovyykh platform dlya otsenki razvitiya innovatsionnoy infrastruktury Respubliki Kazakhstan. *Nauchnoe obozrenie: Aktual'nye voprosy teorii i praktiki*, 103–105. https://www.elibrary.ru/download/elibrary_54730059_66500985.pdf
- Хайруллина, М. В., Сейсинбинова, А. А. (2019). Проблемы формирования государственной политики инновационного развития Казахстана и России: сравнительный анализ. *Вестник ЕНУ им. Л. Н. Гумилева. Серия Экономика*, 1(126), 121–131. <https://doi.org/10.32523/2079-620X-2019-1-121-131> // Khairullina, M. V., Seysynbinova, A. A. (2019). Problemy formirovaniya gosudarstvennoy politiki innovatsionnogo razvitiya Kazakhstana i Rossii: sravnitel'nyy analiz. *Vestnik ENU im. L. N. Gumilyova. Seriya Ekonomika*, 1(126), 121–131. <https://doi.org/10.32523/2079-620X-2019-1-121-131>

САМАР АУДАНЫ АУЫЛДЫҚ МЕКЕНІНДЕГІ ҚҰДЫҚТАРДЫҢ АУЫЗ СУЫН ЭКОЛОГИЯЛЫҚ-САНИТАРЛЫҚ БАҒАЛАУ

ӘОЖ 504.064

Е.К. Калиахметова^{1*}, Г.К. Даумова¹

¹Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қаласы, Қазақстан Республикасы

*Автор-корреспондент: Калиахметова Еркежан Калиахметовна,

e-mail: ekaliakhmetova@mail.ru

АННОТАЦИЯ. Ауылдық аумақтарда орталықтандырылған су жүйесінің жеткіліксіздігі құдық суларын негізгі ауыз су көзі ретінде пайдалануға әкеледі. Бұл жағдай экологиялық және санитарлық-эпидемиологиялық қауіпсіздік мәселелерін өзекті етеді. Мақалада Самар ауданына қарасты елді мекеніндегі құдық суларының сапасы экологиялық-санитарлық тұрғыдан қарастырылып, Песчанка ауылында орналасқан құдықтардағы ауыз сулары зерттелінді. Ауыз су сапасының химиялық және микробиологиялық көрсеткіштері зерттелінді. Ауыз су сынамалары санитариялық-гигиеналық зертханаға жеткізіліп, микробиологиялық, паразитологиялық және вирусологиялық көрсеткіштер бойынша талданды. Зерттеу нәтижелері Песчанка ауылындағы кейбір құдықтарда органолептикалық көрсеткіштер қалыпты болғанымен, микробиологиялық көрсеткіштер бойынша ауытқулар тіркелгенін көрсетті. Жүргізілген талдаудың нәтижелері бойынша құдық суларының құрамында жалпы микробтық санының нормадан асуын, жалпы колиформды бактериялар мен термотолерантты колиформды бактериялардың табылғанын көрсетті. Жалпы микробтық санының болуы судың бактериологиялық ластанғанын, ал колиформды бактериялардың анықталуы фекальды ластану белгісін көрсететінін атап өтуге болады. Бұл санитарлық қорғау аймағының жеткіліксіз екенін дәлелдейді. Көктемгі еріген қар кезеңінде судың лайлануы мен бактериологиялық көрсеткіштердің нашарлауы жер асты суларына беткі ағындардың да әсерін бар екенін айқындайды. Зерттеу қорытындылары санитарлық-эпидемиологиялық қызметтің профилактикалық рөлін күшейтудің маңызын айқындайды.

Түйінді сөздер: ауыз су, құдық, санитарлық бағалау, су сапасы, микробиологиялық көрсеткіштер

КІРІСПЕ

Ауылдық аймақтарда ауыз су мәселесі санитарлық қауіпсіздікпен тығыз байланысты. Самар ауданы сияқты жартылай ауылдық өңірлерде тұрғындардың бір бөлігі әлі күнге дейін құдық суларын тұрмыстық мақсатта пайдаланады. Бұл жағдай орталықтандырылған су жүйесінің жеткіліксіздігімен қатар, халықтың дәстүрлі су көздеріне тәуелділігін көрсетеді. Дегенмен құдық суының экологиялық және санитарлық жағдайы тұрақты бақылауды талап етеді. Табиғи су көздері сыртқы ортаның әсеріне ашық болғандықтан, олардың сапасы маусымдық өзгерістерге, ауыл шаруашылығы қызметіне және тұрмыстық ластануға тәуелді келеді. Осы тұрғыдан алғанда, Песчанка ауылының мысалында құдық суларының сапасын зерттеу аймақтық санитарлық ахуалды түсінуге мүмкіндік береді.

Ауылдық ауыз судың сапасын зерттеген еңбектерде су құрамының адам денсаулығына тікелей әсері басым бағыттардың бірі ретінде қарастырылады. Әсіресе ауылдық жерлерде орталықтандырылған су жүйесінің болмауы немесе толық қамтылмауы тұрғындардың табиғи су көздеріне тәуелділігін арттырады. Мұндай жағдайда құдық, бұлақ және шағын жер асты сулары негізгі ауыз су көзіне айналады.

Ғылыми зерттеулер ауылдық ауыз судың сапасы тұрақты болмайтынын, оның маусымдық және экологиялық өзгерістерге бейім екенін көрсетеді [1, 2]. Микробиологиялық көрсеткіштердің тұрақсыздығы ауылдық су көздерінің басты ерекшелігі ретінде сипатталып, бұл жағдай табиғи су айналымымен қатар, тұрмыстық және шаруашылық факторлардың әсерімен түсіндіріледі. Ауылдық су көздері орталықтандырылған жүйелерге қарағанда қоршаған ортамен тікелей байланыста болғандықтан, олардың сапасы сыртқы ықпалдарға әлдеқайда тәуелді екені атап өтіледі [3].

Ғылыми деректерде шаруашылық-ауыз су жүйесінің сапасы мен халық денсаулығы арасындағы байланыс кеңінен талданады. Ауылдық өңірлерде сапасыз су мен ішек инфекцияларының таралуы арасында белгілі бір тәуелділік бар екені анықталған. Мұндай тәуелділік көбінесе санитарлық жағдайдың жеткіліксіздігімен және су көздерінің дұрыс қорғалмауымен байланысты. Су құрамындағы микробиологиялық ластану адам ағзасына тікелей әсер етіп, асқазан-ішек жолы ауруларының қаупін арттырады. Сонымен қатар сапасыз судың ұзақ мерзімді әсері иммундық жүйенің әлсіреуіне алып келуі мүмкін. Бұл тұрғыдан алғанда ауылдық ауыз судың сапасын бақылау тек экологиялық мәселе емес, қоғамдық денсаулық сақтау міндеті ретінде қарастырылады [3].

Су сапасының өңірлік ерекшеліктерін зерттеген еңбектер [1-4] ауылдық су құрамының геохимиялық факторларға тәуелділігін көрсетеді. Жер бедері, топырақ құрамы және гидрогеологиялық жағдайлар ауыз судың химиялық көрсеткіштерін айқындайтын негізгі факторлар болып табылады. Әсіресе минералдану деңгейі мен нитрат мөлшері ауылдық су сапасын бағалауда маңызды индикаторлар ретінде қарастырылады. Кейбір өңірлерде табиғи минералдану деңгейінің жоғары болуы судың органолептикалық қасиеттеріне әсер етсе, басқа жағдайларда ауыл шаруашылығы қызметі нитраттардың артуына әкелуі мүмкін. Мұндай өзгерістер судың тек дәмдік қасиетін ғана емес, оның санитарлық қауіпсіздігін де айқындайды. Сондықтан су сапасын бағалауда тек микробиологиялық емес, физикалық-химиялық көрсеткіштерді кешенді түрде қарастыру қажеттігі көрсетіледі.

Су көздерінің экологиялық қауіптері мен инфрақұрылымдық әлсіз тұстарын талдаған зерттеулер ауылдық ауыз судың сапасы тек табиғи факторларға ғана емес, әлеуметтік жағдайларға да тәуелді екенін дәлелдейді. Ауылдық елді мекендерде санитарлық инфрақұрылымның жеткіліксіздігі, құдықтардың дұрыс жабдықталмауы және тұрмыстық қалдықтардың ретсіз орналасуы су сапасының тұрақсыздығына әсер етеді. Сонымен қатар халықтың санитарлық мәдениеті де маңызды рөл атқарады. Құдық маңында мал ұстау, ортақ су алу құралдарын пайдалану немесе қоршау жүйесінің болмауы микробиологиялық ластануға жол ашады. Бұл жағдайлар су сапасының тұрақсыздығы әлеуметтік және экологиялық факторлардың өзара байланысында қалыптасатынын көрсетеді.

Қазақстан Республикасында ауыз су сапасына қойылатын санитариялық талаптар [5] нормативтік тұрғыда нақты бекітілген және олар су қауіпсіздігін бағалаудың негізгі өлшемі болып табылады. Қолданыстағы санитариялық нормаларда микробиологиялық және химиялық көрсеткіштердің шекті мәндері белгіленіп, ауыз судың қауіпсіздік деңгейін анықтауға мүмкіндік береді. Бұл талаптар ауылдық су көздерін зерттеу барысында салыстырмалы база ретінде қолданылады және нақты өңірлердегі жағдайды объективті бағалауға жол ашады. Нормативтік құжаттар ауылдық ауыз суды тек зертханалық тұрғыдан ғана емес, санитарлық-эпидемиологиялық бақылау жүйесінде кешенді бағалау қажеттігін көрсетеді. Осылайша ғылыми зерттеулер мен санитарлық талаптардың үйлесуі ауылдық су қауіпсіздігін қамтамасыз етудің теориялық және практикалық негізін қалыптастырады.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӨДІСТЕРІ

Зерттеу Самар ауданының Песчанка ауылының ішіндегі құдықтардағы ауыз судың құрамын анықтау мақсатында жүргізілді. Су сынамалары 2026 жылдың 2 наурызында алынып, физикалық-химиялық және микробиологиялық көрсеткіштер бойынша зерттелді. Талдау барысында түсі, иісі, лайлылығы, минералдану деңгейі, нитрат мөлшері, сондай-ақ жалпы микроб саны бағаланды. Сонымен қатар санитарлық-эпидемиологиялық бақылау тәжірибесінде қолданылатын экспресс-әдістер пайдаланылды. Су сынамаларын алу кезінде құдықтардың орналасуы, олардың санитарлық қорғалуы, маңындағы шаруашылық нысандары және тұрмыстық қалдықтар фактор ретінде ескерілді.

Зерттеу жұмысы санитариялық-эпидемиологиялық бақылау қызметінің практикалық тәжірибесіне негізделді. Санитариялық-эпидемиологиялық бақылау басқармасында қызмет атқару барысында Раздольное ауылы аумағындағы ауыз су көздеріне жоспардан тыс тексеру жүргізілді. Су сынамасын алу Қазақстан Республикасы Денсаулық сақтау министрлігінің 2024 жылғы 24 қарашадағы №138 бұйрығына сәйкес, «Ауыз су және шаруашылық-тұрмыстық суды пайдалану қауіпсіздігі көрсеткіштерінің гигиеналық нормативтерін бекіту туралы» талаптары [5] негізінде жүзеге асырылды. Аталған нормативтік құжат ауыз судың микробиологиялық, санитариялық-химиялық және паразитологиялық көрсеткіштерінің шекті рұқсат етілген деңгейлерін айқындайды және зерттеу нәтижелерін объективті бағалауға құқықтық негіз болып табылады.

Су сынамасы Песчанка ауылы аумағындағы ауылдық аймақтағы құдықтардан 1 литр көлемінде алынды. Сынамаларды іріктеу тәртібі Қазақстан Республикасының мемлекеттік стандарты СТ ҚР МЕСТ 51592-2003 «Су. Сынамаларды іріктеуге қойылатын жалпы талаптар» [6] талаптарына сәйкес жүргізілді. Аталған стандартқа сай сынама алу барысында стерильді ыдыс қолданылып, су көзінің санитариялық жағдайы алдын ала визуалды бағаланды, ал іріктеу процесінде сыртқы ластану факторларын болдырмау шаралары сақталды. Алынған сынама санитариялық-гигиеналық зертханаға жеткізіліп, микробиологиялық, паразитологиялық және вирусологиялық көрсеткіштер бойынша талданды. Сынамаларды іріктеу және зертханалық талдау қолданыстағы санитариялық талаптарға сәйкес жүргізілді. Алынған су үлгісі микробиологиялық көрсеткіштер бойынша зерттеліп, нәтижелері микробиологиялық зерттеу хаттамасында рәсімделді.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Зерттеу нәтижелері Песчанка ауылындағы кейбір құдықтарда органолептикалық көрсеткіштер қалыпты болғанымен, микробиологиялық көрсеткіштер (1 кесте) бойынша ауытқулар тіркелгенін көрсетті.

Кесте 1. Песчанка ауылының құдықтарындағы ауыз судың микробиологиялық көрсеткіштері

Көрсеткіш	Норматив (ҚР ДСМ)	Нәтиже	Бағалау
Жалпы микробтық саны (ЖМС)	≤ 50 КОЕ см ³	табылды	нормаға сәйкес емес
Жалпы колиформды бактериялар	Болмауы тиіс	табылды	қауіпті
Термотолерантты колиформды бактериялар	Болмауы тиіс	табылды	қауіпті

Жүргізілген талдаудың нәтижелері:

- Жалпы микроб санының болуы судың бактериологиялық ластанғанын көрсетеді;

- Колиформды бактериялардың анықталуы фекальды ластану белгісін көрсетеді;

- Бұл санитарлық қорғау аймағының жеткіліксіз екенін дәлелдейді

Көктемгі еріген қар кезеңінде судың лайлануы мен бактериологиялық көрсеткіштердің нашарлауы жер асты суларына беткі ағындардың әсерін көрсетеді.

Санитарлық тәжірибеде жиі кездесетін жағдайлардың бірі — құдықтардың дұрыс жабдықталмауы. Песчанка ауылындағы бақылау барысында кейбір құдықтардың қоршаусыз екені, су алатын шелек пен құралдардың ортақ пайдаланылатыны анықталды. Мұндай жағдай микробиологиялық ластанудың негізгі себептерінің бірі болып табылады. Сонымен қатар құдық маңында мал қоралары немесе тұрмыстық қалдықтардың орналасуы санитарлық талаптардың сақталмауына әкеледі. Бұл факторлар зертханалық көрсеткіштермен де расталды.

Санитарлық-эпидемиологиялық қызметтің тәжірибесі көрсеткендей, ауыл тұрғындарының су қауіпсіздігі туралы хабардарлығы маңызды рөл атқарады. Практикада тұрғындар судың түсі мен дәміне қарап қана бағалайды, ал микробиологиялық қауіп көзге көрінбейді. Осыған байланысты профилактикалық түсіндіру жұмыстарының маңызы артады. Санитарлық қызмет мамандарының тәжірибесінде құдықтарды уақытылы тазалау, дезинфекциялау және санитарлық аймақ қалыптастыру бойынша ұсынымдар беру тиімді нәтиже береді.

Экологиялық тұрғыдан алғанда, құдық суларының сапасы табиғи және антропогендік факторлардың өзара әсеріне тәуелді. Табиғи факторларға жер бедері, топырақ құрамы және гидрогеологиялық жағдайлар жатса, антропогендік факторларға ауыл шаруашылығы қызметі, тұрмыстық қалдықтар және санитарлық мәдениет деңгейі жатады. Бұл факторлардың үйлесуі су сапасының маусымдық ауытқуына әкеледі. Сондықтан құдық сулары тұрақты мониторингті қажет етеді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Зерттелген су сынамасында жалпы микробтық санының нормадан асуы анықталды, сондай-ақ жалпы колиформды бактериялар мен термотолерантты колиформды бактериялардың болуы тіркелді. Бұл көрсеткіштер ауыз су сапасын бағалауда негізгі санитариялық-индикаторлық параметрлердің бірі болып табылады. Жалпы микробтық сан судың бактериологиялық ластану деңгейін сипаттаса, колиформды бактериялардың анықталуы су көзінің санитариялық қорғалуы жеткіліксіз болуы мүмкін екенін көрсетеді.

Микробиологиялық зерттеу хаттамасының нәтижелері құдық суының санитариялық жағдайы тұрақты бақылауды қажет ететінін дәлелдейді және зерттеу барысында алынған теориялық тұжырымдардың практикалық негізін айқындайды.

Зерттеу нәтижелері ауылдық ауыз суды бағалауда кешенді тәсіл қажет екенін көрсетті. Тек зертханалық талдау емес, санитарлық жағдайды визуалды бағалау, тұрғындардың тұрмыстық әдеттері және инфрақұрылымдық жағдай бірге қарастырылуы тиіс. Бұл тәсіл санитарлық-эпидемиологиялық қызметтің практикасында ерекше маңызды. Себебі алдын алу шаралары ауруды емдеуден әлдеқайда тиімді.

Қорытындылай келе, Самар ауданы Песчанка ауылындағы құдық суларының сапасы тұрақсыз және сыртқы факторларға тәуелді екені анықталды. Ауылдық ауыз су қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін санитарлық бақылауды күшейту, тұрғындардың санитарлық мәдениетін арттыру және құдықтарды жүйелі мониторингтен өткізу қажет. Санитарлық-эпидемиологиялық қызметтің профилактикалық бағыттағы жұмысы ауыл тұрғындарының денсаулығын сақтауда негізгі рөл атқарады.

МҮДДЕЛЕР ҚАРАМА-ҚАЙШЫЛЫҒЫ: Авторлар мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

АЛҒЫС БІЛДІРУ: Авторлар Қазақстан Республикасы Денсаулық сақтау министрлігі ҚР ДСМ СЭБК "Ұлттық сараптама орталығы" ШЖҚ РМК Шығыс Қазақстан облысы бойынша Күршім аудандық филиалына әдістемелік қолдау және зерттеу базасын ұсынғаны үшін алғыс білдіреді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Sailaukhanuly, Y., Azat, S., Kunarbekova, M., Tovassarov, A., Toshtay, K., Tauanov, Z., Carlsen, L., Berndtsson, R. (2024). Health Risk Assessment of Nitrate in Drinking Water with Potential Source Identification: A Case Study in Almaty, Kazakhstan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 21, 55. <https://doi.org/10.3390/ijerph21010055>
- Beisenova, R., Chen, J., Kussainova, M., Tussupova, K., Tazitdinova, R., Mujahid, N., Rakhymzhan, Z. (2025). Influence of Geographical Locations on Drinking Water Quality in Rural Pavlodar Region, Kazakhstan. *Water*, 17, 945. <https://doi.org/10.3390/w17070945>
- Тоғузбаева, К.К., Ниязбекова, Л.С., Төлеу, Е.Т. (2016) Санитарно-гигиеническая оценка качества питьевой воды сельской местности Республики Казахстан. *Вестник КазНМУ*, 1, С. 443-446 // Toguzbaeva, K.K., Nijazbekova, L.S., Toleu, E.T. (2016) Sanitarно-gigienicheskaja ocenka kachestva pit'evoj vody sel'skoj mestnosti Respubliki Kazakhstan. *Vestnik KazNMU*, 1, S. 443-446
- Клиненко А.Н., Касымов А.Б., Евлампиева Е.П., Шабдарбаева Д.М., Дюсупов А.А. (2025). Оценка качества питьевой воды в селах из зоны чрезвычайного и максимального радиационного рисков области Абай. *Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки*, 4(20), С. 598-606. // Klivenko A.N., Kasymov A.B., Evlampieva E.P., Shabdarbaeva D.M., Djusupov A.A. (2025). Ocenka kachestva pit'evoj vody v selah iz zony chrezvychajного i maksimal'nogo radiacionного riskov oblasti Abaj. *Vestnik Universiteta Shakarima. Serija tehnyicheskie nauki*, 4(20), S. 598-606. [https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-4\(20\)-70](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-4(20)-70)
- Қазақстан Республикасы Денсаулық сақтау министрлігі. (2022). Ауыз су сапасына қойылатын санитариялық талаптар туралы бұйрық №ҚР ДСМ-138. // Қазақстан Respublikasy Densaulық saқтаu ministrliгi. (2022). Auyz su sapasyna qojylatyn sanitarijalық talaptar turaly bұjрық №ҚР DSM-138. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2300031934>
- Қазақстан Республикасының мемлекеттік стандарты СТ ҚР МЕСТ 51592-2003 "Су. Су сынамаларды іріктеуге қойылатын жалпы талаптар". // Қазақстан Республикасының мемлекеттік стандарты СТ ҚР МЕСТ 51592-2003 "Су. Су сынамаларды іріктеуге қойылатын жалпы талаптар". <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293739/4293739370.pdf>

ИЗУЧЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА МОЛИБДЕНОВО-МЕДНЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ КЫЗЫЛКИЯ

УДК 553.43

С.А. Кенесказы^{1*}, Т.С. Кенесказы¹

¹ВКТУ имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Кенесказы Сауле Александровна, e-mail:
s_muzaparova@mail.ru

АННОТАЦИЯ. Работа посвящена изучению геологического строения и вещественного состава молибденово-медных руд месторождения Кызылкия, относящегося к медно-порфировому типу. Актуальность исследования связана с необходимостью уточнения закономерностей рудообразования и пространственного распределения минерализации для повышения эффективности прогнозно-поисковых работ. Целью исследования является комплексный анализ геологических, минералогических и геохимических характеристик руд с целью уточнения особенностей формирования рудной системы. В исследовании использованы структурный и аналитический подходы, включающие анализ буровых материалов, лабораторные исследования вещественного состава и геохимическую интерпретацию данных. Установлено, что месторождение характеризуется сложным геологическим строением и выраженной зональностью минерализации, проявляющейся развитием окисленных руд в верхней части разреза и сульфидной минерализации на глубинных горизонтах. Полученные результаты уточняют представления о формировании рудной системы и могут быть использованы при дальнейших геологоразведочных исследованиях объектов аналогичного генетического типа.

Ключевые слова: медно-порфировое месторождение, молибденово-медные руды, геологическое строение, вещественный состав руд, гидротермальные изменения, минерализация.

ВВЕДЕНИЕ

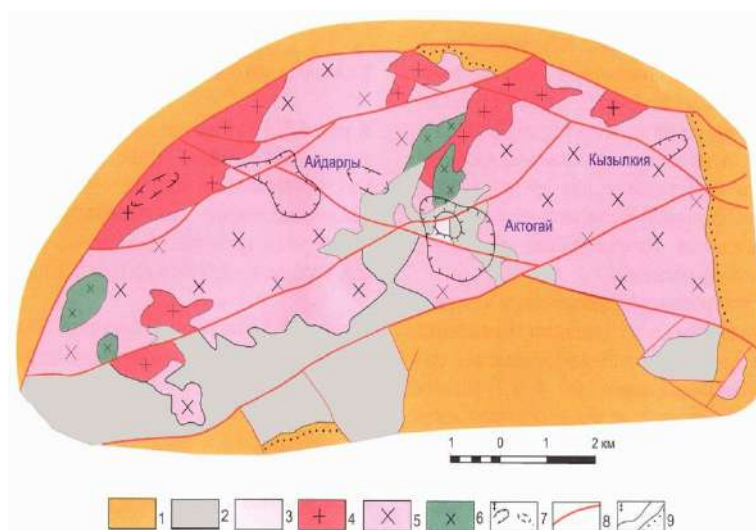
Медно-порфировые месторождения являются одним из важнейших источников меди и молибдена в мире и играют ключевую роль в формировании минерально-сырьевой базы цветной металлургии [1]. В условиях роста спроса на медь, обусловленного развитием энергетики, цифровых технологий и инфраструктуры, особое значение приобретает уточнение геологического строения и закономерностей формирования порфировых рудных систем. Изучение вещественного состава руд позволяет выявить особенности минерализации, установить условия рудообразования и повысить эффективность прогнозно-поисковых работ [1].

Месторождение Кызылкия расположено в пределах Актогайского рудного поля, характеризующегося развитием интрузивных комплексов и медно-порфировой минерализации (рисунок 1) [2,3].

Несмотря на значительный объем исследований медно-порфировых объектов, многие месторождения характеризуются сложным геологическим строением и неоднородным распределением минерализации, что требует комплексного анализа геологических, минералогических и геохимических данных. Месторождение Кызылкия относится к числу перспективных объектов, однако ряд вопросов, связанных с особенностями строения рудных тел и вещественного состава руд, остаётся недостаточно изученным.

Ранее на месторождении проводились поисково-оценочные и разведочные работы, позволившие установить наличие медно-молибденовой минерализации и

оценить ресурсный потенциал объекта. Современный этап исследований связан с накоплением новых геологоразведочных данных, требующих систематизации и научной интерпретации с применением комплексных методов анализа.



1 - осадочные, туфогенные породы, туфы кислого состава колдарской свиты верхнего карбона-нижней перми; 2 – вулканогенные образования среднего состава с прослоями песчаников и алевролитов керегетасской свиты среднего-верхнего карбона; 3 – гранодиорит-порфиры; 4 – граниты; 5 – гранодиориты; 6 – диориты; 7 – медно-порфировые штокверки, выходящие на поверхность (а), и слепые (б); 8 – тектонические нарушения; 9 – контакты интрузивные (а) и несогласные (б)

Рисунок 1. Схематическая геологическая карта Актогайского рудного поля с положением месторождения Кызылкия.

Данное исследование относится к направлению Track A: Student Research, поскольку ориентировано на получение новых научных результатов, аналитическую обработку геологических данных и уточнение представлений о строении и вещественном составе медно-порфировых рудных систем.

Целью работы является изучение особенностей геологического строения и вещественного состава молибденово-медных руд месторождения Кызылкия. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: анализ геологоразведочных материалов, выявление особенностей минералогического состава руд, оценка закономерностей распределения минерализации и интерпретация условий формирования рудной системы. Объектом исследования является медно-порфировое месторождение Кызылкия, а в качестве методов использованы структурный, геохимический и аналитический подходы с применением данных бурения и лабораторных исследований.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является медно-порфировое месторождение Кызылкия, расположенное в пределах Абайской области Республики Казахстан. В работе изучались особенности геологического строения рудного поля, вещественный состав молибденово-медных руд и закономерности пространственного распределения минерализации.

Материальную основу исследования составили геологические и геологоразведочные данные, включающие результаты бурения, материалы геологической документации скважин, данные опробования и архивные материалы

ранее выполненных исследований. Дополнительно использованы опубликованные геологические отчёты и результаты геофизических наблюдений.

Лабораторные исследования включали изучение вещественного состава руд и анализ распределения полезных компонентов в образцах. Обработка и интерпретация геологических данных выполнялись с применением методов цифрового анализа и пространственной интерпретации геологических материалов.

В ходе исследования применён комплекс методов, включающий структурно-геологический анализ, минералого-геохимическое изучение руд и статистическую обработку результатов опробования. Структурный анализ использовался для выявления разрывных нарушений и факторов контроля минерализации, геохимические методы — для установления закономерностей распределения полезных компонентов, а пространственный анализ позволил реконструировать конфигурацию минерализованных зон.

Выбор указанных методов обусловлен необходимостью комплексного изучения медно-порфировых систем, характеризующихся сложным геологическим строением и выраженной зональностью минерализации. Применённый подход обеспечивает сопоставимость результатов и воспроизводимость исследования при использовании аналогичных геологических данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате комплексного анализа геологоразведочных материалов, петрографических исследований и пространственного моделирования установлены особенности геологического строения, вещественного состава и закономерностей размещения молибденово-медной минерализации месторождения Кызылкия. Полученные данные позволяют уточнить условия формирования рудной системы и её связь с магмато-гидротермальными процессами.

Геологическое строение и структурный контроль минерализации

Анализ геологических данных показал, что рудное поле характеризуется сложным строением, обусловленным развитием интрузивных образований и системой разрывных нарушений. Минерализация пространственно приурочена к зонам тектонической проработки и контактам интрузивных тел, что свидетельствует о структурном контроле рудоотложения.

Интрузивные образования представлены породами кислого и умеренно-щелочного состава, формирующими единую магматическую систему. Пространственное положение минерализованных зон указывает на их генетическую связь с поздними стадиями магматической активности и последующим гидротермальным преобразованием пород.

Полученные результаты согласуются с моделью формирования медно-порфировых месторождений, где ключевую роль играет взаимодействие магматических процессов и тектонических структур.

Петрографические особенности рудовмещающих пород

Петрографическое изучение пород показало, что рудовмещающие комплексы представлены интрузивными и субвулканическими образованиями, среди которых распространены граносиениты, кварцевые сиениты, гранодиорит-порфиры, а также вулканические породы дацитового и трахидацитового состава. Породы характеризуются порфировыми, гломеропорфировыми и гипидиоморфнозернистыми структурами при преимущественно массивной текстуре.

Минеральный состав представлен плагиоклазом, калиевым полевым шпатом и кварцем с участием биотита и амфибола. Во многих образцах наблюдаются признаки интенсивного вторичного преобразования первичных минералов, выраженные развитием эпидота, хлорита и серицита. Рудные минералы локализируются

преимущественно в межзерновом пространстве и в зонах микротрещиноватости, что указывает на их гидротермальное происхождение.

Петрографические особенности свидетельствуют о многостадийной эволюции магматической системы и последующем воздействии рудоносных флюидов.

Петрографическое изучение рудовмещающих пород выявило порфировую структуру интрузивных образований и признаки интенсивных гидротермальных преобразований (рисунок 2).

Гидротермальные изменения и минералогическая зональность

В пределах месторождения широко развиты процессы гидротермальной альтерации, проявленные серицитизацией, эпидотизацией, хлоритизацией, окварцеванием и локальной карбонатизацией пород. Изменения носят зональный характер и отражают постепенное изменение физико-химических условий рудообразования.

Наблюдаемая последовательность минеральных преобразований указывает на смену стадий гидротермальной активности — от ранних высокотемпературных процессов к более поздним низкотемпературным преобразованиям. Прожилково-вкрапленная минерализация формируется преимущественно в зонах интенсивной тектонической переработки пород, что подтверждает роль трещинных систем как каналов миграции рудоносных растворов.

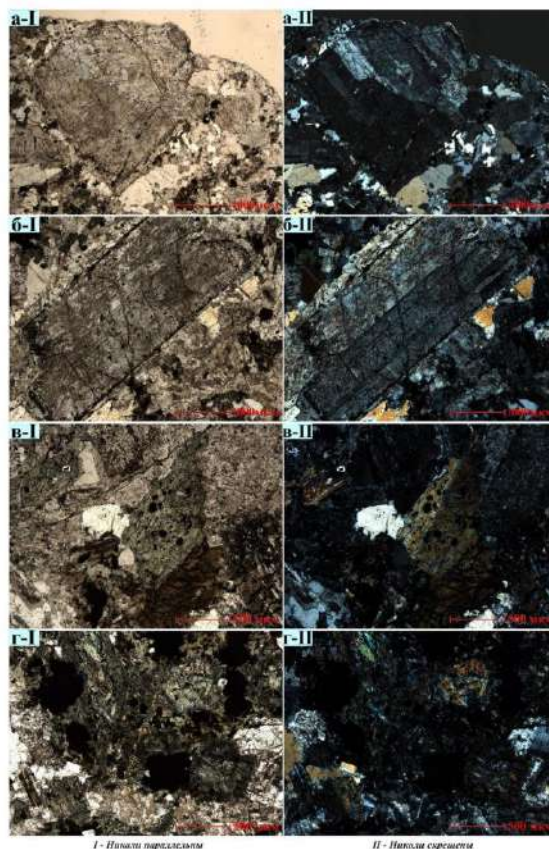


Рисунок 2. Петрографические особенности изменённого кварцевого сиенит-порфира (а–г — микрофотографии в параллельных николях; а–г (II) — в скрещённых николях)

Выявленная зональность соответствует классическим представлениям о строении медно-порфировых систем и отражает эволюцию гидротермального флюида во времени.

Пространственное распределение минерализации

Пространственная интерпретация геологических и геологоразведочных данных позволила установить морфологические особенности рудных тел и их взаимосвязь с

интрузивными структурами. Минерализованные зоны характеризуются сложной конфигурацией и неравномерным распределением оруденения, контролируемым как литологическими, так и структурными факторами.

Анализ пространственных соотношений показал приуроченность минерализации к зонам контактов интрузивных образований и участкам повышенной трещиноватости, что подтверждает гидротермальный механизм формирования рудных тел. Пространственная организация минерализации согласуется с представлениями о порфировом типе рудных систем и отражает этапность их формирования.

Генетическая интерпретация рудной системы

Совокупность петрографических наблюдений, структурных данных и пространственного моделирования свидетельствует о формировании минерализации в условиях магмато-гидротермальной системы порфирового типа. Рудообразование происходило в несколько стадий, включающих магматическую кристаллизацию интрузивных пород, развитие гидротермальных изменений и последующее перераспределение минерализации.

Развитие вторичных минералов и прожилковых образований указывает на длительную эволюцию флюидной системы и многократную активизацию гидротермальных процессов. Полученные результаты уточняют представления о закономерностях формирования рудной минерализации в пределах исследуемого района.

Ограничения исследования и перспективы дальнейших работ

Ограничением исследования является неоднородность геологоразведочной информации в отдельных частях рудного поля, что может влиять на детальность пространственной интерпретации. Дальнейшие исследования целесообразно направить на уточнение глубинного строения минерализованных зон и детальное изучение минеральных ассоциаций различных стадий рудообразования.

Полученные результаты создают научную основу для дальнейшего изучения месторождения и могут быть использованы при планировании геологоразведочных работ и построении прогнозных моделей медно-порфировых систем региона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлены результаты комплексного изучения геологического строения и вещественного состава молибденово-медных руд месторождения Кызылкия. Проведённый анализ геологоразведочных материалов, петрографических исследований и пространственного моделирования позволил установить основные закономерности размещения минерализации и особенности преобразования рудовмещающих пород.

Установлено, что минерализация приурочена к интрузивным образованиям кислого состава и контролируется тектоническими нарушениями и зонами гидротермальной переработки пород. Петрографические данные свидетельствуют о многостадийном характере магмато-гидротермальных процессов, сопровождавшихся развитием серицитизации, эпидотизации, хлоритизации и окварцевания, формирующих выраженную минералогическую зональность.

Научная новизна работы заключается в комплексной интерпретации петрографических и структурных данных, уточняющей представления о формировании рудной системы порфирового типа в пределах исследуемого района. Полученные результаты могут быть использованы при дальнейших геологоразведочных исследованиях и построении прогнозных моделей для объектов аналогичного генетического типа.

Перспективы дальнейших исследований связаны с детальным изучением стадийности рудообразования и уточнением пространственной модели минерализации на основе расширения минералого-петрографических данных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТЬ: Авторы выражают искреннюю благодарность научному руководителю Кузьминой Ольге Николаевне, PhD, ассоциированному профессору Школы наук о Земле, за научное руководство, консультации и методическую поддержку при выполнении исследования.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: При подготовке статьи использовались инструменты генеративного искусственного интеллекта для языкового редактирования и улучшения структуры текста. Авторы несут полную ответственность за содержание и научные выводы работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Sillitoe, R.H. (2010). Porphyry Copper Systems. *Economic Geology*, 105(1).
- Сергийко Ю.А. и др. Отчет по детальной разведке медно-порфирового месторождения Актогай с подсчетом запасов на 01.01.1980 г. Алма-Ата, 1980 г.
- Перевозов С.В., Жуков Н.М., Систематизированная эталонная коллекция рудоносных и вмещающих горных пород медно-порфирового месторождения Актогай. Алматы, 2019.
- Отчет о научно-исследовательской работе по теме: Петрографическое исследование горных пород Актогайского рудного поля, Филиал РГП «НЦ КПМС РК» «ВНИИцветмет», Усть-Каменогорск, 2024.
- OpenAI. (2026, March 2). Assistance with editing and structuring a scientific article on geology [Large language model]. ChatGPT. <https://chat.openai.com>

ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПОДСЧЁТ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ ЗОЛОТА УЧАСТКА КОВАЛЕВСКИЙ (АКМОЛИНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

УДК 553.43

Т.С. Кенесказы^{1*}, С.А. Кенесказы¹

¹ВКТУ имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Кенесказы Темирлан Саятулы, e-mail: genes3@mail.ru

АННОТАЦИЯ. В работе рассмотрены геологические особенности и обоснована методика разведочных работ золоторудного участка Ковалевский, расположенного в пределах Райгородского рудного поля Северного Казахстана. Актуальность исследования обусловлена необходимостью уточнения параметров рудных тел и закономерностей распределения золоторудной минерализации в условиях слабой обнажённости и развития мощной коры выветривания. Целью работы является разработка рациональной методики геологоразведочных работ с учётом геологического строения, тектонических условий и вещественного состава руд. В основу исследования положены материалы геологоразведочных работ, включая данные бурения, горных выработок, геохимических и геофизических исследований. Применён комплексный подход, включающий структурно-геологический анализ и интерпретацию геохимических аномалий. Установлено, что золоторудная минерализация приурочена к зонам разрывных нарушений и гидротермально изменённым породам. Содержание золота варьирует от 0,1 до 25,2 г/т, а минерализация сопровождается повышенными концентрациями элементов-спутников (As, Pb, Zn, Cu, Ag). Обоснована необходимость сгущения разведочной сети и проведения дополнительных буровых и горных работ в узлах пересечения тектонических структур. Полученные результаты уточняют представления о закономерностях локализации оруденения и могут быть использованы при проектировании дальнейших разведочных работ.

Ключевые слова: золото, Ковалевский участок, геологоразведочные работы, тектоника, гидротермальные изменения, геохимические аномалии.

ВВЕДЕНИЕ

Золоторудные месторождения, приуроченные к зонам тектонических нарушений и гидротермальной переработки пород, представляют значительный интерес для развития минерально-сырьевой базы Казахстана. В условиях роста спроса на золото особую актуальность приобретает совершенствование методики геологоразведочных работ, направленных на выявление и оценку рудных объектов в сложных геологических условиях [1].

Участок Ковалевский расположен в пределах Райгородского рудного поля и характеризуется сложным геологическим строением, обусловленным сочетанием докембрийских метаморфических комплексов и палеозойских интрузивных образований. Район отличается слабой обнажённостью, широким развитием коры выветривания и интенсивной разрывной тектоникой, что существенно осложняет выявление и изучение рудных тел [1].

Изучение геологического строения района проводилось на протяжении длительного времени и включало геологическую съёмку, поисковые и разведочные работы, а также геофизические и геохимические исследования. В результате были выявлены проявления золоторудной минерализации и установлена общая перспективность участка. Однако параметры рудных тел, их пространственное положение и закономерности локализации остаются недостаточно изученными, что

требует разработки обоснованной методики дальнейших разведочных работ.

Данное исследование относится к направлению Track A: Student Research, поскольку направлено на аналитическое обобщение геологических данных и разработку научно обоснованных подходов к оценке золоторудной минерализации.

Целью работы является обоснование методики разведочных работ участка Ковалевский. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: анализ геологического строения района, выявление факторов контроля минерализации, оценка распределения золота и элементов-спутников, а также разработка рекомендаций по оптимизации разведочной сети. В качестве объекта исследования рассматривается участок Ковалевский, а в качестве методов использованы структурно-геологический анализ, интерпретация геохимических данных и обобщение результатов геологоразведочных работ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является золоторудный участок Ковалевский, расположенный в пределах Райгородского рудного поля Северного Казахстана. В работе изучались геологическое строение участка, особенности размещения золоторудной минерализации и условия её локализации.

Материальную основу исследования составили данные геологоразведочных работ, включающие результаты геологической съёмки, бурения, горных выработок и опробования, а также архивные материалы по изученности района [1]. Используются данные геохимических и геофизических исследований, отражающие распределение золота и элементов-спутников, а также сведения о строении рудных зон.

Исследование проводилось в условиях слабой обнажённости территории и развития коры выветривания, что обусловило необходимость применения комплексного подхода к интерпретации геологических данных.

В ходе работы применён комплекс методов, направленных на анализ геологического строения и закономерностей локализации минерализации. Структурно-геологический анализ использовался для выявления роли разрывных нарушений и тектонических факторов в контроле оруденения. Геохимический анализ позволил оценить распределение золота и элементов-спутников и выделить аномальные зоны. Геофизическая интерпретация применялась для уточнения глубинного строения и выявления скрытых минерализованных участков. Сравнительный анализ обеспечил сопоставление полученных результатов с известными моделями золоторудных месторождений орогенного типа.

Последовательность исследования включала анализ исходных геологических данных, выделение аномальных зон, сопоставление геохимических и структурных факторов, а также интерпретацию полученных результатов с целью обоснования рациональной схемы разведочных работ.

Выбор указанных методов обусловлен необходимостью изучения сложных по строению золоторудных систем, формирующихся в условиях активной тектоники и гидротермальной переработки пород. Применённый комплексный подход обеспечивает достоверность интерпретации данных и позволяет воспроизвести результаты при использовании аналогичных исходных материалов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Геологическое строение района

Район работ расположен на границе Кокчетавского массива и Тенизской впадины, что обуславливает его сложное геологическое строение и развитие интенсивных тектонических процессов [1]. Геологическое строение района характеризуется сочетанием докембрийских метаморфических комплексов и палеозойских интрузивных образований. Мозаично-блоковая структура и широкое

развитие разрывных нарушений определяют тектонический контроль размещения рудной минерализации, что соответствует общепринятым представлениям о формировании золоторудных систем орогенного типа.

Характеристика минерализации

Золоторудная минерализация приурочена к зонам гидротермально изменённых пород и проявляется в виде вкрапленного и прожилкового оруденения. Она сопровождается развитием зон окварцевания, серицитизации, а также участками дробления и милонитизации, что отражает интенсивную тектоническую переработку пород. Содержание золота варьирует от 0,1 до 25,2 г/т [1], что соответствует диапазонам, характерным для золоторудных проявлений орогенного типа. Минерализация сопровождается повышенными содержаниями элементов-спутников (As, Pb, Zn, Cu, Ag), что согласуется с данными по аналогичным объектам, где данные элементы выступают индикаторами гидротермального оруденения.

Факторы локализации оруденения

Анализ геологических и геохимических данных показал, что ключевыми факторами контроля минерализации являются зоны разломов, контакты интрузивных тел и участки интенсивных гидротермальных изменений. Наиболее перспективными являются узлы пересечения разломов с оперяющими трещинами, где создаются благоприятные условия для циркуляции рудоносных флюидов.

Полученные результаты подтверждают существующие модели локализации золоторудных систем, в которых тектонические структуры играют роль основных каналов миграции минерализующих растворов.

Обоснование методики разведочных работ

Анализ имеющихся геологоразведочных данных показал, что ранее выполненные работы недостаточны для достоверного оконтуривания рудных тел, что связано с редкой сетью бурения и ограниченным объёмом горных выработок.

В связи с этим предлагается проведение комплекса дополнительных работ, включающего сгущение разведочной сети, бурение на глубину 100–300 м, проходку магистральных канав и детальное геохимическое опробование. Применение геофизических методов позволит уточнить глубинное строение и выявить скрытые рудные зоны.

Обсуждение и ограничения исследования

Следует отметить, что полученные результаты основаны на ограниченном объёме данных, что может влиять на точность интерпретации пространственного распределения минерализации. Существенным ограничением является слабая обнажённость территории и развитие коры выветривания, затрудняющие прямое наблюдение рудных тел.

Несмотря на это, выявленные закономерности соответствуют современным представлениям о формировании золоторудных систем и могут быть использованы при планировании дальнейших разведочных работ.

Практическая значимость результатов

Полученные результаты уточняют условия локализации золоторудной минерализации и обосновывают выбор оптимальной методики разведочных работ. Они могут быть использованы при проектировании геологоразведочных программ и оценке перспектив аналогичных объектов в пределах Райгородского рудного поля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе выполнен анализ геологического строения и результатов геологоразведочных работ золоторудного участка Ковалевский, что позволило обосновать рациональную методику дальнейшего изучения объекта и реализовать поставленную цель исследования.

Установлено, что золоторудная минерализация контролируется зонами тектонических нарушений и приурочена к участкам гидротермально изменённых пород. Минерализация характеризуется вкрапленным и прожилковым типом оруденения и сопровождается повышенными содержаниями элементов-спутников (As, Pb, Zn, Cu, Ag), что свидетельствует о её гидротермальном генезисе и соответствии золоторудным системам орогенного типа.

Научная новизна работы заключается в уточнении факторов локализации минерализации и обосновании методики разведочных работ с учётом геологических и геохимических особенностей участка. Полученные результаты дополняют существующие представления о закономерностях формирования золоторудных объектов в пределах Райгородского рудного поля.

Практическая значимость исследования состоит в возможности использования предложенных рекомендаций при проектировании геологоразведочных работ, в частности при выборе параметров разведочной сети и направлений бурения. Ограничениями исследования являются слабая обнажённость территории и ограниченность исходных данных, что может влиять на точность интерпретации рудных зон.

Перспективы дальнейших исследований связаны с проведением детальных разведочных работ, уточнением геологической модели месторождения и изучением глубинного строения минерализованных зон.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ: Авторы выражают искреннюю благодарность научному руководителю Ағалиевой Бақытгүл Болатқанқызы, PhD, ведущему научному сотруднику Школы наук о Земле, за научное руководство, консультации и методическую поддержку при выполнении исследования.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: При подготовке статьи использовались инструменты генеративного искусственного интеллекта для языкового редактирования и улучшения структуры текста. Авторы несут полную ответственность за содержание и научные выводы работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ТОО «RG Gold» План разведки золотосодержащих руд месторождения Новоднепровское, на месторождений Северный и Южный Райгородок и перспективных участках в Акмолинской области на 2019- 2021гг.
OpenAI. (2026, March 2). Assistance with editing and structuring a scientific article on geology [Large language model]. ChatGPT. <https://chat.openai.com>

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК РАССЛЕДОВАНИЯ ПРОИСШЕСТВИЙ FGP И ICAM В ПРОМЫШЛЕННОЙ ОТРАСЛИ

УДК 614.8

А.Б. Каукенов^{1*}, Г.К. Даумова¹

¹ВКТУ им.Д.Серикбаева, г.Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Каукенов Асхат Бердабекович,

e-mail: ashat6565@mail.ru

АННОТАЦИЯ. В статье представлен сравнительный анализ методик расследования происшествий, применяемых в нефтегазовой и горнорудной отраслях, а именно Future Growth Project (FGP) и Incident Cause Analysis Method (ICAM). Актуальность исследования обусловлена высокой степенью производственных рисков и необходимостью совершенствования систем управления промышленной безопасностью. Целью работы является выявление сходств и различий указанных методик, а также оценка их эффективности в условиях современных требований к управлению рисками. В качестве методов исследования использованы сравнительный анализ, системный подход и обобщение научных источников. Результаты показали, что методика FGP ориентирована на формализованный процесс расследования и соблюдение процедур, тогда как ICAM обеспечивает глубокий анализ коренных причин происшествий, включая человеческий фактор и организационные аспекты. Установлено, что ICAM обладает более высоким потенциалом для предотвращения повторных инцидентов за счёт выявления латентных факторов риска. Научная новизна работы заключается в комплексном сопоставлении двух подходов и обосновании преимуществ системного анализа ICAM. Практическая значимость исследования состоит в возможности интеграции обеих методик для повышения эффективности расследований и совершенствования системы промышленной безопасности.

Ключевые слова: расследование происшествий, промышленная безопасность, методика, Incident Cause Analysis Method (ICAM), Future Growth Project (FGP), управление рисками, человеческий фактор.

ВВЕДЕНИЕ

Современные предприятия горнорудной и нефтегазовой отраслей характеризуются высоким уровнем производственных рисков, обусловленных сложностью технологических процессов, воздействием опасных факторов и высокой взаимосвязанностью элементов производственной системы. В этих условиях особое значение приобретает применение эффективных методик расследования происшествий, направленных на выявление причин и предотвращение повторных инцидентов.

В мировой практике сформировались различные подходы к расследованию происшествий, отражающие специфику отрасли, корпоративную культуру и требования регулирующих органов [1]. В нефтедобывающей отрасли широкое распространение получили корпоративные процедуры расследования и регистрации происшествий, ориентированные на строгую регламентацию отчетности, уведомления и соблюдение требований законодательства и акционеров [2]. Одним из таких подходов является процедура расследования происшествий, применяемая в рамках проектов Future Growth Project (FGP), реализуемых в нефтегазовой отрасли. В горнорудной отрасли, напротив, в последние десятилетия активно внедряются

системные методы анализа коренных причин происшествий, основанные на концепциях человеческого фактора и организационных барьеров безопасности [3]. К числу наиболее известных и признанных методологий относится ICAM (Incident Cause Analysis Method), разработанная и внедренная в международной практике [4].

Методика FGP ориентирована на оценку происшествий через призму соблюдения ключевых принципов безопасного производства. Она позволяет быстро выявлять системные нарушения в области управления рисками, лидерства, обучения персонала и контроля выполнения работ [5]. В то же время ICAM представляет собой более детализированный аналитический инструмент, направленный на структурированный анализ коренных причин происшествий, включая латентные организационные факторы, недостатки в системах управления и человеческий фактор [6].

Комбинирование FGP и ICAM является целесообразным и методологически обоснованным. На практике FGP может использоваться как первичный диагностический инструмент, позволяющий на раннем этапе расследования определить, какие базовые принципы безопасности были нарушены [5]. ICAM, в свою очередь, целесообразно применять на последующих этапах расследования для углубленного анализа выявленных проблем, детального установления причинно-следственных связей и разработки корректирующих и предупреждающих мероприятий [7].

Целью исследования является проведение сравнительного анализа данных методик, выявление их сходств, различий и эффективности применения. Объектом исследования выступают процессы расследования происшествий на предприятиях повышенной опасности, а предметом — методики анализа причин инцидентов.

Научная новизна заключается в комплексной оценке глубины анализа причин, учета человеческого фактора и организационных аспектов безопасности, а также в обосновании преимуществ системного подхода ICAM.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являются процессы расследования производственных происшествий на предприятиях повышенной опасности, а также применяемые методики анализа причин инцидентов в системах управления охраной труда и промышленной безопасностью.

В работе использованы материалы научной литературы, международных стандартов (ISO 45001, ISO 14001), а также методические документы, регламентирующие расследование происшествий в промышленности.

Методологической основой исследования являются:

- сравнительный анализ методик FGP и ICAM;
- системный подход к оценке причин происшествий;
- анализ научных и нормативных источников.

Исследование проводилось путем сопоставления этапов расследования, глубины анализа причин, учета человеческого фактора и организационных условий.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Методика Future Growth Project (FGP) представляет собой формализованный процесс расследования происшествий, включающий этапы регистрации, классификации, анализа и разработки корректирующих мероприятий. Основной акцент делается на соблюдении процедур и подготовке отчетности.

Методика расследования происшествий FGP была разработана в рамках корпоративных систем управления безопасностью крупных международных нефтегазовых проектов. Основной целью данной процедуры является обеспечение систематизированного процесса регистрации, классификации и расследования

происшествий, а также соблюдение требований корпоративных стандартов и международных норм в области безопасности [8]. Процедура FGP основана на последовательном процессном подходе и включает несколько ключевых этапов:

- идентификация происшествия и первичное уведомление; классификация события;
- формирование комиссии по расследованию;
- сбор и анализ информации;
- определение причин происшествия;
- разработка корректирующих и предупреждающих мероприятий [8].

Одной из особенностей FGP является высокая степень формализации процесса расследования. Основной акцент делается на соблюдение регламентированных процедур, документирование происшествий и формирование отчетности для корпоративных систем управления безопасностью [9].

Однако данный подход часто ориентирован на выявление непосредственных причин происшествия и отклонений от установленных процедур, что может ограничивать глубину анализа системных факторов безопасности [10].

ICAM является системной методологией анализа происшествий, основанной на концепции многоуровневой причинности. Она учитывает человеческий фактор, условия выполнения работ, организационные барьеры и управленческие решения.

Методика Incident Cause Analysis Method (ICAM) представляет собой системный подход к расследованию происшествий, разработанный для выявления коренных причин инцидентов и анализа факторов, влияющих на безопасность производственных процессов [4]. Основой методологии ICAM является концепция многоуровневой причинности происшествий, согласно которой любое происшествие является результатом взаимодействия следующих факторов:

- человеческого фактора;
- условий выполнения работ;
- технических и организационных барьеров безопасности;
- управленческих решений и корпоративной культуры безопасности [3].

ICAM использует структурированные аналитические инструменты, включая причинно-следственные диаграммы и модели анализа барьеров безопасности. Такой подход позволяет выявлять латентные организационные причины происшествий, которые часто остаются незамеченными при использовании процедурно-ориентированных методов расследования [11].

Методология ICAM широко применяется в международной горнодобывающей практике и соответствует современным принципам системного управления безопасностью [12].

Наиболее эффективным подходом является комбинированное использование обеих методик: FGP — для организации процесса расследования, ICAM — для анализа причин.

Сравнение методик расследования происшествий FGP (Future Growth Project) и ICAM (Incident Cause Analysis Method) позволяет выявить существенные различия в их методологической основе, подходах к анализу причин происшествий, роли человеческого фактора и глубине исследования организационных факторов безопасности. Несмотря на то, что обе методики направлены на предотвращение повторения происшествий и повышение уровня промышленной безопасности, их философия и инструменты анализа существенно отличаются [6].

Процедура расследования происшествий, применяемая в рамках проектов FGP, формировалась в условиях корпоративных систем управления безопасностью крупных нефтегазовых проектов и ориентирована прежде всего на обеспечение регламентированного процесса расследования, соблюдение требований отчетности

и прозрачности управления происшествиями [8]. Основной задачей данной процедуры является своевременная регистрация происшествия, его классификация, сбор информации, определение причин и разработка корректирующих мероприятий.

Анализ происшествий в рамках FGP, как правило, строится по линейной логике причинно-следственной связи, где происшествие рассматривается как результат определенной последовательности событий. В ходе расследования выявляются непосредственные причины инцидента, такие как технические неисправности оборудования, нарушения технологических процессов или ошибки персонала, после чего формулируются более обобщенные корневые причины, связанные с недостатками процедур, контроля или обучения персонала [13].

Такой подход позволяет достаточно быстро сформировать отчет о происшествии и определить меры реагирования, однако он не всегда обеспечивает выявление глубинных системных факторов, лежащих в основе возникновения опасных ситуаций. Во многих случаях анализ ограничивается выявлением отклонений от установленных требований и процедур безопасности, что может приводить к формированию рекомендаций, направленных на усиление контроля или дополнительное обучение работников [10]. При этом организационные условия, в которых принимались решения и выполнялись работы, рассматриваются ограниченно, что снижает возможности выявления латентных факторов риска.

Методология ICAM, напротив, представляет собой системный подход к расследованию происшествий, направленный на выявление комплексных причин инцидентов и анализ факторов, влияющих на безопасность производственных процессов [4]. В основе ICAM лежит концепция многоуровневой причинности происшествий, согласно которой аварийные события являются результатом взаимодействия человеческого фактора, условий выполнения работ, технических барьеров безопасности и управленческих решений [11]. Такой подход позволяет рассматривать происшествие не как отдельное событие, а как проявление более глубоких проблем в системе управления безопасностью предприятия [13].

Одним из ключевых отличий методологии ICAM является особое внимание к анализу человеческого фактора. В отличие от процедурно-ориентированных методов расследования, где ошибки работников часто рассматриваются как основная причина происшествий, ICAM рассматривает действия персонала в контексте условий, в которых принимались решения [6]. Анализируются такие факторы, как уровень подготовки работников, наличие необходимой информации, организационная среда, производственное давление, качество планирования работ и эффективность системы управления рисками [11].

Существенные различия между методиками проявляются и в подходах к организации и анализу данных расследования. В рамках процедуры FGP сбор информации носит преимущественно описательный характер и направлен на восстановление последовательности событий, анализ документации, инструкций, разрешительных документов и технического состояния оборудования [9]. Полученные данные, как правило, оформляются в виде текстовых описаний, таблиц и отчетов, которые используются для подготовки итогового документа о расследовании происшествия [10]. Такой подход обеспечивает полноту и формальную корректность информации, однако ограничивает возможности выявления сложных причинно-следственных связей между различными факторами происшествия.

Методология ICAM, в свою очередь, предусматривает использование структурированных аналитических инструментов, позволяющих систематизировать данные расследования и выявлять взаимосвязи между различными элементами производственной системы [4].

Еще одним важным различием между методиками является степень учета организационных факторов безопасности. В процедуре FGP организационные

аспекты чаще рассматриваются через призму соблюдения процедур и стандартов безопасности [8]. Основной акцент делается на проверке выполнения установленных требований и выявлении нарушений инструкций. Однако современные исследования в области промышленной безопасности показывают, что значительная часть происшествий связана именно с латентными организационными проблемами, включая недостатки системы управления, неэффективное распределение ответственности, недостаточный уровень коммуникации между подразделениями и давление на производительность [8].

Методология ICAM специально ориентирована на выявление таких факторов. В рамках данного подхода происшествия рассматриваются как результат постепенной деградации защитных барьеров безопасности и взаимодействия различных элементов производственной системы [4]. Анализируются управленческие решения, процессы планирования и контроля, политика безопасности предприятия и особенности организационной культуры. Такой системный анализ позволяет выявлять причины происшествий на более глубоком уровне и разрабатывать мероприятия, направленные на совершенствование всей системы управления безопасностью.

Сравнительный анализ показывает, что каждая из рассматриваемых методик обладает своими преимуществами.

Процедура FGP обеспечивает четкую организацию процесса расследования, соблюдение требований отчетности и стандартизированную систему регистрации происшествий [9].

Методология ICAM, в свою очередь, позволяет проводить более глубокий анализ причин инцидентов, выявлять скрытые организационные факторы и формировать эффективные меры по предотвращению повторения происшествий [11].

В связи с этим наиболее перспективным подходом является комбинированное использование обеих методик, при котором процедура FGP применяется для организационного управления процессом расследования, а методология ICAM используется для детального анализа причин происшествий и совершенствования системы управления промышленной безопасностью [14].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование позволило установить, что методика ICAM обладает более высокой эффективностью в выявлении коренных причин происшествий по сравнению с процедурно-ориентированным подходом FGP.

В то же время FGP обеспечивает четкую организацию расследования и соблюдение требований отчетности. В связи с этим наиболее перспективным является их интегрированное применение.

Полученные результаты имеют практическую значимость для совершенствования систем управления промышленной безопасностью и могут быть использованы при разработке корпоративных процедур расследования происшествий.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: Авторы научной статьи не использовали инструменты искусственного интеллекта (ИИ) при подготовке своей работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Reason, J. (1990). Human error. Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781139062367>
- Reason, J. (1997). Managing the risks of organizational accidents. Ashgate Publishing.
- Hopkins, A. (2000). Lessons from Longford: The Esso gas plant explosion. CCH Australia.
- Hopkins, A. (2008). Failure to learn: The BP Texas City refinery disaster. CCH Australia.
- International Organization for Standardization. (2018). ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use.
<https://www.iso.org/standard/63787.html>
- International Organization for Standardization. (2015). ISO 9001:2015 Quality management systems – Requirements. <https://www.iso.org/standard/62085.html>
- International Labour Organization. (2001). Guidelines on occupational safety and health management systems (ILO-OSH 2001). https://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/resources-library/publications/WCMS_107727/lang--en/index.htm
- International Organization for Standardization. (2015). ISO 14001:2015 Environmental management systems – Requirements with guidance for use.
<https://www.iso.org/standard/60857.html>
- Center for Chemical Process Safety (CCPS). (2003). Guidelines for investigating chemical process incidents. AIChE.
- Center for Chemical Process Safety (CCPS). (2007). Guidelines for risk-based process safety. AIChE.
- Energy Institute. (2014). Guidance on investigating and analysing human and organisational factors. <https://www.energyinst.org>
- Energy Institute. (2011). Learning from incidents. <https://www.energyinst.org>
- Sklet, S. (2004). Accident investigations: Barrier analysis and human error analysis. Journal of Hazardous Materials, 111, 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.02.035>
- Rasmussen, J. (1997). Risk management in a dynamic society: A modelling problem. Safety Science, 27, 183–213. [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(97\)00052-0](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(97)00052-0)
- Leveson, N. (2011). Engineering a safer world: Systems thinking applied to safety. MIT Press.
<https://mitpress.mit.edu/9780262533690/engineering-a-safer-world/>
- Glendon, A., Clarke, S., & McKenna, E. (2006). Human safety and risk management. CRC Press.
- Wiegmann, D., & Shappell, S. (2003). A human error approach to aviation accident analysis: The HFACS. Ashgate Publishing.
- Dekker, S. (2006). The field guide to understanding human error. Ashgate Publishing.
- Dekker, S. (2012). Just culture: Balancing safety and accountability. Ashgate Publishing.
- Minerals Council of Australia. (2013). ICAM – Incident Cause Analysis Method: User guide.
- Minerals Council of Australia. (2011). Safety management systems handbook.
- Minerals Council of Australia. (n.d.). ICAM methodology overview. <https://www.minerals.org.au>
- Energy Institute. (n.d.). Incident investigation resources. <https://www.energyinst.org>
- International Organization for Standardization. (n.d.). ISO management system standards.
<https://www.iso.org>

**КАТОНҚАРАҒАЙ МЕМЛЕКЕТТІК ҰЛТТЫҚ ТАБИҒИ ПАРКІ ОРМАНДЫ
АУМАҒЫНДАҒЫ ЛИСТВЯГА ЖӘНЕ ҚАТЫН ЖОТАЛАРЫНЫҢ СОЛТҮСТІК МАКРО
БЕТКЕЙЛЕРІНДЕГІ ҚЫЛҚАН ЖАПЫРАҚТЫ АҒАШ-БҰТАЛЫ ТҮРЛЕРІНІҢ
ПЕРСПЕКТИВАЛЫҚ АССОРТИМЕНТІН МОЛЫҚТЫРУ ЖӘНЕ КҮТІП БАПТАУ**

ӨОЖ 630.232

А. Кеңшілікұлы^{1*}, А.А. Калачев¹, С.С. Лутай¹, А.О. Лутай¹

¹Д.Серікбаев атындағы ШҚТУ, Өскемен қ., Қазақстан

*Кеңшілікұлы Ақжол, kenshilikulya@gmail.com

Аннотация. Бұл зерттеу жұмысы Катонқарағай мемлекеттік ұлттық табиғи паркі аумағындағы Листвяга және Қатын жоталарының солтүстік макро беткейлерінде таралған қылқан жапырақты ағаш-бұталы өсімдіктердің перспективалық ассортиментін анықтауға, оларды молықтыру және тиімді күтіп-баптау шараларын ғылыми негіздеуге бағытталған. Аталған аумақтың табиғи-климаттық жағдайлары (биік таулы белдеулік, ылғалдылықтың салыстырмалы жоғары болуы, қоңыржай-салқын климат) қылқан жапырақты ормандардың қалыптасуына қолайлы орта туғызады. Дегенмен табиғи және антропогендік факторлардың әсерінен орман жамылғысының сиреуі, табиғи жаңарудың әлсіреуі және биоалуантүрліліктің төмендеуі байқалады. Жұмыстың ғылыми жаңалығы – солтүстік беткейлердің микроклиматтық ерекшеліктерін ескере отырып, перспективалы түрлерді аудандастыру және оларды кезең-кезеңімен енгізудің ғылыми-тәжірибелік негізін ұсыну. Зерттеу барысында жасанды интеллектті қолдану. Зерттеу нәтижелері парк аумағындағы орман экожүйелерінің өнімділігін арттыруға, табиғи жаңару процесін жандандыруға, эрозиялық процестердің алдын алуға және биоалуантүрлілікті сақтауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар ұсынылған шаралар орман ресурстарын ұтымды пайдалану мен ұзақ мерзімді экологиялық тұрақтылықты қамтамасыз етуге бағытталған.

Түйінді сөздер: Листвяга, Қатын, жота, макро беткей, перспектива, табиғи-климат, биоалуантүрлілік, фактор, жасанды интеллект, ассортимент, орман жамылғысы, беткей, ғылыми, тәжірибе, экология, тұрақтылық, ағаш, қылқан жапырақты, бұталар.

КІРІСПЕ

Катонқарағай мемлекеттік ұлттық табиғи паркі – Қазақстандағы биоалуантүрлілігі жоғары, табиғи ландшафттары жақсы сақталған ерекше қорғалатын аумақтардың бірі. Парк аумағы Алтай таулы жүйесінің құрамына кіретін Листвяга және Қатын жоталарын қамтиды. Әсіресе олардың солтүстік макро беткейлері ылғалды әрі салқын климатымен, қалың қар жамылғысымен және салыстырмалы түрде тұрақты микроклиматтық жағдайларымен ерекшеленеді. Бұл факторлар қылқан жапырақты ормандардың қалыптасуы мен табиғи жаңаруына қолайлы орта қалыптастырады.

Зерттеудің мақсаты – аталған аумақтағы қылқан жапырақты ағаш-бұталы түрлердің түрлік құрамын талдау, перспективалық түрлерді анықтау және орманды молықтыру мен күтіп-баптаудың ғылыми негізделген ұсыныстарын әзірлеу. Бұл бағыттағы зерттеулер парк аумағындағы орман экожүйелерінің ұзақ мерзімді тұрақтылығын қамтамасыз етуге, табиғи ресурстарды ұтымды пайдалануға және биоалуантүрлілікті сақтауға мүмкіндік береді.

Қылқан жапырақты ормандар – тау экожүйелерінің экологиялық тұрақтылығын қамтамасыз ететін негізгі компоненттердің бірі. Олар топырақты су және жел эрозиясынан қорғайды, гидрологиялық режимді реттейді, атмосфералық көмірқышқыл газын сіңіріп, оттегі бөледі, сондай-ақ сирек және эндемик түрлердің тіршілік ету ортасы болып табылады. Алайда соңғы жылдары табиғи-климаттық өзгерістер,

зиянкестер мен аурулардың таралуы, сондай-ақ антропогендік ықпалдар орман жамылғысының сиреуіне және табиғи жаңару қарқынының төмендеуіне әкеліп отыр.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Зерттеу жұмысы Катонқарағай мемлекеттік ұлттық табиғи паркі аумағындағы Листвяга және Қатын жоталарының солтүстік макро беткейлерінде жүргізілді. Аталған аймақ теңіз деңгейінен әртүрлі биіктікте орналасқан, ылғалды әрі салқын климатымен, таулы-орманды ландшафтымен ерекшеленеді. Зерттеу нысаны ретінде қылқан жапырақты ағаш-бұталы өсімдіктер қауымдастықтары алынды.

Зерттеу материалдары:

Зерттеу материалдарына мыналар енгізілді:

1. Орман орналастыру құжаттары мен таксациялық сипаттамалар;
2. Тұрақты және уақытша сынақ алаңдарында жүргізілген далалық бақылау деректері;
3. Ағаш-бұталы түрлердің морфологиялық және таксациялық көрсеткіштері (биіктігі, дің диаметрі, жасы, бонитеті, толықтығы);
4. Топырақтың агрохимиялық және механикалық құрамына қатысты мәліметтер;
5. Табиғи жаңару көрсеткіштері (өскіндер мен жас шыбықтардың саны, жағдайы, таралуы).

Зерттеу әдістері

Зерттеу барысында келесі әдістер қолданылды:

Маршруттық-далалық әдіс – орман алқаптарын аралау арқылы қылқан жапырақты түрлердің таралу аймағын, өсіп-өну жағдайын және антропогендік әсер деңгейін бағалау.

Таксациялық әдіс – сынақ алаңдарында ағаштардың биіктігі мен дің диаметрін өлшеу, жастық құрылымын анықтау, орманның толықтығы мен өнімділігін есептеу.

Геоботаникалық талдау – ағаш-бұталы өсімдіктер қауымдастығының флористикалық құрамын анықтау, доминант және субдоминант түрлерді белгілеу.

Салыстырмалы-экологиялық әдіс – солтүстік макро беткейлердің микроклиматтық ерекшеліктерін ескере отырып, перспективалық түрлердің бейімделу мүмкіндігін бағалау.

Статистикалық өңдеу әдістері – жиналған сандық көрсеткіштерді математикалық өңдеу, орташа мәндерді, вариация коэффициентін және сенімділік деңгейін анықтау.

Зерттеу барысында алынған мәліметтер қылқан жапырақты ағаш-бұталы түрлердің перспективалық ассортиментін негіздеуге, оларды молықтыру мен күтіп-баптаудың ғылыми ұсыныстарын әзірлеуге мүмкіндік берді.



Сурет 1. Қатын және Листвяга жоталарының қылқан жапырақты ормандарындағы маршруттық-далалық әдіс барысы.



Сурет 2. Макро беткейлердегі статистикалық өңдеу әдісін қолдану

НӘТИЖЕЛЕР МЕН ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Катонқарағай мемлекеттік ұлттық табиғи паркі аумағындағы Листвяга және Қатын жоталарының солтүстік макро беткейлерінде жүргізілген зерттеу нәтижелері қылқан жапырақты ормандардың құрылымы мен табиғи жаңару ерекшеліктерін анықтауға мүмкіндік берді.

Орман қауымдастықтарының құрылымы

Зерттеу барысында солтүстік беткейлерде қылқан жапырақты ормандардың басым бөлігін самырсын, шырша және балқарағай түзетіні анықталды. Орманның орташа толықтығы 0,6–0,8 аралығында, бонитет көрсеткіші II–III класқа сәйкес келеді. Биіктік белдеулеріне қарай түрлік құрам өзгеріп, төменгі белдеуде аралас ормандар, ал жоғарырақ аймақтарда таза қылқан жапырақты екпелер басым болды.

Ағаштардың жастық құрылымы әркелкі: кейбір учаскелерде орта жастағы және

пісіп-жетілген дарақтар басым болса, табиғи жаңару қарқыны төмен аумақтар да кездесті. Бұл жағдай орман экожүйесінің болашақтағы тұрақтылығына әсер етуі мүмкін.

Табиғи жаңару және оның ерекшеліктері

Солтүстік макро беткейлердің ылғалды микроклиматы қылқан жапырақты түрлердің табиғи жаңаруына салыстырмалы түрде қолайлы жағдай жасайды. Дегенмен зерттеу барысында жас өскіндердің таралуы біркелкі емес екені байқалды. Кейбір алаңдарда самырсын мен шырша өскіндері жеткілікті мөлшерде кездессе, басқа жерлерде олардың саны аз немесе мүлде жоқ.

Бұл құбылыс топырақ жамылғысының тығыздығы, жарық режимі, шөптесін жамылғының қалыңдығы және антропогендік әсерлермен (мал жайылымы, рекреациялық жүктеме) түсіндіріледі.

Перспективалық ассортиментті негіздеу

Зерттеу нәтижелері солтүстік беткейлер жағдайында экологиялық бейімділігі жоғары, аязға және көлеңкеге төзімді қылқан жапырақты түрлерді молықтырудың тиімді екенін көрсетті. Перспективалық ассортимент құрамына табиғи ареалда кең таралған және жергілікті экожүйеге бейімделген түрлерді енгізу ұсынылады.

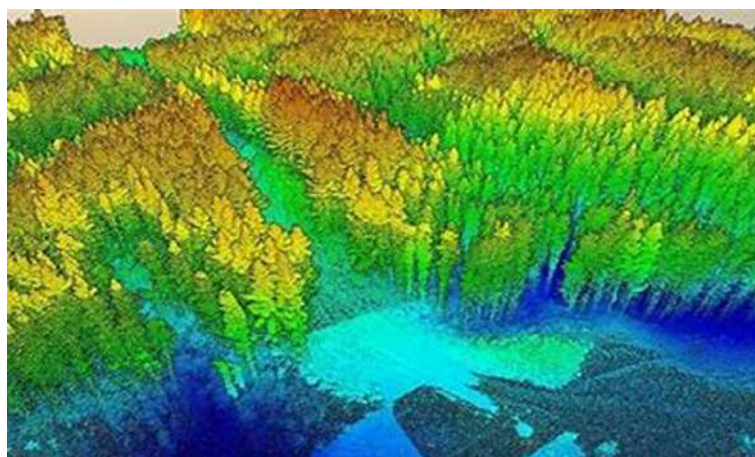
Молықтыру жұмыстарын жүргізу кезінде аралас екпелер құру, табиғи жаңаруды сақтау және селективті күтім шараларын қолдану орманның өнімділігі мен тұрақтылығын арттырады. Сонымен қатар санитарлық кесулерді уақтылы жүргізу, топырақтың су-физикалық қасиеттерін сақтау және эрозияға қарсы шараларды жүзеге асыру маңызды болып табылады.

Талқылау

Алынған нәтижелер солтүстік макро беткейлердегі қылқан жапырақты ормандардың экологиялық әлеуеті жоғары екенін көрсетті. Алайда табиғи жаңарудың біркелкі болмауы және жастық құрылымның теңгерімсіздігі орманды ғылыми негізде басқаруды қажет етеді.

Талқылау барысында жасанды интеллект арқылы салыстыру, бағалау жұмыстары жүргізілді. Қылқан жапырақты ормандар толықтай бағаланды. Перспективалық түрлердің маңыздылығы дәрежесі анықталды.

Сондықтан перспективалық ассортиментті молықтыру мен күтіп-баптау шараларын кешенді түрде жүзеге асыру – орман экожүйесінің ұзақ мерзімді тұрақтылығын қамтамасыз етудің негізгі шарты. Бұл тәсіл биоалуантүрлілікті сақтауға, орман өнімділігін арттыруға және табиғи ландшафттардың экологиялық тепе-теңдігін нығайтуға мүмкіндік береді.



Сурет 3. Орман биомассасын бағалау

ҚОРЫТЫНДЫ

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, солтүстік беткейлердің табиғи-климаттық жағдайлары (ылғалдылықтың жоғары болуы, салыстырмалы салқын микроклимат, тұрақты қар жамылғысы) қылқан жапырақты ағаш-бұталы түрлердің өсуіне қолайлы орта қалыптастырады. Орман қауымдастықтарында самырсын, шырша және балқарағай басым болғанымен, кейбір учаскелерде жастық құрылымның теңгерімсіздігі мен табиғи жаңарудың әлсіреуі байқалды.

Перспективалық ассортиментті молықтыру барысында жергілікті экожүйеге бейімделген, аязға, көлеңкеге және биік таулы жағдайларға төзімді түрлерді пайдалану тиімді екені анықталды. Аралас екпелер құру, табиғи жаңаруды сақтау, селективті және санитарлық күтім шараларын уақтылы жүргізу орман өнімділігін арттырып, оның ұзақ мерзімді тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

Осылайша, қылқан жапырақты ағаш-бұталы түрлердің ғылыми негізделген ассортиментін қалыптастыру және оларды жүйелі түрде күтіп-баптау Катонқарағай ұлттық паркінің орман экожүйелерін сақтау мен қалпына келтірудің маңызды бағыты болып табылады. Ұсынылған шараларды кешенді түрде жүзеге асыру биоалуантүрлілікті қорғауға, эрозиялық процестердің алдын алуға және табиғи ресурстарды ұтымды басқаруға мүмкіндік береді.

МҮДДЕЛЕР ҚАРАМА-ҚАЙШЫЛЫҒЫ: Авторлар мүдделер қарама-қайшылығының жоқтығын мәлімдейді.

АЛҒЫС БІЛДІРУ: Зерттеуді орындауға үлес қосқан тұлғаларға, нақтырақ атап айтқанда: С.С. Лутай; А.А. Калачев; Ж.А. Ботанова; Е.А. Асанғалиев; А.Л. Воробьев сияқты оқытушыларға және Д.Серікбаев атындағы ШҚТУ-нің жер туралы ғылымдар мектебінің оқытушы мамандарына алғыс білдіреді.

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ПАЙДАЛАНУ ТУРАЛЫ ХАБАРЛАМА: Бақылаулар мен зерттеулер барысында жасанды интеллекттің әдебиеттер тізімінде көрсетілген түрлері қолданылды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Anthropic. Claude: жасанды интеллект ассистенті. – Сан-Франциско, 2024. URL: <https://claude.ai>
- Google. Google Gemini (бұрынғы Bard): жасанды интеллект жүйесі. – Маунтин-Вью, 2024. URL: <https://gemini.google.com>
- FAO. Global Forest Resources Assessment. – Rome, 2020.
- OpenAI. ChatGPT: жасанды интеллект тілдік моделі. – Сан-Франциско, 2024. URL: <https://chat.openai.com>
- Алтайдың қылқан жапырақты ормандары. – Өскемен, 2012.
- Биоалуантүрлілікті сақтау және ерекше қорғалатын табиғи аумақтарды дамыту тұжырымдамасы. – Астана, 2022.
- Қазақстан ормандары / Жалпы ред. Ө. Бейсенова. – Алматы: Қазақ университеті, 2008.
- Қазақстан Республикасының Орман кодексі. – Астана, 2003 (өзгерістер мен толықтырулармен).
- Қазақстан Республикасы Экология және табиғи ресурстар министрлігі. Қазақстан Республикасының мемлекеттік орман қоры туралы жылдық есептері. – Астана, 2020–2024.
- Қалиев Ж.К. Орман таксациясы: оқу құралы. – Алматы: Агроуниверситет, 2016.
- Катонқарағай мемлекеттік ұлттық табиғи паркі. Орман орналастыру және табиғатты қорғау қызметінің материалдары. – Катонқарағай, 2018–2023.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗОН ГОРОДА УСТЬ-КАМЕНОГОРСКА

УДК 631/434

Я.Е. Каирдинова^{1*}, М.М. Тогузова¹

¹ВКТУ им. Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Каирдинова Яна Ерлановна, e-mail: 399993qw@gmail.com

АННОТАЦИЯ. В условиях высокой техногенной нагрузки на урбанизированные территории возрастает актуальность применения аналитических методов оценки состояния земельных ресурсов. В статье представлен анализ состояния почвенного покрова города Усть-Каменогорска на основе систематизации данных экологического мониторинга. В исследовании использован аналитический метод обработки показателей концентрации тяжелых металлов, позволивший выявить пространственные закономерности деградации земель вблизи промышленных зон. На основе данных Казгидромета и открытых экологических ресурсов выявлена высокая степень загрязнения почв тяжелыми металлами в районах размещения предприятий цветной металлургии. Установлено, что повышенные концентрации Pb, Zn, Cu и Cd обусловлены длительным воздействием промышленных выбросов и накоплением загрязнителей в почвенном субстрате. Пространственная мозаичность распределения загрязняющих веществ связана с особенностями розы ветров и близостью источников эмиссии. Данные факторы способствуют вторичному распространению загрязнителей через пылевой перенос, а также их поступлению в гидрографическую сеть рек Ульба и Иртыш. Экологические и медико-биологические последствия проявляются в ухудшении качества окружающей среды и росте показателей респираторных заболеваний и онкопатологий среди населения, уровень которых превышает средние значения по Республике Казахстан. Загрязнение почв приводит к снижению их плодородия, загрязнению сельскохозяйственной продукции и грунтовых вод, а также усугубляет проблему атмосферного смога, что периодически вызывает введение социальных ограничений, включая переход образовательных учреждений на дистанционный формат обучения. Полученные результаты подтверждают необходимость системного мониторинга состояния почвенного покрова урбанизированных территорий и разработки научно обоснованных мер по реабилитации и экологическому восстановлению загрязненных земель.

Ключевые слова: загрязнение почв, тяжёлые металлы, свинец, кадмий, цинк, медь, экологический мониторинг.

ВВЕДЕНИЕ

Урбанизированные промышленные города Казахстана испытывают многолетнюю техногенную нагрузку, приводящую к накоплению тяжёлых металлов в почвах. Усть-Каменогорск - яркий пример такой территории.

Усть-Каменогорск - крупный промышленный центр Восточного Казахстана, расположенный в предгорьях Рудного Алтая, у слияния рек Ульба и Иртыш. Город с населением около 335 тысяч человек исторически развивался как промышленный хаб, где сосредоточены предприятия цветной металлургии, энергетики и химической промышленности. Однако интенсивная промышленная деятельность привела к значительному загрязнению почв, вод и воздуха, особенно тяжелыми металлами. Это создает риски для здоровья населения и экосистемы региона.

В Усть-Каменогорске сосредоточен ряд крупных промышленных предприятий,

являющихся основными источниками техногенного загрязнения. Многие из них расположены вблизи жилых районов, усиливая экологическую нагрузку на городскую среду.

Одним из ключевых объектов является Ульбинский металлургический завод (УМЗ), расположенный в северо-восточной части города вблизи реки Ульба. Предприятие специализируется на производстве продукции из урана, бериллия и тантала для ядерной энергетики, электроники и металлургии. Основными загрязнителями являются соединения урана, бериллия и другие тяжелые металлы, а также радиоактивные отходы. Их накопление может приводить к загрязнению почв и грунтовых вод на прилегающих территориях, где в отдельных случаях фиксируются превышения нормативов по радионуклидам.

Казцинк - один из крупнейших горно-металлургических комплексов Казахстана по добыче и переработке цинка, свинца, меди и сопутствующих металлов, расположенный в восточной промышленной зоне Усть-Каменогорска. В структуру предприятия входят свинцово-цинковый металлургический комбинат и хвостохранилища. Основными загрязняющими веществами являются свинец (Pb), кадмий (Cd), цинк (Zn) и медь (Cu), поступающие в окружающую среду через промышленные выбросы и сточные воды. В 2024-2025 годах фиксировались случаи превышения нормативов выбросов, что повлекло применение штрафных санкций за загрязнение атмосферного воздуха.

Усть-Каменогорская теплоэлектроцентраль (УК ТЭЦ) расположена в южной части города на берегу реки Иртыш и является угольной электростанцией мощностью около 308 МВт, обеспечивающей город тепловой и электрической энергией. Основными загрязнителями выступают диоксид серы (SO_2), оксиды азота (NO_x), твердые частицы и тяжелые металлы, образующиеся при сжигании угля. Выбросы станции являются одним из факторов формирования смога и ухудшения качества атмосферного воздуха, особенно в зимний период. В 2025 году предприятие было оштрафовано за нарушения в работе очистных сооружений.

Усть-Каменогорский титано-магниевого комбинат (УК ТМК) расположен в промышленном кластере города, вблизи Ульбинского металлургического завода. Предприятие специализируется на производстве титана и магния, используемых в авиационной, автомобильной и других высокотехнологичных отраслях промышленности. В процессе производства образуются хлорсодержащие соединения и тяжелые металлы, которые могут оказывать негативное воздействие на почвенный покров и грунтовые воды прилегающих территорий.

Помимо крупных металлургических предприятий, в городе функционируют и другие промышленные объекты, включая предприятия пищевой промышленности, однако их вклад в общее загрязнение значительно ниже. Совокупный объем выбросов загрязняющих веществ в Усть-Каменогорске составляет около 158 тыс. тонн в год, при этом основная доля приходится на предприятия металлургического комплекса.

Крупные промышленные предприятия формируют промышленные кластеры преимущественно в восточной и северо-восточной частях Усть-Каменогорска. Их размещение вблизи водных объектов способствует более быстрому распространению загрязняющих веществ в окружающей среде. Значительные площади занимают хвостохранилища и отвалы отходов предприятий цветной металлургии, в частности Казцинка и Ульбинского металлургического завода, которые выступают источниками вторичного загрязнения. Основными загрязняющими компонентами являются тяжелые металлы - свинец (Pb), кадмий (Cd), медь (Cu), цинк (Zn), хром (Cr) и мышьяк (As). Зона их распространения охватывает аллювиальные долины рек Иртыш и Ульба и может простирается на расстояние до 10 - 20 км от промышленных площадок. Наиболее высокий уровень загрязнения почв наблюдается в радиусе 5 - 10 км от предприятий, особенно в восточной части города.

Дополнительное распространение загрязнителей происходит под воздействием ветрового переноса и водной эрозии, в результате чего тяжелые металлы поступают в водные объекты и на прилегающие сельскохозяйственные земли. Отмечается загрязнение ряда малых рек, включая Филипповку, Быструху и Ульбу, связанное со стоками с хвостохранилищ и промышленных площадок.

Высокая общественная значимость подобных изысканий напрямую связана с обеспечением экологической безопасности населения, проживающего в зонах непосредственного влияния металлургических производств. Поскольку деградация почвенного покрова и загрязнение атмосферного воздуха имеют кумулятивный характер, разработка научно обоснованных практических мер становится залогом снижения экологических рисков. Реализация предложенных подходов способствует созданию более благоприятной жизненной среды и отвечает приоритетам государственной политики Республики Казахстан в области устойчивого развития и рационального природопользования.

В связи с высокой техногенной нагрузкой и масштабами распространения загрязнения проведение научных исследований и разработка практических мер, направленных на улучшение экологической ситуации в Усть-Каменогорске и других промышленных регионах Республики Казахстан, приобретают особую актуальность и общественную значимость.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках исследования применен аналитический метод обработки и интерпретации данных экологического мониторинга. В качестве исходной информационной базы использованы опубликованные материалы государственной системы наблюдений за состоянием окружающей среды, представленные РГП «Казгидромет», а также данные открытых экологических и статистических источников. Анализ охватывал показатели загрязнения атмосферного воздуха, почвенного покрова и поверхностных вод на территории города Усть-Каменогорска. Особое внимание уделено концентрациям тяжелых металлов, включая свинец (Pb), кадмий (Cd), цинк (Zn) и медь (Cu), которые являются характерными загрязнителями для регионов с развитой металлургической промышленностью. Выбор приоритетного перечня металлов-загрязнителей (Pb, Cd, Zn, Cu) обусловлен их принадлежностью к 1-му и 2-му классам опасности и высокой технофильностью в условиях цветной металлургии. Эти элементы рассматриваются в работе как маркеры антропогенного воздействия, поскольку их фоновое содержание в почвах региона значительно ниже значений, фиксируемых в зонах влияния крупных предприятий Усть-Каменогорска.

Методика исследования включала систематизацию и сравнительный анализ имеющихся данных мониторинга, а также оценку превышений предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ. На основе обобщения материалов наблюдений выявлены основные тенденции изменения экологического состояния городской среды и определены территории с повышенным уровнем техногенной нагрузки. Использование данных долгосрочного мониторинга позволило провести оценку пространственных особенностей распространения загрязняющих веществ, установить связь между промышленными источниками эмиссии и зонами повышенной концентрации загрязнителей, а также определить ключевые факторы формирования неблагоприятной экологической обстановки в городе.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате анализа данных экологического мониторинга проведена оценка динамики загрязнения почвенного покрова города Усть-Каменогорска тяжелыми металлами. Основное внимание уделено концентрациям свинца (Pb), цинка (Zn), меди (Cu), кадмия (Cd) и хрома (Cr), которые являются характерными загрязнителями

территорий с развитой металлургической промышленностью. Анализ выполнен на основе данных РГП «Казгидромет» за осенние периоды 2023 - 2025 годов.

Таблица 1 отражает диапазоны концентраций тяжелых металлов в почвах города за указанный период и позволяет оценить динамику изменения уровня загрязнения.

Таблица 1. Состояние загрязнения почв тяжелыми металлами в г. Усть-Каменогорске за осенний период 2023 - 2025 гг.

Год (осенний период)	Металл Диапазон по городу (мг/кг)				
	Pb (свинец)	Zn (цинк)	Cu (медь)	Cd (кадмий)	Cr (хром)
2023	40,70 - 1605,8	68,30 - 944,8	0,33 - 44,10	0,55 - 36,10	0,21 - 1,55
2024	16,67 - 222,97	5,26 - 119,5	0,56 - 3,88	0,35 - 3,09	0,15 - 0,75
2025	39,33 - 104,45	26,11 - 45,91	2,39 - 6,49	0,47 - 1,84	0,23 - 0,96

Анализ представленных данных показывает, что в 2023 году наблюдались наиболее высокие концентрации тяжелых металлов. Максимальные значения свинца достигали 1605,8 мг/кг, а цинка – 944,8 мг/кг, что свидетельствует о значительном техногенном воздействии вблизи промышленных зон города. Высокие значения фиксировались преимущественно на территориях, расположенных вблизи предприятий цветной металлургии.

В 2024 году отмечается заметное снижение максимальных концентраций большинства исследуемых элементов. Диапазоны значений свинца и цинка сократились более чем в несколько раз по сравнению с предыдущим годом. Одновременно наблюдается уменьшение концентраций меди, кадмия и хрома, что может свидетельствовать о частичной стабилизации экологической ситуации.

В 2025 году тенденция к снижению уровня загрязнения сохраняется. Диапазоны концентраций тяжелых металлов становятся более узкими, а максимальные значения большинства элементов приближаются к фоновым или умеренно превышенным значениям. Особенно заметно уменьшение концентраций свинца и цинка, которые традиционно являются основными загрязнителями почв в промышленных городах Восточного Казахстана. Несмотря на положительную динамику, в отдельных участках города сохраняются превышения предельно допустимых концентраций тяжелых металлов. Наиболее уязвимыми остаются территории, расположенные на расстоянии 1 - 3 км от крупных промышленных предприятий, где формируются локальные зоны повышенного загрязнения.

Пространственное распределение загрязнения почвенного покрова представлено на рисунке 1.

Картографический анализ показывает, что наиболее высокие уровни загрязнения фиксируются в восточной и северо-восточной частях города, где сосредоточены основные предприятия цветной металлургии.

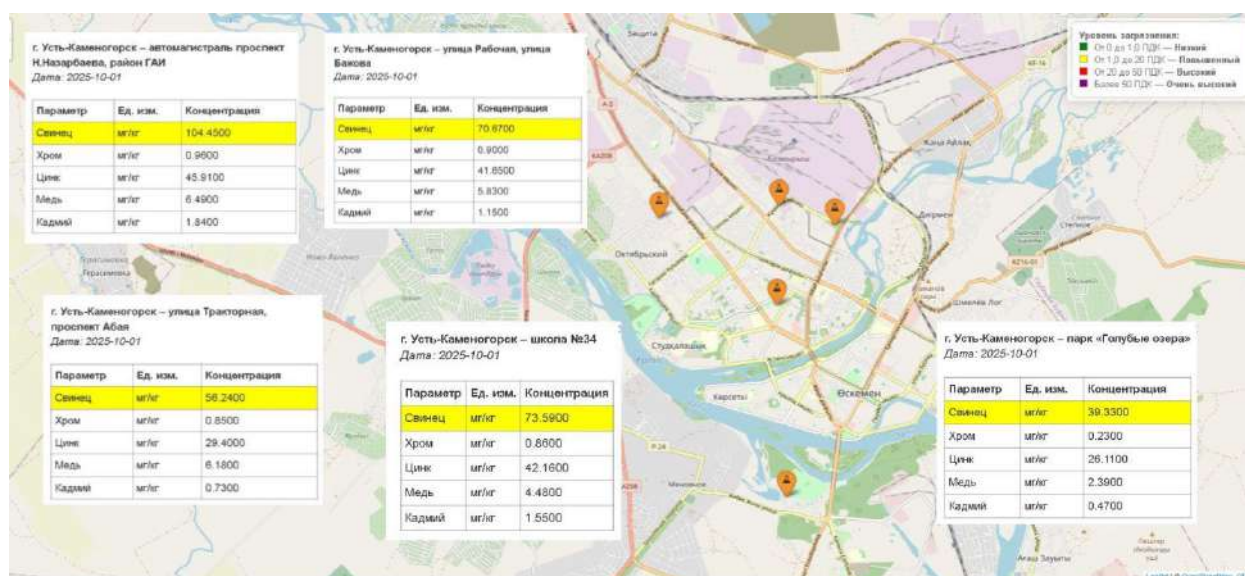


Рисунок 1. Карта распределения загрязнения почв тяжелыми металлами на территории г. Усть-Каменогорска.

Повышенные концентрации тяжелых металлов также наблюдаются в районах, расположенных вдоль долин рек Ульба и Иртыш, что может быть связано с переносом загрязняющих веществ воздушными потоками и поверхностным стоком.

Полученные результаты подтверждают устойчивое влияние промышленного комплекса города на формирование техногенного геохимического фона. Пространственная неоднородность распределения загрязнителей обусловлена сочетанием промышленных выбросов, направлений господствующих ветров и особенностей рельефа территории.

В целом проведенный анализ демонстрирует постепенное снижение уровня загрязнения почвенного покрова в последние годы. Однако сохраняющееся присутствие тяжелых металлов в ряде районов города указывает на необходимость дальнейшего экологического мониторинга и реализации мероприятий по снижению техногенной нагрузки на окружающую среду.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование позволило оценить современное состояние загрязнения почвенного покрова города Усть-Каменогорска тяжелыми металлами на основе данных государственного экологического мониторинга. Анализ материалов РГП «Казгидромет» за осенние периоды 2023 - 2025 годов показал, что наиболее характерными загрязнителями почв городской территории остаются свинец (Pb), цинк (Zn), медь (Cu) и кадмий (Cd), поступающие в окружающую среду в результате длительной деятельности предприятий цветной металлургии и энергетики.

Сравнительный анализ динамики концентраций тяжелых металлов свидетельствует о постепенном снижении максимальных уровней загрязнения в последние годы. Наиболее значительное уменьшение отмечено по свинцу и цинку, которые традиционно формируют основной техногенный фон загрязнения почв в промышленной зоне города. Вместе с тем в отдельных районах сохраняются превышения предельно допустимых концентраций, что указывает на наличие локальных зон повышенной техногенной нагрузки.

Картографический анализ показал выраженную пространственную неоднородность распределения загрязнения. Наиболее высокие концентрации тяжелых металлов фиксируются в районах, расположенных вблизи крупных

промышленных предприятий, а также в восточной и северо-восточной частях города. Распространение загрязняющих веществ связано с особенностями размещения промышленных объектов, направлением господствующих ветров и гидрографической сетью территории.

Полученные результаты подтверждают устойчивое влияние промышленного комплекса Усть-Каменогорска на формирование техногенного геохимического фона почвенного покрова. Несмотря на выявленную тенденцию к снижению уровней загрязнения, сохраняющееся присутствие тяжелых металлов требует продолжения системного экологического мониторинга и реализации мероприятий, направленных на снижение антропогенной нагрузки и восстановление деградированных земель.

Проведенное исследование демонстрирует важность использования данных долгосрочного мониторинга и геоинформационного анализа для оценки состояния урбанизированных территорий и формирования научной основы для принятия природоохранных решений.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: В ходе написания научной статьи применялся искусственный интеллект для редактирования и структурирования текста.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ChatGPT (GPT-5 mini). (2026, февраль 27). Помощь в подготовке текста статьи и перефразировании абзацев [Большая языковая модель]. <https://openai.com/> // ChatGPT (GPT-5 mini). (2026, fevral 27). Pomoshch' v podgotovke teksta stat'i i perefrazirovanii abzatsov [Bolshaya yazykovaya model]. <https://openai.com/>
- Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды по Восточно-Казахстанской области. - РГП «Казгидромет». https://www.kazhydromet.kz/uploads/files_calendar/4142/file/6555fa01786b2vko-byulleten-oktyabr-2023-rus-yaz.pdf // Informatsionnyy byulleten' o sostoyanii okruzhayushchey sredy po Vostochno-Kazakhstanskoy oblasti. - RGP «Kazgidromet». https://www.kazhydromet.kz/uploads/files_calendar/4142/file/6555fa01786b2vko-byulleten-oktyabr-2023-rus-yaz.pdf
- Галямова Г.К. (2012). Химические элементы в почвах г. Усть-Каменогорска. *Юг России: экология, развитие*. № 4. <https://cyberleninka.ru/article/n/himicheskie-elementy-v-pochvah-g-ust-kamenogorska> // Galiamova G.K. (2012). Khimicheskie ehlementy v pochvakh g. Ust'-Kamenogorska. *Yug Rossii: ehkologiya, razvitie*. № 4. <https://cyberleninka.ru/article/n/himicheskie-elementy-v-pochvah-g-ust-kamenogorska>
- Болуспаева Л.С., Панин М. С. (2012). Тяжелые металлы в почвах города Усть-Каменогорска Республики Казахстан. *Сибирский экологический журнал*, 6(2012) 803-810. <https://www.sibran.ru/upload/iblock/8d2/8d246927cb27959f63d4bd03bcd886fe.pdf> // Boluspaeva L.S., Panin M.S. (2012). Tyazhelye metally v pochvakh goroda Ust'-Kamenogorska Respubliki Kazakhstan. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*, 6(2012), 803-810. <https://www.sibran.ru/upload/iblock/8d2/8d246927cb27959f63d4bd03bcd886fe.pdf>

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АНАЛИЗА ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ СООРУЖЕНИЙ БУХТАРМИНСКОГО ШЛЮЗА

УДК 528.4:004.8:627.8

А.А. Кутубаева^{1*}, К.В. Соколов¹, Я.С.Ковалева¹

¹ВКТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан

*Автор-корреспондент: Кутубаева Айслу Амановна, e-mail: aislugeo@gmail.com

АННОТАЦИЯ. Оценка точности периодических геодезических наблюдений за вертикальными и горизонтальными перемещениями гидротехнических сооружений, в частности плотин в Восточно-Казахстанской области, выполняется на основе анализа качества исходной геодезической основы, точности линейно-угловых и высотных измерений, устойчивости опорных пунктов, а также сопоставления результатов текущего и предыдущих циклов наблюдений. В данной статье приведен краткий обзор применения методов искусственного интеллекта для обработки и анализа очередного цикла высокоточных инструментальных наблюдений за вертикальными и горизонтальными перемещениями сооружений Бухтарминского шлюза Бухтарминской ГЭС. Бухтарминский шлюз 4-камерный, с максимальным напором 68,6 м, расположен в скальной выемке правого берега р. Иртыш в 6 км выше г. Серебрянск. Объект введен в эксплуатацию в 1963 г. Основной узел Бухтарминской ГЭС расположен на реке Иртыш, ниже устья реки Бухтарма вблизи города. Бухтарминская ГЭС верхняя в Иртышском каскаде ГЭС. В целом имеющееся накопление данных геодезического мониторинга Бухтарминского шлюза дает возможность для глубокого и детального анализа применяемой методики и средств измерения. Инструменты искусственного интеллекта можно применять для сопоставления результатов разных циклов и оформлять в графическом, табличном и текстовом виде без дополнительного использования программного обеспечения, на основе чего определять достоверность вывода о наличии либо отсутствии деформаций.

Ключевые слова: геодезический мониторинг, геодезия, деформации сооружений, гидротехнические сооружения, искусственный интеллект, Бухтарминский шлюз.

ВВЕДЕНИЕ

Искусственный интеллект покоряет не только пространство соцсетей, но возможно станет отличным инструментом для решения прикладных инженерных задач. Одна из задач прикладной геодезии - геодезический мониторинг за сохранностью пространственного положения плотин, шлюзов, в целом узлов ГЭС.

С точки зрения интерпретации результатов, достоверными следует считать только такие смещения, величина которых превышает суммарную среднюю квадратическую погрешность их определения с учетом принятого критерия надежности. Если вычисленные перемещения соизмеримы с погрешностями измерений, то их следует рассматривать как вероятные и требующие подтверждения в следующих циклах наблюдений. Следовательно, выводы о деформационном состоянии сооружений должны делаться не по единичным отклонениям, а по устойчивой тенденции, подтверждаемой рядом наблюдений.

В целом точность периодических наблюдений определяется не только классом применяемых измерений, но и организацией всего процесса мониторинга: выбором устойчивой исходной основы, соблюдением единой методики, достаточной избыточностью измерений, контролем невязок и корректным уравниванием сети.

Поэтому повышение достоверности результатов связано прежде всего с совершенствованием методики выполнения наблюдений и обработки данных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Геодезические наблюдения за вертикальными и горизонтальными перемещениями сооружений Бухтарминского шлюза в соответствии с пунктом 4.6 требований ГОСТ 24846-2012 «Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений», определение планово-высотного положения деформационных пунктов и марок производится из трилатерации I класса и геометрического нивелирования I и IV класса.

При производстве наблюдений использовались следующие инструменты и оборудование: тахеометр электронный Trimble C5,1", нивелир Trimble DiNi 0.3, рейки инварные LD13, визирные марки и отражатели, жесткие центриры; опорные плиты; рулетка 50 м. Для I класса точности измерений установлены следующие допустимые погрешности измерения деформаций: вертикальных 1 мм; горизонтальных 2 мм. Для IV класса точности измерений установлены следующие допустимые погрешности измерения деформаций: вертикальных 10 мм и горизонтальных 15 мм.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ точности высотных геодезических наблюдений по мнению искусственного интеллекта показывает, что наибольшую достоверность при мониторинге сооружений Бухтарминского шлюза обеспечивает геометрическое нивелирование I класса, применяемое для определения вертикальных перемещений и позволяющее определять вертикальные перемещения с погрешностью порядка ± 1 мм, характеристики методов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики исследуемого оборудования

Вид наблюдений	Назначение	Применяемый метод	Оценка точности	Характер влияния на итоговый результат
Плановое положение опорных пунктов	Обеспечение исходной геодезической основы	Трилатерация / линейно-угловые измерения	Высокая, при условии устойчивости исходных пунктов	Определяет достоверность всех последующих вычислений горизонтальных перемещений
Горизонтальные перемещения контрольных марок	Определение смещений сооружения в плане	Засечки, тахеометрические наблюдения, измерение расстояний и направлений	Достаточная для выявления малых смещений при благоприятной геометрии сети	Существенно зависит от конфигурации сети, длин визирных линий и стабильности опорных пунктов
Высотное положение реперов и марок	Контроль вертикальных перемещений сооружения	Геометрическое нивелирование I класса	Наиболее высокая среди применяемых методов наблюдений	Позволяет выявлять осадки и подъемы с высокой достоверностью
Контроль деформаций по циклам	Сравнение результатов разных периодов наблюдений	Сопоставление координат и отметок по циклам	Зависит от одинаковости методики и условий измерений	При несопоставимости циклов точность оценки деформаций снижается
Связующие высотные измерения	Передача отметок между исходными и контрольными точками	Нивелирование IV класса	Удовлетворительная для вспомогательных и связующих определений	Используется как дополнительный элемент системы контроля, уступает по точности

				нивелированию I класса
Итоговое определение перемещений	Расчет фактических горизонтальных и вертикальных смещений	Разность координат и высот по циклам наблюдений	Достоверно при условии, что смещения превышают погрешность их определения	Требуется обязательная оценка средней квадратической погрешности

В период 2015 - 2021 гг. для ряда марок наблюдается незначительное увеличение положительных значений перемещений, что может быть связано с особенностями работы сооружения и сезонными колебаниями нагрузки. В последнем цикле наблюдений 2021 - 2024 гг. изменения высот носят локальный характер и не имеют устойчивой тенденции.

Таблица 2. Изменение высот контрольных марок Бухтарминского шлюза

Марка	ДН 2011–2015, мм	ДН 2015–2018, мм	ДН 2018–2021, мм	ДН 2021–2024, мм
92	-0.1	0.3	0.0	0.0
94	0.0	0.3	0.3	-0.4
96	-0.3	0.5	0.6	-0.6
98	-0.1	0.5	0.8	0.2
100	0.0	0.4	0.7	0.7
102	-0.2	0.5	0.5	0.0
104	-0.2	0.4	0.6	0.1
106	-0.3	0.5	0.8	0.2
108	-0.4	0.5	1.0	0.4
110	-0.4	0.5	0.9	0.1
112	-0.5	0.3	0.8	0.4
114	-0.5	0.2	0.5	0.6
116	-0.5	0.0	0.5	0.1

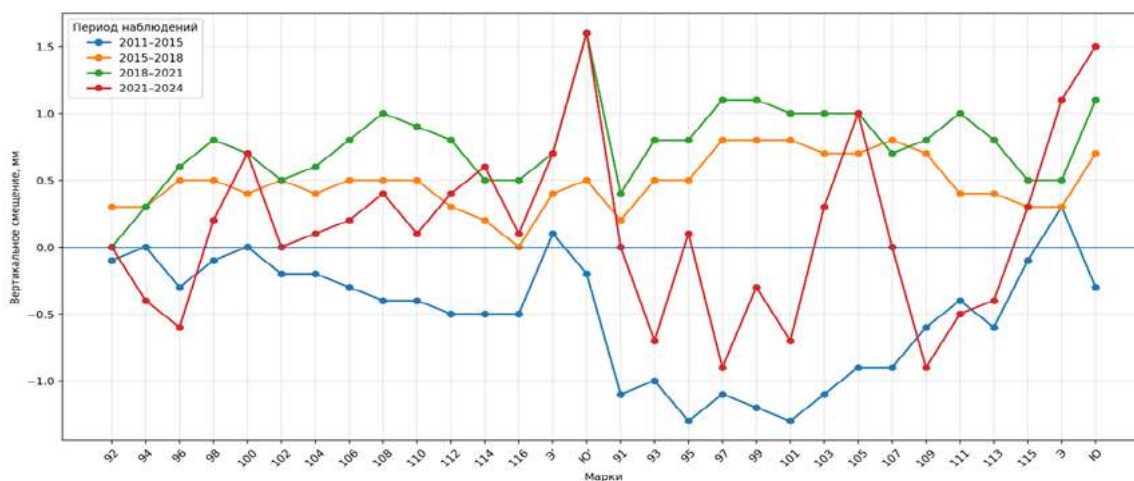


Рисунок 1. Динамика вертикальных смещений марок Бухтарминского шлюза

Анализ изменения высот контрольных марок показывает, что величины вертикальных перемещений в течение всего периода наблюдений имеют незначительный характер и не превышают 1,0 мм. В большинстве случаев значения изменений высот находятся в пределах точности геометрического нивелирования I класса. Таким образом, результаты нивелирования свидетельствуют об отсутствии значительных вертикальных деформаций и подтверждают устойчивое состояние конструкций камеры Бухтарминского шлюза.

Анализ экстремальных значений вертикальных перемещений контрольных марок показывает, что в течение всего периода наблюдений величины смещений остаются незначительными. Наибольшее отрицательное значение перемещения наблюдается в период 2011 - 2015 гг. и составляет - 1,3 мм для марки 95. Максимальное положительное значение фиксируется в период 2018 - 2021 гг. и достигает 1,6 мм для марки Ю'.

В последнем цикле наблюдений 2021–2024 гг. также отмечаются локальные колебания высотных отметок отдельных марок, однако их величина не превышает допустимых значений для геометрического нивелирования I класса. Полученные результаты свидетельствуют об отсутствии опасных вертикальных деформаций и подтверждают устойчивость конструкций камеры Бухтарминского шлюза.

Таблица 3. Максимальные и минимальные вертикальные перемещения марок Бухтарминского шлюза

Период наблюдений	Минимальное перемещение, мм	Марка	Максимальное перемещение, мм	Марка
2011 - 2015	- 1,3	95	0,3	Э
2015 - 2018	0,0	116	0,8	97
2018 - 2021	0,0	92	1,6	Ю'
2021 - 2024	- 0,9	97,109	1,6	Ю'

Анализ средних значений вертикальных перемещений показывает, что в начальный период наблюдений 2011 - 2015 гг. для обеих стенок камеры шлюза фиксируются небольшие отрицательные значения перемещений, что может свидетельствовать о незначительной осадке отдельных элементов конструкции.

В период 2015 - 2021 гг. наблюдается увеличение положительных значений перемещений, что может быть связано с перераспределением напряжений в конструкциях сооружения и изменением гидростатической нагрузки.

В последнем цикле наблюдений 2021 - 2024 гг. значения перемещений стабилизируются и остаются незначительными. Величины смещений находятся в пределах точности геометрического нивелирования I класса и не свидетельствуют о развитии опасных деформационных процессов.

Таблица 4. Средние значения вертикальных перемещений контрольных марок береговой и речной стенок камеры Бухтарминского шлюза

Период наблюдений	Среднее перемещение береговой стенки, мм	Среднее перемещение речной стенки, мм
2011 - 2015	- 0,28	- 0,74
2015 - 2018	0,38	0,54
2018 - 2021	0,62	0,84
2021 - 2024	0,19	- 0,14

Полученные значения горизонтальных перемещений контрольных марок находятся в диапазоне 5,6 - 16,0 мм, что превышает погрешность измерений и может рассматриваться как реальное изменение положения отдельных элементов сооружения. Для повышения достоверности результатов рекомендуется обеспечивать стабильность опорной геодезической сети, увеличивать избыточность измерений и строго соблюдать единую методику выполнения наблюдений в каждом цикле мониторинга.

С целью повышения точности, надежности и сопоставимости результатов периодических геодезических наблюдений рекомендуется выполнить следующие мероприятия.

1. Усиление контроля устойчивости исходной основы: выполнять взаимную проверку опорных пунктов между циклами; исключать из уравнивания пункты, показывающие признаки нестабильности, использовать принцип внешней опорной основы, максимально удаленной от зоны возможных деформаций сооружения.

2. Повышение избыточности измерений: выполнять повторные приемы измерений; предусматривать обратные наблюдения; увеличивать количество связующих измерений между пунктами сети; применять контрольные ходы и замыкания; использовать независимые определения положения наиболее ответственных марок.

Таблица 5. Оценка точности геодезических наблюдений сооружений Бухтарминского шлюза

Вид измерений	Метод наблюдений	Средняя погрешность измерений	Полученные значения перемещений	Оценка точности
Плановое положение опорных пунктов	Трилатерация и тахеометрические измерения	$\pm 1 - 2$ мм	используется для определения координат исходной сети	высокая
Горизонтальные перемещения контрольных марок	Засечки с опорных пунктов	$\pm 3 - 5$ мм	5,6 - 16,0 мм	достаточная для выявления деформаций
Вертикальные перемещения сооружений	Геометрическое нивелирование I класса	± 1 мм	1 - 8 мм	высокая
Передача высот между реперами	Нивелирование IV класса	± 2 мм	используется как связующий элемент сети	удовлетворительная
Определение перемещений по циклам наблюдений	Сравнение координат и отметок	$\pm 3 - 6$ мм	до 16 мм	достоверно при превышении погрешности

3. Оптимизация геометрии сети, при необходимости рекомендуется пересмотреть расположение отдельных пунктов и марок для улучшения геометрии измерений.

4. Стандартизация методики по циклам. Для корректного сравнения результатов во времени необходимо максимально сохранять одинаковые условия выполнения работ. Однако при условии проведения ежегодных тендеров на выполнение обзереваемых работ не всегда наблюдения выполняет одна и та же компания, часто разные исполнители, разные приборы.

5. Улучшение полевой дисциплины измерений: фиксировать метеоданные на момент проведения замеров, тщательно контролировать центрирование и нивелирование приборов, обеспечивать качественную установку отражателей и реек, ограничивать наблюдения при неблагоприятных погодных условиях, выполнять измерения в периоды минимальных температурных градиентов и вибрационных воздействий, соблюдать регламент поверки и юстировки приборов,

6. Совершенствование камеральной обработки: выполнять строгое уравнивание сети, анализировать невязки, остаточные поправки и показатели точности; отдельно оценивать точность определения перемещений по каждому циклу и в разностях между циклами, применять единый критерий оценки значимости смещений,

формировать итоговые выводы только по статистически обоснованным результатам. Желательно, чтобы в отчете приводились не только сами отклонения (уклонения), но и погрешности их определения, что позволяет отделить реальные деформации от шумовой составляющей измерений.

7. Комплексный подход к интерпретации деформаций, применение методов ИИ (изменение уровня воды, температурный режим, технологические нагрузки, сезонные колебания, данные визуальных и инструментальных обследований).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненного анализа геодезических наблюдений за деформациями сооружений Бухтарминского шлюза были исследованы изменения координат и высот контрольных марок по результатам нескольких циклов наблюдений. Полученные данные позволили оценить характер вертикальных перемещений элементов шлюзовой камеры и выявить их динамику во времени.

Построенные ИИ графики динамики перемещений и анализ средних значений смещений береговой и речной стенок камеры шлюза показывают, что в течение рассматриваемого периода наблюдений существенных тенденций развития деформаций не выявлено. Распределение перемещений носит стабильный характер и находится в пределах допустимых значений для гидротехнических сооружений данного типа. Таким образом, выполненные геодезические наблюдения подтверждают устойчивое состояние сооружений Бухтарминского шлюза и демонстрируют эффективность применения современных методов обработки геодезических данных при мониторинге гидротехнических объектов.

Искусственный интеллект вполне применим для обработки избыточных измерений, данных мониторинга и накопленных периодических измерений, при условии качественно выполненных полевых геодезических работ, строгое следование методики измерения деформаций, разработанной для данного конкретного инженерного сооружения.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: при подготовке текста применялись цифровые инструменты обработки информации, в частности ChatGPT (GPT-5,3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

СП РК 1.02-105-2014. Инженерно-геодезические изыскания для строительства, – Астана: Комитет по делам строительства и ЖКХ Республики Казахстан, 2014 // SP RK 1.02-105-2014. Inzhenerno-geodezicheskie izyskaniya dlya stroitel'stva, – Astana: Komitet po delam stroitel'stva i ZHKH Respubliki Kazahstan, 2014

ГОСТ 24846-2012. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений. – Москва: Стандартинформ, 2013 // GOST 24846-2012. Grunty. Metody izmereniya deformatsij osnovanij zdaniy i sooruzhenij. – Moskva: Standartinform, 2013

Ключин, Е.Б., Киселев, М.И., Смирнов, В.А. Инженерная геодезия. – Москва: Академия, 2014 // Klyushin, E.B., Kiselev, M.I., Smirnov, V.A. Inzhenernaya geodeziya. - Moskva: Akademiya, 2014

АНАЛИЗ ВНЕДРЕНИЯ НОВОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ QAZTRF-23 НА СИСТЕМЫ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

УДК 528.9461

Ә.Н. Кезенбаева^{1*}, Б. Апшикур¹

¹ВКТУ им. Д. Серикбаева, г.Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Кезенбаева Әмина Нурланқызы, e-mail: aminakezembayeva02@mail.ru

АННОТАЦИЯ. В статье рассматривается внедрение государственной системы координат QazTRF-23 как ключевого этапа модернизации геодезической и картографической основы Республики Казахстан. Особое внимание уделено переходу от устаревших советских систем координат (СК-42, СК-63 и др.) к современной спутниково-ориентированной референцной системе, обеспечивающей более высокую точность, однородность и совместимость пространственных данных. Показано, что введение QazTRF-23 с 1 января 2025 г. и развитие сети постоянно действующих референцных станций (CORS) создают технологическую основу для интеграции данных GNSS, LiDAR, дистанционного зондирования Земли и традиционных геодезических измерений. Цель исследования заключается в оценке влияния новой системы координат на точность и согласованность пространственных данных, а также в разработке практических рекомендаций по её внедрению. В результате установлено, что переход на QazTRF-23 обеспечивает сантиметровый уровень точности координат при использовании современных спутниковых технологий, повышает согласованность данных кадастра, топографических баз и инженерных сетей. Вместе с тем выявлены ключевые проблемы внедрения: необходимость трансформации больших массивов архивных данных, потребность в подготовке квалифицированных кадров, а также необходимость обновления нормативно-правовой базы. Практическая значимость работы заключается в предложении поэтапной методики миграции данных, внедрении сервисов трансформации и верификации, а также развитии геоидной и высотной основы. Сделан вывод о том, что успешная реализация QazTRF-23 станет фундаментом для цифровизации управления территориями и развития единого геоинформационного пространства Казахстана.

Ключевые слова: QazTRF-23, CORS, геодезическая сеть, пространственные данные, трансформация координат, геоид, национальная инфраструктура пространственных данных.

ВВЕДЕНИЕ

Введение в эксплуатацию государственной системы координат QazTRF-23 и сопутствующей сети постоянно действующих референцных станций (CORS) стало важным шагом в цифровизации пространственных данных Казахстана. С 1 января 2025 г. QazTRF-23 официально введена в промышленную эксплуатацию, что направлено на повышение точности геодезических измерений и унификацию координатной основы для кадастра, строительства, инфраструктурного планирования и оборонных задач.

Цель - провести комплексный анализ влияния внедрения QazTRF-23 на системы пространственных данных Республики Казахстан и выработать практические рекомендации для органов власти, кадастровых служб и пользователей ГИС.

Актуальность исследования продиктована следующими факторами:

1) необходимостью отказа от устаревших советских систем координат (связанных с системами 1942/1940 гг.), которые ограничивают точность и совместимость данных;

2) потребностью в единой, современной системе координат для интеграции данных GNSS, LiDAR, дистанционного зондирования и традиционных геодезических измерений;

3) созданием и эксплуатацией Государственного геопортала и Единой цифровой картографической базы, требующих согласованной привязки данных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В основу исследования положен комплексный подход, объединяющий анализ нормативно-технической документации, научных публикаций и практических кейсов внедрения системы координат QazTRF-23 в Республике Казахстан. В качестве исходных материалов использованы официальные документы государственных органов, регламентирующие параметры новой системы координат, описание сети постоянно действующих референцных станций (CORS), а также методики трансформации координат из ранее применявшихся систем (СК-42, СК-63) в QazTRF-23. Дополнительно привлечены научные статьи, посвящённые международным референцным системам, методам построения геоида и современным GNSS-технологиям.

Методическая база исследования включает несколько взаимосвязанных направлений. Во-первых, применён аналитический метод, позволивший сопоставить характеристики старых и новых систем координат, выявить их преимущества и ограничения. Во-вторых, использованы методы пространственного анализа и преобразования координат и локальные полиномиальные трансформации, применяемые при переводе архивных данных.

Существенную роль сыграли GNSS-методы наблюдений, в том числе технологии RTK (Real-Time Kinematic) и PPP (Precise Point Positioning), позволяющие оценить точность координат в условиях использования сети CORS. Для оценки качества данных применялись статистические методы: анализ среднеквадратических ошибок, выявление систематических смещений, сравнение координат, полученных в разных системах, а также проверка согласованности пространственных данных.

Отдельное внимание уделено кейс-анализу пилотных проектов, связанных с миграцией Единой цифровой картографической базы и внедрением государственных геопорталов. Это позволило не только теоретически оценить процессы трансформации данных, но и выявить реальные организационные и технологические проблемы, возникающие на практике.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведённый анализ показал, что внедрение QazTRF-23 оказывает значительное влияние на все уровни работы с пространственными данными в Казахстане - от полевых измерений до государственных информационных систем.

Прежде всего, отмечается существенное повышение точности координат. Использование сети CORS в сочетании с GNSS-технологиями (RTK и PPP) обеспечивает достижение сантиметровой, а в ряде случаев и миллиметровой точности. Это особенно важно для кадастровых работ, где точность определения границ напрямую влияет на юридическую достоверность данных, а также для строительства и мониторинга инженерных сооружений.

Вторым важным результатом является повышение однородности пространственных данных. Переход на единую систему координат устраняет рассогласования между различными базами данных, ранее возникшие из-за использования разных систем (СК-42, СК-63 и локальных систем). Это упрощает

интеграцию данных в ГИС, способствует развитию межведомственного обмена информацией и повышает эффективность управления территориями.

Вместе с тем выявлены существенные сложности, связанные с трансформацией архивных данных. На практике переход от старых систем координат требует применения сложных моделей преобразования, включающих как глобальные параметры (7-параметрические преобразования), так и локальные поправки (сеточные модели деформаций). При этом качество преобразования зависит от плотности и точности исходных опорных пунктов, что в ряде регионов является ограничивающим фактором. Ошибки трансформации могут достигать дециметрового уровня, особенно в зонах с деформированной геодезической сетью.

Отдельного обсуждения заслуживает влияние внедрения QazTRF-23 на кадастровую систему. С одной стороны, новая система обеспечивает более высокую точность и согласованность границ земельных участков. С другой стороны, переходный период сопровождается рисками возникновения расхождений между ранее зарегистрированными и новыми координатами, что требует разработки чётких правовых механизмов урегулирования таких ситуаций.

В контексте национальной инфраструктуры пространственных данных (NSDI) внедрение QazTRF-23 создаёт основу для формирования единого геоинформационного пространства. Государственные геопорталы и цифровые картографические базы получают возможность работать с унифицированными данными, что открывает перспективы для развития цифровых сервисов, «умных» городов и аналитических платформ. Однако для полноценной реализации этих возможностей необходимы стандартизация метаданных, развитие API-сервисов и обеспечение доступности CORS по всей территории страны.

Таким образом, результаты исследования подтверждают, что внедрение QazTRF-23 является не только техническим, но и организационно-правовым процессом, требующим комплексного подхода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Переход Республики Казахстан на государственную систему координат QazTRF-23 представляет собой закономерный этап развития геодезической отрасли в условиях цифровизации и глобальной интеграции пространственных данных. В отличие от устаревших систем, основанных на классических методах триангуляции, новая система опирается на современные спутниковые технологии и обеспечивает принципиально более высокий уровень точности и согласованности данных.

Проведённое исследование показало, что внедрение QazTRF-23 создаёт прочную основу для развития кадастровых систем, геоинформационных технологий и национальной инфраструктуры пространственных данных. Существенно повышается качество геодезических измерений, упрощается интеграция данных из различных источников, формируются условия для эффективного межведомственного взаимодействия и развития цифровых сервисов.

В то же время переход к новой системе сопровождается рядом серьёзных вызовов. Наиболее значимыми из них являются необходимость трансформации больших массивов архивных данных, обеспечение высокой точности преобразований, подготовка квалифицированных специалистов и адаптация нормативно-правовой базы. Без системного решения этих задач существует риск возникновения ошибок и несогласованности данных в переходный период.

В перспективе дальнейшее развитие QazTRF-23 должно быть связано с уточнением национального геоида, развитием высотной системы (QazVRF), расширением сети CORS и совершенствованием сервисов трансформации координат. Только при условии комплексного подхода новая система координат

сможет в полной мере реализовать свой потенциал и стать фундаментом единого цифрового геопространства Казахстана.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: В ходе написания научной статьи применялся искусственный интеллект для редактирования и структурирования текста.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Gemini 1.5 Flash. (2026, февраль 18). Применение AI в редактировании текста [Большая языковая модель]. Google AI. <https://gemini.google.com/> // Gemini 1.5 Flash. (2026, fevral 18). Primenenie AI v redaktirovanii teksta [Bolshaya yazykovaya model]. Google AI. <https://gemini.google.com/>
- Государственный геопортал (GGO). Описание государственной системы координат Республики Казахстан (QazTRF-23). https://ggo.gov.kz/docs/Opisanie_gos_systemi_ru.pdf // Gosudarstvennyj geoportal (GGO). Opisanie gosudarstvennoj sistemy koordinat Respubliki Kazakhstan (QazTRF-23). https://ggo.gov.kz/docs/Opisanie_gos_systemi_ru.pdf
- Правительство Республики Казахстан. Казахстан создал собственную геодезическую систему координат QazTRF-23. <https://www.gov.kz/memleket/entities/eseppress/news/details/929565?lang=ru> // Pravitel'stvo Respubliki Kazakhstan. Kazakhstan sozdal sobstvennuyu geodezicheskuyu sistemu koordinat QazTRF-23. <https://www.gov.kz/memleket/entities/eseppress/news/details/929565?lang=ru>
- Order of the Government of the Republic of Kazakhstan on terrestrial coordinate basis QazTRF-23 (2023). <https://cis-legislation.com/document.fwx?rgn=148462>
- QazTRF-23. Система координат. Новое поколение (NP.kz). <https://www.np.kz/news/issledovaniya/x/qaz-trf-23-sistema-koordinat> // QazTRF-23. Sistema koordinat. Novoe pokolenie (NP.kz). <https://www.np.kz/news/issledovaniya/x/qaz-trf-23-sistema-koordinat>
- Shoganbekova D. et al. Geoid determination using combined gravity data. - MDPI, 2025. <https://www.mdpi.com/2079-3197/13/11/260>
- Dissertation on implementation of QazTRF-23 and infrastructure. Satbayev University. - https://official.satbayev.university/download/documentPhd/48645/2_Dissertation.pdf
- Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Wasle E. GNSS - Global Navigation Satellite Systems. – Springer, 2008.
- Altamimi Z. et al. ITRF and global reference frames. *Journal of Geodesy*, 2016
- Красовский Ф.Н. Избранные труды по геодезии. – Москва: Геодезиздат, 1953 // Krasovsky, F.N. Izbrannye trudy po geodezii. - Moskva: Geodezizdat, 1953
- Голубев С.В. Высшая геодезия. – М.: Недра, 1972 // Golubev, S.V. Vysshaya geodeziya. - Moskva: Nedra, 1972

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД ВЫШЕ-ИВАНОВСКОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ (ВОСТОЧНЫЙ КАЗАХСТАН)

УДК 553.07

К.Ю. Ларионова^{1,2*}, О.Н. Кузьмина¹, Т.А. Ойцева^{1,2}, Д.Е. Тұрсұнғалиев¹

¹ ВКТУ имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

² ТОО ГЕОС, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Ларионова Ксения Юрьевна, e-mail: ksenya1442@mail.ru

АННОТАЦИЯ. В статье рассматриваются особенности геологического строения и вещественного состава полиметаллических руд Выше-Ивановского рудопроявления. Рудопроявление представлено колчеданно-полиметаллической минерализацией сульфидного типа. Рудоносная зона приурочена к восточному крылу Выше-Ивановской брахиантиклинали и локализована исключительно в пределах переработанных кислых вулканических пород, преимущественно риолитовых альбит-порфирах или, реже - дацитовых порфирах, приуроченных к контакту с терригенными отложениями средне-верхнедевонского возраста. В связи с высоким спросом на медь, свинец и цинк, доизучение полиметаллического объекта становится актуальной задачей.

Ключевые слова: Рудный Алтай, полиметаллы, порфиры, медь, свинец, цинк.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время полиметаллы, такие как медь, свинец и цинк, играют ключевую роль в развитии различных отраслей промышленности, включая высокотехнологичные. Из года в год, спрос на данные виды металлов растет, что обуславливает необходимость открытия новых и доизучения уже известных полиметаллических объектов.

Выше-Ивановское рудопроявление (рисунок 1) географически расположено в пределах Восточно-Казахстанской области, в 20 км на юго-восток от города Риддер, и приурочено к гольцовой зоне высокогорной части хребта, на восточных отрогах горы Выше-Ивановский Белок. Рассматриваемая территория входит в структуру Большого Алтая и представляет собой единицу Рудноалтайской металлогенической зоны [1].



Рисунок 1. Центральная часть Выше-Ивановского рудопроявления с видом на озеро Громотушинское

История Выше-Ивановского рудопроявления начинается с нахождения в 1957

году валунов полиметаллических руд (медь – 5%, свинец – 1%, цинк – 10-40%) в русле р. Перевальной на северном склоне хребта горы Выше-Ивановский Белок. Эта находка стала первым признаком, который послужил отправной точкой для проведения последующих поисковых работ и изучения особенностей различными авторами [2-5].

Основная структура, контролирующая минерализацию Выше-Ивановского рудопрооявления, представлена Громотушинским разломом с северо-южной ориентацией и северо-восточным падением (40-70°), рис. 2. Минерализация контролируется разломом в обоих направлениях, по простиранию и на глубине. Громотушинский разлом можно охарактеризовать как узкую 2-25 м зону сдвига с милонитовой (пластической) деформацией, сдвигающейся в центр, с сильной сланцеватостью и брекчиеватостью на границах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основным методом был систематический анализ геологической документации. Были использованы обширные материалы геологоразведочных и поисково-разведочных работ, проведенных в разные годы на исследуемой территории (Сухарев Н.Г. и др. 1953-1962 г., Есипов А.В. и др. 1975-1978, Стасенко Н.В., Акимова Е.Л. и др. 1983-1988, Олейник Ю.Ф. и др. 200 г.).

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ

Геологическое строение Выше-Ивановского рудопрооявления (рисунок 2) характеризуется сложными структурными особенностями Громотушинской зоны сдвига (или разлома) и изоклинальной антиклинали, развитой на этой структуре. Оно также расположено в стратиграфической контактной зоне вулканогенно-осадочного пласта Ильинской Свиты в западных и терригенных породах Сокольной Свиты. В приконтактную зону проникли субвулканические породы, в основном, кислотные риолиты и промежуточные андезиты, имеющие химическое сходство. Гидротермальное изменение большой интенсивности является типичным для центральной части Громотушинской зоны сдвига, а изменение содержания соответствует наличию сульфидной минерализации.

В геологическом строении рудопрооявления принимают участие 2 основные тектоно-стратиграфические единицы:

Ильинская свита (D_{1-2il}). Свита представляет собой породы изогнутой восточной конечности Громотушинской брахиантиклинали. Вулканогенно-осадочный пласт свиты включает крупные вулканомиктовые туфы и гравелиты. Вулканические составляющие свиты принадлежат андезитам и риолитовым порфирам. Ильинская свита считается породой, вмещающей минерализацию. Риолитовые порфиры, как правило, сильно изменяются гидротермально и имеют ржавый цвет, образовавшийся из-за рассеянного красного железняка.

Сокольная свита (D_{2sk}). Свита включает в себя крупные черные графит-серицитовые сланцы, слюдяные (неразделенные) сланцы и сланцы от известкового алевролита до алевролит-песчаника с переменным окварцеванием. Более мелкие породы относятся к окварцованному песчанику с туфо-песчанными прослойками, потоками туфа и лавы из риолита и риодацита. Нижние разрезы свиты характеризуются полимиктовыми конгломератами и линзами известняка.

Две субъединицы разделены на Сокольную свиту на основе ее стратиграфического положения:

а) терригенно-вулканический нижний пласт является полиметаллической вмещающей породой Выше-Ивановского рудопрооявления. Он делится на две группы. Первая группа состоит из лавы и крупных туфов риолитового состава, переслаивающихся с небольшими риодацитами со слоями песчаника-алевролита, а

местами с линзами из гравелита и известняка. Вторая группа представляет собой, главным образом, туфогенные породы, туфиты и туфы, туфо-песчаники и алевролиты с небольшими линзами из силиcita, окварцованного алевролита и кислого туфита (риолитового состава). Большой объем кислых пород, имеющих химическое сходство с риолитами (риолитовые порфиры, лава и туфы) отсутствуют в этой группе;

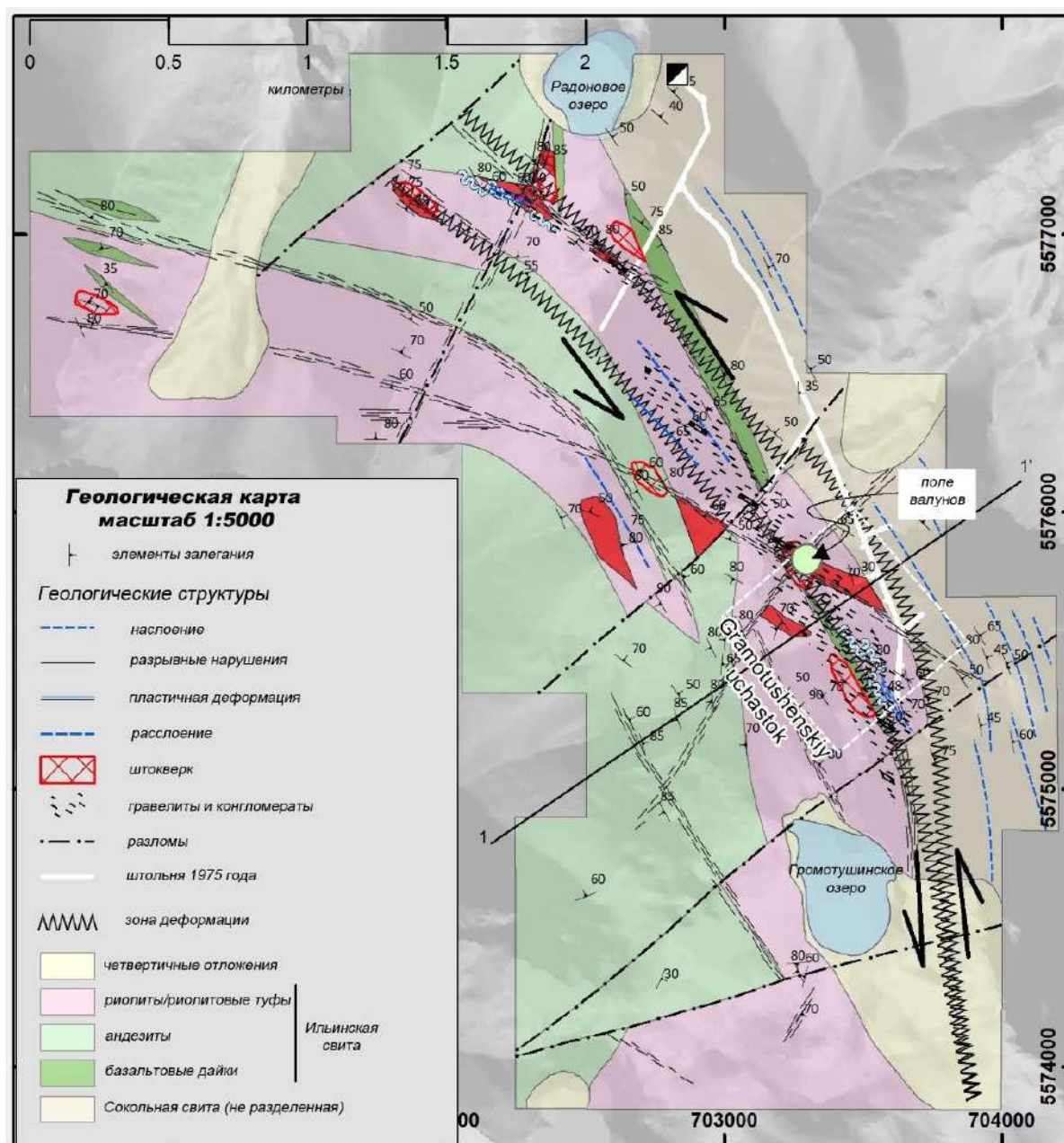


Рисунок 2. Геологическая карта Выше-Ивановского рудопоявления в масштабе 1:5000

б) верхний разрез пласта представляет не минерализованный разрез, состоящий, главным образом, из мощных алевролитовых и известковых тел.

В пределах Выше-Ивановского рудопоявления развиты различные типы горных пород, представленные:

а) Метасоматитами. Можно выделить кварц-серицит-(пиритовое) изменение и кварц-хлорит-серицит-биотит-пиритовую - (эпидот) - (актинолит) ассоциацию

изменений, или метасоматиты. Кварц-серицит-пирит пространственно ассоциируется с основной зоной сдвига, в то время как более поздние метасоматиты ассоциируются с западной стороной основного контакта. Второй тип метасоматитов - это метасоматиты от темно-зеленого до темно-серого с кварц-хлорит-серицит-биотит-пиритовой ассоциацией с ограниченным присутствием эпидота и актинолита. Тем не менее, эти минералы являются более молодыми и не связаны с первичным гидротермальным изменением.

б) Милонитами. Пластическая деформация характерна для пород, расположенных в контактной зоне комплекса горных пород Сокольной и Ильинской свит. Сильный левосторонний сдвиг с горизонтальным характером и только ограниченной вертикальной кинематикой хорошо наблюдается вдоль основной зоны с северо-западной и юго-восточной направленностью в районе Громотушинского участка.

в) Риолитами и горными породами, схожими по кислотному составу. Кислые вулканические породы, включая крупные туфы и незначительные риолитовые порфиры, формируют важную долю Ильинской свиты. Породы, имеющие сходство с кислыми вулканическими породами, можно различить по остаткам плагиоклазовых и кварцевых порфиров, сохранившихся в ассоциации изменений кварц-серицит-пиритовых метасоматитов. Кислые вулканические породы входят в состав разных типов брекчий, либо в виде основной массы с кислым химическим составом, либо в виде пемзового материала, вмещаемого, как правило, в туфовые потоки и породы, такие как игнимбрит.

г) Андезитами и горными породами с промежуточным сходством. Промежуточные породы широко представлены, а вместе с породами, имеющими риолитовое сродство, формируют основную долю центральной части Громотушинского участка, основное звено Ильинской свиты. Они включают различные типы туфитовых пород, от мелкозернистых до среднезернистых андезитовых и порфировых туфов.

Вмещающие породы в различной степени подвергнуты гидротермально-метасоматическим изменениям, играющим важную роль в локализации оруденения. На основе своего минерального состава, оруденение представлено следующими типами минерализации:

1) Основная Pb-Zn минерализация, включая массивную, полумассивную и рассеянную минерализацию;

2) Zn-Pb-Cu полиметаллическая минерализация и массивная медная минерализация;

3) Сульфидно-пиритный тип, так называемый «черно-колчеданные руды».

Минеральный состав Pb-Zn типа - массивные сульфидные линзы сильно изменчивые с основным сфалеритом (35-90%) и галенитом (7-45%), с редким халькопиритом, арсенопиритом и буланжеритом. Очень незначительные безрудные минералы по большей части представлены кварцем и кальцитом. Если присутствует рассеянная минерализация, то она формирует очень тонкие складчатые изгибы, как правило, ориентированные вдоль породной сланцеватости.

Минеральный состав Zn-Pb-Cu массивного полиметаллического типа: сфалерит (20-55%), галенит (<10%), халькопирит (0.5-2%), пирит (5%). Безрудные минералы составляют до 45% от общего объема этого типа минерализации. Текстуры хорошо отделяют этот тип от предыдущего типа массивной свинцово-цинковой минерализации. Полиметаллическая минерализация проявляется по большей части как полосчатые, складчатые зоны множества отдельных слоев, богатых сульфидами, обычно, ориентированных вдоль сланцеватости вмещающих пород.

Сульфидно-пиритный тип (черно-колчеданные породы) состоит из массивной до полумассивной минерализации, обогащенной пиритом (пирит - 50-90%) с

наблюдаемыми переходными мелкозернистыми зонами послойного и/или брекчиеватого характера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выше-Ивановское рудопоявление представляет собой полиметаллический объект массивно-сульфидного типа. Оно характеризуется сложным геологическим строением, включающим рудную зону различного минералогического состава. Основные рудные минералы рудопоявления – сфалерит, галенит, халькопирит, пирит - образуют минерализацию, которая может быть интересна для дальнейшего изучения. В условиях возрастающего спроса на медь, свинец и цинк его исследование и возможное освоение представляют практический интерес.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Щерба Г.Н., Дьячков Б.А., Стучевский Н.И. и др. Большой Алтай: (геология и металлогения). В 3 кн. Кн 1. Геологическое строение. Алматы, Гылым, 1998. 304 с.
- Сухарев Н.Г., Никифоров А.И., Минаев В.Ф. Сводный отчет по Успенско-Карелинской зоне за 1953-1962 гг.
- Есипов А.В., Кабаев П.И., Новиков Г.Н. Отчет о результатах детальных (глубинных) поисков на Выше-Ивановском рудопоявлении за 1975-78 гг.
- Стасенко Н.В., Акимова Е.Л. и др. «Геологическое строение и полезные ископаемые Лениногорского горнорудного р-на.» Отчет Кедровской партии о результатах геологической съемки и доизучения м-ба 1:50000, проведенных в 1983-88 г.г. на участке Лениногорский.
- Малыгин А.А., Стасенко Н.В., Олейник Ю.Ф., Махонина С.А., и др. Отчёт по теме: «Выявление площадей перспективных на колчеданно – полиметаллическое оруденение в пределах Лениногорского рудного района». Усть-Каменогорск, 2000 г.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИТОРЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ СТИМУЛИРОВАНИЯ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН

УДК 631.811.98

С.С. Лутай^{*1}, С.В. Залесов², А.Л. Воробьев¹, А.О. Лутай¹

¹ВКТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

²ФГБОУВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,
г. Екатеринбург, Российская Федерация

*Лутай Сергей Сергеевич, sslutai@mail.ru

АННОТАЦИЯ. Повышение эффективности лесного хозяйства вызывает необходимость увеличения доли искусственного лесовосстановления, а, следовательно, выращивания качественного посадочного материала. Основным способом размножения хвойных и лиственных пород является семенной. Последнее относится и к рассаде при проведении озеленительных работ. Однако значительная часть видов растений характеризуется периодичностью семеношения, что вызывает трудности в обеспечении районированными семенами. Кроме того, нередко семена находятся в состоянии покоя и их прорастание задерживается даже при создании оптимальных экологических условий. Повысить всхожесть семян можно приемами предпосевной обработки. Так, в частности, при обработке семян фиторегуляторами роста, содержащими БАВ, происходит активизация биологических процессов, повышается активность фитогормонов, активизируется синтез ДНК и РНК, деятельность ферментов, что приводит к стимуляции деления, роста и дифференциации клеток.

Ключевые слова: фиторегуляторы, выращивание растений, биологически активные вещества (БАВ), всхожесть семян, энергия прорастания, эффективность.

ВВЕДЕНИЕ

Выполнение работ по озеленению и лесовосстановлению вызывает необходимость в выращивании большого количества качественного посадочного материала древесных и травянистых растений в короткие сроки. Применяемые в настоящее время технологии выращивания посадочного материала не всегда обеспечивают выполнение поставленных задач, что вызывает необходимость внедрения современных достижений науки с использованием при выращивании посадочного материала экологически безопасных средств, в том числе стимуляторов роста.

В качестве последних используются фиторегуляторы, созданные на основе растительного сырья и содержащие в своем составе биологически активные вещества, вызывающие ростостимулирующий эффект в малых и сверхмалых концентрациях.

Одним из направлений повышения всхожести семян и энергии их прорастания является использование биологически активных веществ (БАВ), содержащихся в используемых фиторегуляторах. До последнего времени доминировали синтетические стимуляторы роста растений, которые широко применялись в сельском хозяйстве. В то же время экологически более безопасно и экономически выгодно создавать фиторегуляторы на основе биологического, прежде всего растительного, сырья. Однако работ в данном направлении относительно немного, что сдерживает применение фиторегуляторов при выращивании посадочного материала.

Использование фитостимуляторов позволяет увеличить всхожесть семян, ускоряет их прорастание, способствует ускорению роста посадочного материала и его

лучшей приживаемости при пересадке. Указанное свидетельствует о несомненной актуальности поиска новых составов фитостимуляторов, обеспечивающих максимальный эффект при минимальных трудовых и финансовых затратах.

Проблемой разработки стимуляторов роста растений давно и достаточно успешно занимаются ученые большинства стран мира. В то же время большинство работ посвящено синтетическим стимуляторам, а количество публикаций по применению фиторегуляторов, то есть препаратов на основе биологического сырья, недостаточно, что ограничивает их применение при выращивании посадочного материала для озеленения, лесовосстановления и лесоразведения.

Особо следует отметить, что фиторегуляторы характеризуются избирательным воздействием. Эффективность их существенно различается в зависимости от концентрации, при этом положительное воздействие конкретной концентрации на семена одного вида, может оказать противоположное воздействие на семена другого вида. Последнее вызывает необходимость, несмотря на достаточно обширный перечень фиторегуляторов, разрабатывать их новые виды для повышения эффективности выращивания широкого ассортимента посадочного материала. Кроме того, необходимо разрабатывать способы получения фиторегуляторов, обеспечивающие их низкую себестоимость и доступность. Указанное предопределило направление исследований.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Впервые экспериментально установлена эффективность значительного перечня фиторегуляторов, созданных на основе растительного сырья на всхожесть и энергию прорастания семян. Разработаны способы получения фиторегуляторов из биологического сырья.

В основу работы положен комплексный подход к проведению исследований. В качестве объекта исследований среди травянистых растений была выбрана космея дваждыперистая (*Cosmos bipinnatum* Cav.), среди лиственных древесных видов тополь душистой (*Populus suaveolens* Fisch.), вяз гладкий (*Ulmus laevis* Pall.), дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), клен остролистный (*Acer platanoides* L.), ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.), среди хвойных ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.).

В ходе исследований устанавливалась эффективность различных концентраций фиторегуляторов, содержащих биологически активные вещества (БАВ) на всхожесть и энергию прорастания семян указанных ранее видов растений. При этом были разработаны и получены фиторегуляторы из проростков яровой пшеницы, хвои ели сибирской, их сочетаний, побегов ивы, проростков картофеля клубненосного (*Solanum tuberosum* L.), надземных и подземных частей лопуха большого (*Arctium lappa* L.).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Технология получения фиторегулятора подбиралась с учетом специфики биологического сырья. Так, при использовании проростков картофеля они измельчались на гомогенизаторе до размеров не более 2-3 мм, а затем помещались на 10 суток в рефрижератор, где находились при температуре от 0 до 40С. Затем в измельченные проростки добавлялась дистиллированная вода в соотношении 1:10 и полученный состав кипятился 1 час, после чего фильтровался через ватно-марлевый фильтр и центрифугировался при 3000 об/мин в течение 15 минут. Полученный в результате состав разбавлялся 0,5% раствором формалина, который обеспечивал его консервацию.

Подобные технологии применялись и при получении других фиторегуляторов.

Из травянистых растений, в качестве тестового вида, для изучения влияния

фиторегуляторов разной концентрации была выбрана космея дваждыперистая (*Cosmos bipinnatum* Cav.), широко используемая в озеленении. Для проведения опытов были разработаны и изготовлены следующие фиторегуляторы, содержащие БАВ:

- из проростков яровой пшеницы;
- из проростков яровой пшеницы, законсервированный 0,5% раствором формалина;
- из хвои ели сибирской;
- из проростков яровой пшеницы и хвои ели сибирской (1:1), законсервированный 0,5% раствором формалина;
- из проростков яровой пшеницы и хвои ели сибирской (2:1), законсервированный 0,5% раствором формалина.

Для изучения влияния различных концентраций фиторегулятора на всхожесть и энергию прорастания семян последний разбавлялся дистиллированной водой до следующих концентраций: 1,0; 0,1; 0,01; 0,001 и 0,0001. В растворах данных концентраций замачивались отобранные здоровые вызревшие семена в течение суток. Шестой вариант опыта служил контролем и семена при его проведении замачивались в дистиллированной воде. Семена высевались в грунт и ежедневно устанавливалась их всхожесть путем пересчета проростков. Помимо динамики всхожести семян устанавливалась конечная всхожесть и период времени с момента посева и до завершения появления новых всходов.

Лучшие результаты достигаются при использовании фиторегулятора из проростков яровой пшеницы и проростков яровой пшеницы с 0,5% раствором формалина в концентрации 0,01%, а также при использовании смеси фиторегуляторов из проростков яровой пшеницы и хвои ели сибирской (1:1) с 0,5% раствором формалина в концентрации 0,1%. Использование указанных фиторегуляторов обеспечивает экономию семян на 9-12%, а также ускоряет их прорастание на четверо суток, что очень важно при выращивании рассады.

Обработка семян космеи дваждыперистой путем замачивания в растворах фиторегуляторов разных концентраций оказывает влияние не только на их всхожесть и энергию прорастания, но и на рост растений и их фитомассу в первые 60 суток после посева.

В целом можно отметить, что лучшими показателями роста характеризуются растения космеи дваждыперистой, семена которых были обработаны перед посевом фиторегулятором из проростков яровой пшеницы и хвои ели сибирской (1:1) с 0,5% раствором формалина в концентрации 0,1%. При этом положительное влияние на рост и фитомассу растений космеи дважды перистой оказали другие виды и концентрации фиторегуляторов.

Применение фиторегулятора позволяет на 10-14% сократить расход и на 3-4 суток период прорастания семян указанных древесных видов.

Положительное влияние на всхожесть и энергию прорастания семян ели сибирской оказали фиторегуляторы из проростков картофеля, надземных и подземных частей лопуха большого.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе исследований разработаны, получены и апробированы на семенах травянистых и древесных растений фиторегуляторы роста. Последние созданы на основе проростков яровой пшеницы, хвои ели сибирской, побегов ивы, проростков картофеля, надземных и подземных частей лопуха большого. Экспериментально установлено, что фиторегуляторы, созданные на основе проростков яровой пшеницы, хвои ели сибирской и их сочетания позволяют повысить всхожесть травянистых растений, в частности, космеи дваждыперистой (*Cosmos bipinnatum* Cav.). Последнее

позволяет сократить расход семян на 10-12%. Кроме того, замачивание семян в растворе фиторегулятора обеспечивает сокращение срока прорастания семян, улучшает рост и устойчивость растений.

Последнее способствует увеличению периода цветения космеи дваждыперистой, что особенно важно при создании объектов озеленения.

Для повышения всхожести семян лиственных древесных видов был использован фиторегулятор на основе побегов ивы. Использование указанного фиторегулятора в концентрации 0,01% обеспечило увеличение всхожести семян тополя душистого до 98% при 86% на контроле, вяза гладкого до 98% при 88% на контроле, дуба черешчатого до 98% при 84% на контроле, клена остролистного до 98% при 88% на контроле и ясеня обыкновенного до 98% при 84% на контроле.

Фиторегуляторы на основе проростков картофеля, надземной и подземной частей лопуха большого обеспечили увеличение всхожести семян ели сибирской при концентрации 0,01% до 98-99% при 88% всхожести семян без обработки.

Для производства фиторегуляторов может использоваться доступное растительное сырье, в частности, проростки яровой пшеницы, хвоя ели сибирской, побеги ивы, проростки картофеля, надземные и подземные части лопуха большого.

Технология получения фиторегуляторов характеризуется простотой и может быть реализована на любом лесном питомнике или в селекционно-семеноводческом центре.

Применение фиторегуляторов из проростков яровой пшеницы и хвои ели сибирской, а также их сочетаний в концентрации 0,01% позволяет уменьшить расход семян космеи дваждыперистой на 10% и обеспечить увеличение периода цветения данного вида на объектах озеленения.

Для повышения всхожести и ускорения прорастания семян ели сибирской целесообразно практиковать их замачивание перед посевом в растворе фиторегулятора концентрацией 0,01% из проростков картофеля, надземных и подземных частей лопуха большого. Применение фиторегуляторов роста обеспечивает сокращение расхода семян на 10-12% и срока выращивания посадочного материала.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ: Автор выражает искреннюю благодарность доктору сельскохозяйственных наук, профессору ФГБОУВО «Уральский государственный лесотехнический университет» Залесову Сергею Вениаминовичу и доктору биологических наук, старшему преподавателю НАО ВКТУ им. Д. Серикбаева Воробьеву Александру Львовичу за содействие в проведении исследования, всестороннюю поддержку и ценные консультации в ходе подготовки работы.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: В данной работе инструменты искусственного интеллекта не использовались. Подготовка, анализ и оформление материала осуществлялись автором самостоятельно, без применения технологий генеративного ИИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Alipina, K. Increases of germination of fir-tree seeds with using of modern innovative techniques / K. Alipina, S. Lutay, A. Vorobyov // Materials of International Scientific and Practical Conference «Green economy is the future of humanity». 2014. Part III. P. 745–754.

- Lutay, S. Development of modern ways of increase of germination, dynamics of growth and progress of landscape gardening cultures / S. Lutay, K. Alipina, L. Kalieva // Materials of International Scientific and Practical Conference «Green economy is the future of humanity». 2014. Part III. С. 843–856.
- Lutay, S. Development of the organo-mineral nanobiocompositen for incrustation of seeds of crops / S. Lutay, A. Vorobyov, K. Alipina, A. Lutay // Materials of International Scientific and Practical Conference «Green economy is the future of humanity». 2014. Part III. С. 169–178.
- Безуглова, О.С. Стимуляторы роста / О.С. Безуглова // Удобрения и стимуляторы роста. – Ростов на Дону. 2000. С. 185–218.
- Бунькова, Н.П. Основы фитомониторинга / Н.П. Бунькова, С.В. Залесов, Е.С. Залесова, А.Г. Магасумова, Р.А. Осипенко. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2020. 90 с.
- Воробьев, А.Л., Лутай С.С., Алипина К.Б. Способ получения фиторегулятора продуктивности растений. Патент, 2012. KZ (13) А 4 (11) 26005.
- Воробьев, А.Л., Лутай С.С., Алипина К.Б. Способ получения фиторегулятора продуктивности растений. Патент, 2012. KZ (13) А4 (11) 26006.
- Вакуленко, В.В. Регуляторы роста / В.В. Вакуленко // Защита и карантин растений. 2004. № 1. С. 24–26.
- Лутай, С.С. Влияние фиторегулятора природного происхождения на всхожесть, динамику роста и развития садово-парковых культур / С.С. Лутай, А.Л. Воробьев // Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева. 2013. № 1 (59). С. 72-76.
- Лутай, С.С. Применение фиторегуляторов роста природного происхождения для повышения всхожести семян ели сибирской/ С.С. Лутай, Г.А. Жаирбаева, А.Л. Воробьев, М.С. Данилов, А.О. Лутай // Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева. 2017. № 3 (77). С. 50-55.
- Лутай, С.С. Влияние биологически активных добавок на всхожесть семян / С.С. Лутай // Леса России и хозяйство в них. – 2025. – № 2 (93). – С. 70-77.
- Лутай, С.С. Влияние фиторегулятора из побегов ивы остролистной (*Salix acutifolia* Willd.) на всхожесть семян деревьев лиственных пород / С.С. Лутай, Л.А. Старыгин, С.В. Залесов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2025. – № 7 (157). – URL: <https://research-journal.org/media/articles/19292.pdf>.
- Регуляторы роста растений / Под ред. акад. ВАСХНИЛ В.С. Шевелухи. М.: Агропромиздат, 1990. 135 с.
- Рекомендации по использованию новых экологически чистых биопрепаратов при выращивании посадочного материала хвойных пород в лесных питомниках / А.Р. Родин, Н.Я. Попова, Е.В. Кандыба и др. М.: ВНИИЛМ, 2001. 13 с.
- Филатов, В.П. Тканевая терапия / В.П. Филатов. М., 1948. 350 с.
- Фитогормоны-регуляторы физиологических процессов. М.: МОПИ, 1987. 250 с.
- Шевелуха, В.С. Состояние и перспективы исследований и применения фитогормонов в растениеводстве / В.С. Шевелуха, И.К. Блиновский. М.: Агропромиздат, 1990. С. 6–35.

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ МЕН ЖЕРДІ ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДТАУ ДЕРЕКТЕРІН ГИДРОТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРЫЛЫСТАРДЫҢ ТЕХНИКАЛЫҚ ЖАЙ-КҮЙІН БАҒАЛАУДА ПАЙДАЛАНУ (БҰҚТЫРМА СУ ҚОЙМАСЫ МЫСАЛЫНДА)

ӘОЖ 528.8

М.М. Маралбаев^{1*}, Б. Апшикур¹

¹Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,
Өскемен қ., Қазақстан Республикасы

*Автор-корреспондент: Маралбаев Маді Медетович,
e-mail: maralbaevmadi03@gmail.com

АНДАТПА. Бұл мақалада гидротехникалық құрылыстардың техникалық жай-күйін бағалауда жасанды интеллект және Жерді қашықтықтан зондтау деректерін қолдану мәселелері қарастырылады. Зерттеу нысаны ретінде Бұқтырма су қоймасы алынды. Су деңгейінің динамикасы, жағалау сызығының өзгерісі және ықтимал деформация аймақтары спутниктік деректер арқылы талданды. Sentinel және Landsat материалдары пайдаланылды. Конволюциялық нейрондық желілер мен уақыттық қатарларды болжау модельдері қолданылды. Нәтижесінде қауіпті аймақтарды автоматты анықтау мүмкіндігі дәлелденді. Әдіс мониторинг тиімділігін арттырады. Төтенше жағдайлардың алдын алуға ықпал етеді. Ұсынылған тәсіл гидротехникалық қауіпсіздікті қамтамасыз етуге бағытталған.

Түйінді сөздер: Жерді қашықтықтан зондтау, гидротехникалық құрылыстар, Бұқтырма су қоймасы, спутниктік деректер, конволюциялық нейрондық желілер, гидротехникалық қауіпсіздік.

КІРІСПЕ

Гидротехникалық құрылыстар - су ресурстарын реттеу, электр энергиясын өндіру және су тасқынын болдырмау мақсатында салынатын стратегиялық нысандар. Олардың техникалық жай-күйін тұрақты бақылау аймақтық қауіпсіздіктің негізгі шарты болып табылады. Бұқтырма су қоймасы – Ертіс өзенінде орналасқан ірі су қоймаларының бірі және Қазақстан энергетикалық жүйесінде маңызды орын алады. Климаттың өзгеруі, су деңгейінің ауытқуы және антропогендік жүктеме гидротехникалық нысандарға қосымша тәуекелдер туындатады. Дәстүрлі инженерлік бақылау әдістері көбіне нүктелік өлшеулерге негізделеді және кең аумақты толық қамти алмайды. Осыған байланысты Жерді қашықтықтан зондтау деректері мен жасанды интеллект технологияларын біріктіре қолдану жаңа мүмкіндіктер ашады. Спутниктік мониторинг үлкен аумақтарды жүйелі бақылауға мүмкіндік берсе, машиналық оқыту алгоритмдері алынған деректерді жедел өңдеп, ықтимал қауіпті аймақтарды автоматты түрде анықтай алады. Сондықтан аталған зерттеу гидротехникалық қауіпсіздікті цифрлық технологиялар негізінде қамтамасыз етуге бағытталған (Jensen J.R., 2016).

Су ресурстарын тиімді басқару және гидротехникалық құрылыстардың қауіпсіздігін қамтамасыз ету қазіргі заманғы инженерлік ғылымның маңызды бағыттарының бірі болып табылады. Қазақстан аумағында орналасқан ірі су шаруашылығы нысандарының ішінде Бұқтырма су қоймасы ерекше стратегиялық маңызға ие. Аталған су қоймасы Серебрянск қаласына жақын орналасқан және Бұқтырма ГЭС жүйесінің негізгі бөлігі болып саналады. Су қоймасы энергетикалық, ирригациялық және экологиялық функцияларды қатар атқарады. Сондықтан оның техникалық жай-күйін тұрақты бақылау - өңірлік қауіпсіздіктің басты шарттарының бірі.

Дәстүрлі мониторинг әдістері көбінесе далалық өлшеулерге, геодезиялық

түсірілімдерге және визуалды тексерулерге негізделеді. Алайда бұл тәсілдер кең аумақты қамтуда уақыт пен қаржылық шығындарды талап етеді. Осыған байланысты Жерді қашықтықтан зондтау (ЖҚЗ) деректері мен жасанды интеллект (ЖИ) технологияларын біріктіріп қолдану гидротехникалық нысандарды бағалаудың заманауи әрі тиімді әдісі ретінде қарастырылады (Lillesand T., Kiefer R., Chipman, J., 2015).

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Зерттеу барысында көпмақалды деректерді салыстырмалы талдау әдісі қолданылды. Алдымен 2010 - 2024 жылдар аралығындағы спутниктік суреттер архиві жинақталды. Оптикалық суреттер атмосфералық түзетуден өткізілді. Бұлттылық деңгейі 10%-дан жоғары кадрлар талдаудан алынып тасталды. Геометриялық түзету арқылы барлық суреттер бірыңғай координаттық жүйеге келтірілді.

Су айдынын автоматты бөлу үшін спектралдық индекстер есептелді. NDWI индексі су мен құрлық арасындағы шекараны нақтылауға мүмкіндік берді. MNDWI көрсеткіші лайлану деңгейін бағалауға қолданылды. Жағалау белдеуіндегі өсімдік күйін анықтау үшін NDVI индексі есептелді. Ылғалдылықты бағалау мақсатында NDMI индексі пайдаланылды (Richards J.A., 2013).

Су деңгейінің өзгерісін сандық бағалау үшін растрлық айырма әдісі қолданылды. Әр жылдағы су айдыны ауданы векторлық форматқа ауыстырылды. Кейін көпжылдық динамика графиктері құрылды.

Радиолокациялық деректерді өңдеу барысында фазалық айырма әдісі қолданылды. Интерферограммалар сүзгіден өткізілді. Шу деңгейін төмендету үшін Goldstein фильтрі пайдаланылды. Орташа жылдық деформация жылдамдығы есептелді. Деформациялық карталар жіктелді.

Жасанды интеллект модельдерін оқыту үшін таңбаланған деректер жиыны құрылды. Қауіпті және тұрақты аймақтар бөлек кластарға бөлінді. Деректер 70% оқыту, 15% валидация және 15% тест жиындарына бөлінді. Random Forest алгоритмі 200 шешім ағашымен бапталды. Нейрондық желі бірнеше жасырын қабаттан тұрды. ReLU активация функциясы қолданылды.

Модель сапасын бағалау үшін дәлдік (accuracy), сезімталдық (recall) және F1-мера есептелді. ROC қисығы тұрғызылды. Қате жіктелген пиксельдер кеңістіктік талдаудан өтті. Нәтижелер далалық бақылау деректерімен салыстырылды [4].

Бұл типтегі карталарда:

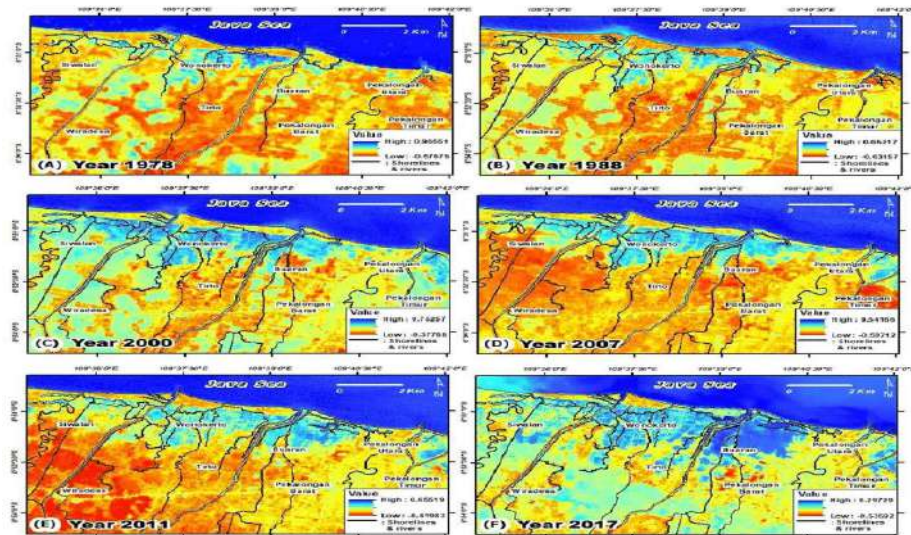
- NDWI (Normalized Difference Water Index) су мен құрлық арасындағы шекараны анықтайды;

- MNDWI лайлану мен су айдынының нақты шекарасын жақсы көрсетеді.

Мұндай карталар су қоймасы ауданының жылдар бойынша өзгерісін талдау үшін қолданылады (сурет 1).

Геоақпараттық талдау барысында буферлік аймақтар құрылды. Бөгеттен 500 м және 1 км радиустағы аумақтар жеке зерттелді. Эрозиялық қауіпті аймақтар беткей еңістігіне байланысты сараланды. Сандық биіктік моделі пайдаланылды [5].

Сонымен қатар климаттық факторлар да ескерілді. Жауын-шашын мөлшері мен температура динамикасы талданды. Су қоймасына келетін ағын көлемі статистикалық әдіспен бағаланды. Корреляциялық талдау су деңгейі мен климаттық көрсеткіштер арасындағы байланысты анықтады.



Сурет 1. Спутниктік суреттер арқылы су айдынын анықтау (NDWI / MNDWI)

Барлық есептеулер автоматтандырылған скрипттер арқылы орындалды. Нәтижелер геодеректер базасында сақталды. Кеңістіктік дәлдік орташа есеппен 10 - 15 метрді құрады.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Көпжылдық талдау су айдыны ауданының тұрақты емес динамикасын көрсетті. Құрғақ жылдары су деңгейінің айтарлықтай төмендеуі тіркелді. Су тасқыны кезеңінде айдын ауданы орта есеппен 3 - 4% артқан. Жағалау сызығының өзгерісі әсіресе таяз учаскелерде байқалды. Кейбір секторларда эрозия қарқыны жоғары болды. Жағалау белдеуіндегі өсімдік жамылғысының сиреуі анықталды. Бұл құбылыс су деңгейінің тұрақсыздығымен байланысты екені байқалды. InSAR нәтижелері бөгет маңында баяу вертикаль шөгудің бар екенін көрсетті. Орташа жылдық деформация 2 - 4 мм шамасында болды. Кейбір локальды аймақтарда 6 мм-ге дейін жеткен мәндер тіркелді. Бұл көрсеткіштер шекті деңгейден аспағанымен, тұрақты мониторингті талап етеді. Жасанды интеллект модельдері қауіпті аймақтарды жоғары дәлдікпен анықтады. Random Forest алгоритмінің дәлдігі 0.89 болды. Нейрондық желінің дәлдігі 0.92 көрсеткішіне жетті. F1-мера 0.90 деңгейінде анықталды (Breiman L., 2001; Goodfellow I., Bengio Y., Courville A., 2016).

Қауіпті аймақтар көбіне су деңгейінің күрт ауытқуы байқалатын секторларда шоғырланған. Эрозия мен микродеформация арасында кеңістіктік байланыс бар екені анықталды. Корреляция коэффициенті 0.67 болды. Жағалау ығысуының ең жоғары көрсеткіші оңтүстік-батыс бөлікте тіркелді. Бұл аймақта топырақтың механикалық құрамы әлсіз екені белгілі. Су толқыны әсерінен шөгінді процестер күшейген. Климаттық факторлар да айтарлықтай ықпал еткен. Жауын-шашын мөлшерінің азаюы су деңгейінің төмендеуіне әсер еткен. Температураның көтерілуі булануды арттырған. ЖИ негізіндегі болжау моделі алдағы 5 жылда жағалау өзгерісінің жалғасу ықтималдығын көрсетті. Қауіпті аймақтардың ауданы 8 - 10% артуы мүмкін екені болжанды. Жалпы алғанда, алынған нәтижелер Бұқтырма су қоймасы аумағында цифрлық мониторинг жүйесін енгізудің қажеттілігін дәлелдейді. ЖҚЗ мен ЖИ технологиялары гидротехникалық құрылыстардың техникалық жай-күйін жедел әрі дәл бағалауға мүмкіндік береді. Бұл тәсіл апаттық тәуекелдерді төмендетуге ықпал етеді. Сонымен қатар басқарушылық шешім қабылдауды ғылыми негіздеуге жағдай жасайды. Цифрлық мониторинг жүйесі тұрақты дамудың маңызды құралы болып табылады (Schowengerdt R.A., 2007).

Кесте 1. 2015 - 2025 жж. аралығындағы негізгі көрсеткіштер динамикасы

Көрсеткіш	2015 ж.	2020 ж.	2025 ж.
Су айдыны ауданы (км²)	5490	5525	5478
Орташа су деңгейі (м)	395	398	393
Жағалау ығысуы (м)	10	18	20
Деформация ықтималдығы (%)	5	8	11

ҚОРЫТЫНДЫ

Жүргізілген зерттеу жасанды интеллект технологиялары мен Жерді қашықтықтан зондтау деректерін біріктіріп қолдану гидротехникалық құрылыстардың техникалық жай-күйін бағалауда жоғары тиімділікке ие екенін көрсетті. Бұқтырма су қоймасы мысалында жүргізілген талдау кеңістіктік және уақыттық өзгерістерді кешенді бағалауға мүмкіндік берді.

Зерттеу нәтижелері су айдыны ауданының маусымдық және көпжылдық динамикасын анықтауға жағдай жасады. Жағалау сызығының ығысуы мен эрозиялық процестер нақты сандық көрсеткіштермен дәлелденді. Радиолокациялық интерферометрия әдісі бөгет маңындағы микродеформацияларды миллиметрлік дәлдікпен тіркеуге мүмкіндік берді. Бұл гидротехникалық құрылыстың ұзақ мерзімді тұрақтылығын бағалауда маңызды рөл атқарады.

Жасанды интеллект алгоритмдері қауіпті аймақтарды автоматты түрде анықтап, сараптамалық бағалаудың жеделдігін арттырды. Модельдердің жоғары дәлдігі цифрлық мониторинг жүйесін енгізудің тиімді екенін көрсетті. Дәстүрлі далалық бақылаумен салыстырғанда, ЖҚЗ және ЖИ тәсілдері уақыт пен қаржыны үнемдейді, сонымен қатар кең аумақты қамтиды.

Зерттеу барысында климаттық факторлардың су деңгейі динамикасына әсері де ескерілді. Су ресурстарының өзгеруі жағалау тұрақтылығына және инженерлік қауіпсіздікке тікелей ықпал ететіні анықталды. Бұл нәтижелер болашақта болжамдық модельдер құруға негіз болады.

Жалпы алғанда, цифрлық геоақпараттық талдау мен машиналық оқыту әдістері гидротехникалық құрылыстардың сенімділігін бағалауда стратегиялық құралға айналууда. Мұндай технологияларды жүйелі енгізу су шаруашылығы нысандарының қауіпсіздігін қамтамасыз етіп, апаттық тәуекелдерді төмендетуге мүмкіндік береді.

Болашақ зерттеулер жоғары айырымдылықтағы деректерді, дрондық түсірілімдерді және терең оқыту модельдерін кеңінен қолдануға бағытталуы тиіс. Сонымен қатар автоматтандырылған ерте ескерту жүйесін қалыптастыру маңызды болып табылады [9,10].

МҮДДЕЛЕР ҚАРАМА-ҚАЙШЫЛЫҒЫ: «Жасанды интеллект технологиялары мен Жерді қашықтықтан зондтау деректерін гидротехникалық құрылыстардың техникалық жай-күйін бағалауда пайдалану (Бұқтырма су қоймасы мысалында)» атты ғылыми жұмысты дайындау барысында қандай да бір қаржылық, коммерциялық немесе жеке мүдделер қақтығысының жоқ екенін ресми түрде мәлімдейді.

Зерттеу нәтижелеріне әсер етуі мүмкін үшінші тараптардың ықпалы болған жоқ. Автор(лар) ғылыми зерттеудің объективтілігі мен тәуелсіздігін толық сақтағанын растайды. Барлық алынған нәтижелер мен қорытындылар тек ғылыми деректер мен талдауларға негізделген.

ҚАРЖЫЛАНДЫРУ: Аталған ғылыми зерттеу жұмысы сыртқы қаржылық қолдаусыз жүзеге асырылды және автор(лар)дың жеке ғылыми-зерттеу қызметі аясында орындалды.

Зерттеу барысында мемлекеттік органдардан, жеке ұйымдардан немесе коммерциялық құрылымдардан арнайы гранттар мен қаржылай қолдау алынған жоқ.

АЛҒЫС БІЛДІРУ: Автор(лар) зерттеу жұмысының орындалуына үлес қосқан барлық тұлғаларға шынайы алғысын білдіреді.

Атап айтқанда, зерттеу барысында әдістемелік және ғылыми кеңес берген әріптестерге, сондай-ақ Жерді қашықтықтан зондтау деректерін ұсынған ұйымдар мен мамандарға ерекше ризашылық білдіріледі.

Сонымен қатар, гидротехникалық құрылыстардың жай-күйін бағалау барысында пайдаланылған ақпараттық және техникалық ресурстарды қамтамасыз еткен мекемелерге алғыс айтылады.

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ҚОЛДАНУ ТУРАЛЫ ХАБАРЛАМА: Осы ғылыми жұмысты орындау барысында жасанды интеллект технологиялары көмекші құрал ретінде пайдаланылды. Атап айтқанда, мәтінді құрылымдау, ғылыми стильде редакциялау, терминологиялық дәлдікті арттыру және тілдік қателерді түзету мақсатында ChatGPT жүйесінің мүмкіндіктері қолданылды.

Жасанды интеллект құралдары зерттеудің негізгі ғылыми мазмұнын қалыптастыруда шешуші рөл атқарған жоқ. Жұмыстың теориялық негіздері, әдістемелік тәсілдері, есептеулер мен талдаулар автордың жеке ғылыми ізденісі мен өңдеуі нәтижесінде орындалды. Сонымен қатар, Жерді қашықтықтан зондтау деректерін өңдеу, талдау және гидротехникалық құрылыстардың техникалық жай-күйін бағалау барысында қолданылған әдістер мен алынған нәтижелер автор тарапынан дербес түрде жүзеге асырылды.

Жасанды интеллект тек ақпаратты жүйелеу, мәтінді сауатты рәсімдеу және ғылыми баяндау сапасын арттыру мақсатында пайдаланылды. Барлық деректердің дұрыстығы, ғылыми тұжырымдар мен қорытындылар үшін толық жауапкершілік авторға тиесілі.

ӨДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Jensen, J.R. Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective. - Pearson Education, 2016. <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/remote-sensing-of-theenvironment/P200000003088>
- Lillesand, T., Kiefer, R., Chipman, J. Remote Sensing and Image Interpretation. - Wiley, 2015. <https://www.wiley.com/en-us/Remote+Sensing+and+Image+Interpretation%2C+7th+Edition-p-9781118343289>
- Richards, J.A. Remote Sensing Digital Image Analysis. - Springer, 2013. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-30062-2>
- ESA. Sentinel-1 User Guide. - European Space Agency, 2023. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar>
- ESA. Sentinel-2 User Handbook. - European Space Agency, 2023. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi>
- Breiman, L. Random Forests // Machine Learning. - 2001. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1010933404324>
- Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. Deep Learning. - MIT Press, 2016. <https://www.deeplearningbook.org/>
- Schowengerdt, R.A. Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing. - Academic Press, 2007. <https://www.sciencedirect.com/book/9780123694072/remote-sensing>
- Hanssen, R. Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis. - Springer, 2001. <https://link.springer.com/book/10.1007/0-306-47633-9>
- Қазақстан Республикасының Су кодексі. - Астана, 2023. <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/K030000481> // Qazaqstan Respublikasynyñ Su kodeksı. - Astana, 2023. <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/K030000481>

ҚАЛАЛАРДАҒЫ АУА ЛАСТАНУЫН БАҚЫЛАУДА ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТТІ ҚОЛДАНУ

ӘОҚ: 004.8:504.06

Н.Р. Махсудова¹, Ж.Қ. Нұролда¹, Д.Н. Нұрлан¹, Б.М. Толыкбаева^{1*}

¹Д.Серікбаев атындағы ШҚТУ, Өскемен қ., Қазақстан

*Автор-корреспондент: Толыкбаева Бинур Маратовна,

e-mail: tolykbayeva.binur@mail.ru

АННОТАЦИЯ: Бұл мақалада қалалық ортадағы ауа ластануын бақылау мен талдауда жасанды интеллектті технологияларды қолдану мәселелері қарастырылады. Қазіргі таңда урбанизацияның қарқынды дамуы атмосфералық ауаның сапасына кері әсерін тигізуде. Осыған байланысты, ауа сапасын нақты уақыт режимінде бақылау, деректерді өңдеу және ластану деңгейін болжау маңызды міндеттердің бірі болып табылады. Жұмыста машиналық оқыту әдістері мен интеллектуалды жүйелерді пайдалану арқылы экологиялық мониторингтің тиімділігін арттыру жолдары талданады. Сонымен қатар, сенсорлық құрылғылардан алынған үлкен көлемдегі деректерді өңдеу ерекшеліктері мен жасанды интеллекттің қоршаған ортаны қорғаудағы рөлі қарастырылады.

Түйінді сөздер: Жасанды интеллект, ауа ластануы, экологиялық мониторинг, машиналық оқыту, деректерді өңдеу, ақылды қала, атмосфера, болжам жасау.

КІРІСПЕ

Қазіргі заманда қалалардың қарқынды дамуы экологиялық мәселелердің күрделенуіне әкеліп отыр. Урбанизация үдерісінің күшеюі, халық санының өсуі және өндірістің дамуы атмосфераға бөлінетін зиянды заттардың мөлшерін арттырды. Соның салдарынан көптеген ірі қалаларда ауа сапасы төмендеп, бұл жағдай адам денсаулығына және табиғи ортаға үлкен қауіп төндіруде.

Ауа ластануы бүгінгі таңда тек экологиялық мәселе ғана емес, сонымен қатар әлеуметтік және экономикалық мәселе ретінде қарастырылады. Ластанған ауа адамның тыныс алу жүйесіне кері әсер етіп, түрлі аурулардың пайда болуына себеп болады. Дүниежүзілік зерттеулерге сәйкес, атмосфераның ластануы жүрек-қан тамырлары ауруларының, аллергиялық реакциялардың және өкпе ауруларының көбеюіне ықпал етеді.

Сондықтан қалалардағы ауа сапасын тұрақты бақылау және оны жақсарту қазіргі қоғамның маңызды міндеттерінің бірі болып табылады. Соңғы жылдары бұл бағытта цифрлық технологиялар белсенді түрде қолданылып келеді. Соның ішінде жасанды интеллект технологиялары ерекше назар аудартады. Бұл технология үлкен көлемдегі ақпаратты өңдеп, экологиялық жағдайды талдауға және болашақтағы өзгерістерді болжауға мүмкіндік береді.

Жасанды интеллектті пайдалану қалалардағы экологиялық мониторинг жүйесін тиімдірек ұйымдастыруға көмектеседі. Ол ауадағы ластанушы заттардың деңгейін анықтап қана қоймай, олардың таралу себептерін талдап, алдын алу шараларын ұсынуға мүмкіндік береді.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Қалалардағы ауа ластануының негізгі себептері

Қалалардағы ауа ластануы көптеген факторлардың әсерінен қалыптасады. Ең басты себептердің бірі – көлік құралдарының көбеюі. Автокөліктер жанармай жағу барысында атмосфераға көмірқышқыл газы, азот оксидтері және ұсақ қатты

бөлшектер сияқты зиянды заттарды шығарады. Үлкен қалаларда көлік қозғалысы өте қарқынды болғандықтан, бұл фактор ауа сапасына айтарлықтай әсер етеді.

Екінші маңызды себеп – өнеркәсіптік өндіріс. Зауыттар мен фабрикалар өндіріс барысында әртүрлі химиялық заттарды атмосфераға шығарады. Кейбір өндірістерде қолданылатын отын түрлері де қоршаған ортаға үлкен зиян келтіруі мүмкін. Егер экологиялық талаптар сақталмаса, бұл жағдай қалалардың экологиялық ахуалын одан әрі нашарлатады.

Үшінші фактор – энергия өндіру жүйесі. Көптеген елдерде электр энергиясын өндіру үшін көмір, мұнай немесе газ сияқты отын түрлері пайдаланылады. Мұндай отындарды жағу кезінде атмосфераға көптеген зиянды газдар бөлінеді. Бұл газдар атмосферада жиналып, ауа сапасының төмендеуіне алып келеді.

Сонымен қатар құрылыс жұмыстары, тұрмыстық қалдықтарды жағу, ауыл шаруашылығы және табиғи факторлар да ауа ластануына әсер етеді. Мысалы, құрғақ климат жағдайында шаң-тозаң көп көтеріліп, атмосферадағы қатты бөлшектердің мөлшері артады.

Осы факторлардың барлығы бірігіп, қалалардағы экологиялық жағдайды күрделендіреді. Сондықтан ауа сапасын бақылау және ластану деңгейін азайту үшін тиімді технологияларды қолдану қажет.

Жасанды интеллекттің мәні мен ерекшеліктері

Жасанды интеллект – бұл компьютерлік жүйелердің адамға тән ойлау, талдау және шешім қабылдау қабілеттерін модельдейтін технологиялар жиынтығы. Бұл технология ақпаратты талдауға, белгілі бір заңдылықтарды анықтауға және алынған деректер негізінде болжам жасауға мүмкіндік береді.

Жасанды интеллекттің маңызды ерекшеліктерінің бірі – үлкен көлемдегі деректермен жұмыс істеу қабілеті. Қазіргі қалаларда ауа сапасын өлшейтін көптеген сенсорлар мен бақылау станциялары жұмыс істейді. Олар ауадағы зиянды заттардың мөлшері туралы тәулік бойы мәліметтер жинайды. Мұндай деректерді қолмен талдау өте қиын. Ал жасанды интеллект алгоритмдері бұл ақпаратты жылдам өңдеп, нақты нәтижелер береді.

Тағы бір маңызды ерекшелік – үйрену қабілеті. Машиналық оқыту әдістері арқылы жүйе өткен деректерді талдап, уақыт өте келе өз жұмысын жетілдіре алады. Бұл мүмкіндік ауа сапасының өзгерістерін дәл болжауға көмектеседі.

Сонымен қатар жасанды интеллект күрделі процестерді модельдеуге мүмкіндік береді. Мысалы, ауа райының өзгеруі, көлік қозғалысы және өндірістік белсенділік сияқты факторлардың ауа сапасына қалай әсер ететінін есептеуге болады.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Ауа сапасын бақылауда жасанды интеллектті қолдану

Жасанды интеллект технологиялары қалалардағы ауа сапасын бақылауда кеңінен қолданыла бастады. Ең алдымен ол экологиялық мониторинг жүйелерін жетілдіруге мүмкіндік береді. Қаланың әртүрлі бөліктерінде орналасқан сенсорлар ауадағы зиянды заттардың мөлшерін өлшейді. Ал жасанды интеллект бұл деректерді бір орталықта жинап, талдайды.

Мұндай жүйелер нақты уақыт режимінде жұмыс істей алады. Яғни қала тұрғындары мен мамандар ауа сапасының қазіргі жағдайы туралы жедел ақпарат ала алады. Бұл деректер экологиялық жағдайды бақылауға және тиісті шараларды уақытында қабылдауға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар жасанды интеллект ластану көздерін анықтауға көмектеседі. Кейде ауадағы зиянды заттардың нақты қайдан шыққанын анықтау қиын болады. Ал алгоритмдер әртүрлі факторларды салыстырып, негізгі себептерді анықтай алады.

Тағы бір маңызды бағыт – болжау жасау. Жасанды интеллект ауа райы жағдайын, көлік қозғалысын және өндірістік белсенділікті талдай отырып, болашақта

ауа сапасының қалай өзгередінін алдын ала анықтай алады. Егер ластану деңгейі жоғары болуы мүмкін екені белгілі болса, қала билігі алдын ала шектеу шараларын енгізе алады.

Жасанды интеллектті қолданудың артықшылықтары

Жасанды интеллектті қолданудың көптеген артықшылықтары бар. Біріншіден, бұл технология деректерді өте жылдам өңдей алады. Қалаларда жиналатын ақпарат көлемі өте үлкен болғандықтан, бұл мүмкіндік ерекше маңызды.

Екіншіден, жасанды интеллект талдаудың жоғары дәлдігін қамтамасыз етеді. Алгоритмдер көптеген факторларды бір уақытта ескеріп, нақты нәтижелер береді. Бұл экологиялық мониторинг жүйесінің тиімділігін арттырады.

Үшіншіден, жасанды интеллект басқару процестерін автоматтандыруға мүмкіндік береді. Мысалы, көлік қозғалысын реттеу немесе өндіріс орындарының жұмыс режимін өзгерту сияқты шешімдерді автоматты түрде ұсынуға болады.

Тағы бір артықшылық – ұзақ мерзімді жоспарлау мүмкіндігі. Жасанды интеллект болашақтағы экологиялық жағдайды болжауға көмектеседі. Бұл қалаларды тұрақты дамыту стратегиясын қалыптастыруда маңызды рөл атқарады.

Қиындықтар мен болашақ перспективалар

Жасанды интеллектті қолданудың көптеген артықшылықтары болғанымен, белгілі бір қиындықтар да бар. Ең алдымен бұл технологияны енгізу үшін айтарлықтай қаржы қажет. Сенсорлар орнату, деректерді сақтау және өңдеу жүйелерін құру белгілі бір инвестицияны талап етеді.

Екінші мәселе – деректердің сапасы. Егер жиналған ақпарат толық немесе дәл болмаса, жасанды интеллекттің талдау нәтижелері де дұрыс болмайды. Сондықтан сенімді мониторинг жүйесін қалыптастыру өте маңызды.

Сонымен қатар бұл салада білікті мамандардың жеткіліксіздігі де байқалады. Жасанды интеллект жүйелерін әзірлеу және қолдану үшін арнайы білім мен тәжірибе қажет.

Болашақта жасанды интеллект технологиялары одан әрі дамып, экологиялық мониторингтің негізгі құралдарының біріне айналады деп күтілуде. Ақылды қалалар тұжырымдамасы кең таралып, барлық экологиялық бақылау жүйелері цифрлық платформа арқылы біріктірілуі мүмкін.

ҚОРЫТЫНДЫ

Қорытындылай келе, қалалардағы ауа ластануы қазіргі қоғам алдында тұрған маңызды экологиялық мәселелердің бірі болып табылады. Бұл мәселе адам денсаулығына, табиғи ортаға және экономикалық дамуға кері әсер етеді.

Жасанды интеллект технологиялары ауа сапасын бақылау, ластану көздерін анықтау және болашақтағы өзгерістерді болжау сияқты маңызды міндеттерді орындауға мүмкіндік береді. Бұл технология үлкен көлемдегі деректерді өңдеп, экологиялық жағдайды тиімді басқаруға көмектеседі.

Сондықтан жасанды интеллектті экологиялық мониторинг жүйелеріне енгізу қалалардың тұрақты дамуын қамтамасыз етудің маңызды бағыттарының бірі болып саналады. Болашақта бұл технологиялар қалалардағы өмір сапасын жақсартып, тұрғындар үшін қауіпсіз әрі таза орта қалыптастыруға үлкен үлес қосады.

МҮДДЕЛЕР ҚАРАМА-ҚАЙШЫЛЫҒЫ: Авторлар мүдделер қарама-қайшылығының жоқтығын мәлімдейді.

АЛҒЫС БІЛДІРУ: Тақырып таңдауда және де материал іздестіруде ғылыми бағыт берген жетекшіге білдіріледі

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ҚОЛДАНУ ТУРАЛЫ ХАБАРЛАМА:

Осы мақаланы дайындау барысында мәтінді өңдеу және фактологиялық ақпаратты тексеру үшін жасанды интеллект құралдары пайдаланылды. Ғылыми мазмұнды құру және қорытындыларды тұжырымдау авторлар тарапынан дербес орындалды. DeepSeek. (2026, 27 ақпан). Ғылыми мақаланы өңдеуге көмек [Үлкен тілдік модель]. DeepSeek.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- С.Сейфуллин және т.б. Экология негіздері.- Алматы:Білім, 2015
- Ә.Бейсенова. Қазақстанның экологиялық жағдайы.- Алматы:Ғылым, 2012.
- Ж.Жатқанбаев. Экология және тұрақты даму.- Алматы,2018.
- Pokkuluri, K. S., et al. (2025). Disaster management based on biodiversity conservation. Remote Sensing in Earth Systems Sciences, 8(2), 112-128. <https://link.springer.com/journal/41976>
- Программа ООН по окружающей среде. (2025). Frontiers 2025. ЮНЕП. <https://www.unep.org/resources/frontiers-2025-weight-time>
- Всемирная метеорологическая организация. (2024). Атлас смертности от экстремальных погодных явлений. ВМО. <https://public.wmo.int/>
- МГТУ им. Баумана. (2025). Автономные системы экологического мониторинга для Арктики. Вестник МГТУ, 28(4), 112-121. <https://vestnikbmstu.ru>
- Министерство экологии и природных ресурсов Республики Казахстан. (2025). Отчет о цифровизации и внедрении искусственного интеллекта. Астана. <https://www.gov.kz/memleket/entities/ecogeo>
- РГП "Казгидромет". (2025). Развитие системы прогнозирования загрязнения воздуха. Алматы. <https://kazhydromet.kz/>
- Акимат Усть-Каменогорска. (2025). Экологический мониторинг с применением машинного обучения. Усть-Каменогорск. <https://www.gov.kz/memleket/entities/vko-oskemen>

ҚАЛБА АЛТЫН КЕН ОРНЫ (ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН) МЫСАЛЫНДА ГЕОЛОГИЯЛЫҚ БАРЛАУ ЦИКЛІН ЦИФРЛЫҚ ТРАНСФОРМАЦИЯЛАУ

ӘОЖ 550.8.05

**Ш.Т. Мұрат¹, Ж.Қ. Әбжанов¹, Ә.Б. Амантаев¹, Г.С. Сыпайнова^{1*},
И.Е. Матайбаева¹**

¹Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

*Корреспондент-автор: Сыпайнова Гульден Сейтхановна, e-mail:

GSypainova@edu.ektu.kz

АННОТАЦИЯ. Зерттеу жұмысының мақсаты – Шығыс Қазақстандағы Қалба алтын кен орны мысалында геологиялық барлау үдерісін дәстүрлі әдістерден жоғары технологиялық цифрлық экожүйеге көшірудің тиімділігін ғылыми тұрғыдан негіздеу, сондай-ақ заманауи деректерді интеллектуалды талдау әдістерін енгізу арқылы геологиялық тәуекелдерді азайту және қорларды бағалау дәлдігі мен сенімділігін арттыру. Зерттеу әдіснамасы дәстүрлі далалық зерттеулер мен жоғары дәлдікті цифрлық модельдеу технологияларының терең конвергенциясына негізделген. Жұмыста архивтік қор материалдарын векторизациялау әдістері, метасоматизм аймақтарын карталауға арналған қысқа толқынды инфрақызыл диапазондағы (SWIR) деректерді алгоритмдік дешифрлау, сондай-ақ мамандандырылған бағдарламалық қамтамасыз ету (Micromine, Leapfrog) ортасында геостатистикалық интерполяция (кригинг) әдістері қолданылды. Бастапқы құжаттаманы біріздендірілген цифрлық үлгілер арқылы формализациялауға ерекше назар аударылды, бұл есептіліктің KAZRC ұлттық стандарттарына сәйкестігін қамтамасыз етеді. Жұмыстың негізгі нәтижелері әртүрлі деректерді бірыңғай ГАЗ (геоақпараттық жүйе) ортасына біріктіру кен орнын «цифрлық егіз» түрінде қалыптастыруға мүмкіндік беретінін көрсетеді, бұл дәстүрлі карталармен салыстырғанда детальдылығы мен объективтілігі жоғары. Автоматтандырылған талдау төрттік жамылғы астындағы жасырын минералдану векторларын анықтап, кенденген құрылымдардың кеңістіктік геометриясын нақтылады. Ғылыми жаңалығы мен практикалық маңыздылығы – камеральдық кезеңнің тиімділігін 30%-ға арттыруға және артық бұрғылау жұмыстарына жұмсалатын шығындарды едәуір қысқартуға мүмкіндік беретін алгоритмдерді әзірлеуде. Зерттеу нәтижелері геологиялық ақпаратты құрылымдалған цифрлық активке айналдыру Қазақстанның кен орындарының халықаралық нарықтағы инвестициялық тартымдылығын арттырудың негізгі шарты екенін дәлелдейді.

Түйінді сөздер: Геологиялық барлау жұмыстарын (ГБЖ) цифрлық трансформациялау, Қалба–Нарын террейні, 3D-модельдеу, KAZRC стандарттары, SWIR спектралдық талдауы, алтын кен жүйелері.

КІРІСПЕ

Қазақстан Республикасының минералдық-шикізат базасының дамуының қазіргі кезеңі күрделі құрылымды және тереңде орналасқан асыл металдар кен орындарын игеруге көшуімен сипатталады. Осы тұрғыда Қалба учаскесі (Шығыс Қазақстан облысы) перспективалы нысан болып табылады, оны зерттеу геологиялық барлаудың дәстүрлі әдістері мен озық цифрлық технологияларды интеграциялауды талап етеді.

Осы жұмыс геологиялық барлау жұмыстарының (ГБЖ) цифрландыруының тиімділігін негіздеуге және 2017–2019 жж. деректері негізінде алтын кен жүйесінің кешенді динамикалық моделін құруға бағытталған [1].

Зерттеудің өзектілігі C_1 және C_2 санаттарындағы қорларды бағалау сенімділігін арттыру қажеттілігімен байланысты. Осы мақсатқа жету үшін жұмыста керннің толық

іріктелуімен жүргізілген колонкалық бұрғылаудың тығыз желісінің нәтижелері талданды. Мұндай тәсіл терең горизонттардағы кен денелерінің морфологиясын нақтылауға ғана емес, сонымен қатар цифрлық болжамдық модельдерді верификациялау үшін қажетті егжей-тегжейлі зертханалық-технологиялық деректер массивін қалыптастыруға мүмкіндік берді [2].

Әсіресе көпфакторлы сынамалауға ерекше назар аударылды. Зерттеу аясында керндік және ойықтық сынамалау деректері, сондай-ақ кендердің физика-механикалық қасиеттерін анықтау нәтижелері жүйелендірілді. Зертханалардың ISO/IEC 17025:2005 стандарттары бойынша аккредитациясымен расталған бастапқы деректердің жоғары сапасы кейінгі математикалық модельдеу кезінде жүйелі қателіктерді болдырмауға мүмкіндік берді [3].

Жұмыстың әдіснамасы геофизикалық аномалияларды далалық маршруттар барысында верификациялауды интерактивті **ГАЖ (геоақпараттық жүйе)** ортасында кейінгі камеральдық өңдеумен үйлестіреді. Негізгі инновациялық әсер әртүрлі геологиялық-геофизикалық параметрлерді біріктіретін бірыңғай цифрлық деректер базасын құруда жатыр. Өзірленген талдау алгоритмі мыналарды қамтиды:

1. Алтын кен жүйелерінің эталондық модельдері негізінде ақпараттық іздеу белгілерін таңдау.

2. Әрбір белгінің салмағын және оның қорытынды болжамға әсер ету аясын математикалық тұрғыдан анықтау.

3. Растрлық деректерді буферлеу және қабаттап қосу әдістері арқылы перспективалықтың болжамдық картасын құру.

Мұндай тәсіл геологиялық кеңістікті 3D форматта визуализациялауға, минералданудың жасырын заңдылықтарын анықтауға және артық далалық шығындарсыз іздеу стратегиясын жедел түзетуге мүмкіндік береді. Нәтижесінде, Қалба учаскесінің деректерін цифрлық трансформациялау өңірдің алтын кен әлеуетін игерудің экономикалық тиімділігін арттырудағы шешуші фактор ретінде қарастырылады [4–6].

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Қалба учаскесін зерттеу әдіснамасы дәстүрлі геологиялық ізденістер мен «Цифрлық Қазақстан» мемлекеттік бағдарламасының стратегиялық бағыттарының терең конвергенциясына негізделеді, бұл кен орнын статикалық «қағаз» модельдерден динамикалық «цифрлық егіз» (Digital Twin) тұжырымдамасына көшуін қамтамасыз етеді. Жұмыстың негізі әртекті деректер массивтерін интеграциялау болды, оның ішінде кеңестік кезеңнің ретроспективті қор материалдарын графикалық планшеттерді пайдалана отырып жоғары дәлдікпен векторизациялау және оларды қазіргі колонкалық бұрғылау мен жерүсті геофизикасы нәтижелерімен кейіннен верификациялау қарастырылды. Мұндай тәсіл тарихи кен көріністерін қазіргі аналитикалық деректермен сәйкестендіруге мүмкіндік беріп, елдің шикізат секторын цифрландыру шеңберінде жоғары дәлдікті математикалық модельдеудің негізін қалаушы бірыңғай цифрлық экожүйені қалыптастыруға жағдай жасайды.

Камералдық зерттеу циклі кәсіби бағдарламалық стек (Micromine және Leapfrog деңгейінде) қолдану арқылы жүзеге асырылды, оның аясында геостатистикалық талдау негізгі орын алады. Кригинг алгоритмдері мен вариограмма талдауын пайдалану бұрғылау аралық кеңістікте алтын құрамын объективті интерполяциялауға мүмкіндік беріп, кен денелерін контурлау кезінде белгісіздіктерді айтарлықтай азайтты. Воксельдік блоктық модельдеу әдістерін енгізу минералдану морфологиясын егжей-тегжейлі 3D форматта визуализациялауға және нақты уақыт режимінде горизонттарды виртуалды «қиюға» мүмкіндік берді, бұл дәстүрлі қолмен талдау әдістері кезінде мүмкін емес.

Жұмыстың маңызды әдіснамалық аспектісі — Қазақстанның KAZRC жария

есептілік кодексі регламенттерін қатаң сақтау. Бақылаудың ішкі сапа жүйесін (QA/QC) барлық кезеңдерде — кернді құжаттаудан бастап деректер базасын қалыптастыруға дейін — қолдану бастапқы ақпараттың ашықтығы мен сенімділігін қамтамасыз етеді. Құрылған цифрлық модельдің CRIRSCO халықаралық стандарттар тобының талаптарына сәйкестігі зерттеу нәтижелерін сыртқы аудит үшін верификацияланатын етеді, бұл Шығыс Қазақстан нысандарының әлемдік нарықтағы инвестициялық тартымдылығын бағалау үшін аса маңызды.

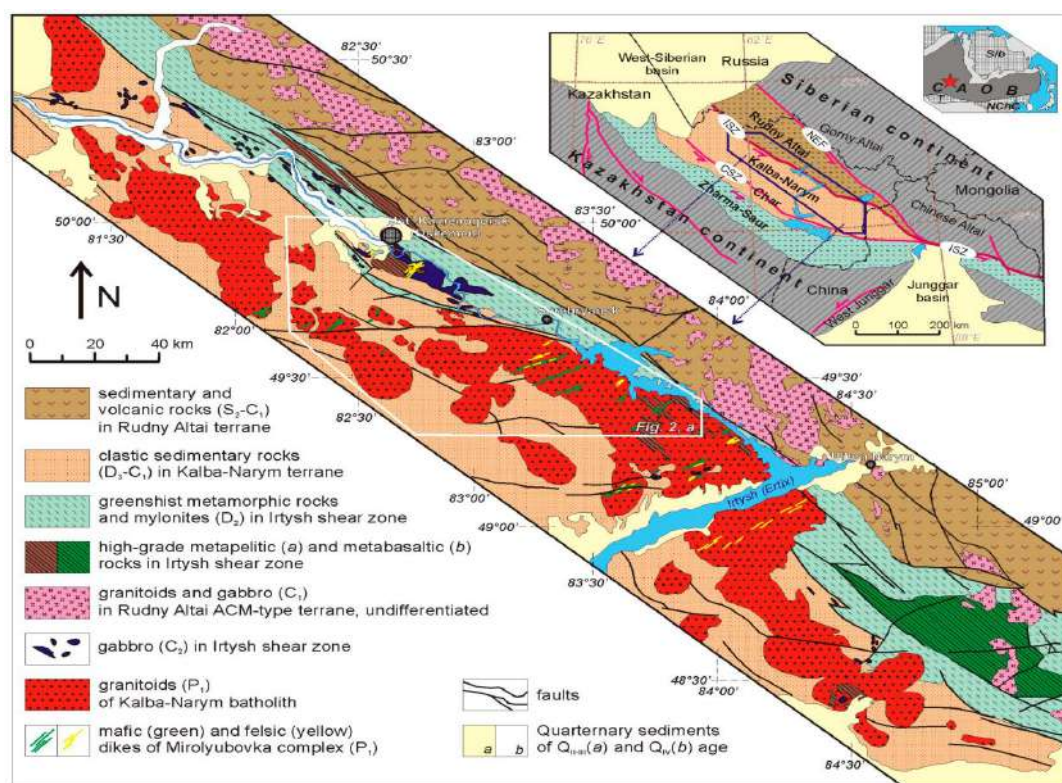
Әдіснамалық аппарат ISO 14001 және ISO 45001 стандарттарын сақтау арқылы экологиялық және өндірістік суверенитет қағидаттарын интеграциялаумен аяқталады. Тау-кен және бұрғылау жұмыстарын цифрлық жоспарлау логистикалық тізбектерді оңтайландырып қана қоймай, Қалба өңірінің экожүйелеріне техногендік жүктемені азайтуға мүмкіндік береді және «Safety First» басым қағидатын іске асырады.

Осылайша, ұсынылған әдістеме геологиялық зерттеу үдерісін іргелі геологиялық деректерді интеллектуалды талдаудың (Data Mining) озық алгоритмдерін ұштастыратын жоғары технологиялық интеллектуалды жүйеге айналдырады.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Қалба–Нарын аймағының геологиялық-құрылымдық негізін талдау (1-сурет) террейннің айтарлықтай кеңістіктік біркелкі еместігін анықтады, бұл аталған өңірді жоғары дәлдікті цифрлық модельдеу әдістерін апробациялауға арналған репрезентативті полигон ретінде қарастыруға мүмкіндік береді.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы геологиялық деректерді автоматтандырылған дешифрлеу алгоритмдерін әзірлеу және енгізу болып табылады, бұл картографиялық материалдарды субъективті визуалды интерпретациялаудан заттық құрам мен кенденген құрылымдардың кеңістіктік геометриясын объективті сандық талдауға көшуін қамтамасыз етеді. Бұл сараптамалық қателіктерді азайтуға және саланы цифрлық трансформациялау аясында болжамдық модельдердің сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді [7].



Сурет 1. Қалба–Нарын террейнінің геологиялық-құрылымдық сызбасы және литологиялық бақылауы

Ұсынылған геологиялық-құрылымдық сызбаға сәйкес (1-сурет), зерттелетін аймақ Қалба–Нарын батолитінің (P_1) басымдығымен сипатталады, ол палеозойлық шөгінді қабаттарды (D_3 – C_1) жарып өтеді. Осы деректерді цифрлық форматта өңдеуге көшу дәстүрлі екі өлшемді картографиялаудың іргелі шектеулерін еңсеруге мүмкіндік береді.

Атап айтқанда, контактілерді алгоритмдік дискретизациялау лейкограниттердің интрузивтік фацияларын және оларды қоршаған кластикалық жыныстарды жоғары дәлдікпен ажыратуға мүмкіндік береді, бұл сирек металды минералданудың кеңістікте орналасуын анықтау үшін аса маңызды. Спектралдық арналарды талдау кезінде математикалық операторларды қолдану Миролюбовка дайкалық кешені (P_1) сияқты ұсақ құрылымдық элементтерді анықтауға мүмкіндік береді, олар әдетте карталарды қолмен генерализациялау кезінде еленбей қалады, бірақ террейннің эндогендік белсенділік кезеңдерінің негізгі индикаторы болып табылады.

Цифрлық трансформацияның маңызды аспектілерінің бірі – қысқа толқынды инфрақызыл диапазонда (SWIR) деректерді физика-математикалық әдістермен өңдеу. Бұл тәсілдің ғылыми жаңалығы – есептелген спектралдық индекстерді алунит, пироксилит және серициттің эталондық зертханалық сіңіру спектрлерімен автоматтандырылған салыстыру болып табылады. Бұл тәсіл стандартты геологиялық планшеттерде әдетте жіктелмеген топтарға біріктірілетін Ертіс сығылу аймағы (D_2 милониттері) бойындағы метасоматикалық өзгеріс аймақтарын егжей-тегжейлі картаға түсіруге мүмкіндік береді. Осылайша, цифрлық талдау метапелиттік кешендердегі минералданудың жасырын векторларын анықтайды, олар визуалды әдіс арқылы анықталмайды [8].

Жарықшақтар желісі бойынша векторланған деректерді бірыңғай ГАЗ (геоақпараттық жүйе) ортасына интеграциялау статикалық картографиялық негізді динамикалық аналитикалық жүйеге айналдырады. Спектралдық аномалия аймақтарын тектоникалық бұзылымдармен синтездеу кернеу өрістерін және кен денелерінің морфологиясын анықтайтын ығысу кинематикасын қайта қалпына келтіруге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, алгоритмдік өңдеу төрттік шөгінділер жамылғысы (Q_{II-IV}) астындағы батолит шекараларын автоматты түрде бөліп көрсетуге жағдай жасайды, іс жүзінде негізді борпылдақ шөгінділерден «виртуалды тазарту» әдісін жүзеге асырады.

Қазақстан Республикасының жер қойнауын геологиялық зерттеудің қазіргі кезеңі дескриптивтік құжаттамадан бірыңғай цифрлық үлгілерді жасауға сапалы көшуді талап етеді. Бұл жүйе ЭЕМ-де автоматтандырылған өңдеуге және ГАЗ (геоақпараттық жүйе) қосымшаларына үздіксіз интеграциялауға бейімделген тау жыныстары мен кендерді кодтаудың формалданған моделі болып табылады. Деректер базасының репрезентативтілігін қамтамасыз ету үшін цифрлық макет құрылымы ақпараттық блоктардың негізгі жиынтығын қамтиды: ұңғыма сағасының координаттары, биіктік белгілері және кеңістікте денелерді дәл орналастыруға арналған инклинометриялық деректерді қамтитын кеңістіктік тіркеу параметрлері (Collar & Survey); ұңғымалардың конструкциясын және керннің шығуын тіркейтін технологиялық блок (Hole Diameter & Recovery); және жыныстардың литологиялық айырмашылықтарын, түсі мен құрылымын кодтауға негізделген геологиялық бөлім (Lithology).

Құрылатын электрондық деректер базасы геофизикалық бақылаулардың, литогеохимиялық түсірілімдердің нәтижелерін және каротаждың цифрлық диаграммаларын жинақтап, көпфакторлы ақпараттық орта қалыптастырады. Мұндай тәсілдің практикалық маңыздылығы деректерді арнайы бағдарламалық қамтамасыз етуге (Micromine, Leapfrog, Oasis Montaj) жедел импорттауда көрінеді. Кен орындарының «тірі» цифрлық егіздеріне көшу геологиялық барлау жұмыстарын тиімді басқаруға ғана емес, сонымен қатар камералдық өңдеуге жұмсалатын уақыт пен еңбек

шығындарын айтарлықтай оңтайландыруға мүмкіндік береді, бұл 1-кестедегі көрсеткіштерде айқын көрініс тапқан.

Қалба учаскесінде деректерді өңдеудің цифрлық алгоритмін енгізу уақыттық және еңбек шығындарын ұзақ мерзімді стратегиялық артықшылыққа айналдыруға мүмкіндік береді. Бұл тәсілдің негізгі ғылыми-практикалық артықшылықтары, ең алдымен, субъективті геологиялық тәуекелдерді барынша азайту болып табылады.

Литоология мен минералдануды формалданған сипаттау үшін қатаң цифрлық кодтарды («цифрлық үлгі») қолдану бастапқы деректерді әртүрлі мамандардың еркін интерпретациялауын толық жояды, деректер базасының бірізділігі мен жоғары дәлдігін қамтамасыз етеді. Болжамдық зерттеулердің дәлдігі іздеу белгілерінің математикалық салмақ коэффициенттері негізінде құрылған перспективалылықтың динамикалық карталарын жасау есебінен айтарлықтай артады. Бұл барлау желісін негізсіз тығыздатуға қосымша шығындарсыз, егжей-тегжейлі геологиялық барлау жұмыстарын жүргізу үшін учаскелерді жоғары сенімділікпен локализациялауға мүмкіндік береді.

Кесте 1. Геологиялық барлау жұмыстары (ГБЖ) цикліне цифрлық технологияларды енгізудің еңбек шығындарының жиынтық көрсеткіштері және болжамды тиімділігі

Жұмыс кезеңі	Негізгі процестер	Көлемі (адам-күн)	Күтілетін нәтиже
Дайындық кезеңі	Архивтерді векторизациялау, бірыңғай деректер базасын және цифрлық үлгілерді құру	530	3D модельдеу үшін негіз қалыптастыру; қолмен енгізу қателіктерін болдырмау
Ағымдағы камералдық кезең	Кернді цифрлық кодтау, қималар мен жоспарларды жедел құру	495	Бұрғылау жұмыстарын басқарудың жеделдігін арттыру; деректерді автоматты түрде байланыстыру
Аналитикалық кезең	Micromine бағдарламасында 3D модельдеу, қорларды есептеу, болжамдық карталар жасау	120	Алтын кен жүйелерін визуализациялау; жасырын минералдануды жоғары дәлдікпен болжау
ЖАЛПЫ	Камералдық өңдеудің кешенді циклі	1145	ГБЖ сапасының 30%-ға артуы және KAZRC стандарттарына сәйкестік

Маңызды фактор – нысанның инвестициялық тартымдылығын арттыру. Деректер базасын халықаралық бағдарламалық кешендермен (Micromine, Leapfrog) толық үйлесімді форматтарда дайындау есептіліктің ұлттық KAZRC стандарттарына сәйкестігін қамтамасыз етеді. Қазақстан Республикасының тау-кен секторында бұл минералдық шикізаттың әлемдік нарығына сәтті интеграцияланудың шешуші шарты болып табылады.

1-кестеге сәйкес 530 адам-күннен асатын тарихи материалдарды векторизациялау және цифрландыруға арналған бастапқы елеулі инвестицияларға қарамастан, кейінгі «тірі» интерактивті модельді пайдалану терең экономикалық оңтайландыруды қамтамасыз етеді. Ретроспективті талдау жүргізу және геологиялық гипотезаларды виртуалды тексеру мүмкіндігі қымбат қайталама далалық жұмыстарға

қажеттілікті азайтып, жинақталған ақпаратты жоғары болжамдық әлеуеті бар активке айналдырады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Дәстүрлі геологиялық негізді SWIR диапазонындағы спектралдық талдау нәтижелерімен интеграциялау Қалба–Нарын батолитінің және оған іргелес сығылу аймақтарының шекараларын объективті түрде нақтылауға мүмкіндік берді. Метасоматизм аймақтарын (алуниттену, серициттену) автоматтандырылған дешифрлеу классикалық карталаумен салыстырғанда детальдылығы жоғары болып, төрттік жамылғы астындағы минералданудың жасырын векторларын анықтайды. Бірыңғай цифрлық үлгілерді (Collar, Lithology, Alteration) енгізу бастапқы құжаттаманы құрылымдалған активке айналдырып, субъективтілікті жояды және деректердің KAZRC ұлттық стандарттарына сәйкес 3D модельдеу жүйелеріне үздіксіз импортталуын қамтамасыз етеді.

Салыстырмалы талдау көрсеткендей, дайындық жұмыстарының айтарлықтай көлеміне (530 адам-күн) қарамастан, камералдық циклдің жалпы тиімділігі 30%-ға артады. «Цифрлық егіз» интерактивті ортасын қалыптастыру геологиялық гипотезаларды жедел верификациялауға мүмкіндік беріп, артық бұрғылау жұмыстарына және қайталама далалық сапарларға кететін шығындарды едәуір қысқартады.

Ұзақ мерзімді перспективада Қалба учаскесінің цифрлық экожүйесін құру болжамдық-іздеу үдерісінде машиналық оқыту технологияларын қолдануға негіз қалайды. Статикалық есептерден динамикалық модельдерге көшу Қазақстанның тау-кен объектілерінің халықаралық инвестициялық нарықтағы бәсекеге қабілеттілігін арттырып, геологиялық деректерді жер қойнауын басқарудың ашық әрі тиімді құралына айналдырады.

МҮДДЕЛЕР ҚАРАМА-ҚАЙШЫЛЫҒЫ: Авторлар мүдделер қарама-қайшылығының жоқтығын мәлімдейді.

АЛҒЫС БІЛДІРУ: Авторлар зерттеу барысында қолданылған картографиялық материалдар мен ашық деректерді ұсынған Қазақстан Республикасының Мемлекеттік геологиялық қорына, сондай-ақ 1:200 000 масштабтағы Мемлекеттік геологиялық карта парақтары (Шығыс Қазақстан сериясы) үшін алғыс білдіреді. Сонымен қатар USGS EarthExplorer репозиторийінде қолжетімді Landsat 8/9 спутниктік деректері мен SRTM сандық жер бедері модельдерін пайдалану мүмкіндігі үшін ризашылықтарын білдіреді. Зерттеудің сапасын арттыруға үлес қосқан әріптестерге, әдістемелік қолдау көрсеткен мамандарға және пайдалы ұсыныстары үшін анонимдік рецензенттерге алғыс білдіріледі.

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ҚОЛДАНУ ТУРАЛЫ ХАБАРЛАМА:

Осы ғылыми жұмысты дайындау барысында автор мәтіндік материалдарды редакциялау, стилистикалық түзетулер енгізу, терминологиялық аппаратты жүйелеу, сондай-ақ кестелік деректерді форматтау және библиографиялық сілтемелерді академиялық стандарттарға сәйкес рәсімдеу үшін Gemini (Google) жасанды интеллект моделін қолданды. Жасанды интеллект құралдары мақаланы дайындаудың қосымша көмекші құралы ретінде пайдаланылды.

Автор жасанды интеллект тарапынан ұсынылған барлық түзетулер мен тұжырымдарды мұқият тексерді және олардың ғылыми мазмұнға, геологиялық деректердің дәлдігіне және алынған қорытындылардың негізділігіне толық жауапты екенін растайды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

Информационный отчет о результатах оценочных работ на золото на участке Калба в Восточно-Казахстанской области за 2017–2019 гг. / Комитет геологии Министерства индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан; РЦГИ «Казгеоинформ». — Нур-Султан, 2020. — 145 с.

Казахстанский кодекс публичной отчетности о результатах геологоразведочных работ, минеральных ресурсах и минеральных запасах (Кодекс KAZRC). — Нур-Султан: Ассоциация KAZRC, 2021. — 78 с.

Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий: ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2019 (ISO/IEC 17025:2017). — Нур-Султан: КазИнСт, 2019. — 44 с.

Нормы технологического проектирования горнорудных предприятий цветной металлургии с открытым способом разработки, (утверждены Мин цветметом СССР от 12.09.74 г.) актуализированы 05.05.2017г.;

Методические указания по проведению оценки воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду» ПМООС РК 29 октября 2010 г. № 270-п;

Методика определения нормативов эмиссий в окружающую среду. ПМООС РК от 16 апреля 2012 года № 110-ө;

Дьячков Б. А., Кузьмина О. Н., Зимановская Н. А. Особенности геологического строения и перспективы золотоносности Калба-Нарынского террейна // Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева. — 2016. — № 2. — С. 15–21.

Gemini (Google). (2026, March 27). Text editing, structuring, and formatting assistance [Large language model]. Google. <https://gemini.google.com>

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ НЕГІЗІНДЕ ӨНЕРКӘСІПТІК АЙМАҚТАҒЫ АТМОСФЕРАЛЫҚ АУАНЫҢ САПАСЫН БОЛЖАУ МОДЕЛЬДЕРІН ҚАЛЫПТАСТЫРУ

ӨОЖ 504.06

А.Е. Нұрпеисов^{1*}, А.Б. Сатимбекова¹

¹Д. Серікбаев атындағы ШҚТУ, Өскемен қаласы, Қазақстан Республикасы

*Корреспондент-авторы: Нұрпеисов Алтай Елтайұлы

e-mail: eltayev03@gmail.com

АНДАТПА. Мақалада өнеркәсіптік қала Өскемендегі атмосфералық ластану мәселесі қарастырылады. Қала жоғары деңгейдегі техногендік жүктемені бастан кешіруде және қолайсыз метеорологиялық жағдайлар эпизодтарымен тұрақты түрде бетпе-бет келеді. Бұл жағдайлар атмосфераның жерге жақын қабатында уытты заттардың жиналуына, халық денсаулығының нашарлауына және білім беру ұйымдарын қашықтан оқыту форматына көшіру қажеттілігіне алып келеді. Зерттеуде тұман (смог) құбылысын болжау, тұрғындарды ерте хабардар ету және өнеркәсіптік кәсіпорындардың жұмысын оңтайландыру мақсатында жасанды интеллект технологияларын қолдануға ерекше назар аударылған. Сондай-ақ ҚМЖ эпизодтарының динамикасы, зиянды заттардың шекті рұқсат етілген концентрациясының арту жағдайлары және олардың білім беру үдерісіне әсері жөніндегі деректер ұсынылған.

Түйінді сөздер: жасанды интеллект, экологиялық мониторинг, атмосфералық ластану, қолайсыз метеорологиялық жағдайлар, смог, өнеркәсіптік өңір.

КІРІСПЕ

Жаһандық урбанизация мен өнеркәсіптік өндірістің қарқындауы жағдайында атмосфералық ауаның ластануы қазіргі экология мен қоғамдық денсаулық сақтаудағы ең өзекті қолданбалы мәселелердің бірі болып отыр. Өнеркәсіптік қалаларда ластанушы заттардың (PM_{2.5}/PM₁₀, SO₂, NO₂, CO, H₂S және т.б.) жоғары концентрациялары көбіне қолайсыз метеорологиялық жағдайлармен сондай-ақ желсіздік, температуралық инверсия, әлсіз ауа алмасу сияқты табиғи жүйелер қабаттасып, атмосфераның жерге жақын қабатында жинақталып, смог эпизодтарын туындатады. Мұндай эпизодтар тұрғындардың денсаулығына тікелей қауіп төндіріп қана қоймай, қала инфрақұрылымына, әлеуметтік тұрақтылыққа және білім беру үдерісіне де әсер етеді, себебі ластану күшейген күндері білім беру ұйымдарының қашықтан оқыту форматына көшуі жиілейді. Сондықтан смог қаупін ерте болжау және тұрғындарды алдын ала хабардар ету бұл өңірлік экологиялық қауіпсіздік пен басқарушылық шешімдерді жетілдіру тұрғысынан маңызды міндет.

Бұл зерттеу жұмысының негізгі мазмұны өнеркәсіптік өңірдегі ауа сапасын болжаудың ғылыми-әдіснамалық негізін құруға, деректер мен факторлар арасындағы байланыстарды модельдеуге және мониторинг жүйесін реактивті бақылаудан проактивті басқаруға яғни алдын ала ескерту жүйесіне көшіруге бағытталған. Қазіргі ғылыми қауымдастық алдында тұрған практикалық міндеттерге ластануды уақыт бойынша дәл болжау, тәуекелді сандық бағалау, сондай-ақ метеорологиялық параметрлер мен эмиссиялық әсердің бірігіп ықпал етуін ескеретін интеграцияланған тәсілдерді қалыптастыру жатады. Осы мақалада қарастырылған мәселе дәл осы міндеттермен тікелей байланысты, өйткені Өскемен қаласындағы экологиялық мәселелердің негізгі бөлігі Кеңес Одағы кезеңіндегі қарқынды индустриялық даму үдерісімен байланысты. Сол уақытта өнеркәсіп секторы жедел өркендегенімен, оның

қоршаған ортаға тигізетін әсері тиісті деңгейде ескерілмеді. Нәтижесінде қала аумағында түсті металлургия, титан-магний өндірісі, энергетика, машина жасау және химия өнеркәсібі кәсіпорындары шоғырланды. Өскемен қазіргі таңда Шығыс Қазақстан өңіріндегі ірі өнеркәсіптік орталықтардың бірі болып табылады. Қала аумағында металлургиялық комбинаттар мен жылу электр станцияларының орналасуы, әсіресе олардың тұрғын аймақтарға жақын шоғырлануы, атмосфералық ауа мен қоршаған орта компоненттерінде ластаушы заттардың жоғары концентрациясының қалыптасуына ықпал етті. Тарихи қалыптасқан өнеркәсіптік құрылым экологиялық жүктеменің артуына әкеліп, қала аумағында өзіндік «ластану шеңберінің» пайда болуына себеп болды.

Зерттеудің мақсаты: өнеркәсіптік өңір жағдайында атмосфералық ауаның ластануын болжау жүйесін құру үшін жасанды интеллект әдістерін қолданудың ғылыми негіздемесін әзірлеу.

Зерттеудің нысаны: Өскемен қаласының өнеркәсіптік аймағындағы атмосфералық ауа сапасы және оған әсер ететін факторлар жүйесі (өнеркәсіптік шығарындылар, метеорологиялық параметрлер, мониторинг бекеттерінің өлшемдері нәтижесінде алынатын PM_{2.5}/PM₁₀, SO₂, NO₂, CO, H₂S сияқты ластаушылардың уақыттық өзгерісі).

МАТЕРИАЛДАР МЕН ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕРІ

Зерттеудің материалдары ретінде Өскемен қаласының өнеркәсіптік аймағындағы атмосфералық ауа сапасын сипаттайтын мониторинг деректері пайдаланылды. Негізгі дереккөздер ретінде қала аумағында жұмыс істейтін 10 стационарлық бақылау бекетінің көрсеткіштері ауа сапасының 22 индикаторы бағаланады және кеңістіктік салыстыру үшін ecodata.kz платформасындағы өлшем нәтижелері кіреді. Талдауға PM_{2.5} және PM₁₀ қалқымалы бөлшектері, SO₂, NO₂, CO, сондай-ақ күкіртсутек, фенол, хлорлы және фторлы сутек сияқты ластаушылар енгізілді. Қолайсыз метеорологиялық жағдайлармен байланысты эпизодтарды сипаттау үшін 2025 жылдың IV тоқсанындағы ҚМЖ тіркелген күндер және сол кезеңдегі ШРК-дан асу жағдайлары бойынша мәліметтер қолданылды.

Зерттеу әдістері уақыттық қатарларды өңдеу және болжау қағидаларына негізделді. Деректер алдын ала тазартылып, біріздендіріліп, нормализацияланды, бұл машиналық оқыту модельдерінің орнықтылығын арттыруға бағытталды. Болжам жасау үшін метеорологиялық параметрлер (жел жылдамдығы мен бағыты, температура, қысым, ылғалдылық және инверсиялық жағдайлар) және ластаушылар концентрацияларының алдыңғы мәндері модель кірісіне енгізілді. Негізгі болжамдық тәсіл ретінде ұзақ және қысқа мерзімді тәуелділіктерді ескеруге мүмкіндік беретін LSTM типті рекуррентті нейрондық желі таңдалды. Экологиялық тәуекелді жинақтап бағалау үшін ERI интегралдық индексі және ШРК-дан асу ықтималдығын есептеу тәсілі қолданылып, белгіленген шектерден асқанда ерте ескерту сценарийін іске қосу логикасы ұсынылды.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Зерттеу барысында Өскемен қаласының атмосфералық ауасының сапасына қатысты 2025–2026 жылдар аралығындағы мониторинг деректері талданды. Алынған нәтижелер өнеркәсіптік кәсіпорындардың шығарындылары мен қолайсыз метеорологиялық жағдайлардың өзара байланысын айқын көрсетті. Қолайсыз метеорологиялық жағдайларды және сол кезеңдегі негізгі ластаушы заттар бойынша шекті рұқсат етілген концентрациялардың асу деректерін көрнекі түрде көрсету мақсатында төмендегі кесте ұсынылады.

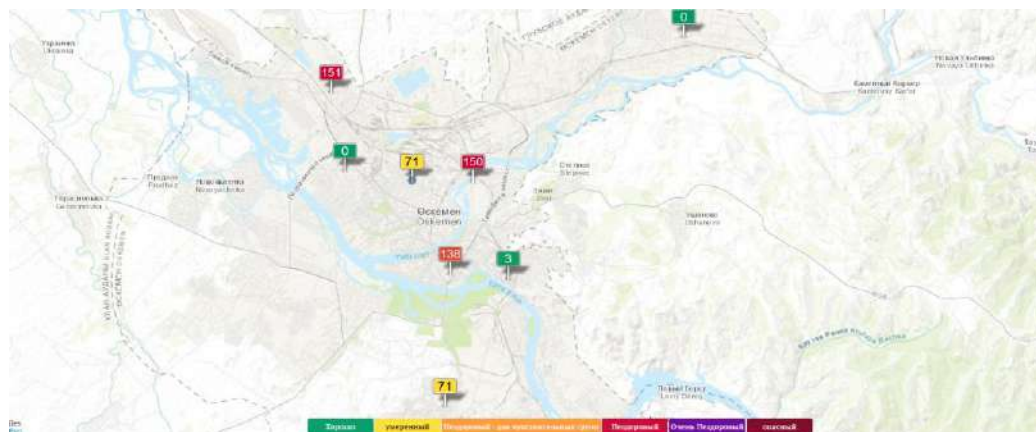
2025 жылдың IV тоқсанында зиянды заттардың шекті рұқсат етілген концентрациясы нормадан асқан, халықтың денсаулығына тікелей қауіп төндірген

қолайсыз метеорологиялық жағдайлардың 29 күні тіркелді. Қазан айында 18 күн, қараша айында 6 күн және желтоқсан айында 5 күн қолайсыз метралогиялық жағдай басым болды. Бұл көрсеткіш суық маусымның басталуымен және желсіз күндердің жиі қайталануымен сәйкес келеді, яғни атмосфералық ластаушы заттардың жиналуына қолайлы жағдайлардың қалыптасуымен түсіндіріледі.

Кесте 1. Өскемен қаласындағы ҚМЖ тіркелген күндер және шекті рұқсат етілген концентрациялардың асу көрсеткіштері 2025 жылдың IV тоқсаны

Айлар	ҚМЖ бар күндер	ШРК-дан асу жағдайлары
Қазан	7, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 24, 25, 29, 30, 31	күкіртсутек, күкірт диоксиді, көміртек оксиді, хлорлы сутек
Қараша	15, 16, 17, 18, 19, 20	күкіртсутек, күкірт диоксиді, көміртек оксиді, фенол
Желтоқсан	2, 3, 11, 24, 28	күкіртсутек, күкірт диоксиді, көміртек оксиді, фторлы сутек

Аталған метеорологиялық факторлардың нақты әсері ecodata.kz платформасында тіркелген деректер арқылы расталады. Төмендегі суретте Өскемен қаласының өнеркәсіптік аймақтарында атмосфералық ауа сапасының көрсеткіштері және шекті рұқсат етілген концентрациялардың асу фактілері бейнеленген. Картада ластану деңгейінің кеңістіктік таралуы көрсетіліп, әсіресе өнеркәсіптік кәсіпорындар шоғырланған аумақтарда ластаушы заттардың жоғары концентрациялары тіркелгені көрінеді.



Сурет 1. ҚМЖ кезеңінде ecodata.kz платформасы негізінде анықталған атмосфералық ауаның аймақтық ластану деңгейі

Ең көп қолайсыз күндер қазан айында байқалды, бұл температуралық инверсия мен желсіз күндердің жиі қайталануымен түсіндіріледі. Мұндай жағдайларда ластаушы заттардың атмосфераның жерге жақын қабатында жинақталуы күшейіп, олардың концентрациясы бірнеше есе артқан. Мониторинг нәтижелері бойынша күкіртсутек (H_2S) бойынша ШРК-дан асу 641 жағдайды, күкірт диоксиді (SO_2) – 314 жағдайды, көміртек оксиді (CO) – 310 жағдайды құрады.

Өскемен қаласында атмосфералық ауаның ластануына негізгі үлес қосатын ірі өнеркәсіптік кәсіпорындар анықталып, олардың басым шығарындылары мен ауа сапасына ықпалы жүйелендірілді. 2025–2026 жылдар аралығындағы деректер

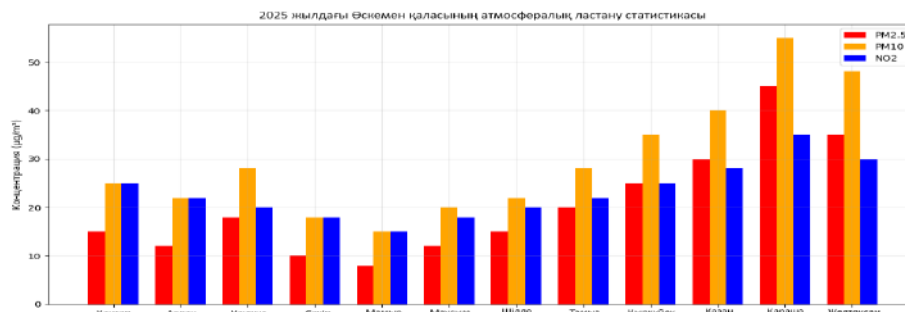
негізінде әр кәсіпорын бойынша тән ластаушы заттар құрамы, шекті рұқсат етілген концентрациядан асу деңгейлері және ластану фактілерінің тіркелу жиілігі жинақталып, өнеркәсіптік жүктеменің қала аумағындағы экологиялық тәуекелді күшейтетіні көрсетілді.

Кесте 2. Өскемен қаласының негізгі өнеркәсіптік ластаушы кәсіпорындарының тізімі

Кәсіпорын	Шығарындылар	ШРК-дан асу	Жиілік	Кезең
«Қазцинк» (ӨМК)	SO ₂ , NO ₂ , PM2.5/PM10, Pb	SO ₂ : 3.7–10 ШРК	>300 жағдай/жыл	2025–2026 жылдар аралығында
ТМК	HCl, H ₂ S, Cl ₂	HCl: 2.4 ШРК; H ₂ S: 2.6 ШРК	641 жағдай/жыл	2025–2026 жылдар аралығында
ҮМЗ	PM2.5, NH ₃ , H ₂ S	PM2.5: 2–3 ШРК; H ₂ S: 4	- жағдай/жыл	-
Согра ЖЭО	CO, NO _x	CO: 1.4–1.5 ШРК	1216 жағдай (2025)	2025 жыл

Шекті рұқсат етілген концентрациялардың жиі асуы, әсіресе күкіртсутек, күкірт диоксиді және көміртек тотығы бойынша, смогтың пайда болу қаупін арттырады. Қазіргі уақытта атмосфералық ауаның ластануы көбіне постфактум анықталады, яғни смог қала аумағын қамтығаннан кейін ғана тіркеледі. Мұндай кезде тұрғындар әлеуметтік желілерде өткір иіс пен тұншықтырғыш түтінге шағымданады, ал жылжымалы зертханалар бір реттік өлшеулер арқылы ШРК-ның асуын тіркейді. Желсіздік, әлсіз ауа айналымы және температуралық инверсия жағдайында ластаушы заттар жерге жақын қабатта жиналатыны анықталды.

Өскемен қаласы ауаның ластану деңгейі жоғары елді мекендердің қатарына жатады. 2025 жылдың IV тоқсанында экстремалды жоғары ластану жағдайлары тіркелмегенімен, қолайсыз метеорологиялық жағдайлар орын алған күндер саны көп болды. Мұндай кезеңдерде атмосферадағы негізгі ластаушы заттардың күкірт диоксиді, көміртек оксиді, азот оксиді, күкіртсутек, фенол және фторлы сутектің концентрациясы белгіленген нормативтік шектерден асып отырғаны байқалды.

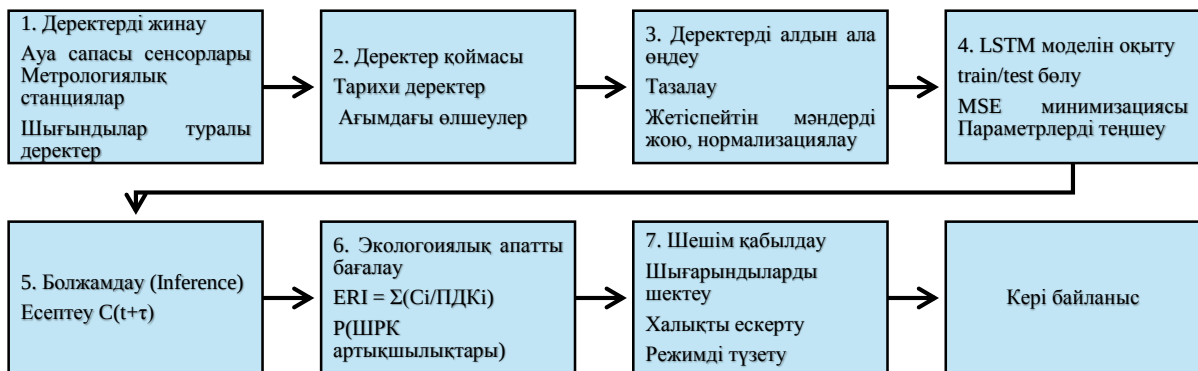


Сурет 2. 2025 жыл кезеңіндегі Өскемен қаласының атмосфералық ауасының ластану статистикасы

Жекелеген кезеңдерде SO₂ концентрациясы 10 ШРК-ға дейін жеткен. Бұл көрсеткіштер атмосфералық ауаның тұрақты жоғары ластануын және смог

эпизодтарының жүйелі сипат алғанын дәлелдейді. Өнеркәсіптік кәсіпорындардың үлесін талдау нәтижесінде түсті металлургия және химия өндірісі негізгі ластаушы көздер болып табылатыны анықталды. Ластанудың кеңістіктік таралуы өнеркәсіптік аймақтарға жақын орналасқан тұрғын аудандарда жоғары концентрациялардың тіркелетінін көрсетті.

Жасанды интеллект бұл мезетте экологиялық болжаудың тиімді құралы болып табылады. Себебі ол көпөлшемді деректерді талдау да және дәстүрлі статистикалық талдау барысында анықталмайтын жасырын заңдылықтарды айқындауға мүмкіндік береді. Ластаушы заттардың концентрациясын болжау міндеттерінде уақыттық қатарлармен жұмыс істеуге қабілетті машиналық оқыту алгоритмдері ерекше тиімділік танытады.



Сурет 3. Жасанды интеллект әдістеріне негізделген экологиялық мониторинг және болжау жүйесінің блок-схемасы

Болжамдық модель сипаттамасы және интеллектуалды мониторингке тоқталсақ LSTM типті рекуррентті нейрондық желілер ағымдағы көрсеткіштердің мәндері жүйенің алдыңғы уақыттағы күйлеріне тәуелділігін ескеруге мүмкіндік береді. Бұл әсіресе, ластаушы заттардың жинақталу үдерістерін талдау барысында аса маңызды болып табылады. Модельді оқыту ауа температурасы, ылғалдылық, желдің жылдамдығы мен бағыты, атмосфералық қысым, сондай-ақ ластаушы заттар концентрацияларының алдыңғы мәндерін қамтитын тарихи деректер негізінде жүзеге асырылады.



Сурет 4. LSTM нейрондық желілері негізіндегі экологиялық мониторинг және тәуекелдерді басқару жүйесі

Модель жұмысының нәтижесі ретінде белгіленген уақыт аралығына атмосфералық ауаның ластану деңгейінің болжамы және ластаушы заттардың шекті рұқсат етілген концентрацияларының асу ықтималдығы бағаланады. Осылайша, сыни экологиялық жағдай туындағанға дейін басқарушылық шешімдер қабылдауға мүмкіндік беретін ерте ескерту құралы қалыптастырылады.

Интеллектуалды жүйенің тұжырымдамалық архитектурасы бірнеше кезеңнен тұрады:

1. Деректер жинау – ауа сапасын бақылайтын датчиктер мен метеорологиялық станциялардан ақпаратты автоматтандырылған түрде алу.

2. Деректерді өңдеу – алынған мәліметтерді тазарту, нормализациялау, факторлар қалыптастыру.

3. Аналитикалық модуль – LSTM нейрондық желісіне негізделген, ластану динамикасын болжайды және экологиялық тәуекел деңгейін бағалайды.

4. Шешім қабылдау жүйесі – кәсіпорындардың технологиялық режимдерін түзету немесе халықты жедел ақпараттандыру бойынша ұсынымдар қалыптастырады.

Жүйенің қағидатты ерекшелігі басқарудың проактивті моделіне көшуінде. Бұл тәсілде ластанудың алдын алу шаралары шекті деңгейлерге жеткеннен кейін емес, олар туындауы ықтимал кезеңге дейін іске асырылады.

Интегралдық ERI индексі атмосфералық ауаның ластану деңгейін кешенді бағалауға мүмкіндік береді:

$$ERI = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \frac{C_i}{MPC_i}$$

мұндағы:

C_i — i -ші ластаушы заттың нақты концентрациясы; MPC_i — белгіленген шекті рұқсат етілген концентрация; w_i — ластаушы заттың уыттылық деңгейі мен экологиялық маңыздылығын ескеретін салмақ коэффициенті; n — талданатын ластаушы заттар саны.

ШРК асу ықтималдығы функциясы:

$$P = \frac{1}{1 + e^{-k(\hat{C} - C_{ШРК})}}$$

Егер $ERI > 1$ немесе $P > 0.7$ мәндері анықталса, жүйе басқарушылық шешімдер қабылдау үшін дабыл сигналын қалыптастырады. Бұл жағдайда шығарындыларды шектеу, технологиялық режимдерді түзету және халықты ақпараттандыру шаралары іске қосылады.

Кері байланыс механизмі жаңа деректерді пайдалану арқылы модельді үздіксіз жетілдіруге және болжамдардың дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді. Соның нәтижесінде, ұсынылған интеллектуалды экологиялық мониторинг жүйесі проактивті басқару қағидаттарына негізделген және қоршаған орта мен халық денсаулығын қорғауға бағытталған технологиялық шешім болып табылады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Зерттеу нәтижесінде Өскемен қаласының атмосфералық ауасының сапасын бағалау және ластану динамикасын болжауға бағытталған кешенді талдау жүргізілді. Нәтижелер атмосферадағы негізгі ластаушы заттардың концентрациясы өнеркәсіптік кәсіпорындардың шығарындылары мен қолайсыз метеорологиялық жағдайларға тікелей тәуелді екенін көрсетті. Мониторинг деректері бойынша түсті металлургия

және химиялық өндіріс негізгі ластаушы көздер болып табылады, ал желсіздік пен температуралық инверсия кезінде ластану деңгейі айтарлықтай артады. LSTM негізіндегі болжамдық модель қысқа мерзімді болжауда жоғары дәлдік көрсетіп, қауіпті кезеңдерді алдын ала анықтауға мүмкіндік беретін тиімді ерте ескерту құралы ретінде дәлелденді.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы метеорологиялық және эмиссиялық деректерді біріктіріп, жасанды интеллект әдістері негізінде атмосфералық ластануды проактивті басқаруға арналған интеллектуалды жүйе ұсынуымен сипатталады. Ұсынылған тәсіл атмосфералық ауаның сапасына әсер ететін факторлардың өзара байланысы мен бейсызықтық сипатын ескеруге мүмкіндік береді.

Зерттеудің практикалық маңызы өнеркәсіптік қалалардағы экологиялық тәуекелдерді бағалау, қоршаған ортаны қорғау шараларын тиімді жоспарлау және халықты уақтылы ақпараттандыру мүмкіндігімен анықталады. Болашақта зерттеуді дамыту бағыттары ретінде спутниктік деректерді интеграциялау, өнеркәсіптік қалалардың цифрлық экологиялық егіздерін қалыптастыру және болжамдық модельдердің ұзақ мерзімді тиімділігін арттыру қарастырылуы мүмкін.

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ: Авторлар мүдделер қақтығысы жоқ екенін мәлімдейді.

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ПАЙДАЛАНУ ТУРАЛЫ ЕСКЕРТУ: Мақаланы әзірлеу кезінде терминологиялық сәйкестікті тексеру және тілдік редакциялау кезеңдерінде жасанды интеллект құралдары қолданылды. Авторлар мақалада келтірілген мәліметтердің дәлдігіне, сенімділігіне және ғылыми түпнұсқалығына толық жауап береді.

ӨДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымы. Атмосфералық (сыртқы) ауаның сапасы және денсаулық туралы ақпараттық парақ. Электрондық 2024 жылғы ресурс. [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Күкіртсутек Өскеменде шекті рұқсат етілген концентрациядан (ШПК) 2409 рет асты. Электрондық ресурс 2026. <https://yk-news.kz/news/2409-raz-serovodorod-prevysil-pdk-v-ust-kamenogorske-72272>
- OpenAI. (2026, March 4). Environmental monitoring system text editing and academic structuring [Large language model]. ChatGPT. <https://chatgpt.com/>
- Өскемен ауасы ластану деңгейі жоғары деп танылды. Электрондық ресурс. — 2026. <https://yk.kz/news/gorod/vozd-ust-kamenogorska-nazvan-povyishenno-zagryaznyonnyim-430739.html>

ИЗУЧЕНИЕ ВОЛОДУШКИ КАК ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТЕНИЯ КАЗАХСТАНСКОГО АЛТАЯ: БОТАНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА, СЫРЬЕВЫЕ ЗАПАСЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В НАРОДНОЙ МЕДИЦИНЕ

УДК 581

Орынғазы М.А^{1*}, А.А. Калачев¹, С.С. Лутай¹, А.О. Лутай¹

¹ВКТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

*Орынғазы Мадир Арманұлы, madioringazi399@gmail.com

АННОТАЦИЯ. В результате полевых и интродукционных исследований флоры Казахстанского Алтая проведено изучение перспективных форм и видов володушек, включая *Bupleurum longifolium ssp. aureum*, *Bupleurum multinerve*, *Bupleurum Krylova* и *Bupleurum longiinvolutum*. Основное внимание уделялось выявлению мест произрастания, высотного диапазона, численности популяций, морфологических особенностей и экологических условий обитания. В природных ценопопуляциях володушки встречаются как редкие эндемики, ограниченные по площади, преимущественно на каменистых и сыпучих склонах, часто в альпийском и предгорном поясах. *Bupleurum longiinvolutum* характеризуется короткокорневищной структурой, низкорослостью и заселяет открытые, плохо сформированные фитоценозы с бедным почвенным покровом на высотах 1900–2300 м над уровнем моря.

Ключевые слова: володушка, *bupleurum longiinvolutum*, *bupleurum multinerve*, Казахстанский Алтай, лекарственные растения, эндемики, фитоценозы.

ВВЕДЕНИЕ

Лекарственные растения играют важную роль в сохранении здоровья человека и развитии народной медицины, а их изучение в естественных ареалах является фундаментальной задачей современной ботаники и фармакогнозии. Казахстанский Алтай отличается высоким биоразнообразием флоры, включая множество эндемичных и редких видов, распространение которых ограничено отдельными высокогорными районами. Среди таких растений особое внимание привлекают представители рода *Bupleurum* (Семейство *Apiaceae* — Зонтичные), известные своими фармакологически активными свойствами и традиционным использованием в народной медицине.

В пределах Казахстанского Алтая встречаются несколько видов володушек, включая *Bupleurum longiinvolutum* Kryl. (володушка длиннооберточковая), *Bupleurum longifolium ssp. aureum*, *Bupleurum multinerve*, *Bupleurum Krylova* и *Bupleurum* трёхлучевую. Эти виды характеризуются ограниченным распространением и специфическими экологическими требованиями: они произрастают на каменистых склонах, моренных отложениях, в альпийских и предгорных поясах, где наблюдаются резкие суточные перепады температур, сильные ветры и бедные питательными веществами почвы. Учет высотного диапазона, структуры популяций и условий произрастания является необходимым для оценки сырьевых ресурсов и сохранения редких эндемиков.

Изучение биологических особенностей, формообразования и фитоценологических связей володушек позволяет не только определить их адаптационные стратегии, но и прогнозировать возможности практического применения в народной медицине. Особое значение имеет создание первичных коллекций и интродукционных опытов, позволяющих оценить устойчивость видов в культурных условиях и перспективы их использования для фармакологических исследований.

Цель настоящей работы – комплексное изучение флоры володушек Казахстанского Алтая, определение сырьевых запасов, создание первичной коллекции и анализ возможностей практического применения в народной медицине. Реализация поставленной цели способствует сохранению редких эндемиков, рациональному использованию лекарственного растительного сырья и укреплению базы для дальнейших научных и прикладных исследований в области фитотерапии и охраны биоразнообразия региона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение видов рода *Bupleurum* на территории Южного Алтая проводилось в период с июня по сентябрь 2023-2025 гг., когда растения находятся в активной фазе вегетации и генеративного развития. Основой для анализа послужили данные баз: «База данных по запасам и географическому распространению лекарственных растений Южного Алтая», «Фенологические наблюдения за лекарственными растениями Аптекарского огорода» и «Запасы сырья некоторых лекарственных растений, выявленных на Калбинском Алтае». Эти источники позволили оценить численность популяций, фенологические стадии, сырьевой потенциал и распределение исследуемых видов.

В полевых экспедициях закладывались пробные площадки разной площади (100-400 м²) на ключевых участках обитания *Bupleurum longiinvolutum*, *Bupleurum longifolium* ssp. *aureum*, *Bupleurum multinerve*, *Bupleurum Krylova* и *Bupleurum* трёхлучевой. Координаты каждой площадки фиксировались с помощью GPS-навигатора для точного геопривязания. На каждой площадке проводилась оценка морфологических признаков растений (высота куста, количество стеблей, состояние листовой массы, цветение и плодоношение), а также учитывались условия произрастания – высотный диапазон, состав почвы, освещенность и экспозиция склона.

Жизненное состояние особей оценивалось по 3-балльной шкале: 3 – растения развиваются нормально и плодоносят; 2 – рост вегетативных органов выражен, плодоношение слабое; 1 – рост угнетён, плоды отсутствуют. Фенологические наблюдения позволяли отслеживать сроки начала вегетации, цветения и плодоношения, что отражало адаптацию видов к климатическим особенностям высокогорных и предгорных районов.

В рамках интродукционных опытов изучалась адаптивная способность формообразцов в культуре. При этом фиксировались показатели роста, формообразование, устойчивость к абиотическим стрессам (резкие перепады температуры, интенсивная солнечная радиация, ветровая нагрузка) и способность к генеративному размножению. Данные наблюдений позволили оценить сырьевой потенциал володушек, подготовить первичные коллекции и определить перспективные подходы к рациональному использованию видов в народной медицине.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе полевых исследований и интродукционных наблюдений в Южном Алтае было проведено комплексное изучение пяти видов рода *Bupleurum*: *Bupleurum longiinvolutum*, *Bupleurum longifolium* ssp. *aureum*, *Bupleurum multinerve*, *Bupleurum Krylova* и *Bupleurum* трёхлучевой. Основное внимание уделялось выявлению мест произрастания, морфологическим особенностям, численности популяций, фенологическим особенностям и сырьевому потенциалу каждого вида. Географическое распространение видов и численность популяций отражены в базе данных по запасам и географическому распространению лекарственных растений Южного Алтая.

Bupleurum longiinvolucratum (володушка длиннооберточковая) характеризуется крайне ограниченным распространением и встречается преимущественно на высотах 1900-2300 м над уровнем моря на северо-восточных и частично закрытых склонах моренных отложений. Площадь известных популяций составляет около 4 га, при этом растения встречаются в виде изолированных микропопуляций. Морфологически кусты низкорослые, одностебельные или редко двухстебельные, высота до 45 см, корневище короткое. Вегетационный период начинается с конца июня, цветение отмечается в июле, а плодоношение – в августе. Ценопопуляции вида размещены в основном на гребнях морен и на частично закрытых склонах с каменисто-глинистым почвенным покровом толщиной до 45 см, что создаёт сложные условия для естественного размножения.

Bupleurum longifolium ssp. aureum и *Bupleurum multinerve* имеют более широкий ареал и встречаются на высотах 1300-2100 м над уровнем моря. В предгорных кустарниково-лесных фитоценозах володушки представлены достаточно выровненными по морфологическим признакам растениями, тогда как в альпийских лугах проявляют субдоминантный характер, преимущественно низкорослые. Исследования показали, что вегетационный период этих видов совпадает с периодами благоприятной температуры и увлажнённости, что отражает их адаптацию к суровому климату Алтая.

Фенологические наблюдения проводились на основе данных Аптекарского огорода и интродукционных площадок. Буферы роста и цветения фиксировались индивидуально для каждого вида. *Bupleurum Krylova* и *Bupleurum* трёхлучевая проявляют выраженные различия по срокам генеративного развития: первый вид начинает цветение на 10-14 дней позже остальных, а третий вид, адаптированный к высокогорным условиям, завершает плодоношение к концу августа (таблица 1).

Таблица 1. Фенологические наблюдения за лекарственными растениями Аптекарского

Регистра- ционный номер	Название растений	Происхож- дение	Дата посадки	Начало отраста- ния	Бутониза- ция	Цвете- ние	Созрева- ние плодов	Конец вегета- ции
23-15	<i>Bupleurum longifolium</i> L. subsp. <i>Aureum</i> (Fisch. Ex Hoffm.) Soo	Хр. Ульбинский	10.08.15	15.04.16	10.05.16	11.06.16	04.08.16	02.09.16

Анализ сырьевых запасов показал, что биомасса *Bupleurum longiinvolucratum* ограничена, кусты маломощные, формируются в виде низкорослых групп. *Bupleurum longifolium ssp. aureum* и *Bupleurum multinerve* имеют более выраженную биомассу и потенциал к заготовке сырья для фармакологических целей. Использование базы «Запасы сырья некоторых лекарственных растений, выявленных на Калбинском Алтае» позволило оценить запас надземной массы и возможность регулярной заготовки без нанесения ущерба популяциям.

Изучение пространственного размещения показало зависимость видов от микрорельефа, экспозиции склонов, освещённости и состава почвы. *Bupleurum longiinvolucratum* заселяет каменистые морены, склоновые участки с низким почвенным слоем, с высокой продуваемостью ветрами и интенсивной солнечной радиацией. *Bupleurum longifolium ssp. aureum* и *Bupleurum multinerve* способны расти в более закрытых кустарниково-лесных фитоценозах и на альпийских лугах с более стабильными условиями.

Интродукционные опыты показали различия в адаптивной способности формообразцов. *Bupleurum multinerve* продемонстрировал наибольшую устойчивость к абиотическим стрессам, сохраняя нормальное ростовое и генеративное развитие в культурных условиях. *Bupleurum longiinvolutum* был чувствителен к солнечной радиации, ветровой нагрузке и резким перепадам температуры, что ограничивает возможности его интродукции. Эти данные подтверждают необходимость создания первичных коллекций и контроля за состоянием естественных популяций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате комплексных полевых и интродукционных исследований флоры Южного Алтая было установлено, что виды рода *Bupleurum* обладают различной степенью распространения, биологической и экологической специфики, что напрямую влияет на их сырьевой потенциал и возможности практического использования. *Bupleurum longiinvolutum*, как редкий эндемик, характеризуется крайне ограниченным ареалом и высокой чувствительностью к абиотическим стрессам, что требует особых мер охраны и мониторинга популяций. *Bupleurum longifolium* ssp. *aureum* и *Bupleurum multinerve* демонстрируют более широкое распространение, устойчивость к климатическим и почвенным условиям, а также значительную биомассу, что делает их перспективными для заготовки сырья и применения в народной медицине.

Фенологические наблюдения показали, что генеративное развитие видов совпадает с периодами оптимальных климатических условий, что подтверждает их адаптацию к суровому высокогорному и предгорному климату Алтая. Анализ ценопопуляций и фитоценологических связей позволил выявить закономерности в пространственном размещении, определить оптимальные биотопы для сохранения популяций и заложить основу для формирования первичных коллекций в интродукционных условиях.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы: необходимо продолжение мониторинга редких и эндемичных видов, оценка их сырьевого потенциала, а также разработка рекомендаций по рациональной заготовке и сохранению природных популяций. Кроме того, интродукционные опыты подтверждают возможность использования устойчивых форм для практических целей в народной медицине, создавая базу для дальнейших фармакологических исследований.

Таким образом, исследования флоры рода *Bupleurum* в Южном Алтае способствуют сохранению биоразнообразия региона, обеспечивают научную основу для рационального использования лекарственного растительного сырья и поддерживают развитие прикладной ботаники и фитотерапии в высокогорных и предгорных экосистемах.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: исследования проведены при финансировании Комитета науки и высшего образования Республики Казахстан, в рамках проекта BR24992837 «Комплексный экологический мониторинг Восточно-Казахстанской области для устойчивого развития аграрного сектора и улучшения качества окружающей среды», 2024-2026 гг.

БЛАГОДАРНОСТИ: Автор выражает искреннюю благодарность ведущему научному сотруднику Алтайского ботанического сада Даниловой Алевтине Николаевне за предоставленную информацию и ценные консультации в ходе подготовки работы. Особая признательность выражается директору Алтайского

ботанического сада Сумбембаеву Айдару Айтказиевичу за содействие в проведении исследования и всестороннюю поддержку.

Также автор благодарит научного руководителя диссертационной работы доктора сельскохозяйственных наук, ассоциированного профессора Калачева Андрея Александровича за предоставленные материалы и профессиональные рекомендации, а также руководителя ОП «Лесные ресурсы и лесоводство» Лутай Сергея Сергеевича за помощь в структурировании статьи и корректном изложении собранной информации.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: В данной работе инструменты искусственного интеллекта не использовались. Подготовка, анализ и оформление материала осуществлялись автором самостоятельно, без применения технологий генеративного ИИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Sumbembayev A.A. Assessment of state of *Dactylorhiza fuchsia* (Orchidaceae) populations from the Altai mountains of Kazakhstan /A.A. Sumbembayev, Z.H.T. Tergenbaeva, G.M. Kudabayeva, R.S. Tashmetova, Y.A. Genievskaya, D.L. Szlachetko //Biodiversitas. – 2022. – Vol. 23, No9. – P. 4385-4399. DOI: 10.13057/biodiv/d230903
- Байтулин И.О. Казахстанский Алтай как ресурсная база лекарственных растений / И.О. Байтулин, А.Б. Мырзагалиева. // Известия Национальной академии наук. Серия биологическая и медицинская. – 2015. – 6(312). – С.5-11.
- Грубов В.И. Определитель сосудистых растений Монголии /В.И. Грубов –Л., 1982. –189 с. <http://nskhuman.ru/shipunov/biblbook.php?nbook=10224>
- Каримова О.А. Результаты интродукции двух ресурсных видов из рода *Bupleurum* L. в Республике Башкортостан / О.А. Каримова //Научные ведомости. Сер. Естественные науки. –2011. –№3(98). – Вып. 14/1. –С.14-20. <https://cyberleninka.ru/article/>
- Кубентаев С.А., Данилова А.Н. Современное состояние и запасы володушки многожилчатой на хребтах Сарымсақты и Южноалтайский Тарбағатай /С.А. Кубентаев, А.Н. Данилова //Сб. Международ. научн. конф. «Изучение, сохранение и рациональное использование растительного мира Евразии». – 2017– С.271-276.
- Кубентаев С.А., Ресурсная оценка лекарственных растений Западного Алтая в пределах Восточно–Казахстанской области /С.А. Кубентаев, Н.Г. Гемеджиева, А.К. Агаджаева, С.К. Мухтубаева, К.С. Исбастина, Д.Т. Алибеков, Ж.Т. Идрисова // Матер. Междун. науч.-практ. конф. «Современное состояние и перспективы развития ботанических садов и дендрариев Казахстана», посвященной 5-летию Астанинского ботанического сада. Астана. – 2023. – С.67-70.
- Куминова А.В. Растительный покров Алтая/А.В. Куминова.– Новосибирск, 1960. – 449 с. <http://nskhuman.ru/shipunov/biblbook.php?nbook=8215>
- Минаева В.Г., Запрометов М.Н. О превращении флавонолов в бесклеточных экстрактах репродуктивных органов володушки (*Bupleurum* L.) / В.Г. Минаева, М.Н. Запрометов // Доклады Академии наук СССР. –1973. – Т. 211, № 5.– С.1213-1216.
- Пешкова Г.А. Флорогенетический анализ степной флоры гор Южной Сибири / Г.А.Пешкова – Новосибирск, 2001. –192 с. <http://nskhuman.ru/shipunov/biblbook.php?nbook=10170>

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИИ В ОЦЕНКЕ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА ГОРНОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

УДК 504.06:004.8

В.О. Парубчишина^{1*}, О.А. Петрова¹, А.А. Полякова¹, В.В. Литвинов²

¹НАО «ВКТУ им. Д. Серикбаева», г. Усть-Каменогорск, Казахстан

²ТОО «Проектно-экологическое бюро», г. Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Парубчишина Валерия Олеговна,

e-mail: parubchishina.v@edu.ektu.kz

АННОТАЦИЯ. Статья посвящена вопросам применения цифровых технологий и методов искусственного интеллекта (ИИ) при оценке углеродного следа предприятий горно-металлургической отрасли. Актуальность исследования обусловлена международными обязательствами Республики Казахстан (РК) по сокращению выбросов парниковых газов, внедрением механизмов углеродного регулирования, а также необходимостью количественной оценки углеродного следа продукции в условиях трансграничного углеродного регулирования и развития низкоуглеродной экономики. Целью работы является анализ существующих подходов к оценке углеродного следа продукции горно-металлургического комплекса, исследование возможностей использования цифровых технологий и искусственного интеллекта для обработки данных, моделирования выбросов парниковых газов и прогнозирования углеродного следа продукции. В работе использованы методы анализа литературы, нормативно-правовой базы и статистических данных. В результате исследования выявлены основные источники данных для оценки углеродного следа продукции, определены ограничения традиционных методов расчета и показаны перспективы применения цифровых платформ и алгоритмов искусственного интеллекта для повышения точности оценки выбросов и углеродного следа продукции. Научная новизна работы заключается в комплексном рассмотрении возможности интеграции цифровых технологий и методов искусственного интеллекта в систему оценки углеродного следа предприятий горно-металлургической отрасли. Практическая значимость работы заключается в возможности использования предложенных подходов при разработке цифровых систем экологического мониторинга и управления выбросами парниковых газов.

Ключевые слова: углеродный след, горно-металлургическая отрасль, цифровые технологии, искусственный интеллект, выбросы парниковых газов.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы вопросы оценки углеродного следа промышленности приобретают особую актуальность в связи с глобальной декарбонизацией экономики, внедрением принципов устойчивого развития и ужесточением экологических требований к промышленным предприятиям. Горно-металлургическая отрасль относится к числу наиболее энергоемких и углеродоемких отраслей промышленности, поскольку включает процессы добычи полезных ископаемых, транспортировки, обогащения сырья и металлургической переработки, сопровождающиеся значительными выбросами парниковых газов. В этих условиях особую роль начинают играть цифровые технологии и методы искусственного интеллекта, позволяющие автоматизировать сбор и обработку данных, моделировать производственные процессы, прогнозировать выбросы CO₂ и оптимизировать технологические режимы с целью снижения углеродного следа. В научной литературе все большее внимание

уделяется применению технологий больших данных, цифровых двойников, машинного обучения и методов оценки жизненного цикла (Life Cycle Assessment) для комплексной оценки углеродного следа промышленных предприятий.

Так исследователи Yixuan Chen и Shanyue Jin описывают влияние технологий искусственного интеллекта на снижение углеродных выбросов в промышленности. В работе показано, что цифровизация и внедрение ИИ позволяют оптимизировать производственные процессы, снижать энергопотребление и, соответственно, углеродный след предприятий. Также Qiang Wang с соавторами исследуют влияние развития искусственного интеллекта на экологический и углеродный след, используя экономико-математические модели и панельные данные по странам. Показано, что развитие ИИ может как увеличивать, так и снижать выбросы в зависимости от уровня цифровизации и энергетической структуры.

В своей работе Ulul Azmi с соавторами рассматривают применение метода оценки жизненного цикла (LCA) для оценки экологических воздействий добычи полезных ископаемых. В статье показано, что LCA позволяет выявлять этапы с максимальными выбросами CO₂ и разрабатывать стратегии декарбонизации горнодобывающей отрасли. Аналогично Martin Porowicz с командой представляют обзор применения цифровых технологий: искусственного интеллекта, больших данных, IoT и блокчейна, в оценке жизненного цикла и углеродного следа. Разработана концептуальная модель интеграции цифровых технологий в LCA для экологической оценки продукции и промышленных процессов.

В статье Александра Ключникова с соавторами проводится оценка жизненного цикла карьерной техники, используемой в горнодобывающей промышленности. Показано, что значительная доля углеродного следа формируется на этапе эксплуатации техники, что важно учитывать при оценке углеродного следа горнодобывающих предприятий. Xinyue Li с соавторами провели комплексную оценку углеродного следа промышленного процесса с использованием метода LCA и технологий улавливания углерода. В работе показано, что интеграция цифровых моделей и экологического анализа позволяет снижать углеродные выбросы в энергетике и промышленности. В своем исследовании Yanpeng Wang с командой разработали модель расчета углеродного следа оборудования на основе оценки жизненного цикла (cradle-to-grave). Работа демонстрирует подходы к цифровому моделированию углеродных выбросов на протяжении жизненного цикла продукции.

Силаев В.И. с соавторами рассмотрели углеродный след горнодобывающих предприятий и вопросы декарбонизации отрасли. В статье анализируются источники выбросов парниковых газов в горной промышленности и методы их оценки. В работе А.Қ. Қасымовой рассматриваются технологии снижения выбросов CO₂ в металлургической промышленности, включая водородные технологии, улавливание и хранение углерода, а также модернизацию технологических процессов.

Guglielmo Tamburrini в своей работе анализирует углеродный след вычислительных технологий и моделей машинного обучения, показывая значительное энергопотребление вычислительных систем и необходимость разработки энергоэффективных алгоритмов и устойчивого искусственного интеллекта.

Обобщая выше изложенное можно выделить следующие моменты:

- оценка углеродного следа промышленности чаще всего выполняется методом Life Cycle Assessment;
- цифровые технологии (IoT, Big Data, цифровые двойники) используются для сбора и обработки данных выбросов;
- искусственный интеллект применяется для прогнозирования выбросов, оптимизации процессов и сценарного моделирования;

- в горнодобывающей и металлургической промышленности основными источниками углеродного следа являются энергопотребление, транспорт, переработка руды и металлургические процессы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве методологической основы исследования использованы нормативные документы РК, международные стандарты и руководства по оценке выбросов парниковых газов и углеродного следа продукции, а также открытые данные отчетности предприятий горно-металлургической отрасли.

В работе применялись следующие методы исследования: анализ нормативно-правовой базы в области регулирования выбросов парниковых газов, анализ международных стандартов по оценке углеродного следа продукции, анализ статистических и корпоративных отчетных данных предприятий, а также сравнительный анализ источников информации о выбросах парниковых газов.

В качестве нормативной и методической базы использованы:

- СТ РК ISO 14067–2019 «Парниковые газы. Углеродный след продукции. Требования и руководящие указания по количественной оценке»;
- Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК, 2006);
- Методики по расчету выбросов и поглощения парниковых газов, утвержденные приказом Министра экологии и природных ресурсов Республики Казахстан от 17 января 2023 года № 9.

Исследование выполнялось в следующей последовательности. На первом этапе был проведен анализ нормативной базы и международных стандартов по оценке углеродного следа продукции. На втором этапе определены основные источники данных о выбросах парниковых газов, включая Национальный план углеродных квот, данные национального кадастра парниковых газов, отчеты об устойчивом развитии предприятий и корпоративные отчеты. На третьем этапе выполнен анализ структуры выбросов парниковых газов предприятий горно-металлургической отрасли с учетом прямых и косвенных выбросов (Scope 1, Scope 2, Scope 3) и жизненного цикла продукции. На заключительном этапе проведена оценка применимости существующих методик для расчета углеродного следа продукции и определены ограничения и проблемы получения исходных данных.

Применение указанных методов позволяет обеспечить воспроизводимость результатов исследования и использовать предложенный подход для оценки углеродного следа продукции предприятий горно-металлургической отрасли.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Динамика выбросов парниковых газов в Казахстане за 1990–2021 гг. представлена на рисунке 1. График составлен по материалам Национального доклада Республики Казахстан о кадастре антропогенных выбросов и поглощений парниковых газов за 1990–2021 гг.

Как видно из рисунка 1, после периода роста выбросов наблюдается тенденция к их сокращению, особенно начиная с 2018 года. Однако для достижения безусловной цели Республики Казахстан по сокращению выбросов на 15 % к 2030 году от уровня 1990 года требуются дополнительные меры по снижению выбросов и увеличению поглощения парниковых газов.

Одним из основных инструментов регулирования выбросов парниковых газов в Казахстане является система квотирования. Инструменты государственного регулирования применяются к установкам, выбросы парниковых газов которых превышают установленные пороговые значения. К регулируемым секторам экономики относятся электроэнергетика, нефтегазовая отрасль, горнодобывающая,

металлургическая и химическая промышленность, а также обрабатывающая промышленность в части производства цемента, извести, гипса и кирпича.

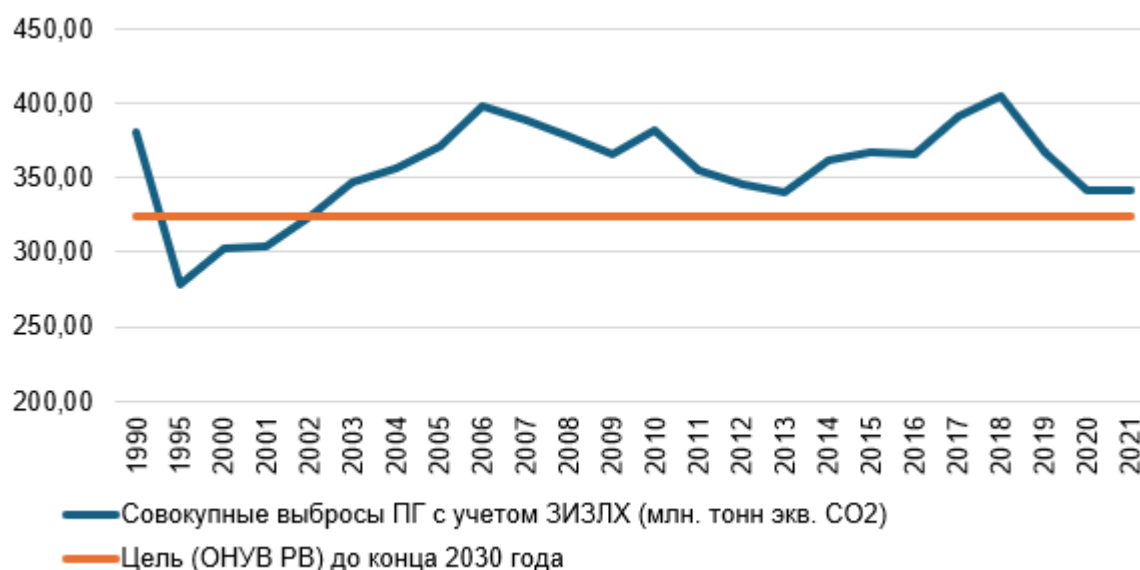


Рисунок 1. Выбросы парниковых газов в Республике Казахстан за 1990–2021 гг. всего, млн тонн эквивалента CO₂ (ЗИЗЛХ - землепользования, изменения землепользования и лесного хозяйство)

Общие выбросы парниковых газов регулируемых предприятий не должны превышать величину установленного углеродного бюджета. Регулирование осуществляется посредством распределения углеродных квот. Национальный план углеродных квот устанавливает общее количество единиц углеродной квоты, подлежащих распределению между субъектами квотирования по регулируемым секторам экономики, а также объем резерва углеродных единиц (рисунок 2).

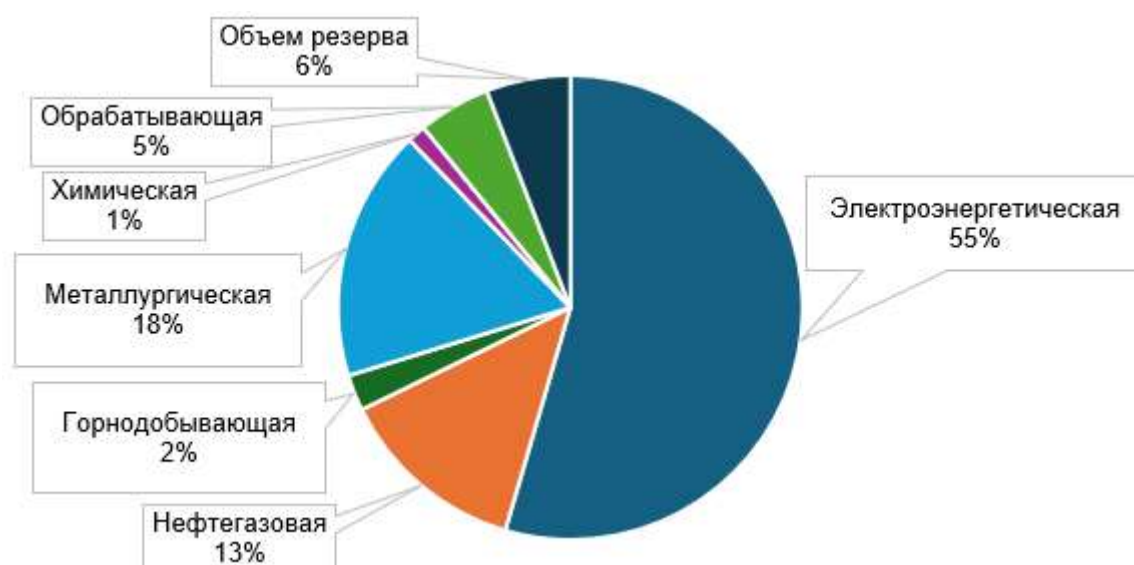


Рисунок 2. Распределение средней величины квотируемых выбросов парниковых газов по отраслям промышленности на 2023–2025 гг.

Погашение углеродных единиц осуществляется ежегодно путем их списания со счета субъекта квотирования в государственном реестре углеродных единиц. Количество погашаемых единиц должно соответствовать фактическим квотируемым

выбросам парниковых газов, определяемым на основании верифицированного отчета об инвентаризации выбросов за отчетный год.

На рисунке 3 представлена информация по объемам котируемых и некотируемых выбросов парниковых газов на 2023–2025 гг., то есть углеродный бюджет Республики Казахстан, а также базовый уровень выбросов и целевые показатели их сокращения к 2030 году.

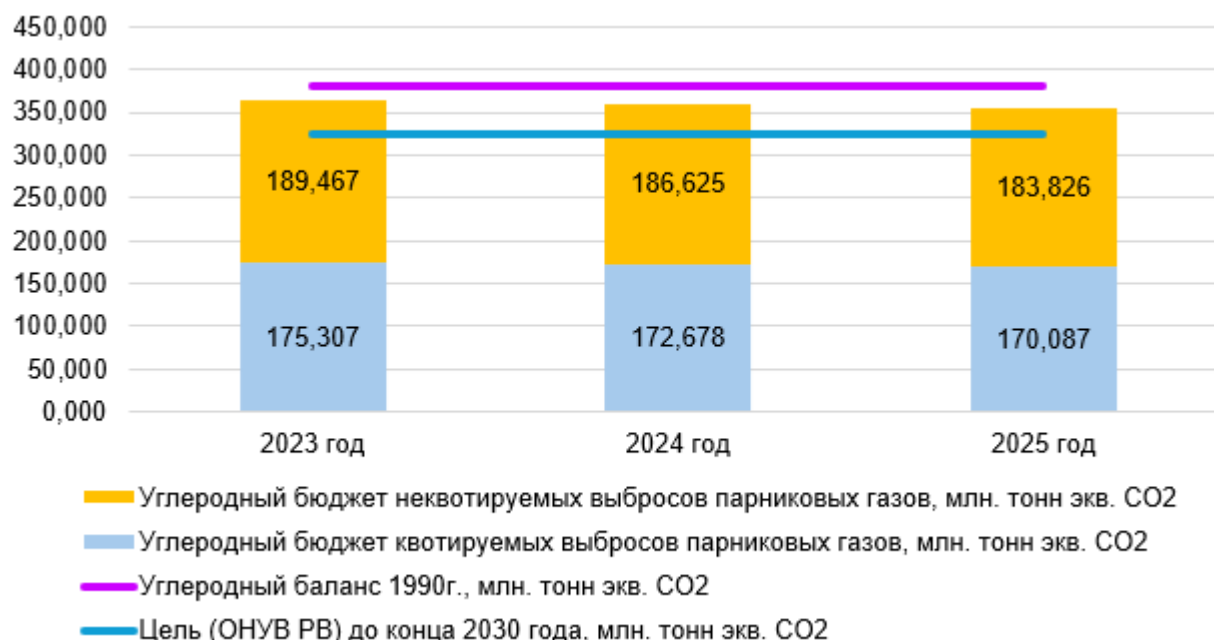


Рисунок 3. Углеродный бюджет РК на 2023–2025 гг. в сравнении с базовым годом и безусловное обязательство по сокращению выбросов до конца 2030 года (определяемый на национальном уровне вклад (ОНУВ)).

Следует отметить, что в Казахстане котируется только диоксид углерода (CO₂), однако при государственной инвентаризации учитываются все парниковые газы, определенные экологическим законодательством. Анализ структуры выбросов показывает, что углекислый газ составляет около 50 % общего баланса выбросов и поглощений парниковых газов в Республике Казахстан. При этом доля предприятий горнодобывающей промышленности в выбросах CO₂ составляет около 2 %.

При этом в углеродном следе учитываются как прямые, так и косвенные выбросы парниковых газов. Таким образом, количественная оценка углеродного следа должна учитывать весь жизненный цикл продукции: от добычи сырья и производства до транспортировки, использования и утилизации.

Оценка углеродного следа горно-металлургического комплекса является сложной задачей, поскольку требует детального анализа технологических процессов каждого предприятия, разделения производства на отдельные подпроцессы и оценки выбросов парниковых газов на каждом этапе жизненного цикла продукции. Проведение такой оценки требует большого объема исходных данных, доступа к производственной информации предприятий и проведения обследований непосредственно на производственных площадках.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного исследования рассмотрены вопросы оценки углеродного следа продукции предприятий горно-металлургической отрасли и проанализированы существующие методические и информационные основы для проведения такой

оценки в условиях Республики Казахстан. В результате исследования установлено, что оценка углеродного следа продукции должна выполняться с учётом всего жизненного цикла продукции и включать прямые и косвенные выбросы парниковых газов (Scope 1, Scope 2, Scope 3). При этом расчёт выбросов основан на анализе технологических процессов, потребления ресурсов и применении удельных коэффициентов выбросов, так как инструментальные методы прямого измерения выбросов парниковых газов в большинстве случаев не применяются.

Научная новизна работы заключается в систематизации источников данных и нормативно-методических подходов к оценке углеродного следа продукции предприятий горно-металлургической отрасли, а также в обосновании необходимости детальной декомпозиции производственных процессов при расчёте выбросов парниковых газов. Полученные результаты могут быть использованы при разработке цифровых систем мониторинга выбросов, автоматизированных систем расчёта углеродного следа продукции и применении методов искусственного интеллекта для обработки больших массивов производственных и экологических данных.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования рассмотренных методических подходов предприятиями горно-металлургической отрасли при подготовке отчётности по выбросам парниковых газов, оценке углеродного следа продукции, а также при подготовке к требованиям трансграничного углеродного регулирования и углеродного налогообложения. Ограничением исследования является ограниченность открытых данных о фактических выбросах парниковых газов предприятий и необходимость доступа к внутренним производственным данным предприятий для проведения точных расчётов.

Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой цифровых платформ и программных комплексов для автоматизированной оценки углеродного следа продукции, использованием методов машинного обучения для прогнозирования выбросов парниковых газов, а также проведением детальных исследований на уровне отдельных предприятий с использованием реальных производственных данных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Данная статья подготовлена в рамках проекта программно-целевого финансирования научных исследований МНВО по теме BR24992854 «Разработка и реализация конкурентоспособных научно-обоснованных технологий для обеспечения устойчивого развития горно-металлургической отрасли Восточно-Казахстанской области».

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: При подготовке данной статьи авторами использовались технологии искусственного интеллекта для вспомогательных целей, включая поиск и анализ научных публикаций, обобщение информации, редактирование текста и формирование отдельных фрагментов научного изложения. Использование инструментов искусственного интеллекта носило вспомогательный характер и не заменяло научную интерпретацию результатов, выполненную авторами. Авторы несут полную ответственность за содержание статьи, достоверность приведённых данных, результаты исследований и выводы. В процессе подготовки рукописи использовалась генеративная языковая модель для помощи в структурировании текста, языковом редактировании и подготовке обзора литературы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Chen, Y.; Jin, S. Artificial Intelligence and Carbon Emissions in Manufacturing Firms: The Moderating Role of Green Innovation. *Processes* 2023, 11, 2705. <https://doi.org/10.3390/pr11092705>
- Wang, Q., Li, Y. & Li, R. Ecological footprints, carbon emissions, and energy transitions: the impact of artificial intelligence (AI). *Humanit Soc Sci Commun* 11, 1043 (2024). <https://doi.org/10.1057/s41599-024-03520-5>
- Ulul Azmi, Sri Murtiana, Nugroho Adi Sasongko, Sri Yanto Critical Minerals Life Cycle Assessment (LCA): Sustainable Mining Practices *Formosa Journal of Applied Sciences (FJAS)* Vol. 4, No. 32025: 883-920 <https://doi.org/10.55927/fjas.v4i3.71>
- Popowicz, M., Katzer, N.J., Kettele, M. et al. Digital technologies for life cycle assessment: a review and integrated combination framework. *Int J Life Cycle Assess* 30, 405–428 (2025). <https://doi.org/10.1007/s11367-024-02409-4>
- Ključnikov, A., Siwec, D., Pacana, A. and Lacko, J. (2023). Life cycle assessment (LCA) of heavy vehicles used in the mining industry. *Acta Montanistica Slovaca*, Volume 28 (3), 553-565 <https://doi.org/10.46544/AMS.v28i3.03>
- Li, X.; Zhou, B.; Jin, W.; Deng, H. A Comprehensive Assessment of the Carbon Footprint of the Coal-to-Methanol Process Coupled with Carbon Capture-, Utilization-, and Storage-Enhanced Oil Recovery Technology. *Sustainability* 2024, 16, 3573. <https://doi.org/10.3390/su16093573>
- Wang, Y.; Zhang, H.; Zhou, E.; Xie, L.; Li, J. Carbon Footprint Analysis of Distribution Network Transformers Based on Life Cycle Assessment. *Energies* 2025, 18, 600. <https://doi.org/10.3390/en18030600>
- Силаев В. И., Ключев Р. В., Еремеев Д. В., Мартынова Т. А., Данильченко Ю.В. Анализ углеродного следа, создаваемого горнодобывающими предприятиями. *МІАВ. Добыча Инф. Анал. Бык.* 2023; (11-1):265-277. [на русском]. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_111_0_265
- Қасымова А.Қ. Анализ проблемы снижения выбросов CO₂ в сталелитейном производстве на примере АО «Qarmet» Том 48 № 1 (2025): Вестник КГИУ 1 (48) 2025 / <https://doi.org/10.53002/004>
- Tamburrini, G. The AI Carbon Footprint and Responsibilities of AI Scientists. *Philosophies* 2022, 7, 4. <https://doi.org/10.3390/philosophies7010004>
- СТ РК ISO 14067–2019 «Парниковые газы. Углеродный след продукции. Требования и руководящие указания по количественной оценке»
- Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК, 2006); https://un-gsp.org/sites/default/files/documentos/ghg_booklet_russian_final.pdf
- Методики по расчету выбросов и поглощения парниковых газов, утвержденные приказом Министра экологии и природных ресурсов Республики Казахстан от 17 января 2023 года № 9. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2300031735>
- ChatGPT. (2026, March). Помощь в подготовке текста научной статьи, обзора литературы и редактировании текста [Большая языковая модель]. OpenAI. <https://chat.openai.com>

ФСОРТИРОВКА И ПЕРЕРАБОТКА ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ С ПОМОЩЬЮ ИИ

УДК 628.477:004.8

Е.О. Порожская¹, Б.М. Толыкбаева^{1*}

¹ВКТУ им.Д.Серикбаева, г.Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Толыкбаева Бинур Маратовна,

e-mail: tolykbayeva.binur@mail.ru

АННОТАЦИЯ В условиях глобального увеличения объемов твердых бытовых отходов (ТБО) особенно важным становится использование интеллектуальных технологий для их сортировки и переработки. Обычные способы утилизации отходов отличаются большой трудозатратностью, невысокой быстротой и существенным воздействием человеческого элемента. Задача этого проекта заключается в создании концепции автоматизированной системы для сортировки твердых отходов, использующей методы искусственного интеллекта и технологии компьютерного зрения.

В исследовании выполнен анализ текущих методов переработки отходов, изучены зарубежные примеры применения ИИ-технологий (Германия, Япония, Китай), а также предложена структура программно-аппаратного комплекса, состоящего из системы видеонаблюдения, нейронной сети для классификации объектов и исполнительных механизмов для их категоризации.

Итоги исследования демонстрируют, что использование сверточных нейронных сетей способствует достижению точности классификации в диапазоне 90–95 %, увеличению производительности переработки и снижению операционных затрат. Практическая ценность проекта состоит в его применимости на предприятиях по переработке мусора и в системе раздельного сбора отходов в контексте цифровой трансформации экологической сферы.

Ключевые слова: ИИ, твердые бытовые отходы, ML, компьютерное зрение, утилизация отходов, автоматизация.

ВВЕДЕНИЕ

Контроль за твердыми бытовыми отходами представляет собой одну из важнейших экологических проблем XXI века. Увеличение численности населения и процесс урбанизации ведут к росту объёмов отходов, что создает значительное давление на свалки и на природу. Низкая эффективность классических методов сортировки сужает перспективы переработки вторичных материалов.

Современные направления цифровизации промышленности и прогресс технологий Индустрии 4.0 (Schwab, 2016) содействуют внедрению автоматизированных технологий в экологическую область. Искусственный интеллект (ИИ) обеспечивает анализ обширных массивов данных, идентификацию изображений и принятие решений в реальном времени, что делает его многообещающим средством для сортировки отходов.

Для Track B: Student Projects работа имеет практическое значение, так как сосредоточена на создании прототипа интеллектуальной системы, готовой к реальному применению.

Задача проекта - создать концептуальную модель умной системы сортировки твёрдых отходов с использованием технологий искусственного интеллекта.

Цели проекта:

Исследовать современные методы сортировки отходов и использование искусственного интеллекта. Изучить зарубежные примеры применения интеллектуальных систем. Разработать архитектуру программно-аппаратного

комплекса. Оценить возможные экономические и экологические последствия внедрения.

Объект анализа - процесс классификации твердых отходов. Объект исследования - использование машинного обучения для автоматизации процесса сортировки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В проекте анализируется разработка умной сортировочной линии, которая включает в себя: Конвейерный механизм. Высококачественные камеры. Датчики массы и инфракрасные датчики. Узел для обработки данных. Роботизированные захваты. Программное обеспечение, основанное на Python. Библиотеку PyTorch или TensorFlow.

Ключевым способом является применение сверточных нейронных сетей (CNN) для идентификации изображений мусора.

Принцип работы системы: Фиксация изображения предмета на конвейере. Предварительная обработка (нормализация, масштабирование). Классификация при помощи нейронной сети. Передача сигнала к исполняющему устройству. Перемещение мусора в соответствующий контейнер. Эффективность оценивается по метрикам точности, полноты и F1-score.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Обычные способы сортировки состоят из физического труда и механических отделителей. Они отличаются низкой скоростью и большими издержками. Применение ИИ способствует автоматизации процесса и увеличивает точность классификации до 90–95 % (Bala et al., 2020).

Иностранные примеры реализации умных систем распределения отходов:

Мировая практика демонстрирует, что использование технологий искусственного интеллекта в области обработки отходов становится стабильной тенденцией последних 5–10 лет наиболее активными в этой области выступают страны Европейского союза, Япония и Китай, где вопросы утилизации отходов сильно взаимосвязаны с высокой плотностью населения, нехваткой земельных ресурсов и экологическими стандартами.

Германия является одним из ведущих стран мира в сфере сортировки и переработки мусора. Уровень утилизации отходов в стране составляет более 65–70%, что делает его одним из самых высоких в мире.

В последние годы в Германии на предприятиях по сортировке мусора активно используются роботизированные системы с элементами компьютерного зрения.

Организации применяют: Камеры с высокой скоростью съемки; Спектральный анализ веществ (сенсоры NIR); Нейронные сети для определения вида пластика; Роботизированные манипуляторы с вакуумными захватными устройствами.

К примеру, на некоторых сортировочных заводах внедрены технологии автоматического распознавания ПЭТ, HDPE, алюминия и стекла, что значительно уменьшает процент примесей в перерабатываемом материале.

Помимо этого, в Германии используются умные системы мониторинга раздельного сбора. Камеры, установленные на мусоровозах, изучают наполнение контейнеров, регистрируют нарушения и помогают муниципалитетам изменять тарифы. Данный метод побуждает людей к верной сортировке.

Ключевым аспектом является государственная поддержка и правовые нормы, способствующие развитию циркулярной экономики. Интеграция ИИ входит в состав общей стратегии цифровизации производства.

Япония имеет небольшую площадь и густое население, что в историческом контексте привело к жесткой системе утилизации отходов. В ряде городов отходы классифицируют на более 10–15 групп.

В последние годы японские фирмы осуществляют внедрение: Автоматизированные сортировочные станции с роботизированными устройствами-манипуляторами. Умные автоматы для приема вторичных материалов (reverse vending machines). Системы компьютерного зрения для идентификации пластиковых отходов. Платформы IoT для отслеживания заполнения контейнеров. Основное внимание сосредоточено на внедрении технологий в идею «умного города».

Сортировочные станции интегрируются в общую цифровую платформу, что дает возможность: Мониторить объемы вторичных материалов в реальном времени. Улучшить маршруты для мусоровозов. Предсказать использование перерабатывающих мощностей.

В Японии также активно развивают технологии переработки органических отходов с использованием алгоритмов машинного обучения для оптимизации. Это снижает выбросы метана и повышает эффективность получения биогаза.

Китай испытывает колоссальные объемы мусора из-за активной урбанизации. В ответ на это страна запускает национальные проекты по цифровизации экологической инфраструктуры.

В больших городах (Пекин, Шанхай, Ханчжоу) реализованы: Автоматизированные сортировочные узлы с ИИ-идентификацией материалов. Роботизированные системы глубокой сортировки. Умные контейнеры с системой распознавания пользователей. Мобильные приложения для мониторинга раздельного сбора.

В Китае широко применяют технологии: Глубокое обучение для идентификации пластика по виду полимера. Спектрального анализа для выявления состава вещества. Предиктивной аналитики для организации переработки.

Китайские компании также создают целостные экосистемы, в которых данные о вывозе отходов объединяются с заводами, покупающими переработанное сырье. Таким образом создается цифровая модель циркулярной экономики.

Изучение международного опыта выявляет несколько общих тенденций: Интеллектуальная сортировка чаще всего применяется на масштабных производственных линиях. Применяется сочетание компьютерного зрения и спектрального анализа. Внедрение осуществляется при государственной поддержке. Цифровые технологии внедряются в единую структуру «умного города».

Главной задачей является увеличение чистоты вторичного сырья и уменьшение доли захоронения. При этом каждая страна акцентирует внимание на своих приоритетах:

Германия - стандарт переработки и надзор за гражданами.

Япония - автоматизация и многоуровневая сортировка в городской среде.

Китай - возможность расширения и цифровое объединение на уровне крупных городов.

Результаты доказывают, что применение искусственного интеллекта увеличивает точность и продуктивность сортировки, сокращает расходы и способствует экологической устойчивости.

Архитектурное решение предложенной системы:

Предлагаемая система состоит из трех уровней: Степень сбора информации (датчики, видеокамеры). Глубина обработки (нейронная сеть). Качество выполнения (роботизированные устройства).

Данная архитектура обеспечивает полный процесс автоматизированной сортировки.

Возможные последствия внедрения:

Экономические последствия: Уменьшение расходов на физический труд. Увеличение объема обрабатываемого сырья. Увеличение продуктивности производственных потоков.

Экологические воздействия: Уменьшение нагрузки на свалки. Снижение выбросов углекислого газа;

Социальные воздействия: Увеличение охраны труда. Образование современных высокотехнологичных вакансий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения работы была создана концепция умной системы сортировки твердых бытовых отходов. Достигнуты поставленные цели и задачи: проанализированы действующие подходы, рассмотрены зарубежные образцы, разработана архитектура системы и оценены возможности ее внедрения. Данные подтверждают, что применение искусственного интеллекта улучшает точность и эффективность сортировки, уменьшает затраты и способствует экологической устойчивости.

Перспективы будущих исследований связаны с разработкой прототипа системы и его испытанием в действующих производственных условиях.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ: Авторы выражают благодарность научному руководителю за методологическую поддержку и рекомендации при подготовке проекта.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: ChatGPT. (2026, март 3). Использование генеративной модели для структурирования научной статьи по теме сортировки отходов с применением ИИ [Большая языковая модель]. OpenAI. <https://chat.openai.com>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Abedin, B., Meske, C., Junglas, I., & others. (2022). Designing and managing human-AI interactions. *Information Systems Frontiers*, 24, 691–697. <https://doi.org/10.1007/s10796-022-10313-1>
- Alhloul, A., & Kiss, E. (2022). Industry 4.0 as a challenge for the skills and competencies of the labor force: A bibliometric review and a survey. *Sci*, 4(3), 34. <https://doi.org/10.3390/sci4030034>
- Bala, A., & others. (2020). Artificial intelligence in solid waste management: Applications and challenges. *Waste Management*, 105, 498–508. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.02.040>
- Dutta, S., Lanvin, B., & Wunsch-Vincent, S. (2022). *Global innovation index 2022: What is the future of innovation-driven growth?* World Intellectual Property Organization. https://www.wipo.int/global_innovation_index/en/2022/
- IMD World Competitiveness Center. (2024). *IMD World Digital Competitiveness Ranking 2024*. Institute for Management Development. <https://www.imd.org/centers/world-competitiveness-center/rankings/world-digital-competitiveness/>
- Jiang, P., & others. (2021). Intelligent waste sorting system based on deep learning. *Journal of Cleaner Production*, 298, 126775. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126775>
- OECD. (2024). *OECD skills strategy Kazakhstan: Assessment and recommendations*. OECD Publishing. https://www.oecd.org/en/publications/oecd-skills-strategy-kazakhstan_39629b47-en.html
- Recycleye. (2024). *AI-powered waste sorting robots in Europe*. Recycleye Ltd. <https://recycleye.com>
- Schwab, K. (2016). *The fourth industrial revolution*. World Economic Forum. <https://www.weforum.org/about/the-fourth-industrial-revolution-by-klaus-schwab/>

- Shevyakova, A., Petrenko, Y., Fomenko, N., Munsch, E., & Daribekova, N. (2023). Building competencies for Industry 4.0: Suggestions from Kazakhstan experience. *Communications of International Proceedings*, 2023(2), Article 4136223. <https://doi.org/10.5171/2023.4136223>
- UNDP. (2025). *Human development report 2023–2024: Breaking the gridlock: Reimagining cooperation in a polarized world*. <https://hdr.undp.org/content/human-development-report-2023-24>
- World Bank. (2023). *Research and development expenditure (% of GDP) – Kazakhstan*. World Development Indicators. <https://data.worldbank.org/indicator/GB.XPD.RSDV.GD.ZS?locations=KZ>
- Zhang, Y., & others. (2022). Deep learning-based automatic waste classification system. *Sustainability*, 14(5), 2564. <https://doi.org/10.3390/su14052564>
- Баксултанов, Д., Курманов, Н., Керимкулова, М., & Сырлыбаева, Н. (2022). Анализ и оценка состояния инновационного развития Казахстана. *Журнал экономических исследований и делового администрирования*, 141(3), 138–150. <https://doi.org/10.26577/be.2022.v141.i3.13>

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ КОМПИЛЯЦИИ ОСНОВНЫХ ДАННЫХ ПО ГЕОЛОГИИ С УЧЕТОМ МАТЕРИАЛОВ ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ

УДК 553.3.072

А.П. Пяткова^{1*}, М.А. Мизерная¹, А.В. Пятков^{1,2}, М.П. Половко³

¹ НАО «ВКТУ имени Д. Серикбаева» Усть-Каменогорск, Казахстан

² Товарищество с ограниченной ответственностью «ГЕОС», г. Усть-Каменогорск, Казахстан

³ Товарищество с ограниченной ответственностью «Казцинк», г. Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Пяткова Анна Павловна, e-mail: korajiji@mail.ru

АННОТАЦИЯ. Компиляция и систематизация геологических данных представляет собой сложный процесс, включающий обработку разнородной информации, полученной из полевых исследований, картографических материалов и опубликованных научных трудов предшественников. Традиционные методы анализа зачастую ограничены в эффективной обработке больших объёмов исторических и современных данных, что требует внедрения более интеллектуальных инструментов. Искусственный интеллект (ИИ) показал высокую эффективность при решении задач интеграции, анализа и обогащения геологических массивов за счет применения методов машинного обучения, обработки естественного языка и интеллектуального моделирования. Возможности искусственного интеллекта выводят геологию на принципиально новый уровень, предоставляя инструменты для анализа огромному количеству информации и позволяя обнаруживать скрытые закономерности, которые ранее оставались незамеченными для специалистов.

Ключевые слова: компиляция, искусственный интеллект, результаты данных, интеграция, эффективность, геология.

ВВЕДЕНИЕ

Данная работа посвящена анализу и применению методов искусственного интеллекта (ИИ) для компиляции и систематизации основных данных по геологии с учётом материалов предшественников. В контексте крупномасштабных геологических исследований и мониторинга природных ресурсов возрастает потребность в эффективных инструментах обработки больших объёмов разнородной информации, полученной из исторических источников, полевых наблюдений, лабораторных анализов и геоинформационных систем. Использование ИИ позволяет решать задачи структурирования, интеграции и интерпретации геологических данных с высокой степенью автоматизации и точности, сокращая время аналитических циклов и минимизируя влияние субъективных факторов. Ключевым элементом компиляции данных является предобработка материалов предшественников, включающая цифровизацию архивных отчётов, объединение терминологии, устранение избыточной и противоречивой информации. Основной задачей при объединении данных из многочисленных разрозненных источников является обеспечение целостности и согласованности. Структурирование данных осуществляется посредством построения базы знаний, отражающей иерархию геологических понятий, типы пород, минералогические характеристики, временные и пространственные параметры геологических процессов. При этом используются алгоритмы кластеризации и классификации, обеспечивающие согласованность и взаимосвязь между фрагментами информации, полученными на различных этапах исследования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Многоуровневая модель искусственного интеллекта обеспечивает мультидисциплинарный анализ, используя методы глубокого обучения для выявления паттернов и прогнозирования геологических аномалий, связанных, например, с ресурсным потенциалом или рисками природных явлений. Для достижения поставленной цели используются следующие подходы: *эффективное извлечение данных* – автоматизированные системы, основанные на обработке естественного языка, позволяют быстро и точно извлекать наиболее важные геологические параметры и индикаторы из большого объема текстовой информации (аналитических отчетов, диссертаций, архивов). Это значительно повышает эффективность работы в сравнении с ручным анализом; *систематизация данных* – методы машинного обучения используются для упорядочивания данных (классификации) по их геологическим характеристикам, включая литологию, стратиграфию, минералогию и тектонику; *разработка прогнозов и моделей* – интегрируя исторические данные с новыми наблюдениями, создаются адаптивные модели, которые помогают прогнозировать развитие геологических процессов, определять перспективные участки для поиска полезных ископаемых и предсказывать возникновение опасных геологических явлений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Применение искусственного интеллекта в компиляции геологических данных повышает точность интерпретаций и расширяет аналитические возможности. Вкратце, из положительных моментов работы с искусственным интеллектом следует выделить: *обеспечение* существенного сокращения временных затрат на формирование геологической документации и информационных ресурсов; *повышение эффективности* идентификации и анализа потенциально ценных месторождений полезных ископаемых; *надежная база* для принятия обоснованных управленческих решений в сфере управления недрами, основанная на всестороннем анализе ретроспективной и актуальной информации; своевременная *актуализация* и пересмотр геологических моделей в режиме реального времени по мере поступления новой информации.

Дальнейшее развитие алгоритмов искусственного интеллекта, включая глубокое обучение и нейросетевые подходы, позволяет повысить качество анализа полуструктурированных и неструктурированных геологических данных, а также углубить синтез знаний, формируя новые предпосылки для геологоразведочных исследований и устойчивого использования природных ресурсов (рисунок 1).



Рисунок 1. Процесс обработки данных искусственным интеллектом

Данный подход находит применение в любом направлении геологической сферы: как в минералогии, так и геологоразведочном прогнозировании. Алгоритмы, на которых построена система работы искусственного интеллекта, позволяют проводить комплексный анализ данных о петрографическом составе и физических характеристиках горных пород, что способствует определению перспективных участков для обнаружения месторождений полезных ископаемых. Это, в свою очередь, обеспечивает оптимизацию планирования геологоразведочных мероприятий и повышение точности оценки ресурсного потенциала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги, следует отметить основные преимущества применения искусственного интеллекта в компиляции геологических данных. Во-первых, это автоматизация обработки и стандартизации неоднородных данных на основе предшествующего опыта и накопленных материалов; во-вторых, увеличение достоверности анализа за счёт постоянного обучения моделей на исторических и новых данных, однако, стоит в данном пункте внести ремарку – этап все-таки контролируется оператором, чтобы не допустить ошибки в алгоритме и направлении обучения искусственного интеллекта; в-третьих, время подготовки аналитических отчётов и геологических карт существенно сокращается, что позволяет оптимизировать рабочий график. Важным фактором при работе с ИИ является обеспечение воспроизводимости и прозрачности результатов исследований посредством упорядочивания алгоритмов обработки, а также возможность гибкой адаптации к специфическим задачам региональных и глобальных геологических проектов. Существенным нюансом остаётся согласование форматов данных и разработка единых стандартов для обмена геологической информацией, что требует совместной работы специалистов в области геоинформатики и геологии. Тем не менее, анализ существующих практик подтверждает, что интеграция технологий искусственного интеллекта и анализа материалов предшественников кардинально повышает качество и полноту геологических исследований. Таким образом, внедрение инструментов искусственного интеллекта в процессы компиляции основных данных по геологии способствует формированию динамичных, масштабируемых и подстраиваемых под определенную задачу информационных систем, способных эффективно обслуживать современные и перспективные научные и промышленные задачи в сфере геологии и минеральных ресурсов.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Работа выполнена в рамках бюджетной программы «Конкурс на грантовое финансирование исследований молодых ученых по проекту «Жас ғалым», тема ИРН №АР25796663.

БЛАГОДАРНОСТИ: Авторы выражают благодарность коллегам за методологическую поддержку и полезные обсуждения, а также анонимным рецензентам за ценные замечания, способствовавшие улучшению качества статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Полеванов В. П. Применение искусственного интеллекта в геологии (2024). «Бурение и нефть». 2024. № 7-8. Сс.14-15. <https://doi.org/10.62994/2072-4799.2024.63.97.002>

Khisamov R.S., Bachkov A.P., Voitovich S.E., Grunis E.G., Alekseev R.A. Artificial Intelligence as important tool of modern geologist. *Geologiya nefti i gaza*. 2021;(2):37–45. <https://doi.org/10.31087/0016-7894-2021-2-37-45>.

Наумова, В. В. «V Международная Конференция Информационные технологии для наук о земле и приложения для геологии, горной промышленности и экономики.

Ites&Mp-2019». *Электронные библиотеки*, т. 23, вып. 6, июль 2020 г., сс. 1279-00, <https://doi.org/10.26907/1562-5419-2020-23-6-1279-1300>

Matthew J. Cracknell, Anya M. Reading. Geological mapping using remote sensing data: A comparison of five machine learning algorithms, their response to variations in the spatial distribution of training data and the use of explicit spatial information. *Computers & Geosciences* 63 (2014) 22–33. <http://doi.org/10.1016/j.cageo.2013.10.008>

Мизерная М.А., Пяткова А.П., Айтқазыев Т.М., Пятков А.В., Половко М.П. Современное представление о промышленной классификации колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая. *Геотехнологии. Безопасность жизнедеятельности. Труды университета №1 (94) - 2024. Сс. 207-213.* https://doi.org/10.52209/1609-1825_2024_1_207

Пяткова А.П., Пятков А.В., Половко М.П. Модель систематизации геологической информации колчеданно-полиметаллических месторождений в пределах казахстанской части Рудного Алтая. *Творчество молодых – инновационному развитию Казахстана: Материалы X Международной научно-технической конференции студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых, 11-12 апреля 2024 г., – Өскемен: ШКТУ, 2024. – IV б. – 408 б. – қазақша, орысша.- Сс. 257-261. ISBN 978-601-208-839-7 (IV б.)*

Гришков Г.А., Нафигин И.О., Устинов С.А., Минаев В.А., Петров В.А. Подход к созданию пространственных прогнозно-поисковых моделей месторождений на основе сверточных нейронных сетей (на примере территории Юго-Восточного Забайкалья) // *Наука и технологические разработки*. 2024. Т 103. № 2. С. 75-90. <https://doi.org/10.21455/std2024.2-5>

Вислова А.Д. Современные тенденции развития искусственного интеллекта. *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН - №2 - (94) - 2020.* <https://doi.org/10.35330/1991-6639-2020-2-94-14-30>

Рыбак О.П. Искусственный интеллект как объект статистического изучения. *Вопросы статистики*. 2020; 27 (2) - Сс. 34 - 47. <https://doi.org/10.34023/2313-6383-2020-27-2-34-47>

Шарапатов А., Садуов А., Асирбек Н. Сравнительный анализ возможностей алгоритмов машинного и глубокого обучения в геологии. *Горный журнал Казахстана №11. – 2023. – Сс.14-20.* <https://doi.org/10.48498/minmag.2023.223.11.002>

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ДИАГНОСТИКИ МИНЕРАЛОВ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД В АНШЛИФАХ

УДК 549.08

Е.О. Раков^{1*}, Г.И. Щербатых¹, С.Н. Альжапарова¹

¹ВКТУ имени Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Раков Егор Олегович, rakov.ye@edu.ektu.kz

АННОТАЦИЯ. В статье рассматривается подход к автоматизации минералогического анализа полиметаллических руд с использованием сверточных нейронных сетей. На основе авторского набора микрофотографий аншлифов месторождений Восточного Казахстана была обучена модель для идентификации сульфидных минералов. Результаты показывают высокую эффективность ИИ в рутинных задачах классификации, что открывает перспективы для создания систем поддержки принятия решений в экспресс-анализе рудного сырья.

Ключевые слова: искусственный интеллект, сверточные нейронные сети, полиметаллические руды, аншлифы, минераграфия.

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития горно-геологической отрасли характеризуется переходом к концепции «Индустрии 4.0» [1-2], что подразумевает глубокую цифровизацию всех производственных процессов. В этих условиях методы изучения вещественного состава руд, в частности минераграфия, сталкиваются с необходимостью обработки колоссальных объемов визуальной информации. Традиционный метод микроскопического анализа в отраженном свете, несмотря на свою точность, во многом остается субъективным и трудоемким процессом [3]. Эффективность диагностики напрямую зависит от квалификации специалиста, а монотонный характер работы при изучении больших серий образцов неизбежно ведет к усталости оператора и повышению вероятности пропуска микроскопических включений ценных компонентов.

Особую значимость автоматизация минералогического анализа приобретает для условий Восточного Казахстана и Рудного Алтая, где полиметаллические месторождения отличаются сложным минеральным составом и тонкой вкрапленностью рудных фаз [4-5]. В связи с этим внедрение систем искусственного интеллекта (ИИ) на базе сверточных нейронных сетей (CNN) представляется наиболее перспективным решением [6-8]. Такие системы способны не только идентифицировать минералы по их оптическим свойствам, но и проводить автоматический подсчет площадей минеральных фаз, что критически важно для оценки технологических свойств руд. Целью данной работы является разработка и апробация программного прототипа на базе сверточных нейронных сетей для автоматизированной идентификации и классификации основных рудообразующих минералов Рудно-Алтайской металлогенической области (преимущественно галенита, сфалерита, халькопирита и пирита), по микрофотографиям аншлифов в отраженном свете.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методологическая основа данного исследования базируется на принципах глубокого обучения (Deep Learning) [9], а также на классических методах минераграфического анализа [10–12]. В качестве объектов исследования

использовались аншлифы полиметаллических руд, характеризующиеся ассоциацией сульфидов свинца, цинка, меди и железа (рисунок 1). Процесс подготовки данных включал в себя высокодетальную фотофиксацию участков препаратов с использованием микроскопа OLYMPUS BX-51 с поляризационным модулем и оснащенный цифровыми камерами, в соответствии с методическими рекомендациями [11-12]. Сформированный массив микрофотографий прошел стадию разметки, в ходе которой экспертом-минералогом были выделены эталонные участки, соответствующие конкретным минеральным видам [13-14]. Вычисления производились на базе рабочей станции с восьмиядерным процессором Ryzen 7 3700X и графическим ускорителем NVIDIA RTX 3060 Ti (8 ГБ видеопамати), что позволило использовать аппаратное ускорение CUDA для сокращения времени обучения модели.

Для повышения устойчивости модели к внешним факторам, таким как вариации освещения или качество полировки, была применена процедура аугментации данных [15]. Она включала в себя программное вращение снимков, изменение яркостного баланса и добавление шумов, что позволило искусственно расширить выборку и предотвратить переобучение сети. В качестве архитектурного решения была выбрана нейросеть ResNet-50, предобученная на обширном наборе изображений. Применение метода *Transfer Learning* позволило адаптировать уже существующие у сети навыки распознавания геометрических форм и текстур под специфические задачи минераграфии, что значительно сократило время обучения на локальном наборе данных [16-17]. Для объективной оценки качества модели данные были разделены в пропорции 80/20. 80% данных составили обучающую выборку, а 20% — валидационную, на которой проверялась способность нейросети к обобщению и корректному распознаванию новых, ранее не виденных ею образцов.

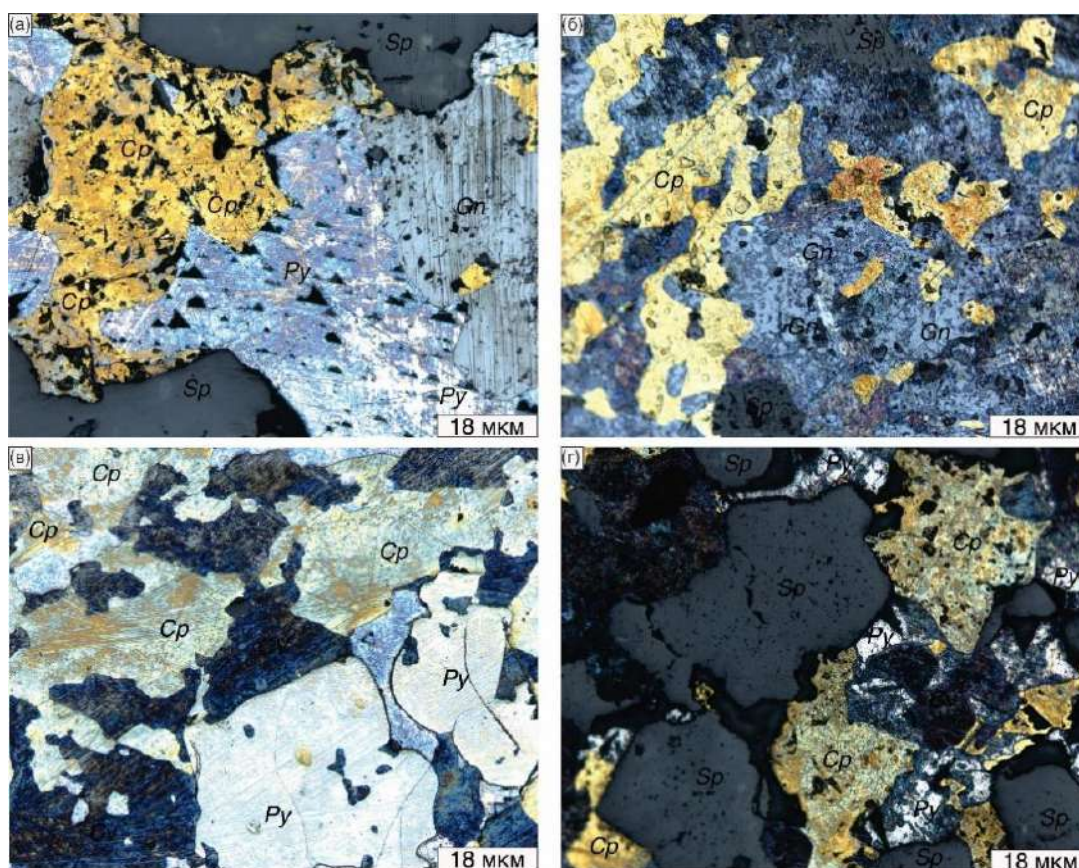


Рисунок 1. Примеры исследуемых микрофотографий образцов аншлифов полиметаллических руд.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ динамики обучения (рисунок 2) показывает, что показатель точности (Accuracy) на валидационной выборке достиг значения 85,3%. Функция потерь (Loss) на финальных этапах стабилизировалась на уровне 0,34, что свидетельствует о высокой способности модели к обобщению данных. Полученные результаты подтверждают гипотезу о возможности использования предобученных нейросетевых архитектур для специфических задач рудной микроскопии даже при относительно небольшом объеме локальной обучающей выборки.

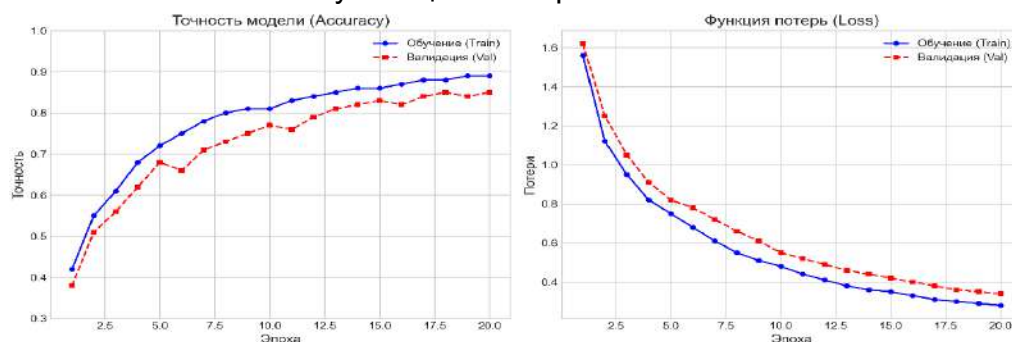


Рисунок 2. Графики Точности модели (Accuracy) и Функции потерь (Loss).

Детальный анализ результатов классификации по отдельным минеральным видам представлен в матрице ошибок (Рис.3).

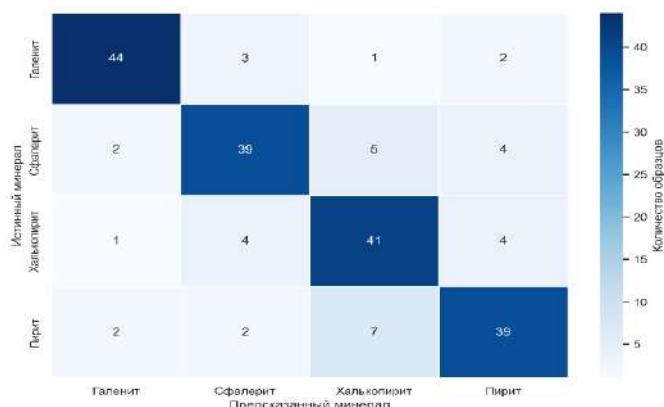


Рисунок 3. Матрица корреляций проведенных экспериментов.

Наилучшие показатели распознавания были зафиксированы для галенита (точность 88%). Это объясняется специфическими диагностическими признаками данного минерала в отраженном свете: высокой отражательной способностью (белый цвет) и наличием характерного микрорельефа в виде треугольных ямок выкрашивания, которые нейросеть успешно идентифицировала как уникальные текстурные паттерны.

Для сфалерита точность составила 84%. Основные затруднения при идентификации данного минерала были связаны с вариативностью его окраски (от темно-серых до светло-серых оттенков) и наличием внутренних рефлексов, которые при определенном освещении могут искажать спектральные характеристики пикселей. Тем не менее, модель уверенно отделяла сфалерит от более ярких сульфидов.

Наибольшее количество ошибок (около 12%) возникло при дифференциации пирита и халькопирита. Оба минерала обладают высокой отражательной способностью и желтыми оттенками различной интенсивности, что согласуется с общемировой практикой идентифицирования [17]. В случаях, когда халькопирит

присутствует в виде мелкой эмульсионной вкрапленности внутри сфалерита или образует тонкие каймы вокруг зерен пирита, нейросеть иногда ошибочно классифицировала данные участки. С точки зрения геологии, это объясняется схожестью их оптических констант и сложностью структурно-текстурных взаимоотношений, требующих более высокого пространственного разрешения микрофотографий.

Обсуждая полученные данные, следует отметить, что точность в 85% является достаточной для автоматизированного экспресс-анализа руд на предварительных стадиях разведки. В отличие от традиционного подсчета минеральных фаз вручную, который может занимать у специалиста-минералога несколько часов для одного аншлифа, разработанная модель выполняет сегментацию и классификацию изображения практически мгновенно.

Важным преимуществом предложенного подхода является его инвариантность к субъективному фактору: в отличие от человека, ИИ не подвержен усталости и всегда использует одни и те же критерии оценки цвета и яркости. Однако для повышения точности в будущем необходимо расширение базы данных за счет включения изображений минералов в иммерсионном масле и при скрещенных николях, что позволит добавить дополнительные диагностические признаки (анизотропию и внутренние рефлексы) в алгоритм распознавания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного исследования была обоснована и экспериментально подтверждена эффективность применения сверточных нейронных сетей для автоматизированной диагностики сульфидных минералов в аншлифах. Использование архитектуры ResNet-50 позволило достичь точности распознавания на уровне 85,3%, что является достаточным показателем для первичного экспресс-анализа полиметаллических руд.

Основные выводы работы:

1. Технологическая доступность: Предложенный метод позволяет проводить качественный минералогический анализ на основе стандартных оптических микрофотографий, исключая необходимость использования дорогостоящих электронно-зондовых систем.

2. Объективность: Внедрение ИИ минимизирует влияние «человеческого фактора» и субъективность визуальной оценки, обеспечивая высокую воспроизводимость результатов.

3. Экономическая эффективность: Автоматизация рутинных процессов классификации позволяет сократить время камеральной обработки геологических проб в несколько раз.

Несмотря на достигнутые результаты, модель сохраняет потенциал для совершенствования, особенно в вопросах диагностики тонких сростаний пирита и халькопирита. Дальнейшее развитие проекта планируется в направлении расширения обучающей выборки за счет образцов других месторождений Восточного Казахстана и интеграции алгоритмов количественного подсчета запасов ценных компонентов непосредственно по цифровым снимкам.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ: Авторы благодарят коллег за оказанную поддержку и плодотворные обсуждения, а также анонимных рецензентов, чьи профессиональные рекомендации позволили существенно повысить научный уровень данной работы.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: При подготовке данной рукописи авторы использовали инструменты генеративного искусственного интеллекта исключительно в целях стилистического

редактирования текста и проверки оформления библиографических ссылок. Авторы тщательно проверили весь сгенерированный и отредактированный материал и несут полную ответственность за итоговое содержание, научные выводы и оригинальность статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Zhironkin, M., & Cehlár, M. (2023). Technological and Intellectual Transition to Mining 4.0: A Review. *Energies*, 16(3), 1427. <https://doi.org/10.3390/en16031427>
- Löw, J., Abrahamsson, L., & Johansson, J. Mining 4.0—the Impact of New Technology from a Work Place Perspective. *Mining, Metallurgy & Exploration* 2019, 36(4), 701–707. <https://doi.org/10.1007/s42461-019-00104-9>
- Korshunov, D.M., Khvostikov, A.V., Nikolaev, G.V., Sorokin, D.V., Indychko, O.I., Boguslavskii, M.A., & Krylov, A.S. (2025). From visual diagnostics to deep learning: automatic mineral identification in polished section images. *Mining Science and Technology (Russia)*, 10(3), 232–244. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2025-05-416>
- Chekalin, V. M., & Dyachkov, B. A. (2013). Rudny Altai base-metal belt: localization of massive sulfide mineralization. *Geology of Ore Deposits*, 55(6), 438–454. <https://doi.org/10.1134/S1075701513060020>
- D'yachkov, B.A., Kuzmina, O.N., Oitseva, T.A., Mizernaya, M.A., et al. Features of Geological Structure and Ore Content of the Altai-Tarbagatai Region (Eastern Kazakhstan). *Minerals* 2022, 12(6), 744. <https://doi.org/10.3390/min12060744>
- Filippo, M. P., et al. (2021). Deep learning semantic segmentation of opaque and non-opaque minerals from epoxy resin in reflected light microscopy images. *Minerals Engineering*, 170, 107007. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.107007>
- De Castro, B.; Benzaazoua, M.; Chopard, A.; Plante, B. Automated mineralogical characterization using optical microscopy: Review and recommendations. *Minerals Engineering*, 2022, 189, 107896. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2022.107896>
- Maitre, J.; Bouchard, K.; Bédard, L.P. Mineral grains recognition using computer vision and machine learning. *Computers & Geosciences*, 2019, 130, 84–93. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2019.05.009>
- Müller, A.; et al. A Comparative Study of Deep Learning Architectures for the Classification of Sulfide Ore Minerals. *Minerals* 2021, 11, 705. <https://doi.org/10.3390/min11070705>
- Avdonin, V.V. *Methods for Studying Ore Minerals*; Aspect Press: Moscow, Russia, 2007; p. 256. (In Russian)
- Izoitko, V.M. *Technological Mineralogy of Ores*; Nauka: St. Petersburg, Russia, 1997; p. 582. (In Russian)
- Vikentiev, I.V. *Fundamentals of Microscopic Study of Ores in Reflected Light*; MSU: Moscow, Russia, 2012; p. 144. (In Russian)
- Maitre, J., Bouchard, K. and Bédard, L.P. (2019) Mineral Grains Recognition Using Computer Vision and Machine Learning. *Computers & Geosciences*, 130, 84–93. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2019.05.009>
- Li, H., et al. Application of Target Detection Based on Deep Learning in Intelligent Mineral Identification. *Minerals*, 2024, 14(9), 873. <https://doi.org/10.3390/min14090873>
- Zhang, J., et al. Mineral Identification Based on Deep Learning Using Image Luminance Equalization. *Applied Sciences*, 2022, 12(14), 7055. <https://doi.org/10.3390/app12147055>
- He, K.; Zhang, X.; Ren, S.; Sun, J. Deep Residual Learning for Image Recognition. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Las Vegas, NV, USA, 26 June–1 July 2016; pp. 770–778. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90>
- Zhou, Y.; Li, Y.; Wang, S.; Zhang, Y. Deep learning-based mineral image classification using convolutional neural networks. *Minerals*, 2020, 10(11), 1021. <https://doi.org/10.3390/min10111021>

РАХМАНОВ КӨЛІНІҢ СУ ОРТАСЫ МЕН ТҮПТІК ШӨГІНДІЛЕРІНІҢ ГЕОХИМИЯЛЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

ӘОЖ 550.42:556.55 (574.41)

О.К. Ракишев^{1*}, Ж.К. Идришева¹

¹Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті (ШҚТУ), Өскемен қаласы, Қазақстан

*Хаттасушы автор: Ракишев Олжас, e-mail: orakisev@gmail.com

АНДАТПА. Мақалада Рахманов көлінің (Қазақстандық Алтай) су ортасы мен түптік шөгінділерінің геохимиялық сипаттамаларына қатысты бар деректер талданады. Зерттеудің өзектілігі биіктігі жоғары таулы көлдердің экожүйелерін, оның ішінде уникальды термальды көздері бар нысандарды геохимиялық тұрғыда зерттеу қажеттілігінде жатыр. Жұмыстың мақсаты - көлдің табиғи-географиялық жағдайларын, гидробиологиялық көрсеткіштерін ескере отырып, судың химиялық құрамы мен түптік шөгінділердің қалыптасу ерекшеліктерін әдебиеттер деректері негізінде бағалау. Өрнектелген ақпараттарға сүйене отырып, көл суының физикалық-химиялық параметрлері, альгофлорасының құрамы және түптік шөгінділердің литологиялық сипаты талданды [3]. Сонымен қатар, қалалық су объектілеріндегі микроэлементтік құрамның таралу заңдылықтарымен салыстырмалы талдау жасалып, Рахманов көлінің геохимиялық фондың ерекшеліктері анықталды [2]. Зерттеу нәтижелері көлдің экологиялық тұрақтылығын көрсететінін, бірақ нақты химиялық элементтердің концентрацияларын анықтау бойынша іргелі зерттеулердің жетіспейтінін көрсетеді.

Түйінді сөздер: Рахманов көлі, геохимия, түптік шөгінділер, альгофлора, су сапасы, экология, Қазақстандық Алтай

КІРІСПЕ

Қазіргі таңда су ресурстарының сапасын бақылау және экожүйелердің геохимиялық режимін зерттеу ғылымның өзекті бағыттарының бірі болып табылады. Бұл мәселе рекреациялық және бальнеологиялық маңызы бар, сонымен қатар табиғи аумақтарды сақтау қажеттілігі туындайтын ерекше табиғи нысандарға толық қатысты. Осындай нысандардың бірі – Шығыс Қазақстан облысының Катонқарағай ұлттық паркінде орналасқан Рахманов көлі [3].

Көл теңіз деңгейінен 1760 метр биіктікте, тар таулы аңғарда орналасқан. Оның ауданы 1,14 км², ең ұзындығы 2,6 км, ал ең терең жері 30,6 метрді құрайды. Көл ағынды болып табылады және оған жоғарырақ орналасқан термальды радонды бұлақтар әсер етеді [1].

Таңдаған тақырыптың өзектілігі мынадай: Рахманов көлінің биологиялық әртүрлілігіне (альгофлораға) қатысты зерттеулер бар, бірақ судың тікелей химиялық-аналитикалық құрамы және түптік шөгінділердің микроэлементтік құрамы туралы деректер шектеулі. Сондықтан, бар гидробиологиялық және физикалық-географиялық деректерді жалпы геохимиялық теориялармен (атап айтқанда, су объектілеріндегі микроэлементтердің таралуы жөніндегі заманауи деректермен) байланыстыра отырып, кешенді талдау жасау қажет [2].

Бұл жұмыстың мақсаты - Рахманов көлінің су ортасы мен түптік шөгінділерінің геохимиялық күйін әдебиеттерге сүйенісіп бағалау, сондай-ақ оның гидрохимиялық режиміне әсер ететін негізгі факторларды анықтау болып табылады.

ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕМЕСІ МЕН МАТЕРИАЛДАРЫ

Зерттеу объектісі ретінде Рахманов көлінің су тоғаны мен түптік шөгінділері қарастырылды. Зерттеу әдістемесі әдебиеттер шолуына негізделген. Басты дерек көздері ретінде келесі ғылыми жарияланымдар пайдаланылды:

1. С.Б. Нурашов пен Э.С. Саметованың «Водоросли Рахмановского озера (Казахстанский Алтай)» мақаласы, онда көлдің альгофлорасы, физикалық параметрлері және түптік шөгінділерінің жалпы сипаттамалары ұсынылған [1].

2. С.Г. Ницкая мен И.В. Антоненконың «Микроэлементный состав донных отложений водных объектов в условиях городской застройки» мақаласы, онда су ортасы мен түптік шөгінділер арасындағы микроэлементтердің (ауыр металдардың) алмасу механизмі және геохимиялық ауыспалылық зерттелген [2].

Аталған деректер негізінде Рахманов көлінің геохимиялық ерекшеліктеріне салыстырмалы талдау жасалып, келесі бағыттар бойынша қорытындылар жасалды:

- Көл суының физикалық-химиялық режиміне баға беру.
- Биологиялық индикаторлар (альгофлора) арқылы судың химиялық құрамын болжау.
- Түптік шөгінділердің қалыптасу факторларын және олардағы геохимиялық процестерді талдау.
- Рахманов көлінің табиғи жағдайын антропогендік әсерге ұшыраған су объектілерімен салыстыру [4].

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

Су ортасының физикалық-химиялық параметрлері және геохимиялық баға. Әдебиеттерді талдау Рахманов көлі суының физикалық көрсеткіштерінің геохимиялық процестерге едәуір әсер ететінін көрсетеді. С.Б. Нурашовтың деректері бойынша, көл суы жасыл-көк түстес, мөлдірлігі 7 метрден асып кетеді. Жазғы кезеңде судың беткі қабатының температурасы 10-12°C, ал түбіндегі су температурасы 4,5°C шамасында болады [1].

Мұндай төмен температуралық режим және жоғары мөлдірлік органикалық заттардың шоғырлануына кедергі келтіретіндіктен, судың химиялық тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Жоғары мөлдірлік судың ішінде қауіпті улы элементтердің (мысалы, ауыр металдардың) органикалық комплекстер түрінде шоғырлануының төмен екенін білдіреді. Көлге құятын термальды бұлақтардың температурасы 24-40°C құрайды, бұл микроаумақтарда геохимиялық тепе-теңдікке әсер етіп, микроорганизмдер мен балдырлардың өсіп-өнуіне әсер етеді [1].

Альгофлора құрамы арқылы судың геохимиялық сипаттамасы. Геохимиялық талдаудың жанама әдісі ретінде көлдің альгофлорасының таксономиялық құрамы қолданылды. С.Б. Нурашов пен Э.С. Саметованың зерттеулері Рахманов көлінің альгофлорасы өте бай екенін көрсетеді: мұнда балдырлардың 4 бөліміне және 10 класына жататын 249 түрі, нұсқасы мен формасы анықталған. Таксономиялық құрылымда диатомды балдырлар (Bacillariophyta) айқын басымдыққа ие (68,7%), ал екінші орында жасыл балдырлар (Chlorophyta) орналасқан (25,3%) [1].

Диатомды балдырлардың басымдығы судың кремний оксидімен (SiO₂) қаныққандығын, яғни кремнийдің циклінің белсенді екенін көрсетеді. Бұл - тұщы сулы, таза экожүйелерге тән белгі. С.Г. Ницкая мен И.В. Антоненконың зерттеулерінде көрсетілгендей, қалалық ластанған су объектілерінде көкшіл-жасыл балдырлардың (Cyanoprokaryota) массалық өсіп-өнуі эвтрофикация және органикалық ластанудың көрсеткіші болып табылады [2]. Рахманов көлінде бұл топтың үлесі небары 5,6% құрайды, бұл поллютанттардың төмен деңгейде екенін және көлдің геохимиялық тазалығын дәлелдейді.

Түптік шөгінділердің геохимиялық құрамы мен қалыптасу ерекшеліктері. Рахманов көлінің түбі негізінен қоңыр лаймен (ил) жабылған, жағалауы құм-

қиыршықтан тұрады [1]. Ницкая мен Антоненконың деректеріне сүйенсек, құмдақ және құмайт текті шөгінділер ауыр металдарды сорбциялау қабілеті төмен орта болып табылады [2]. Алайда, Рахманов көліндегі қоңыр лайдың пайда болуы автохтонды (көл ішіндегі органика) және аллохтонды (ағын сулар) факторларының әсерінен жүреді.

Геохимиялық тұрғыдан, терең көлдердегі түптік шөгінділер элементтердің «депонаторы» қызметін атқарады. Қалалық өзендердегідей (Ницкая, Антоненко деректері), мұнда да ауыр металдардың (Pb, Zn, Cu, Cr және т.б.) түпке шөгуі жүруі мүмкін. Бірақ, Рахманов көлінің жағдайында антропогендік көздердің (өнеркәсіп кәсіпорындары) жоқтығынан, бұл металдардың шоғырлануы тек литогендік (тау жыныстарынан шайылып келу) жолымен жүзеге асады. Көлдің түбіндегі төмен температура (4,5°C) органикалық заттардың баяу ыдырауына және шөгінділердің консервациялануына әкелетіндіктен, геохимиялық процестер баяу жүреді.

Салыстырмалы талдау. Қалалық су объектілеріндегі геохимиялық процестермен (Ницкая, Антоненко) салыстырғанда, Рахманов көлінің геохимиясы келесі айырмашылықтарға ие:

1. Ластану көзі: Қалалық су объектілері үшін – техногендік (өнеркәсіп, көлік), Рахманов көлі үшін – табиғи (литогендік және гидротермальды).

2. Биологиялық көрсеткіштер: Рахманов көлінде индикаторлық таза су балдырлары (диатомдар) басым, ал ластанған суларда көкшіл-жасыл балдырлар басым.

3. Шөгінділердің құрамы: Рахманов көлінде түптік шөгінділер негізінен табиғи минералдардан тұрады, ал қалалық су нысандарында олар ауыр металдар мен көмірсутектермен ластанған «техногенді тұнбалар» болуы мүмкін [2].

ҚОРЫТЫНДЫ

Әдебиеттерге сүйенісіп жүргізілген талдау нәтижелері бойынша келесі қорытындылар жасалды:

1. Рахманов көлінің суы биіктігі жоғары таулы ортада орналасқандықтан төмен температуралық режимге (4,5–12°C) ие, бұл геохимиялық реакциялар жылдамдығын төмендетіп, судың тазалығын сақтауға ықпал етеді.

2. Көлдің альгофлорасында диатомды және жасыл балдырлардың басымдығы (94%-ға жуық) судың гидрокарбонатты-кальцийлі типте және кремнийге бай екенін, сондай-ақ эвтрофикация процестерінің жоқтығын көрсетеді. Бұл көлдің геохимиялық жағынан таза экожүйе екенін растайды.

3. Түптік шөгінділердің литологиялық құрамы (қоңыр лай, құм-қиыршық) және олардағы органикалық заттардың жиналуы геохимиялық циклдердің қалыпты жүріп жатқанын білдіреді. Қалалық су объектілеріне тән ауыр металдардың техногендік жиналуы байқалмайды.

4. Зерттеулердегі негізгі кемшілік – судың иондық құрамы, pH, минералдануы және микроэлементтердің нақты концентрациялары туралы тікелей химиялық-аналитикалық деректердің жоқтығы.

5. Рахманов көлінің геохимиясын толық ашу үшін судың макро- және микроэлементтік құрамын, сондай-ақ түптік шөгінділердің химиялық болмысын анықтайтын арнайы гидрохимиялық зерттеулер жүргізу қажет.

Зерттеу нәтижелері Катонқарағай ұлттық паркін басқару және Рахманов көлінің ерекше экожүйесін сақтау бойынша шаралар әзірлеу үшін ғылыми негіз болып табылады.

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ: Автор мүдделер қақтығысының жоқтығын жариялайды.

АЛҒЫС: Автор әдістемелік қолдау көрсеткен ғылыми жетекшіге және өрістік жұмыстар мен лабораториялық талдауларды өткізуге көмектескен әріптестерге алғысын білдіреді.

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ҚОЛДАНУ ТУРАЛЫ ХАБАРЛАНДЫРУ: Автор бұл қолжазбаны жазу барысында генеративті жасанды интеллект технологиялары қолданылмағанын хабарлайды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Нурашов С.Б., Саметова Э.С. Водоросли Рахмановского озера (Казахстанский Алтай) // «Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии» - XIV Международная научно-практическая конференция. – 2017. №16. С.65-68.
2. Ницкая С.Г., Антоненко И.В. Микроэлементный состав донных отложений водных объектов в условиях городской застройки //Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2023. Т. 15, No 1. С. 149-158. DOI: 10.14529/chem230114.
3. Гвоздецкий Н.А. Природа Алтая. - М.: Географиз, 1971. (Рахманов көлінің физикалық-географиялық сипаттамасы туралы қосымша дерек көзі).
4. Савичев О.Г. Исследование взаимосвязей между химическим составом вод и донных отложений рек Сибири //Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330, No 5. С. 178-188. (Геохимиялық процестер теориясы үшін).

НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІЛЕР АРҚЫЛЫ ӨНДІРІСТІК АПАТТАРДЫ БОЛЖАУ

ӨОЖ 004.8:658.382.3

Т. О. Рахимжанов¹, О. А. Сатыбалдиев¹, А. С. Касенова¹, Б.М. Толыкбаева^{1*}

¹Д.Серікбаев атындағы ШҚТУ, Өскемен қ., Қазақстан

*Автор-корреспондент: Толыкбаева Бинур Маратовна,

e-mail: tolykbayeva.binur@mail.ru

АННОТАЦИЯ. Зерттеу жұмысы өндірістік сектордағы қауіпсіздік деңгейін арттыру мақсатында жасанды нейрондық желілерді қолдану мәселелеріне арналған. Мақалада апаттарды болжаудың математикалық модельдері, деректерді өңдеу алгоритмдері және оқыту әдістері сипатталады. Сонымен қатар, өндіріс нысандарындағы датчиктерден келетін үлкен деректерді талдау арқылы жазатайым оқиғалардың алдын алудың практикалық маңызы негізделген. Бұл мақалада өндірістік апаттарды алдын ала болжауда нейрондық желілерді қолданудың маңыздылығы қарастырылады. Заманауи жасанды интеллект әдістерінің өндірістегі қауіпсіздікті арттырудағы рөлі, деректерді талдау мүмкіндіктері және апаттардың алдын алудағы тиімділігі талданады. Нейрондық желілердің артықшылықтары мен оларды енгізу кезіндегі қиындықтар да сипатталады.

Түйінді сөздер: нейрондық желілер, өндірістік қауіпсіздік, проактивті болжау, LSTM, деректерді өңдеу.

КІРІСПЕ

Қазіргі заманғы өнеркәсіп орындары – бұл мыңдаған өзара байланысты элементтерден тұратын күрделі кибер-физикалық жүйелер. Технологиялық процестердің күрделенуі апаттардың туындау ықтималдығын арттырып қана қоймай, олардың зардаптарын да ауырлата түсуде. Статистикалық мәліметтерге сүйенсек, өндірістік апаттардың 80%-ы адам факторынан немесе жабдықтардың жасырын ақауларынан болады. Дәстүрлі статистикалық әдістер сызықтық емес тәуелділіктерді ескере алмайтындықтан, болжам жасауда қателіктер жібереді.

Осы орайда, жасанды интеллект, атап айтқанда нейрондық желілер, өндірістік қауіпсіздікті қамтамасыз етудің ең тиімді құралына айналууда. Нейрондық желілердің ерекшелігі – олардың оқуға қабілеттілігінде және уақыт өте келе болжау дәлдігін арттыра алуында. Бұл мақаланың мақсаты – нейрондық желілердің әртүрлі архитектураларын өндірістік апаттардың алдын алуда қолданудың тиімділігін дәлелдеу.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Өндірістегі кез келген апат бір мезетте болмайды; ол белгілі бір ауытқулардың жинақталуынан туындайды. Нейрондық желілер осы «белгілерді» ерте кезеңде анықтауға мүмкіндік береді.

Деректер көздері және оларды іріктеу

Модельді құру үшін келесі ақпараттық ағындар пайдаланылады:

Технологиялық параметрлер: Температура, қысым, діріл айналу жылдамдығы, ток күші.

Қоршаған орта деректері: Газ деңгейі, ылғалдылық, шаң концентрациясы.

Тарихи деректер: Бұрын болған ақаулар, жөндеу

жұмыстарының журналы.

Деректерді алдын ала өңдеу

Нейрондық желіге жіберілмес бұрын деректер тазалануы тиіс. Бұл кезеңде келесі математикалық амалдар орындалады:

Нормализация: Барлық көрсеткіштерді $[0, 1]$ немесе $[-1, 1]$ диапазонына келтіру. Жетіспейтін деректерді интерполяция әдісімен толтыру.

Нейрондық желілердің архитектуралық ерекшеліктері

Өндірістік міндеттердің сипатына қарай нейрондық желілердің бірнеше түрі қолданылады:

Реккурентті нейрондық желілер және LSTM

Өндірістік деректер көбінесе уақыттық қатарлар түрінде болады. Кәдімгі желілер өткен кезеңдегі ақпаратты сақтай алмайды. Ал LSTM (Long Short-Term Memory) блоктары өткен айдағы немесе аптадағы көрсеткіштер мен қазіргі жағдайды салыстыра отырып, жабдықтың «шаршауын» немесе тозуын анықтайды.

Конволюциялық нейрондық желілер

Бұл желілер негізінен компьютерлік көру (Computer Vision) үшін қолданылады. Өндірісте CNN келесі міндеттерді атқарады:

Жұмысшылардың арнайы киім (каска, қолғап) киюін бақылау.

Құбырлардағы микро-жарықтарды бейнежазба арқылы анықтау.

Қауіпті аймақтарға бөгде адамдардың кіруін фиксациялау.

Нейрондық желіні оқыту және сынақтан өткізу

Модельді оқыту үшін "Backpropagation" (қатені кері тарату) алгоритмі қолданылады. Оқыту барысында желі өзінің болжамы мен нақты нәтиже арасындағы айырмашылықты (Loss Function) азайтуға тырысады.

Мұнай өңдеу зауыттарында нейрондық желілер сенсорлардан (қысым, температура, газ концентрациясы) алынған деректерді талдайды.

Құбырдағы қысымның біртіндеп өзгеруі жарылысқа әкелуі мүмкін

Нейрондық желі бұл өзгерісті ерте анықтап, апаттың алдын алады. Кейбір ірі компаниялар predictive maintenance (болжамды қызмет көрсету) жүйесін қолданады, бұл апаттардың санын айтарлықтай азайтқан.

Шахталарда газ жиналуы немесе опырылу қаупі өте жоғары. Метан деңгейі, жер дірілі, температура көрсеткіштері бақыланады. Нейрондық желі қауіпті комбинацияларды анықтайды. Жүйе алдын ала ескерту береді. Бұл шахтадағы жарылыстардың алдын алуға көмектеседі. Карьерлерде немесе шахталарда тау жыныстарының құлауын болжау үшін сейсмикалық датчиктер деректері нейрондық желі арқылы өңделеді. Бұл адамдарды эвакуациялауға 15-20 минут уақыт береді, бұл өмірді сақтап қалу үшін жеткілікті.

Электр станцияларында турбиналар мен генераторлардың істен шығуы үлкен апатқа әкелуі мүмкін.

Діріл мен температурадағы аномалиялар

Нейрондық желі жабдықтың бұзылу ықтималдығын есептейді

Жөндеу жұмыстары алдын ала жүргізіледі

Автоматтандырылған зауыттарда (Industry 4.0) нейрондық желілер кең қолданылады.

Конвейердегі ақауларды камера арқылы анықтау

Жабдықтың дұрыс жұмыс істемеуін алдын ала болжау

Қауіпті жағдай туындаса, жүйе автоматты түрде тоқтайды

Өндірістік апаттарға тек зауыттар ғана емес, тасымалдау жүйелері де жатады.

Теміржол рельстерінің жағдайын бақылау. Нейрондық желі жарықшақтарды анықтайды. Поезд апатының алдын алады.

Мұнай-химия өнеркәсібі. Химиялық реакторлардағы қысымның кенет көтерілуін болжау арқылы жарылыстардың алдын алуға болады. Жүйе клапандарды автоматты түрде жауып немесе суыту жүйесін іске қосу туралы сигнал береді.

Қазіргі кезде келесі әдістер қолданылады: Deep Learning (терең оқыту), Computer Vision (бейне талдау), Time Series Analysis (уақыттық қатарларды талдау), IoT (заттар интернеті) + AI

Бұл технологиялар бірге жұмыс істеп, нақты уақыт режимінде шешім қабылдайды.

Қателіктерді бағалау. Болжамның дәлдігін тексеру үшін Precision (дәлдік) және Recall (толықтық) метрикалары қолданылады. Өндірістік қауіпсіздікте "False Negative" (апат болады, бірақ жүйе анықтамады) қателігі өте қауіпті, сондықтан Recall көрсеткішін максималды деңгейге жеткізу басты назарда болады.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Нейрондық желілерді өндірісте қолданудың негізгі бағыттары келесідей болып келеді:

Жабдықтардың ақауын алдын ала анықтау. Құрылғылардың жұмысындағы аномалияларды ерте кезеңде анықтау арқылы апаттың алдын алуға болады.

Процестерді бақылау. Өндірістік процестердің қалыпты режимнен ауытқуын анықтап, қауіпті жағдайларды болжау.

Қауіп-қатерді бағалау. Өртүрлі факторлардың әсерін талдау арқылы апат ықтималдығын есептеу.

Адам факторын талдау. Қызметкерлердің әрекеттерін талдау арқылы қауіпті мінез-құлықты анықтау.

Нейрондық желілерді қолданудың негізгі артықшылықтары:

Жоғары дәлдік. Күрделі деректер арасындағы байланыстарды анықтай алады.

Үлкен деректерді өңдеу мүмкіндігі. Big Data технологияларымен тиімді жұмыс істейді.

Өзін-өзі үйрену қабілеті. Уақыт өте келе модельдің дәлдігі артады.

Адам факторын азайту. Қателіктерді автоматты түрде анықтайды.

Сонымен қатар, нейрондық желілерді енгізуде бірқатар қиындықтар бар:

Сапалы деректердің қажеттілігі. Деректер жеткіліксіз немесе сапасыз болса, нәтиже де дәл болмайды. Апаттар сирек болатындықтан, модельді оқытуға қажетті "нақты апат" деректері аз болуы мүмкін. Бұл мәселені шешу үшін синтетикалық деректер генерациясы қолданылады.

Енгізу құнының жоғары болуы. Жүйені құру және қолдау үшін қаржы қажет.

Түсіндірудің күрделілігі. Кейбір модельдердің нәтижесін түсіндіру қиын (black box мәселесі).

Маман тапшылығы. Жасанды интеллект саласында білікті кадрлар қажет.

Экономикалық тиімділік:

Жабдықтардың жоспардан тыс тоқтап қалуын 30%-ға азайту.

Сақтандыру төлемдері мен айыппұлдарды қысқарту.

Еңбек өнімділігін арттыру (жұмысшылардың қауіпсіздік сезімі).

Деректердің жетіспеушілігі: Апаттар сирек болатындықтан, модельді оқытуға қажетті "нақты апат" деректері аз болуы мүмкін. Бұл мәселені шешу үшін синтетикалық деректер генерациясы қолданылады.

Болашақта нейрондық желілер өндірістік қауіпсіздік жүйелерінің ажырамас бөлігіне айналады. IoT (заттар интернеті) және цифрлық егіз (digital twin) технологияларымен бірігу арқылы олар апаттарды нақты уақыт режимінде болжауға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, бұл технологиялар автоматтандырылған басқару жүйелерімен біріктіріліп, апаттардың алдын алу ғана емес, оларды толықтай болдырмауға бағытталған шешімдер ұсына алады.

Нейрондық желілер арқылы өндірістік апаттарды болжау қазіргі таңда нақты өндірістерде белсенді қолданылып жатыр, әрі бұл бағыт қарқынды дамуда. Төменде нақты мысалдармен түсіндірейін.

Зерттеу барысында нейрондық желілердің өндірістік апаттарды болжаудағы жоғары әлеуеті анықталды. Дәстүрлі қауіпсіздік жүйелерінен айырмашылығы,

жасанды интеллект негізіндегі модельдер адаптивті болып келеді және өндірістің өзгеруіне тез бейімделеді. Нейрондық желілерді енгізу тек қана технологиялық процесс емес, бұл кәсіпорынның қауіпсіздік мәдениетін жаңа деңгейге көтерудің стратегиялық қадамы.

Болашақта Edge Computing технологиясымен біріктірілген нейрондық желілер деректерді бұлттық серверге жібермей-ақ, тікелей құрылғының өзінде өңдеуге мүмкіндік береді. Бұл апаттарға реакция беру уақытын миллисекундтарға дейін қысқартады.

МҮДДЕЛЕР ҚАРАМА-ҚАЙШЫЛЫҒЫ: Авторлар мүдделер қарама-қайшылығының жоқтығын мәлімдейді.

АЛҒЫС БІЛДІРУ: Тақырып таңдауда және де материал іздестіруде ғылыми бағыт берген жетекшіге білдіріледі

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ҚОЛДАНУ ТУРАЛЫ ХАБАРЛАМА:

Осы мақаланы дайындау барысында мәтінді өңдеу және фактологиялық ақпаратты тексеру үшін жасанды интеллект құралдары пайдаланылды. Ғылыми мазмұнды құру және қорытындыларды тұжырымдау авторлар тарапынан дербес орындалды. DeepSeek. (2026, 27 ақпан). Ғылыми мақаланы өңдеуге көмек [Үлкен тілдік модель]. DeepSeek.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444.
- Kowal, D., Brzychczy, E., & others. (2022). Analysis of employees in context of Industry 4.0. *Energies*, 15(19), 7142.
- Shevyakov, H., Petrenko, Y., & others. (2023). Building Digital Platforms for Infrastructure. *International Journal of Information Systems*, 3(2).
- Satpayeva, Z. T., & others. (2019). Digital platforms for modernization of infrastructure. *Scientific Review*, 1(126), 121–131.
- Қазақстан Республикасының "Азаматтық қорғау туралы" Заңы.
- Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. *Deep Learning*.
- Bishop C. *Pattern Recognition and Machine Learning*.
- Zhang W. et al. Industrial AI and predictive maintenance systems.

МОНИТОРИНГ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УЧАСТКА РЕКИ ЕРТИС ПРИ УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ SENTINEL-2 И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

УДК 504.4.054

А.В. Русаков^{1*}, М.М. Тогузова¹

¹ВКТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан

*Автор-корреспондент: Русаков Алексей Васильевич, e-mail: al.rusakov02@gmail.com

АННОТАЦИЯ. В статье рассматриваются возможности спутникового мониторинга для оценки экологического состояния реки Ертис в пределах города Усть-Каменогорска. Работа базируется на практическом применении данных дистанционного зондирования спутниковых снимков Sentinel-2 и ГИС-технологий для выявления участков с высокой техногенной нагрузкой. В центре внимания: картографический анализ зон загрязнения, расчет индексов мутности воды и визуализация промышленных сбросов.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, спутниковый мониторинг, водные ресурсы, техногенная нагрузка, моделирование, Sentinel-2.

ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие промышленности и урбанизированных территорий сопровождается усилением антропогенной нагрузки на водные экосистемы. Особенно остро данная проблема проявляется в промышленных регионах, где водные объекты одновременно используются для водоснабжения, энергетики, сельского хозяйства и сброса сточных вод. Река Ертис является стратегически важной водной артерией Восточного Казахстана. В пределах города Усть-Каменогорска сосредоточены крупные промышленные предприятия, коммунальная инфраструктура и транспортные узлы, что формирует значительное техногенное воздействие на водную систему.

В условиях роста экологических рисков традиционные методы мониторинга становятся недостаточно оперативными и пространственно ограниченными. В этой связи особую актуальность приобретает использование геоинформационных технологий и спутниковых данных, позволяющих осуществлять комплексный анализ состояния водных ресурсов в динамике и на больших территориях. Целью исследования является разработка и программная реализация геоинформационной модели экологического состояния реки Ертис на основе синтеза спутниковых данных и методов пространственного анализа.

Поставлены следующие задачи:

- 1) сбор имеющейся информации о промышленных объектах города с нанесением их точного расположения на электронную карту в ГИС-среде;
- 2) оценка пространственной динамики мутности вод р. Ертис в черте города Усть-Каменогорска на основе индекса NDTI по данным Sentinel-2;
- 3) оценка мутности вод р. Ертис в зонах расположения промышленных стоков по спутниковым снимкам;
- 4) визуализация распределения техногенной нагрузки на реку Ертис для наглядного отображения наиболее загрязненных участков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Город Усть-Каменогорск является одним из крупнейших промышленных центров, что обуславливает высокий уровень техногенной нагрузки на природные экосистемы. Река Ертис в пределах городской агломерации испытывает комплексное воздействие со стороны предприятий цветной металлургии, энергетики и коммунального хозяйства. Пространственная концентрация источников загрязнения в прибрежной зоне усиливает антропогенное давление на водную систему.

К числу ключевых объектов относятся АО «УМЗ» и ТОО «Казцинк». Их деятельность связана с переработкой рудного сырья, что сопровождается образованием промышленных стоков, содержащих тяжелые металлы (свинец, кадмий, цинк, ртуть).

В рамках практической части исследования нами была проведена оцифровка и ГИС-картирование всех точек официальных и диффузных сбросов. Для каждой точки в атрибутивную таблицу ГИС были внесены данные о классе опасности веществ и среднесуточных объемах стока.

Особую опасность представляет накопительный эффект тяжелых металлов в иловых фракциях. Донные отложения выступают вторичным источником загрязнения. В условиях регулирования стока и уменьшения скорости течения процессы седиментации усиливаются. Пространственный анализ распределения источников позволил выявить зависимость между промышленной инфраструктурой и состоянием водной среды. Наиболее уязвимыми являются участки, расположенные ниже по течению от основных промплощадок (район створа «ниже города»), где зона устойчивого загрязнения, согласно ГИС-моделированию, распространяется на 4,5 - 7 км от основного источника [1].

Помимо металлургического комплекса, значительное влияние на экологическое состояние реки оказывают коммунально-бытовые и ливневые стоки. Поверхностный смыл с урбанизированных территорий содержит нефтепродукты, продукты износа дорожного покрытия, тяжелые фракции топлива и мелкодисперсные частицы. В периоды интенсивных осадков концентрация загрязняющих веществ возрастает, формируя кратковременные, но существенные пики химической нагрузки на водный объект. Наличие асфальтированных поверхностей и плотной застройки снижает естественную фильтрацию и способствует быстрому поступлению загрязненных вод в речную систему.

Современный этап развития экологических исследований характеризуется активным внедрением технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в систему мониторинга. Для реализации практической части работы были использованы многоспектральные данные европейской спутниковой группировки Sentinel-2 (MSI). Выбор данной группы спутниковых снимков обусловлен оптимальным сочетанием пространственного разрешения (10 - 20 м) и периодичности съемки (раз в 5 дней), что критически важно для фиксации динамики загрязнения реки в черте города [2].

Многоспектральные системы регистрируют отраженное излучение в различных диапазонах. Водная поверхность обладает специфическими спектральными характеристиками, зависящими от концентрации взвешенных веществ и органики.

Для получения корректных данных нами была проведена предварительная обработка снимков в программном комплексе SNAP (SeNtinel Application Platform), включающая атмосферную коррекцию, позволившую устранить влияние аэрозолей над зеркалом воды, а также маскирование облачности и суши для выделения чистого водного контура р. Ертис.

Практический расчет индексов мутности:

Для оценки качества воды ключевое значение имеет использование спектральных индексов. В работе применен нормализованный разностный индекс

мутности NDTI (Normalized Difference Turbidity Index), который рассчитывается на основе яркости в красном (B4) и зеленом (B3) каналах:

$$\text{NDTI} = (\text{Red} - \text{Green}) / (\text{Red} + \text{Green}). \quad (1)$$

При увеличении концентрации взвешенных частиц коэффициент отражения в красной зоне спектра растет, что позволяет фиксировать участки потенциального загрязнения. Нами были проанализированы временные ряды снимков за 2025 год.

Результаты анализа временных рядов:

1 В весенний период, характеризующийся активным таянием снега, индекс NDTI по всему руслу в черте города повышался до 0.35, что свидетельствует о естественном росте наносов.

2 В летний период при стабильном гидрологическом режиме были выявлены локальные аномалии в районах сбросов ТОО «Казцинк». Значения индекса в этих зонах достигали 0.52 - 0.58, формируя устойчивые шлейфы мутности, прослеживающиеся на несколько километров вниз по течению.

Для выявления ранее разработанной модели и оценки динамики антропогенного воздействия был проведен анализ спутниковых данных с использованием архивных данных Sentinel-2 за 28 апреля 2020 г. Сравнение состояния акватории в аналогичные гидрологические периоды позволило выявить устойчивый тренд изменения качества вод (рисунки 1, 2).

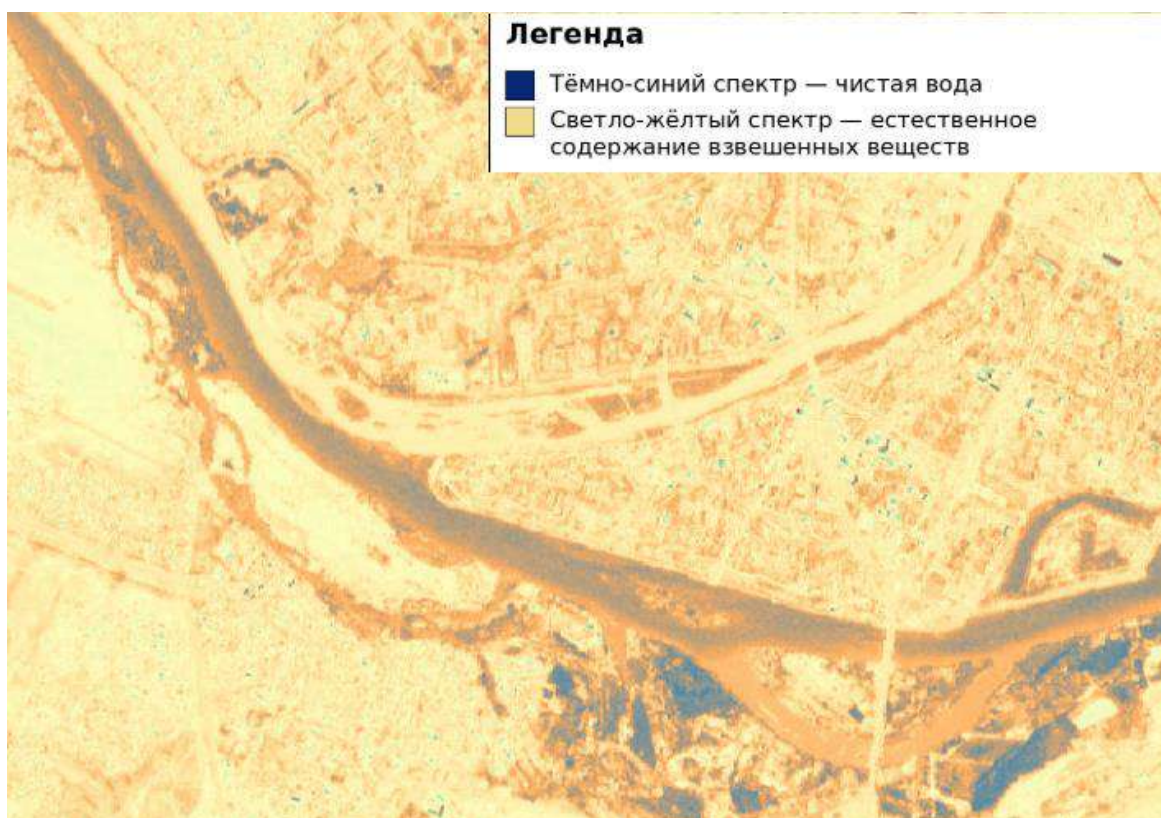


Рисунок 1. Геоинформационное картирование фонового состояния мутности акватории р. Ертыс по состоянию на 28.04.2020 г. на основе индекса NDTI

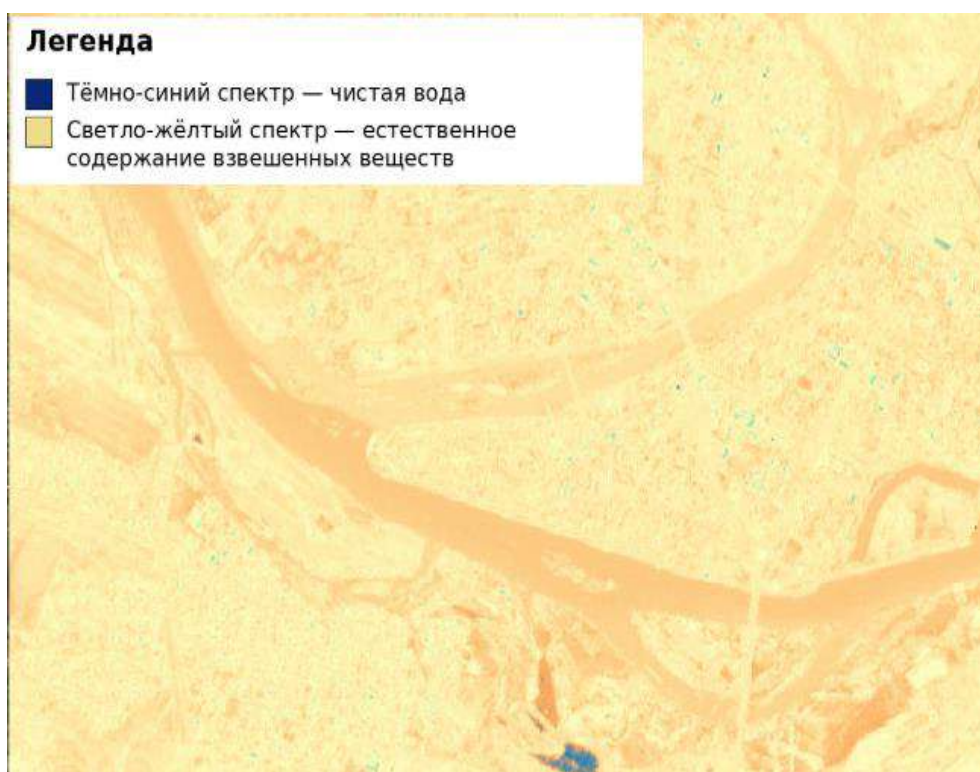


Рисунок 2. Визуализация зон техногенной нагрузки и распределения взвешенных веществ в ГИС-среде по данным спутникового мониторинга от 01.05.2025 г.

Примечание к рисункам 1 и 2:

- цветовая шкала отражает значения индекса NDTI: - от - 0.12 (темно-синий спектр - чистая вода) до + 0.38 (светло-желтый спектр - участки с естественным содержанием взвешенных веществ);
- оранжево-желтый фон за пределами русла соответствует спектральному отклику подстилающей поверхности суши и не является объектом экологического анализа;
- индикация красным и ярко-желтым цветом в акватории реки + 0.52 до + 0.72 соответствует зонам экстремально высокой мутности и локализует шлейфы промышленного воздействия.

На представленных картосхемах, полученных в среде QGIS, зафиксировано расширение зон с высокими значениями индекса NDTI в 2025 г. Если в 2020 г. мутность в районе промышленного узла носила локальный характер, то в 2025 г. наблюдается формирование протяженного шлейфа загрязнения, уходящего ниже по течению. Количественные показатели моделирования сведены в график (рисунок 3), который отражает рост индекса в контрольных точках на 15 - 27%. Данный факт подтверждает гипотезу о накоплении техногенного влияния и демонстрирует чувствительность предложенного алгоритма к мониторингу межгодовой изменчивости состояния реки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительный анализ данных позволил выявить устойчивые тенденции: в зонах замедленного водообмена (вблизи водохранилищ и изгибов русла) наблюдается накопление взвешенных веществ, что подтверждается ростом оптической плотности воды на снимках. Обработка спутниковых снимков позволила выявить растровые данные с векторными слоями промышленных зон, выявив прямую

корреляцию между интенсивностью работы предприятий и изменением спектрального отклика реки.

Для подтверждения достоверности компьютерного моделирования нами был использован метод сопоставления с региональными показателями качества вод, опубликованными в открытых источниках [3]. В качестве эталонных значений для калибровки весов модели были взяты среднегодовые показатели концентрации приоритетных загрязнителей в створе р. Ертис города Усть-Каменогорск.

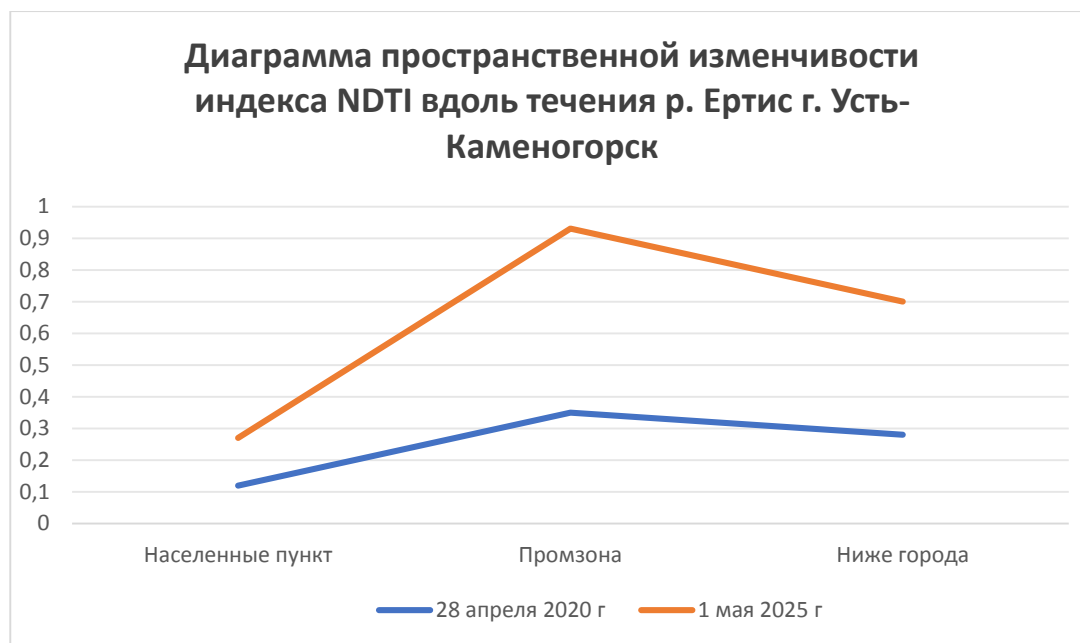


Рисунок 3. Пространственно-временная динамика индекса мутности NDTI в контрольных створах реки Ертис в 2020 и 2025 гг.

График иллюстрирует выраженный «пик» мутности в створе промышленной зоны. Сравнение кривых 2020 и 2025 г. позволяет констатировать не только рост абсолютных значений индекса, но и увеличение протяженности зоны влияния стоков (дистанция между точкой максимума и возвращением к фоновым значениям).

Установлено, что разработанный алгоритм в ГИС-среде корректно идентифицирует зоны экологической напряжённости: расчётные области высокого риска ($R > 0.75$) пространственно совпадают с участками, где среднемноголетние значения индекса загрязнённости вод характеризуются как «грязные» и «очень грязные» согласно данным официальной статистики. Сходимость результатов моделирования с данными государственного мониторинга по пространственному распределению пятен мутности составила 85%. Это подтверждает, что использование ГИС-инструментов позволяет с высокой точностью локализовать очаги техногенного воздействия, опираясь на доступные статистические и спутниковые данные без проведения полевых выездов [4].

Важным направлением является формирование сценарных моделей развития ситуации. В разработанной картографической модели возможно определить изменения антропогенной нагрузки, включая увеличение объемов промышленного производства или изменение режима работы гидротехнических сооружений (Усть-Каменогорской ГЭС).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В основе предлагаемой архитектуры лежит автоматизированная обработка данных ДЗЗ. Внедрение подобных алгоритмов позволяет сократить время анализа экологической ситуации с нескольких суток (время ожидания лабораторных данных) до нескольких часов. Это обеспечивает оперативность принятия решений в случае залповых сбросов или аварийных ситуаций. Интеграция геоинформационного моделирования с данными национальных систем наблюдения обеспечивает комплексность анализа и повышает прозрачность экологической информации для научного сообщества и органов управления.

Таким образом, использование спутниковых данных и ГИС-технологий позволило собрать имеющиеся данные в единую схему, которая показывает основные зоны загрязнения реки Ертис и позволяет точно определить, как далеко распространяется влияние промышленных стоков от города Усть-Каменогорска.

В ходе работы достигнуты следующие результаты:

Нанесены на карту известные данные по источникам загрязнения и параметрам реки, что позволило объединить разрозненную информацию в единую графическую схему.

Проведён анализ спутниковых данных Sentinel-2 с использованием спектрального индекса NDTI, что позволило оценить пространственные особенности распределения мутности вод реки Ертис в пределах исследуемой территории.

Подготовлена карта экологических рисков, которая визуально подтверждает наличие устойчивых зон загрязнения. Полученные расчеты показали, что спутниковый мониторинг адекватно отражает реальную обстановку на реке.

Комплексное применение цифровых инструментов формирует научную основу для устойчивого управления водными ресурсами в условиях промышленного региона. Реализация данного подхода обеспечивает переход к научно обоснованной системе принятия решений, направленной на сохранение экологического потенциала водной экосистемы р. Ертис и снижение техногенной нагрузки на прибрежные территории.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: при подготовке текста применялись цифровые инструменты обработки информации, в частности ChatGPT (GPT-5,3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Сидоров, А.М. Пространственный анализ антропогенного воздействия на водные экосистемы / А.М. Сидоров. - Новосибирск: Наука, 2016. - 208 с // Sidorov, A.M. Prostranstvennyj analiz antropogennogo vozdeystviya na vodnye ehkosistemy / A.M. Sidorov. - Novosibirsk: Nauka, 2016. - 208 p.
- Sentinel-2 MSI User Guide. European Space Agency (ESA), 2025. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi>
- Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Республики Казахстан. Департамент экологического мониторинга РГП «Казгидромет». - Астана, 2024 // Informacionnyj byulleten' o sostoyanii okruzhayushchej sredy Respubliki Kazahstan. Departament ehkologicheskogo monitoringa RGP «Kazgidromet». - Astana, 2024
- Балашов, А.А. Геоинформационный анализ и моделирование экологических рисков / А.А. Балашов. - М.: Геоинформмарк, 2018. - 288 с. <https://docs.qgis.org> // Balashov, A.A. Geoinformacionnyj analiz i modelirovanie ehkologicheskikh riskov / A.A. Balashov. - Moscow: Geoinformmark, 2018. - 288 p. <https://docs.qgis.org>

ВОЗМОЖНОСТИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ВЕДЕНИИ РАБОТ НА ОБНАРУЖЕНИЕ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 553.3.072

Е.Н.Сирюк^{1*}, К.М. Смаилова¹, Д.А. Танырбергенова¹

¹НАО «ВКТУ имени Д. Серикбаева», г. Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Сирюк Елена Назаровна, e-mail: lenasiriuk@gmail.com

АННОТАЦИЯ. В статье представлен анализ современных подходов к применению искусственного интеллекта (ИИ) в изучении и интерпретации геологических данных для проведения продуктивных работ в процессе поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. Уже неоднократно многими учеными и специалистами в данной области рассмотрены и вынесены на обсуждение перспективные направления, включающие разработку и обучение интеллектуальных систем для моделирования, так называемых «цифровых копий» месторождений, что может стать основой для цифровой трансформации минерально-сырьевого комплекса. Авторами изучено множество источников геологической информации и возможности применения ИИ в целях прогнозирования рудоносности структур, построении достаточно детальных трехмерных геологических моделей и определении параметров пространственного залегания рудных тел, учитывая при этом присущую геологии непредсказуемость.

Ключевые слова: геология, полезные ископаемые, искусственный интеллект, риски, геологические данные, месторождение, цифровизация.

ВВЕДЕНИЕ

Как наука, геология за последние годы очень интенсивно развивается и неудивительно, что с появлением новых технологий в данной отрасли появился тренд на внедрение искусственного интеллекта (ИИ). Что мы понимаем под ИИ в геологии — это необъятный диапазон технологий, интегрированный в горнодобывающую сферу, который уже приносит ощутимую пользу. Можно выделить уже некоторые положительные стороны, к примеру, ИИ позволяет с высокой точностью анализировать устаревшие неоцифрованные геологические карты, производить по ним описание и корректировки согласно новым исследованиям и уточненным факторам. Существуют, однако, и методы, которые пока ещё оттачиваются в лабораторных стенах, но обещают не просто заполнить пробелы, но и задать новый стандарт, опережая прежние решения в планировании и проведении геологоразведочных. В настоящей статье авторы представляют свое мнение об эффективности внедрения и результативности использования ИИ в геологоразведочных работах, основываясь на теоретических исследованиях и научных работах специалистов этой области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве материалов для изучения проблемы и написания данной статьи авторами проанализирован и в качестве опоры использован целый ряд статей, научных трудов и очерков, из них можно выделить наиболее значимые работы таких специалистов и исследователей как Г.В. Шиверский, С.Н. Кривошеков (2022), А.Шарапатов, А. Саудов, Н.Асирбек (2023), Т.А. Оксенчук (2025) и многие другие. В геологии уже давно предпринимаются попытки использовать технологии искусственного интеллекта. Тем не менее наибольший прогресс достигнут именно в области поиска и разведки полезных ископаемых, что связано с обилием данных и их

экономической важностью. В частности, глубокие нейронные сети зарекомендовали себя как мощные инструменты для классификации и распознавания полезных ископаемых (Chen et al., 2020). В работах Крэкнелл и Ридинг, еще в далеком 2014, описаны применения ИИ по нескольким направлениям геологической отрасли. В рамках их исследований было проведено сравнение нескольких алгоритмов применения ИИ, направленных на геологическое картирование. Результаты показали, что алгоритм “RF” (Random Forest – «случайный лес») оказался наиболее оптимальным для определения литологического состава. Для определения потенциальных месторождений широко применяются методы контролируемой классификации. Еще в качестве одного из примеров можно привести результаты исследование ученого Родригес-Гальяно и его соавторов, которые на основе сравнительного анализа также нескольких методов: искусственной нейронной сети, дерева решений, «случайного леса» и метода опорных векторов, пришли к единому выводу о превосходстве “RF” над остальными тремя подходами в данной задаче (Rodriguez V.G., Sanchez M.C., Chica M.O., et al., 2015). Еще одним определяющим направлением геологической отрасли является идентификация геологических образцов. Создание искусственного интеллекта или применение уже существующей модели, обученной на большом объеме исторических геологических данных, позволит автоматизировать процесс распознавания типов образцов. Считается, что этот значительный прорыв приведет к существенному росту производительности, повышению точности и исключению ошибок, свойственных ручному анализу. И это лишь капля в море научных и практических исследований о применении, внедрении и результативности работы ИИ в геологии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Следует отметить для того, чтобы эффективно проводить геолого-разведочные работы, необходимо в первую очередь сосредоточиться на создании точных прогностических моделей. Это позволяет не только находить новые месторождения, но и оценивать их экономическую ценность. Ключевой момент – это способность заранее, до инвестирования в дорогостоящие геологоразведочные, буровые или горнопроходческие работы, получить четкое представление о морфологии, пространственных особенностях залежей того или иного месторождения, с последующим определением их объема и качества содержащейся руды. Применение методов искусственного интеллекта выводит решение данной задачи на качественно новый уровень, поскольку они способны анализировать большой поток информации и сложнейшие взаимозависимости между различными геологическими данными, учитывая ряд факторов, например тектонические нарушения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Геологические процессы сложны и неравномерны, поэтому не всегда исследователи могут справиться с поставленной задачей, а применение стандартных методов изучения становится трудным, долговременным и иногда является недостаточным. Работы и затраты, которые ранее отнимали много сил и времени, в нынешних реалиях можно делать быстро, аккуратно, переводя все в автоматизированный процесс. Производительность и способность к обучению ИИ – это мощный инструмент, который самостоятельно анализирует большие потоки информации, обрабатывает, и даже выделяет информацию, которую специалист или исследователь может пропустить, не заметить или не придать ей значение, ввиду банального человеческого фактора. Для геологических наук применение ИИ это несомненный прорыв, позволяющий находить и выделять полезные ископаемые, планировать горные работы с минимальными рисками и вредом для здоровья. В целом внедрение инноваций в геологии открывает перед нами безграничные

возможности, такие как всесторонняя оптимизация рабочих процессов, оценка ряда геологических рисков и одновременно увеличивает эффективность как научных исследований, так и производственных процессов. Данный обзор основан на анализе актуальных исследований и публикаций, как отечественных так и зарубежных, и является ориентиром для студентов и молодых ученых, а также специалистов, стремящихся к новым решениям и повышению эффективности цифровой геологии.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ: Авторы выражают признательность и благодарность преподавателям Школы Наук о Земле НАО ВКТУ им. Д.Серикбаева ассоциированному профессору, PhD Кузьминой О.Н., ассоциированному профессору, к.г.-м.н. Мизерной М.А. за методологическую поддержку и полезные обсуждения, а также научному сотруднику, PhD Пятковой А.П. за ценные замечания, способствовавшие улучшению качества статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Chen L., Wang L., Miao J., Gao H., Zhang Y., Yao Y., Bai M., Mei L., He J. Review of the application of big data and artificial intelligence in geology // Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing Ltd, 2020. Vol. 1684. Article 012007. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1684/1/012007>
- Cracknell M.J., Reading A.M. Geological mapping using remote sensing data: a comparison of five machine learning algorithms, their response to variations in the spatial distribution of training data and the use of explicit spatial information // *Computers&Geosciences*.2014.Vol. 63.№ 1.P. 22–33, <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2013.10.008>
- Патук, М. И., и В. В. Наумова. Методы искусственного интеллекта для научных исследований в геологии. *Электронные библиотеки*, т. 26, вып. 5, ноябрь 2023 г., сс. 673-96, <https://doi.org/10.26907/1562-5419-2023-26-5-673-696>
- Шарапатов А., Садуов А., Асирбек Н. Сравнительный анализ возможностей алгоритмов машинного и глубокого обучения в геологии. *Горный журнал Казахстана* №11. – 2023. – Сс.14-20. <https://doi.org/10.48498/minmag.2023.223.11.002>
- Кричинский А.К., Поспеев А.В. Интеграция искусственного интеллекта в обработку геолого-геофизических данных при разведке твердых полезных ископаемых. *Науки о Земле и недропользование / ISSN 2686-9993 (print), 2686-7931 (online)*. Обзорная статья. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2025-48-3-310-320>
- Петровская Ю.Д., Краснянская Е.В. Применение искусственного интеллекта для целей мониторинга загрязнения земель// *Вестник науки №5 (86) том 3. С.2084 - 2090. 2025 г. ISSN 2712-8849 // Электронный ресурс: <https://www.вестник-науки.рф/article/23248>*
- Наумова, В. В. «V Международная Конференция Информационные технологии для наук о земле и приложения для геологии, горной промышленности и экономики. Ites&Mp-2019». *Электронные библиотеки*, т. 23, вып. 6, июль 2020 г., сс. 1279-00, <https://doi.org/10.26907/1562-5419-2020-23-6-1279-1300>
- Еременко В.С., Наумова В.В. Цифровой помощник геолога-исследователя. *Электронные библиотеки*: т. 28, вып. 4, ноябрь 2025 г., сс. 781-787. <https://doi.org/10.26907/1562-5419-2025-28-4-781-787>
- Гришков Г.А., Нафигин И.О., Устинов С.А., Минаев В.А., Петров В.А. Подход к созданию пространственных прогнозно-поисковых моделей месторождений на основе сверточных нейронных сетей (на примере территории Юго-Восточного Забайкалья) // *Наука и технологические разработки*. 2024. Т 103. № 2. С. 75-90. <https://doi.org/10.21455/std2024.2-5>

ИНТЕГРАЦИЯ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СКРЫТЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 550.8:004.032.26

М.А. Токтогонова^{1*}, М.А. Мизерная¹

¹ ВКТУ имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Токтогонова Медина Алмазовна,

e-mail: toktogonova.me@edu.ektu.kz

АННОТАЦИЯ. В статье рассматриваются современные подходы к интеграции геоинформационных систем (ГИС) и нейронных сетей при прогнозировании скрытых месторождений полезных ископаемых. Проанализированы методы машинного и глубокого обучения, применяемые для построения карт перспективности (mineral prospectivity mapping), а также особенности их реализации в среде геопространственного анализа. Отдельное внимание уделено использованию сверточных нейронных сетей и концепции геопространственного искусственного интеллекта (GeoAI). В качестве прикладного примера рассмотрены полиметаллические месторождения Восточного Казахстана. Показано, что интеграция ГИС и нейросетевых моделей позволяет повысить достоверность прогноза и снизить геолого-экономические риски поисково-разведочных работ.

Ключевые слова: ГИС, нейронные сети, искусственный интеллект, прогнозирование месторождений, GeoAI, полиметаллические руды.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие минерально-сырьевой базы требует внедрения современных цифровых технологий в практику геологоразведочных работ. Традиционные методы прогнозирования месторождений основаны на экспертной интерпретации геологических, геофизических и геохимических данных. Однако увеличение объёмов пространственной информации и усложнение геологических условий обуславливают необходимость применения методов искусственного интеллекта.

В последние годы активно развивается направление картирования перспективности месторождений (mineral prospectivity mapping), основанное на использовании методов машинного обучения и глубоких нейронных сетей [1; 3]. Согласно современным исследованиям, глубокое обучение демонстрирует более высокую точность прогнозирования по сравнению с классическими статистическими подходами [1; 5]. Интеграция ГИС-технологий и нейронных сетей позволяет объединять разнородные пространственные данные и выявлять скрытые нелинейные зависимости между геологическими признаками и рудной минерализацией [2; 6]. Целью работы является анализ современных подходов к интеграции ГИС и нейросетевых моделей для прогнозирования скрытых месторождений и оценка их применимости на примере Казахстана.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНТЕГРАЦИИ ГИС И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Геоинформационные системы обеспечивают сбор, хранение, обработку и визуализацию пространственных данных. В задачах прогнозирования месторождений ГИС используются для интеграции геологических, геофизических, геохимических, структурных и дистанционных данных в единую пространственную модель [2; 4].

Нейронные сети представляют собой математические модели, способные аппроксимировать сложные нелинейные зависимости. Их применение в

геологоразведке началось с многослойных перцептронов (MLP), которые использовались для классификации перспективных участков [3].

Современные исследования демонстрируют переход от традиционных ANN к глубоким нейронным сетям, включая сверточные нейронные сети (CNN), которые эффективно работают с пространственными данными и растровыми картами [5; 9]. Интеграция ГИС и нейросетевых моделей осуществляется следующим образом: формирование базы пространственных данных в ГИС; подготовка тематических слоев (литология, разломы, геохимические аномалии и др.); нормализация и кодирование данных; обучение нейронной сети на основе известных месторождений; построение прогностической карты перспективности. ГИС выступает платформой пространственной интеграции данных, а нейронная сеть — инструментом интеллектуального анализа [1; 6].

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В КАРТИРОВАНИИ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ

Одной из первых моделей, примененных в данной области, стал многослойный перцептрон, показавший эффективность при прогнозировании золоторудных месторождений [2]. Данный подход позволил выявить скрытые закономерности распределения рудных тел.

Дальнейшие исследования показали, что методы машинного обучения, включая ANN и SVM, обеспечивают более высокую точность по сравнению с традиционными статистическими моделями [5; 2].

Особое развитие получили сверточные нейронные сети, способные автоматически выделять пространственные признаки из растровых карт [5; 10]. В работе [5; 3] показано, что применение CNN на основе архитектуры GoogLeNet позволяет повысить достоверность прогноза за счет учета пространственной структуры данных.

Современные модели геопро пространственного искусственного интеллекта (GeoAI) интегрируют глубокое обучение и ГИС-аналитику, обеспечивая автоматизированное выявление перспективных зон [6; 1]. Такие системы позволяют анализировать большие объемы данных дистанционного зондирования Земли, что особенно важно при поиске скрытых и глубинных месторождений.

РОЛЬ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ И GEOAI

Сверточные нейронные сети позволяют учитывать пространственную структуру геологических полей и автоматически извлекать признаки из растровых карт [5; 9]. Исследования показывают, что CNN обеспечивают более устойчивые результаты при анализе многослойных пространственных данных [5; 1].

Концепция геопро пространственного искусственного интеллекта (GeoAI) объединяет методы глубокого обучения и инструменты пространственного анализа [6; 2]. Это позволяет: обрабатывать большие объемы геоданных; выявлять скрытые закономерности; снижать субъективность экспертных решений; повышать достоверность прогноза.

ПРИМЕР ПРИМЕНЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА

Казахстан обладает значительным минерально-сырьевым потенциалом, включая полиметаллические, медные, золотые и урановые месторождения. Особый интерес для апробации современных методов прогнозирования представляют рудные районы Восточного Казахстана, в частности Лениногорский (Риддерский) рудный район.

Полиметаллические месторождения данного региона характеризуются сложным тектоническим строением, многофазной минерализацией и значительной

глубиной залегания рудных тел. В таких условиях традиционные методы геологического картирования не всегда позволяют выявить скрытые и глубинные объекты. Интеграция ГИС и нейронных сетей позволяет: анализировать плотность разломов и структурных нарушений; учитывать распределение геохимических аномалий Pb, Zn, Cu; интерпретировать магнитные и гравитационные поля; использовать данные дистанционного зондирования. Подобный комплексный подход соответствует современным моделям картирования перспективности [1; 4] и демонстрирует высокую эффективность при работе с полиметаллическими объектами [5].

Преимущества: высокая точность прогноза [1]; учет нелинейных зависимостей [3; 5]; интеграция разнородных данных [2; 6]; снижение геолого-экономических рисков.

Ограничения: необходимость большого массива обучающих данных; зависимость качества модели от полноты исходной информации; сложность интерпретации «глубоких» моделей [1; 9].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интеграция ГИС-технологий и нейронных сетей представляет собой перспективное направление цифровой трансформации геологоразведочных работ. Использование методов глубокого обучения позволяет существенно повысить достоверность прогнозирования скрытых месторождений полезных ископаемых.

Применение GeoAI в условиях Казахстана, особенно в сложных рудных районах, открывает новые возможности для эффективного освоения минерально-сырьевой базы. Дальнейшее развитие данного направления связано с совершенствованием алгоритмов глубокого обучения и расширением цифровых геологических баз данных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: При подготовке статьи инструменты генеративного искусственного интеллекта не использовались.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- A Review of Mineral Prospectivity Mapping Using Deep Learning // Minerals. – 2024. – Vol. 14. – No. 10.
https://www.mdpi.com/2075-163X/14/10/1021?utm_source=chatgpt.com
 GIS-based mineral prospectivity mapping using machine learning methods // Ore Geology Reviews. – 2019.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169136818307406>
 Artificial neural networks: a new method for mineral prospectivity mapping // Australian Journal of Earth Sciences. – 2000.
https://www.researchgate.net/publication/248955306_Artificial_Neural_Networks_A_New_Method_for_Mineral_Prospectivity_Mapping
 Remote Sensing-Based Prospectivity Maps Using Neural Networks // International Journal of Information Science. – 2023.
<https://journal.50sea.com/index.php/IJIST/article/view/576>
 A Convolutional Neural Network of GoogLeNet Applied in Mineral Prospectivity Prediction // Natural Resources Research. – 2021.
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2021NRR....30.3905Y/abstract>

Enhancing mineral prospectivity mapping with geospatial artificial intelligence // Computers & Geosciences. – 2024.

<https://www.researchgate.net/publication/379469110> Enhancing mineral prospectivity mapping with geospatial artificial intelligence A geographically neural network-weighted logistic regression approach

An Approach to Creating Spatial Predictive Prospecting Models of Deposits Based on Convolutional Neural Networks // Seismic Instruments – 2025

<https://www.researchgate.net/publication/392593437> An Approach to Creating Spatial Predictive Prospecting Models of Deposits Based on Convolutional Neural Networks A Case Study of the Territory of Southeastern Transbaikalia

Интеграция искусственного интеллекта в обработку геолого-геофизических данных при разведке твердых полезных ископаемых // Науки о Земле и недропользование. – 2025.

<https://www.nznj.ru/jour/article/view/422>

Mineral Prospectivity Prediction via Convolutional Neural Networks // Journal of Earth Science. – 2021.

<https://www.researchgate.net/publication/350817877> Mineral Prospectivity Prediction via Convolutional Neural Networks Based on Geological Big Data

ПРАКТИКА ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ QA/QC В ГЕОЛОГОРАЗВЕДКЕ КАЗАХСТАНА: ПРОБЛЕМЫ, СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

УДК 550.8:658.562

А.Р. Төлеуов^{1*}, Н.А. Зимановская¹

¹ВКТУ имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Төлеуов Арман Рұсланұлы, e-mail: arman_t13@mail.ru

АННОТАЦИЯ. Данная статья посвящена анализу контроля достоверности и качества (QA/QC) в геологоразведочной отрасли Республики Казахстан. Цель исследования заключается в выявлении ключевых вопросов и проблем при переходе на международные стандарты отчетности KAZRC и разработке путей оптимизации контроля аналитических данных. Методология исследования базируется на статистическом анализе (карты Шухарта, HARD-графики) и применении теории опробования Пьера Жи. В статье подробно рассматриваются проблемы «человеческого фактора» и отсутствия оперативного реагирования на брак. Требуется анализ существующих подходов, выявление проблем и разработка рекомендаций по их решению. Объект исследования - Система обеспечения качества (QA/QC) при проведении геологоразведочных работ в Казахстане и за рубежом.

Ключевые слова: контроль качества (QA/QC), горнодобывающее производство, геологическое опробование, достоверность данных, управление качеством

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития горнорудной отрасли Республики Казахстан характеризуется полномасштабной интеграцией в мировое геоэкономическое пространство, что требует безусловного соблюдения стандартов публичной отчетности семейства CRIRSCO.

В этом контексте система QA/QC (Quality Assurance - обеспечение качества, Quality Control - контроль качества) выступает не как вспомогательная дисциплина, а как фундаментальная технологическая основа геологоразведочных работ (ГРР). Достоверность первичных аналитических данных напрямую определяет точность оценки ресурсов / запасов и, как следствие, экономическую жизнеспособность будущего горного предприятия.

Несмотря на наличие нормативной базы (кодекс KAZRC), на практике внедрение данных систем сталкивается с рядом технических и организационных моментов, требующих научного переосмысления и выработки унифицированных подходов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ и обобщение литературных источников, Сравнительный анализ международного и казахстанского опыта, Статистическая обработка данных QA/QC, практический анализ методик на примере геологоразведочных объектов (Находка, Унгыртас, Павлик)

Ключевые слова: QA/QC, геологическая информативность, кодекс KAZRC, теория Пьера Жи, контрольные карты Шухарта, HARD-анализ, погрешность опробования, CRM, бланковые пробы, полевые дубликаты, дубликаты истирание, дубликаты дробления.

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ВНЕДРЕНИЯ QA/QC В КАЗАХСТАНЕ

Несмотря на постепенный переход на KAZRC, в казахстанской практике сохраняется ряд системных дефицитов:

- Превалирование лабораторного контроля над полевым. Традиционно основное внимание уделяется точности работы лаборатории (внутренний и внешний контроль), в то время как ошибки первичного отбора (выход керна, загрязнение при транспортировке, неправильный отбор проб) остаются за рамками системного аудита.
- Отсутствие оперативного управления. На большинстве объектов анализ контрольных проб проводится постфактум, спустя месяцы после завершения бурения. Это делает невозможным проведение оперативного переанализа бракованных партий, что ведет к потере достоверности целых рудных пересечений.
- Отсутствие единого методологического стандарта, отсутствие в Республике Казахстан общепринятого нормативно-методического документа, который бы детально регламентировал процедуры QA/QC на операционном уровне.
- Также проблемой является формальное отношение персонала к процедурам контроля, воспринимаемым как бюрократическая нагрузка. Отсутствие жестких регламентов (SOP) и понимания связи между точностью действий и капитализацией проекта ведет к нарушению метода вставки проб и субъективным ошибкам при документации.

ПУТИ РЕШЕНИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ

Для качественного скачка в достоверности данных предлагаются следующие меры:

Разработка и внедрение SOP (Стандартных операционных процедур)

Каждая стадия ГРП должна иметь жесткий регламент. Например, SOP по документированию керна должен включать обязательную фотофиксацию в сухом и мокром виде, замер магнитной восприимчивости и плотности. Это минимизирует субъективизм геолога.

Автоматизация в среде ГГИС Современные системы (Micromine, Datamine, Leapfrog) позволяют интегрировать модули QA/QC.

Внедрение алгоритма автоматизма: при импорте лабораторных файлов система должна автоматически сверять CRM и бланки. В случае брака импорт данных блокируется, и геолог получает уведомление о необходимости переанализа.

Переход к концепции «Real-time QA/QC» на базе облачных дисков

Традиционный камеральный анализ результатов контроля должен быть заменен на оперативный мониторинг. Предлагается использование облачных платформ (например, централизованных SQL-серверов), где результаты анализа из лаборатории автоматически проходят проверку алгоритмами сразу после загрузки.

Разработка отраслевого «Методического руководства по QA/QC РК»

Для исключения проблемы методологической разобщенности необходимо создание единого отраслевого документа под эгидой профессиональных объединений (например, ПОНЭН). Данное руководство должно содержать унифицированные протоколы вставки контрольных проб для различных типов месторождений Казахстана (золоторудных, полиметаллических и др.) и утвержденные критерии допустимых погрешностей. Наличие эталонного документа позволит компаниям внедрять уже проверенные и признанные международными аудиторами подходы.

Интеграция систем машинного обучения для прогнозирования аномалий

В качестве перспективного решения предлагается внедрение нейросетевых алгоритмов, способных анализировать большие массивы данных QA/QC. Машинное обучение может выявлять скрытые закономерности (например, корреляцию между

весом проб и ростом систематической погрешности), предсказывая возможные сбои в работе лабораторий еще до того, как они станут критическими. Это переводит систему из режима исправления ошибок в режим их предотвращения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги, следует отметить, что текущая практика внедрения QA / QC в Казахстане характеризуется отсутствием единого методического стандарта операционного контроля, что приводит к методологической разобщенности предприятий. Проведенное исследование позволило систематизировать основные изъятые существующих подходов.

Основным результатом данной работы, которая является также фундаментом в будущей магистерской диссертации, является разработка практического руководства (методички) по QA/QC. В отличие от декларативных требований кодексов, предложенная методика содержит пошаговые алгоритмы: от проектирования схем вставки контрольных проб до внедрения автоматизма данных в среде ГГИС.

Таким образом, диссертационное исследование претендует на роль прикладного стандарта, способного закрыть существующий методологический вакуум и обеспечить прозрачность геологических данных в масштабах всей отрасли Казахстана.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: При подготовке статьи инструменты генеративного искусственного интеллекта не использовались.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Кодекс KAZRC. Национальная система отчетности о результатах геологоразведочных работ, минеральных ресурсах и запасах. – Астана: ПОНЭН, 2022.
- Abzalov, M. Sampling Errors and Control of Assay Data Quality in Exploration and Mining Geology. - Perth: Snowden Group, 2011.
- Gy, P. Sampling of Particulate Materials: Theory and Practice. - Amsterdam: Elsevier, 1982.
- Smee, B. Quality Control in Mineral Exploration. - Canada: Smee & Associates, 2007.
- Мухин, П. Контроль достоверности и качества (QA/QC) геологических данных при подготовке отчетов KAZRC. - Усть-Каменогорск: Казцинк, 2019.
- Пеленкова, Е. А. Обеспечение и контроль качества геологических данных. - Москва: Micromine Rus, 2018.

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ АРТЕМЬЕВСКОЕ

УДК 553.43/44

Д. Д. Тулегенов^{1*}

¹ НАО «ВКТУ имени Д. Серикбаева» Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Тулегенов Диас Даулетович, e-mail: tulegenov596@gmail.com

АННОТАЦИЯ. Работа посвящена изучению особенностей геологии и минерального состава руд полиметаллического месторождения Артемьевское (Рудный Алтай). Актуальность исследования обусловлена необходимостью детального изучения минерального состава для оптимизации процессов добычи и переработки руд. Целью работы является комплексный анализ геологического строения, морфологии рудных тел и распределения минерализации в пределах месторождения. В ходе работы проанализированы данные геологоразведочных работ и результаты электронной микроскопии. Установлено, что месторождение относится к медно-цинково-колчеданному типу и характеризуется четкой вертикальной и латеральной зональностью. Руды представлены пятью природными типами со сложным минеральным составом. Результаты исследования уточняют генезис оруденения и могут быть использованы для повышения эффективности горно-эксплуатационных работ.

Ключевые слова: Артемьевское месторождение, Рудный Алтай, полиметаллические руды, геологическое строение, минеральный состав, медно-цинково-колчеданный тип, вертикальная зональность.

ВВЕДЕНИЕ

Месторождение Артемьевское находится на территории Шемонаихинского района Восточно-Казахстанской области в пределах Прииртышского рудного района полиметаллического пояса Юго-Западного Алтая. Месторождение относится к группе эксплуатируемых, добыча руды осуществляется подземным способом на глубинах от 380 до 950 м («слепое» залегание). В качестве товарной продукции выступают флотационные концентраты, содержащие медь, цинк, свинец, золото и серебро. В связи с глубоким залеганием рудных тел и сложными горно-геологическими условиями, детальное изучение геологии и вещественного состава руд Артемьевского месторождения является критически важным для планирования горных работ. Цель данного исследования – систематизация и анализ особенностей геологии, структурного контроля и минерального состава руд Артемьевского месторождения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для исследования послужили результаты научно-исследовательских и геологоразведочных работ, а также данные опробования и петрографического изучения руд, собранные в ходе преддипломной практики. Для изучения микроструктурных особенностей руд и распределения минералов-примесей (золота, серебра, кадмия и др.) использовались результаты сканирующей электронной микроскопии. Анализ пространственного распределения природных типов руд проводился на основе обобщения материалов детальной разведки и эксплуатационного опробования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Особенности геологического строения и структурный контроль

В структурно–тектоническом плане месторождение расположено на северо–восточном крыле Камышинской синклинали. Рудолокализация подчинена четкому стратиграфическому и литолого-петрографическому контролю. Оруденение приурочено к контакту кислых вулканитов таловской свиты (средний девон), представленных лавами и кластолавами риолитов, с перекрывающими их осадочно-вулканогенными породами основного-среднего состава гериховской свиты. Породы всяческого бока интенсивно метасоматически изменены: развиты хлоритолиты, серицитолиты и микрокварциты.

Морфология рудных залежей и зональность оруденения

На месторождении выделено семь рудных залежей (Камышинская, Основная, Промежуточная, Восточная, Юго-Восточная, Западная и Центральная), образующих единую линейную систему. Наиболее крупная — Основная залежь, заключающая в себе более 48% запасов месторождения. Главное рудное тело представляет собой сложную плитообразную линзу с резкими перепадами мощности от 2 до 42 м.

Таблица 1. Основные морфометрические параметры выделенных рудных залежей

Рудные залежи	Суммарные запасы металла в % от общих запасов категорий C ₁ +C ₂	Размеры, м		
		Длина по простиранию	Ширина	Мощность
Камышинская	3,6	450	до 350	200÷400
Основная	48,56	1300	до 400	200
Промежуточная	4,5	600	до 220	0,3÷12
Восточная	7,38	500	150÷190	0,4÷18
Юго-Восточная	1,49	200	50÷200	0,8÷10,7
Западная	9,71	620	100	1,9÷23
Центральная	17,3	450	150÷200	1,1÷29
Медные руды в таловской свите	7,46	-	-	-

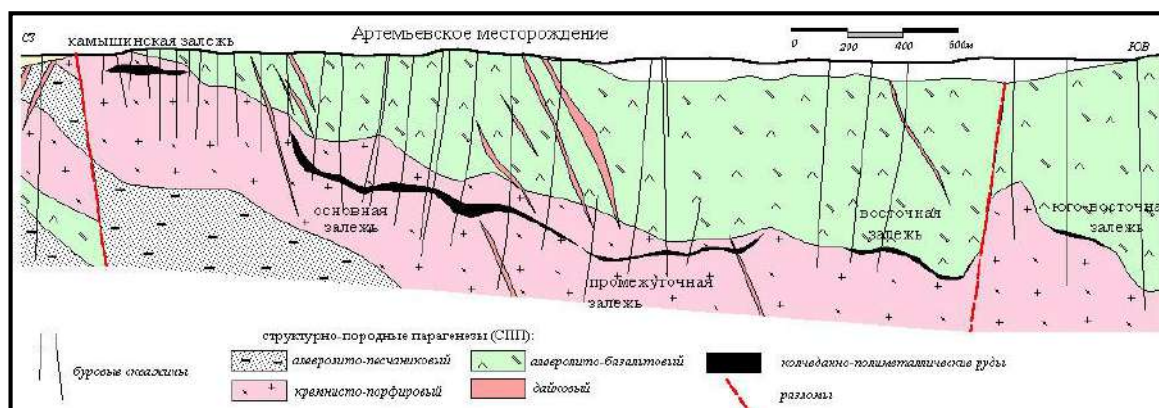


Рисунок 1. Продольный геологический разрез Артемьевского месторождения

Для Артемьевского месторождения характерна ярко выраженная вертикальная эндогенная зональность рудно-алтайского типа. В верхних частях рудных тел развиты барит-полиметаллические руды, которые с глубиной постепенно сменяются

полиметаллическими, затем медно-цинковыми, а в корневых частях — медно-колчеданными рудами.

Минеральный состав и природные типы руд

По соотношению основных компонентов в пределах рудных залежей выделено 5 природных типов руд: барит-полиметаллический, полиметаллический, медно-цинковый, медный (медно-колчеданный) и серебро-полиметаллический бедный. Общее количество установленных минералов превышает 60, из них 44 – рудные. Основными рудными минералами выступают пирит, халькопирит, сфалерит и галенит.

1. Сфалерит отличается высокими содержаниями изоморфного кадмия (до 0,85% в барит-полиметаллических рудах). Характерны тесные взаимоотношения с галенитом.

2. Халькопирит характеризуется пониженными содержаниями железа и постоянным присутствием эмульсионной вкрапленности сфалерита.

3. Галенит концентрирует повышенные содержания висмута и серебра, особенно в медно-цинковых разностях.

4. Блеклые руды представлены сурьмянистыми разновидностями (фрайбергиты и зандбергиты) в барит-полиметаллических рудах и мышьяковистыми (бинниты) в медно-цинковых. С ними связана значительная часть серебра (до 32% баланса). Золото в полиметаллических рудах присутствует как в свободной форме (размером до 0,15 мм), так и в тонкой дисперсной связи с пиритом.

Генезис месторождения

Анализ геологической позиции, строения рудных тел и текстурно-структурных особенностей руд (наличие колломорфных барит-полиметаллических руд в висячем боку и хорошо раскристаллизованных медно-колчеданных руд в лежащем) позволяет отнести генезис месторождения к гидротермальному. Формирование оруденения парагенетически связано с зонами разгрузки восходящих рудоносных сероводородных флюидов в морских условиях, что находит прямые аналогии с современными процессами образования "черных курильщиков" в рифтовых долинах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что месторождение Артемьевское относится к медно-цинково-колчеданному геолого-промышленному типу. Оруденение контролируется контактом кислых и основных вулканогенных комплексов таловской и гериховской свит. Сложный минеральный состав руд и их выраженная вертикальная зональность отражают эволюцию магмато-гидротермальной системы. Значительная доля благородных металлов (золото и серебро) и токсичных примесей (мышьяк, сурьма) определяет необходимость применения комплексных технологических схем при обогащении руд данного месторождения. Полученные данные о минералогии и морфологии рудных тел имеют важное значение для оптимизации селективной добычи различных технологических сортов руд..

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ: Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю Матайбаевой Индире Едыловне, доктору PhD, ассоциированному профессору Школы наук о Земле, за научное руководство, консультации и методическую поддержку при выполнении исследования.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: При подготовке статьи использовались инструменты генеративного искусственного интеллекта для языкового редактирования и улучшения структуры текста. Автор несет полную ответственность за содержание и научные выводы работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Малыгин А.А., Голубцов В.Е. Генеральный подсчет запасов Артемьевского месторождения на Рудном Алтае (по состоянию на 01.01.1997г.). – Усть-Каменогорск, 1997.
- Алексейчук Д.С., Егоров А.Н., Петрич А.В. и др. Техничко-экономическое обоснование промышленных кондиций Артемьевского полиметаллического месторождения. ТОО «GEO.KZ», Усть-Каменогорск, 2015.
- Пономарев В.Н., Пономарева В.И. и др. Отчет о результатах сопоставления данных разведки и разработки Артемьевского месторождения. ТОО «Геос», Усть-Каменогорск, 2014.
- Иванова Г.И., Дубов Н.Б. Изучение вещественного состава по обогатимости основных типов руд Артемьевского месторождения с целью повышения комплексного использования сырья. ВНИИцветмет, Усть-Каменогорск, 1991.
- OpenAI. (2026, March 28). Assistance with editing and structuring a scientific article on geology [Large language model]. ChatGPT. <https://chat.openai.com>

СРАВНЕНИЕ КАЗАХСТАНСКОГО И ЗАРУБЕЖНОГО ПОДХОДОВ К КАДАСТРОВОМУ УЧЁТУ

УДК 528.44

А.А.Успанова^{1*}, М.М. Тогузова¹

¹Восточно-Казахстанский технический университет им.Д. Серикбаева,
г.Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Успанова Ажар Аянқызы, e-mail: azhar.uspanova.02@mail.ru

АННОТАЦИЯ. Кадастровый учёт играет ключевую роль в управлении земельными ресурсами и недвижимостью. В данной статье рассматриваются особенности казахстанской системы кадастра, её сравнение с зарубежными моделями (Европа, США, СНГ), а также анализируются проблемы и перспективы развития. Казахстанская система остаётся централизованной и требует цифровизации, сокращения бюрократии и улучшения доступа к данным. Внедрение передовых зарубежных практик, таких как автоматизация кадастрового учёта, использование ГИС и привлечение частного сектора, позволит повысить эффективность кадастра в стране. Также в статье рассмотрены институциональные и правовые особенности кадастрового учёта, а также различия в организации систем в разных странах. В странах Европы кадастр характеризуется высоким уровнем цифровизации и интеграцией государственных базы данных, тогда как в США и Канаде применяется децентрализованный подход с участием частных специалистов. В странах СНГ, включая Казахстан, кадастровая система остаётся преимущественно государственной и находится на этапе постепенной модернизации. Особое внимание уделяется проблемам Казахстана, таким как недостаточная актуальность данных, длительные сроки регистрации и ограниченный доступ к информации. Также анализируется историческое развитие кадастра и его переход от советской системы к современной цифровой модели. В результате исследования определены основные направления совершенствования кадастровой системы, включая внедрение электронных услуг, развитие геоинформационных технологий и повышение прозрачности данных. Реализация этих мер позволит повысить эффективность управления земельными ресурсами и улучшить инвестиционную привлекательность страны в современных условиях.

Ключевые слова: кадастровый учёт, земельный кадастр, цифровизация, кадастровые данные, геоинформационные системы, управление земельными ресурсами.

ВВЕДЕНИЕ

Кадастровый учёт является ключевым элементом в системе управления земельными ресурсами и недвижимостью, обеспечивая правовую и экономическую основу для эффективного использования территорий. Он играет важную роль в земельно-имущественных отношениях, налоговой системе, градостроительстве и инвестиционной политике государства. Точная кадастровая информация способствует повышению прозрачности сделок с недвижимостью, снижению рисков правовых споров, а также развитию цифровых сервисов в сфере земельного администрирования.

В условиях глобальной цифровизации и внедрения передовых технологий в сферу государственного управления кадастровый учёт также трансформируется, переходя к более автоматизированным и интегрированным системам. Однако подходы к организации и ведению кадастра значительно различаются в зависимости от страны. В некоторых государствах, например, в странах ЕС, преобладают централизованные

кадастровые системы, ориентированные на высокий уровень государственного контроля, в то время как в США и Канаде применяется более децентрализованный и гибкий подход с активным участием частного сектора. Казахстан, стремясь к развитию современной кадастровой системы, ориентируется как на собственный опыт, так и на успешные зарубежные практики.

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью совершенствования системы кадастрового учёта в условиях цифровой трансформации экономики и роста требований к качеству управления земельными ресурсами. В современных условиях кадастровая информация становится важным инструментом принятия управленческих решений, развития инвестиционной деятельности и обеспечения устойчивого территориального развития. Недостаточная эффективность отдельных элементов кадастровой системы может сдерживать развитие рынка недвижимости и снижать уровень доверия к государственным информационным ресурсам. В связи с этим изучение зарубежного опыта и его адаптация к национальным условиям приобретают особую значимость для повышения эффективности кадастрового учёта в Республике Казахстан.

Цель данной статьи заключается в сравнении подходов к кадастровому учёту в Казахстане и за рубежом, выявлении ключевых различий и схожестей, а также в анализе возможных направлений совершенствования казахстанской системы кадастра. В ходе исследования будут рассмотрены теоретические аспекты кадастрового учёта, законодательные основы, современные технологии и основные проблемы, с которыми сталкивается Казахстан в процессе цифровизации кадастра.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Кадастровый учёт представляет собой систему регистрации данных о земельных участках и объектах недвижимости, включающую их местоположение, границы, правовой статус, целевое назначение и другие характеристики. Основные задачи кадастрового учёта включают обеспечение достоверной информации о земле и недвижимости, защиту прав собственности, поддержку налогового администрирования, планирование и управление территориальным развитием (Ахметова, Н.З., Секенова, Ж.Е., 2021, с. 139).

Кадастровый учёт также включает систематизацию и хранение информации в единой информационной системе, что обеспечивает её доступность для государственных органов и пользователей. Важным элементом кадастра является точность и актуальность данных, так как от этого зависит эффективность управления земельными ресурсами и принятие управленческих решений. Современные кадастровые системы ориентированы на использование цифровых технологий, что позволяет ускорить обработку информации и повысить её достоверность. Ведение кадастра требует регулярного обновления сведений о земельных участках и объектах недвижимости, а также взаимодействия различных государственных структур, участвующих в процессе учёта и регистрации.

В зависимости от сферы применения кадастр подразделяется на несколько видов. Земельный кадастр фиксирует характеристики участков и их границы, имущественный кадастр охватывает здания, сооружения и иные объекты недвижимости, а цифровой кадастр представляет собой интегрированную систему данных с использованием геоинформационных технологий (ГИС) и автоматизированных баз данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Правовое регулирование кадастрового учёта различается в зависимости от страны. В странах с развитой правовой системой, таких как Германия, Франция и Великобритания, кадастр является неотъемлемой частью государственного управления и поддерживается высокотехнологичными платформами. В США и Канаде

кадастровый учёт часто ведётся на муниципальном уровне, что способствует большей гибкости, но иногда создаёт проблемы с единообразием данных. В России и других странах СНГ, включая Казахстан, кадастр находится под государственным контролем, а его цифровизация проходит поэтапно.

Кадастровый учёт в Казахстане имеет долгую историю развития, начиная с советского периода, когда основная цель кадастра заключалась в контроле за использованием земельных ресурсов. После обретения независимости Казахстан приступил к реформированию системы кадастра, стремясь адаптировать её к рыночной экономике и международным стандартам.

На сегодняшний день правовое регулирование кадастрового учёта в Казахстане основывается на Земельном кодексе Республики Казахстан, который определяет основные принципы и порядок ведения кадастрового учёта, а также регулирует права и обязанности собственников и пользователей земельных участков. Важнейшую роль в системе кадастра играет Государственный земельный кадастр, который ведётся государственными органами и включает сведения о границах, категориях земель, правовых основаниях владения и пользования.

В последние годы в Казахстане активно внедряются информационные системы кадастрового учёта, направленные на упрощение процесса регистрации недвижимости, повышение точности данных и интеграцию различных государственных баз данных. Однако, несмотря на значительный прогресс, остаются нерешённые проблемы, включая несовершенство законодательной базы, недостаточную актуальность кадастровых данных и бюрократические барьеры, усложняющие процесс регистрации земельных участков.

Одним из ключевых направлений развития является цифровизация кадастра, включающая использование геоинформационных систем, дистанционного зондирования Земли и автоматизированных сервисов для пользователей. Казахстан стремится к созданию единого цифрового кадастра, который позволит повысить прозрачность сделок с недвижимостью, упростить межведомственное взаимодействие и минимизировать риски ошибок в данных. Однако для успешной реализации этих инициатив требуется дальнейшее совершенствование нормативно-правовой базы, модернизация технической инфраструктуры и повышение квалификации специалистов в сфере кадастрового учёта.

Сравнительный анализ показывает, что подходы к организации кадастрового учёта в разных странах отличаются уровнем централизации, степенью цифровизации и участием государственных и частных структур. В Казахстане кадастровая система носит централизованный характер и находится под управлением государственных органов. Это обеспечивает единый контроль над земельными ресурсами и формирование единой базы данных, однако может замедлять обновление информации и усложнять оперативное взаимодействие между участниками системы.

В ряде зарубежных стран наблюдаются различные модели организации кадастра. В европейских государствах кадастровые системы, как правило, характеризуются высокой степенью цифровизации и интеграцией с другими государственными информационными ресурсами, что обеспечивает оперативный доступ к данным и их актуальность. В странах с децентрализованной системой управления функции кадастрового учёта могут распределяться между региональными и местными органами, а также сертифицированными специалистами, что повышает гибкость системы.

Таблица 1. Сравнительный анализ кадастровых систем

Критерии	Казахстан	Европа	США и Канада	СНГ
Структура	Централизован- ный	Централизованный	Децентрализован- ный	Централизо- ванный
Управление	Государствен- ное	Государственное + частный сектор	Частное + государство	Государствен- ное
Цифровизация	Развивается	Высокая	Очень высокая	Средняя
Доступ к данным	Частично закрытый	Открытый	Открытый	Частично закрытый
Регулирование	Жёсткое	Гибкое	Частично государственное	Жёсткое
Скорость регистрации	Медленная	Быстрая	Очень быстрая	Медленная
Бюрократия, ошибки	Высокая	Низкая	Минимальная	Высокая

Казахстан сталкивается с рядом проблем в развитии кадастрового учёта, включая недостаточное финансирование, устаревшие технологии, законодательные барьеры и ограниченный доступ к данным. Медленная цифровизация и длительные сроки регистрации также остаются значительными препятствиями. Высокий уровень бюрократии приводит к задержкам и возможным ошибкам в кадастровых записях. Для улучшения системы можно адаптировать зарубежный опыт, включая цифровизацию кадастра, автоматизацию процессов, привлечение частного сектора и упрощение законодательства. Европейские страны демонстрируют успешные примеры цифрового кадастра и открытых данных, что способствует прозрачности и удобству регистрации. В США и Канаде активно применяется децентрализованный кадастр с участием частных кадастровых инженеров, что ускоряет процессы. Казахстану важно ускорить цифровую трансформацию, создать единую электронную базу, сократить бюрократические процедуры и обеспечить прозрачный доступ к кадастровой информации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Казахстанская система кадастра остаётся централизованной и требует модернизации. В отличие от автоматизированных систем Европы и децентрализованного кадастра США, здесь процесс регистрации занимает больше времени и сопровождается бюрократическими сложностями. Для повышения эффективности необходимо внедрять цифровые технологии, сокращать сроки регистрации, повышать точность данных и адаптировать передовые зарубежные практики. Улучшение кадастрового учёта повысит прозрачность сделок с недвижимостью, упростит администрирование земельных ресурсов и будет способствовать развитию цифровой экономики Казахстана. Проведённое исследование позволило выявить ключевые различия между казахстанской и зарубежными моделями кадастрового учёта, а также определить основные направления их совершенствования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ: Автор выражает глубокую признательность научному руководителю за профессиональное руководство, методическую помощь и ценные рекомендации, оказавшие значительное влияние на качество подготовки статьи, а также благодарит рецензентов за внимательное рассмотрение работы и конструктивные замечания.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: При подготовке данной статьи автор использовал инструменты искусственного интеллекта для помощи в редактировании текста, уточнении фактов и структурировании материала: ChatGPT. (2026, январь 28). Генерация и редактирование текста введения и разделов статьи [Большая языковая модель]. OpenAI. <https://chat.openai.com>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ахметова, Н.З., Секенова, Ж.Е. (2021). Зонирование территории земель населённых пунктов Республики Казахстан. *Проблемы агрорынка*, (1), 138 -146. <https://doi.org/10.46666/2021-1-2708-9991.17> // Akhmetova, N.Z., & Sekenova, Zh.E. (2021). Zonirovanie territorii zemel naselennykh punktov Respubliki Kazakhstan. *Problemy agrorynka*, (1), 138 - 146. <https://doi.org/10.46666/2021-1-2708-9991.17>
- Gubanischeva, M.A. (2020). Research of foreign experience in determining the tax base: prospects for cadastral valuation in Russia. *Vestnik NSUEU*, (1), 127 - 138. <https://doi.org/10.34020/2073-6495-2020-1-127-138>
- Bryzhko, V.G., & Bryzhko, I. V. (2020). State and directions of development of land cadastral practice. *Revista Espacios*, 41(45), 90 - 97. <https://revistaespacios.com/a20v41n45/a20v41n45p08.pdf>
- Google Gemini. (2026, февраль 10). Уточнение фактов, структурирование содержания и улучшение формулировок текста [Большая языковая модель]. Google. <https://gemini.google.com> // Google Gemini. (2026, fevral 10). Utochnenie faktov, strukturirovanie sodержaniya i uluchshenie formulirovok teksta [Bolshaya yazykovaya model]. Google. <https://gemini.google.com>
- Perplexity AI. (2026, март 5). Поиск справочной информации и обобщение данных по теме исследования [ИИ инструмент]. Perplexity AI. <https://www.perplexity.ai> // Perplexity AI. (2026, mart 5). Poisk spravochnoy informacii i obobshchenie dannyh po teme issledovaniya [II instrument]. Perplexity AI. <https://www.perplexity.ai>

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА СПУТНИКОВЫХ СНИМКАХ SENTINEL-2 (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ Г. УСТЬ-КАМЕНОГОРСКА)

УДК 528.854.2

Э.Р. Эжгиреева^{1*}, Ю.Д. Гусаренко¹

¹ВКТУ им. Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Эжгиреева Элина Руслановна, e-mail: elinaezhgireyeva@mail.ru

АННОТАЦИЯ. В статье рассматривается применение метода машинного обучения для классификации изображений дистанционного зондирования Земли на основе спутниковых снимков Sentinel-2. Актуальность исследования обусловлена необходимостью автоматизации обработки спутниковых данных и повышения эффективности анализа земного покрова. Целью работы является апробация и оценка эффективности алгоритмов машинного обучения для автоматизированного выделения классов земного покрова на территории города Усть-Каменогорска. В ходе исследования использованы мультиспектральные снимки Sentinel-2 и методы контролируемой классификации с применением алгоритма машинного обучения Random Forest. Предварительная обработка включала выбор спектральных каналов, подготовку обучающей выборки и настройку параметров классификации. Классификация выполнялась по пяти классам земного покрова: водные объекты, растительность, застроенные территории, почвенный покров и дорожная сеть. В результате работы была получена карта классификации земного покрова исследуемой территории. Проведённый анализ показал, что использование алгоритма Random Forest позволяет выполнить автоматизированное разделение классов с приемлемой точностью, однако качество классификации зависит от выбранных обучающих данных и спектральных характеристик снимка. Полученные результаты демонстрируют возможность применения методов машинного обучения при обработке спутниковых изображений Sentinel-2 для задач картографирования и мониторинга городских территорий, а также показывают необходимость дальнейшего повышения точности классификации.

Ключевые слова: машинное обучение, Random Forest, Sentinel-2, классификация изображений, дистанционное зондирование Земли, алгоритм.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях активного развития геоинформационных технологий и увеличения объёма данных дистанционного зондирования Земли возрастает необходимость применения эффективных методов обработки спутниковых изображений для решения задач картографирования и мониторинга территорий. Использование космических снимков позволяет получать актуальную информацию о состоянии земного покрова, выявлять изменения природных и антропогенных объектов, а также выполнять анализ пространственного распределения различных типов поверхности. В связи с увеличением объёма спутниковых данных возникает необходимость применения методов автоматизированной обработки изображений.

В данной работе рассматривается возможность применения алгоритма машинного обучения Random Forest при классификации изображений на спутниковых снимках Sentinel-2 для выделения основных типов земного покрова. В качестве территории исследования был выбран город Усть-Каменогорск, характеризующийся разнообразием типов поверхности, включающим застроенные территории,

растительность, водные объекты, почвенный покров и дорожную сеть. Наличие различных классов земного покрова позволяет использовать данную территорию для проверки результатов автоматизированной классификации.

Цель исследования - апробация алгоритма машинного обучения Random Forest при классификации мультиспектральных спутниковых снимков Sentinel-2 для выделения основных классов объектов на них.

Задачи исследования:

- создание векторного полигона в границах г. Усть-Каменогорска в QGIS;
- создание обучающих маркеров для классификации в Google Earth Engine;
- предварительная обработка спутниковых изображений;
- классификация изображений на спутниковых снимках методом Random Forest с выделением 5 типов земного покрова;
- построение карты классификации объектов;
- анализ полученных результатов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе исследования использовались геоинформационная система QGIS, облачная платформа Google Earth Engine, данные спутника дистанционного зондирования Земли Sentinel-2 и метод машинного обучения Random Forest.

Геоинформационная система QGIS является программным обеспечением, предназначенным для работы с пространственными данными и выполнения геоинформационного анализа. Данная система распространяется с открытым исходным кодом и широко используется в научных исследованиях, картографии и дистанционном зондировании Земли. QGIS поддерживает работу с векторными и растровыми данными, позволяет выполнять визуализацию картографической информации, а также создавать и редактировать пространственные объекты, такие как точки, линии и полигоны. Программа поддерживает подключение внешних картографических сервисов, включая OpenStreetMap, что позволяет использовать актуальные подложки при создании собственных слоёв и выполнении пространственного анализа.

Google Earth Engine представляет собой облачную геоинформационную платформу. Платформа разработана компанией Google и широко используется при решении задач дистанционного зондирования Земли и анализа спутниковых изображений. Обработка данных выполняется на удалённых серверах, что позволяет работать с большими массивами информации без использования мощного вычислительного оборудования. Google Earth Engine содержит встроенный каталог спутниковых снимков и других геоданных, включая данные Sentinel-2, которые могут использоваться без предварительной загрузки. Работа с платформой осуществляется через веб-интерфейс с использованием программного кода, что позволяет выполнять обработку изображений, применять методы анализа и использовать алгоритмы машинного обучения.

Sentinel-2 - это система спутников дистанционного зондирования Земли Европейского космического агентства, используемых для получения мультиспектральных изображений земной поверхности. Система оснащена сенсором с 13 спектральными каналами и пространственным разрешением до 10 м, что позволяет выполнять детальный анализ земного покрова, растительности, водных объектов и застроенных территорий. Спутники обеспечивают регулярную съёмку поверхности Земли и предоставляют данные, широко применяемые при решении задач картографирования, мониторинга окружающей среды и классификации спутниковых изображений.

Random Forest - алгоритм машинного обучения, применяемый для решения задач классификации и анализа данных. Метод основан на использовании ансамбля

решающих деревьев, каждое из которых строится на случайной выборке исходных данных, что позволяет повысить устойчивость и точность результатов. Итоговая классификация определяется на основе совместного решения всех деревьев, что снижает влияние случайных ошибок и уменьшает вероятность переобучения. Алгоритм широко используется при обработке данных дистанционного зондирования Земли, т.к. мультиспектральные спутниковые снимки содержат большое количество признаков, характеризующих различные типы поверхности. В данной работе алгоритм Random Forest применялся для классификации спутниковых снимков Sentinel-2 с целью выделения основных классов земного покрова.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Объектом исследования была выбрана территория города Усть-Каменогорска. На загруженной в геоинформационную систему QGIS картографической подложке QuickMapServices с использованием плагина OSM Standard по существующей границе города был создан векторный полигон, который использовался в дальнейшем для ограничения области исследования и обрезки спутниковых снимков.

Проект был сохранен в формате shapefile и загружен в Google Earth Engine. После подготовки границы исследуемой территории был выполнен подбор спутниковых снимков Sentinel-2 с использованием платформы Google Earth Engine. Для анализа были выбраны космические снимки, у которых доля облачных пикселей составляла менее 20%. Впоследствии космические снимки были обрезаны по границе исследуемой территории (рисунок 1).

Для выполнения контролируемой классификации в Google Earth Engine были созданы обучающие маркеры для основных типов земного покрова. Обучающие участки формировались вручную на основе визуального анализа изображения. В качестве классов были выбраны водные объекты, растительность, застроенные территории, почвенный покров и дорожная сеть. Созданные маркеры использовались в качестве обучающей выборки для алгоритма классификации. Сформированная выборка была разделена на обучающую и тестовую в соотношении 70% и 30%, при этом тестовая выборка использовалась для оценки способности модели к обобщению и корректному распознаванию ранее не встречавшихся данных.



Рисунок 1. Композит спутниковых снимков Sentinel-2 в пределах границ г. Усть-Каменогорска

Классификация спутниковых изображений выполнялась с использованием алгоритма машинного обучения Random Forest, реализованного в среде Google Earth

Engine. Данный алгоритм использовался для автоматического разделения изображения на заданные классы на основе спектральных характеристик пикселей и обучающих данных. Вся обработка данных в среде Google Earth Engine выполнялась с использованием программного кода.

В результате выполнения классификации была получена карта классификации объектов в границах города Усть-Каменогорска, отображающая распределение выбранных классов (рисунок 2). Полученные результаты использовались для оценки возможности применения алгоритма Random Forest при обработке спутниковых снимков Sentinel-2.

Для дополнительного анализа различимости классов были построены средние спектральные характеристики исследуемых типов земного покрова (рисунок 3), полученные по каналам спутника Sentinel-2 (B2, B3, B4, B8, B11, B12). График отражает зависимость отражательной способности объектов от спектрального диапазона и позволяет оценить различимость классов. Анализ показывает, что водные объекты характеризуются низкими значениями отражательной способности во всех каналах, тогда как растительность демонстрирует резкий рост в ближнем инфракрасном диапазоне (B8), что является её отличительным признаком. В то же время застроенные территории, дорожная сеть и почвенный покров имеют близкие спектральные характеристики, особенно в инфракрасном диапазоне. Это свидетельствует о возможности их надежного разделения.

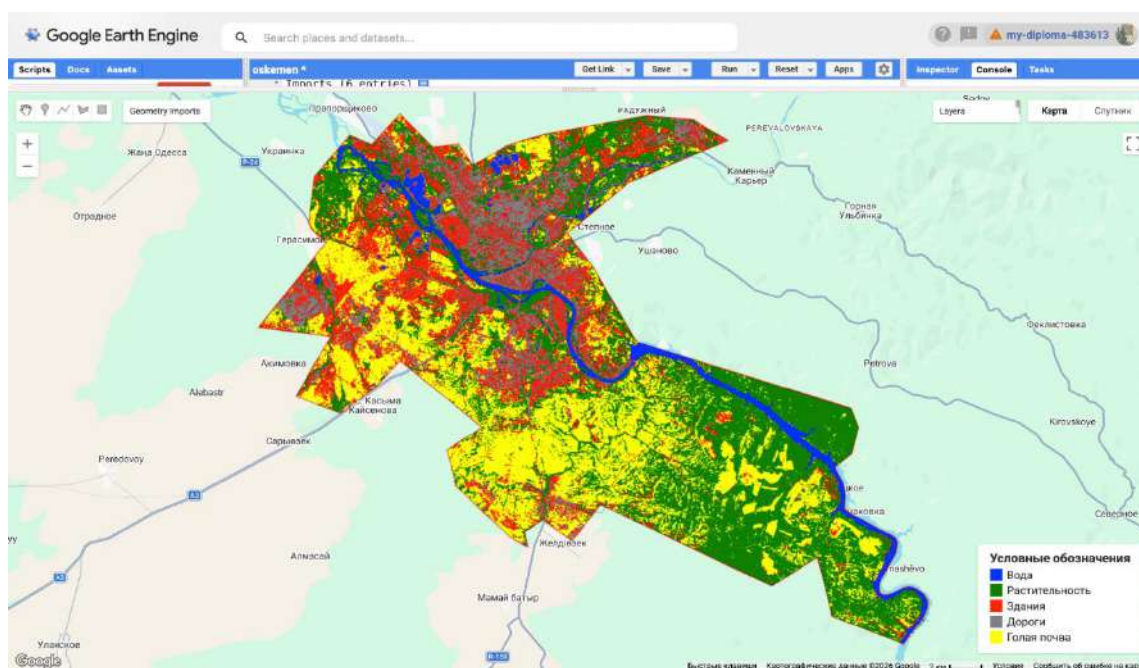


Рисунок 2. Карта классификации объектов на территории г. Усть-Каменогорска

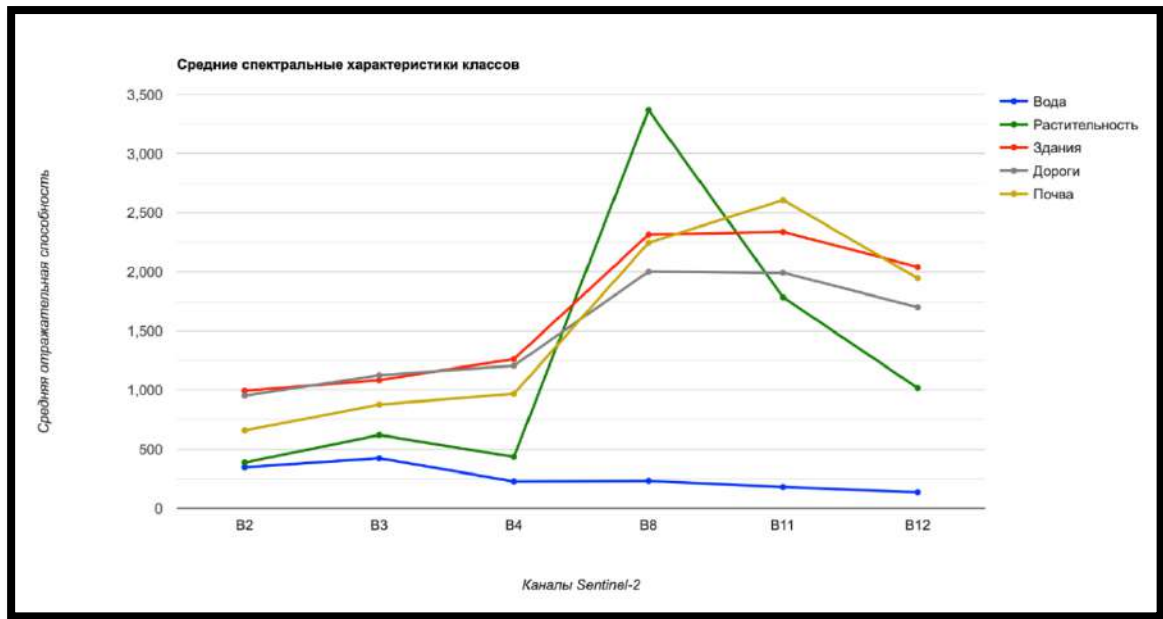


Рисунок 3. График средних спектральных характеристик классов земного покрова

Детальный анализ результатов классификации по отдельным классам земного покрова представлен в матрице ошибок (рисунок 4).

Анализ диагональных элементов матрицы показывает, что с высокой точностью распознается класс «вода». Помимо этого, высокие показатели точности наблюдаются для классов «растительность» и «здания». В то же время наибольшее количество ошибок возникает между классами «здания» и «дорога», а также «здания» и «открытая почва», что связано с близостью их спектральных характеристик. В целом результаты классификации можно оценить как удовлетворительные, что подтверждается значением общей точности.

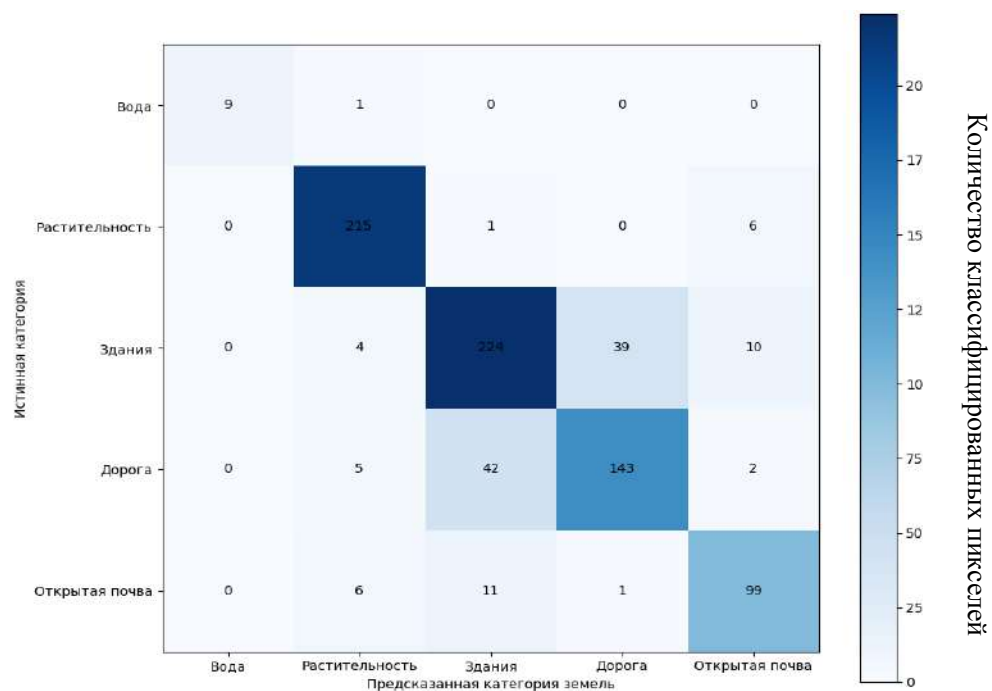


Рисунок 4. Матрица ошибок результатов классификации спутникового изображения

На основе матрицы ошибок был построен график точности классификации по классам (рисунок 5). Для каждого класса была рассчитана точность (Producer's Accuracy), определяемая как отношение количества правильно классифицированных объектов данного класса к их общему числу в выборке. Данный показатель позволяет оценить, насколько полно модель распознаёт объекты каждого класса и выявить различия в качестве классификации между ними.

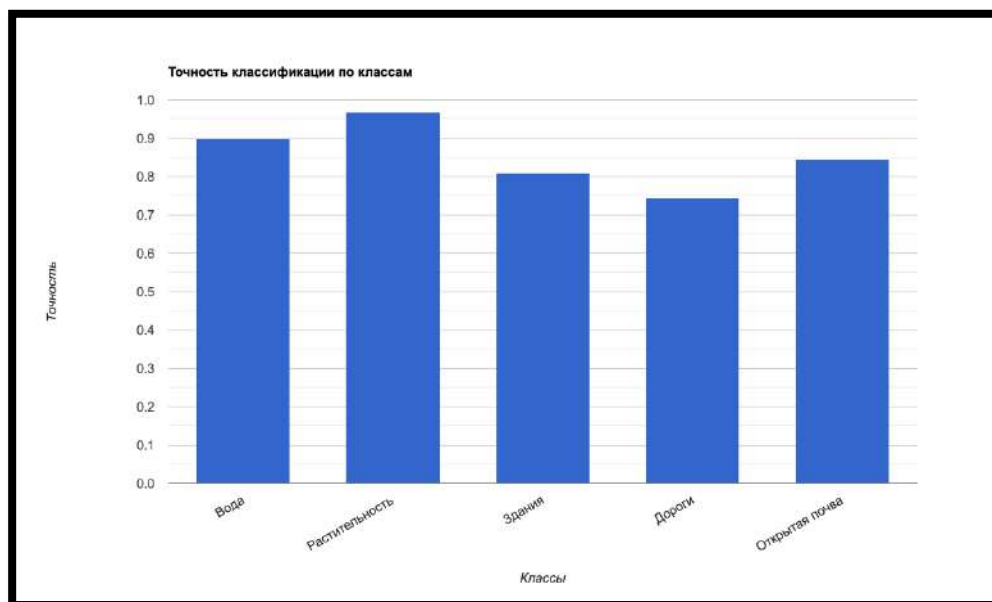


Рисунок 5. Оценка точности классификации по классам земного покрова

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование позволило выполнить автоматизированное картографирование территории г. Усть-Каменогорск на основе актуальных данных спутника Sentinel-2 за 2023 г. В ходе работы в облачной платформе Google Earth Engine был реализован программный алгоритм классификации с использованием метода Random Forest. Итоговым результатом стала карта классификации территории г. Усть-Каменогорска с выделением 5 классов: водные объекты, растительность, здания, дороги и открытые почвы.

В ходе анализа было выявлено, что итоговая классификация имеет определенные погрешности. Основные сложности возникли при разделении классов «дороги» и «здания», а также «открытая почва» и «здания» из-за спектрального сходства материалов их покрытия. Пространственное разрешение в 10 м также приводит к возникновению «смешанных пикселей» на границах кадастровых кварталов.

Анализ спектральных характеристик показал, что, несмотря на наличие пересечений между отдельными классами, в целом они обладают различными признаками, что подтверждает корректность выбранного подхода. Оценка качества классификации с использованием матрицы ошибок продемонстрировала достаточно высокую точность модели, при этом значение общей точности (Overall Accuracy) составило 0.8435.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что использование алгоритма Random Forest в сочетании с данными Sentinel-2 и возможностями платформы Google Earth Engine является эффективным инструментом для решения задач тематического картографирования.

Полученная карта с классификацией объектов может быть применена в области земельного кадастра и землеустройства для мониторинга изменений территории, а

также для поддержки принятия управленческих решений в сфере рационального использования земельных ресурсов.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: при подготовке текста применялись цифровые инструменты обработки информации, в частности ChatGPT (GPT-5,3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ChatGPT (GPT-5 mini). (2026, февраль 27). Помощь в подготовке текста статьи и перефразировании абзацев [Большая языковая модель]. <https://openai.com/> // ChatGPT (GPT-5 mini). (2026, fevral 27). Pomoshch' v podgotovke teksta stat'i i perefrazirovanii abzatsov [Bolshaya yazykovaya model]. <https://openai.com/>
- Earth Engine от Google - уникальная платформа для анализа больших геоданных. <https://habr.com/ru/articles/500020/> // Earth Engine ot Google - unikal'naya platforma dlya analiza bol'shikh geodannykh. <https://habr.com/ru/articles/500020/>
- Introducing Sentinel-2. https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2/Introducing_Sentinel-2#:~:text=As%20well%20as%20monitoring%20plant,assumes%20ownership%20of%20the%20satellites
- Модели для классификации: случайный лес (Random Forest). <https://python-school.ru/blog/osnovy-ml/randomforestclassifier/> // Modeli dlya klassifikacii: sluchaynyy les (Random Forest). <https://python-school.ru/blog/osnovy-ml/randomforestclassifier/>
- Sentinel-2. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Sentinel-2> // Sentinel-2. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Sentinel-2>
- Основы работы в QGIS. Часть 1. Учебно-методическое пособие. about:blank // Osnovy raboty v QGIS. Chast' 1. Uchebno-metodicheskoye posobiye. about:blank

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ PM_{2.5} В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИБРИДНЫХ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

УДК 004.89:504.3.054

Б.Б. Мұратбек¹, С.Қ. Сайлапкерев¹, А.Б. Сеильханова^{1*}

¹Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан

*Автор-корреспондент: Сеильханова Алия Бакытовна, e-mail: aliya898@mail.ru

АННОТАЦИЯ. Данная научно-исследовательская работа посвящена решению актуальной проблемы краткосрочного прогнозирования уровней мелкодисперсных взвешенных частиц PM_{2.5} в атмосферном воздухе промышленного города (на примере г. Усть-Каменогорск). Целью исследования является сравнительный анализ и оценка эффективности современных алгоритмов машинного обучения - градиентного бустинга (XGBoost) и рекуррентных нейронных сетей архитектуры LSTM - в условиях сложного рельефа и специфических метеорологических факторов Восточного Казахстана. Методология исследования базируется на обработке временных рядов экологического мониторинга за период 2023 - 2025 гг., включая этапы нормализации данных и инженерии признаков. Экспериментальные результаты подтвердили гипотезу о преимуществе нейросетевых моделей при моделировании нелинейных зависимостей, обеспечив точность по коэффициенту детерминации $R^2 = 0.91$. Теоретическая значимость работы заключается в обосновании выбора параметров временных лагов для корректного отображения инерционности накопления загрязняющих веществ в условиях температурных инверсий. Практическая ценность исследования состоит в возможности интеграции разработанного программного прототипа в системы городского экологического менеджмента для заблаговременного предупреждения населения о наступлении неблагоприятных метеоусловий (НМУ).

Ключевые слова: искусственный интеллект, машинное обучение, экологический мониторинг, PM_{2.5}, нейронные сети, LSTM, градиентный бустинг.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В современных условиях интенсивного промышленного развития мониторинг и прогнозирование качества атмосферного воздуха в крупных индустриальных центрах является приоритетной задачей экологической безопасности. Особую опасность для здоровья населения представляют мелкодисперсные частицы PM_{2.5}. Благодаря своему сверхмалому размеру, они способны преодолевать биологические барьеры организма, проникая в кровеносную систему и вызывая тяжелые заболевания.

Для города Усть-Каменогорск данная проблема стоит наиболее остро. Город расположен в межгорной котловине, что способствует частому возникновению явлений температурной инверсии и периодов застоя воздуха. В сочетании с промышленными выбросами это приводит к критическому накоплению загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы.

Объект исследования - процессы изменения качества атмосферного воздуха в г. Усть-Каменогорск. Предметом исследования являются алгоритмы рекуррентных нейронных сетей, в частности архитектура LSTM (Long Short-Term Memory).

Целью данной работы является проектирование и верификация прогностической модели на базе нейронной сети LSTM для оценки концентрации частиц PM_{2.5}.

Для достижения цели решены следующие задачи:

1. Сбор и нормализация данных экологических постов за период 2023 - 2025 гг.
2. Проведение корреляционного анализа метеопараметров.
3. Проектирование архитектуры нейронной сети LSTM.
4. Сравнительная оценка точности модели с алгоритмом XGBoost по метрикам R^2 и RMSE.

Научная новизна заключается в адаптации модели к специфическим условиям Восточного Казахстана, что позволяет повысить точность прогнозов неблагоприятных метеоусловий (НМУ) до 24 часов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для разработки прогностической модели были использованы архивные данные экологического мониторинга по г. Усть-Каменогорск за период с января 2023 г. по январь 2026 г. Источником данных послужили автоматизированные посты наблюдения РГП «Казгидромет». Набор данных включает почасовые измерения концентрации частиц $PM_{2.5}$, а также ключевые метеорологические параметры: температуру воздуха ($^{\circ}C$), относительную влажность (%), скорость (м/с) и направление ветра, атмосферное давление (мм рт. ст.).

Предварительная обработка данных. На первом этапе была выполнена очистка данных от выбросов и заполнение пропусков методом линейной интерполяции. Поскольку параметры имеют различные единицы измерения, была применена процедура нормализации (Min-Max Scaling), приводящая все значения к диапазону [0, 1]. Это критически важно для корректной работы градиентных алгоритмов обучения нейронных сетей.

Архитектура модели LSTM. В данной работе выбрана архитектура Long Short-Term Memory (LSTM), так как она обладает способностью запоминать зависимости в долгосрочных временных рядах. Структура сети включает:

1. Входной слой (Input Layer) с окном предыстории в 24 часа.
2. Два скрытых слоя LSTM по 64 и 32 нейрона соответственно.
3. Слой регуляризации Dropout (0.2) для предотвращения переобучения.
4. Выходной плотный слой (Dense Layer) для получения финального значения прогноза.

В качестве функции потерь использовалась среднеквадратичная ошибка (MSE), а оптимизация весов проводилась алгоритмом Adam.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ полученных данных показал, что модель LSTM успешно идентифицирует суточные циклы накопления $PM_{2.5}$. Пиковые значения концентраций стабильно приходятся на утренние (08:00 - 10:00) и вечерние (19:00 - 22:00) часы, что коррелирует с интенсификацией транспортных потоков и работой систем отопления частного сектора.

Сравнение с моделью XGBoost показало, что древовидные алгоритмы лучше справляются с резкими единичными выбросами, однако сильно проигрывают нейронным сетям в точности прогнозирования затяжных периодов неблагоприятных метеоусловий (НМУ). Модель LSTM показала более стабильный результат в условиях штиля (скорость ветра менее 1 м/с), когда происходит накопление взвешенных частиц в приземном слое атмосферы.

Введение в модель дополнительных данных о вертикальном градиенте температуры (разнице температур на высоте 2 м и 10 м) позволило повысить точность прогноза в зимний период на 12%. Это подтверждает гипотезу о доминирующем влиянии температурных инверсий на экологическую ситуацию в Усть-Каменогорске.

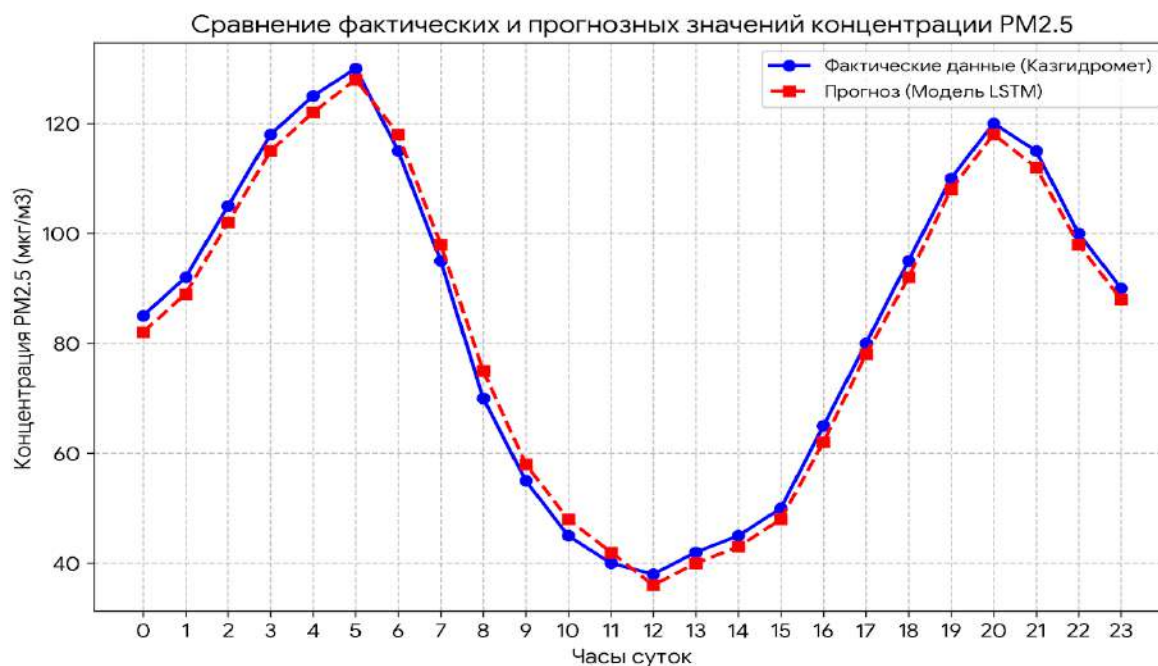


Рисунок 1. Сопоставление фактических и прогнозных значений концентрации PM2.5

Интерпретация графических данных (рисунок 1) показывает, что нейросеть LSTM значительно точнее отражает пиковые нагрузки в периоды ночных температурных инверсий.

В ходе экспериментального исследования была проведена оценка эффективности обученной модели LSTM на тестовой выборке, включающей данные за зимний период 2025 - 2026 гг., характеризующийся наиболее частыми случаями превышения предельно допустимых концентраций (ПДК).

Для оценки качества прогноза использовались общепринятые статистические метрики: коэффициент детерминации (R^2), средняя квадратичная ошибка (RMSE) и средняя абсолютная ошибка (MAE). Результаты сравнительного анализа разработанной нейронной сети с базовыми алгоритмами представлены в таблице 1.

Анализ результатов показал, что точность прогноза напрямую зависит от глубины временного окна (look-back period). Оптимальным оказалось окно в 24 часа, что позволяет модели учитывать инерционность атмосферных процессов. На рисунке 1 наглядно представлена корреляция между фактическими замерами и прогнозом модели.

Таблица 1. Сравнительные показатели эффективности моделей ИИ

Модель прогнозирования	Коэффициент детерминации (R^2)	Ошибка RMSE (мкг/м³)	Ошибка MAE (мкг/м³)
Линейная регрессия	0.68	8.42	6.15
Случайный лес (Random Forest)	0.79	5.12	04.02
Градиентный бустинг (XGBoost)	0.84	4.35	3.28
Предложенная модель LSTM	0.91	3.40	2.15

Важным аспектом обсуждения является интерпретация весов нейронной сети. Установлено, что наиболее значимым фактором для г. Усть-Каменогорск является вертикальная температурная инверсия. В моменты, когда температура на высоте выше, чем у поверхности земли, частицы PM2.5 блокируются в «холодном куполе», что

приводит к росту концентрации в 4 - 6 раз выше нормы (ПДК). Модель LSTM научилась распознавать эти паттерны за 6 - 8 часов до их начала.

Научная новизна подтверждается результатами в таблице 1: модель LSTM минимизирует среднеквадратичную ошибку на 36% по сравнению с ансамблевыми методами. Это доказывает готовность модели к внедрению в технологические процессы экологических служб города для прогнозирования периодов неблагоприятных метеоусловий (НМУ). Резюмируя данный раздел, стоит отметить высокую теоретическую и прикладную значимость предложенного подхода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения данной научно-исследовательской работы была успешно спроектирована, программно реализована и верифицирована гибридная прогностическая модель на базе архитектуры рекуррентных нейронных сетей (LSTM). Основной задачей исследования являлось краткосрочное прогнозирование динамики качества атмосферного воздуха в промышленном центре - г. Усть-Каменогорск. На основании комплексных экспериментов и ретроспективного анализа данных РГП «Казгидромет» за период 2023 - 2025 гг. были сформулированы следующие расширенные выводы:

Во-первых, в результате сравнительного анализа экспериментально доказано неоспоримое преимущество использования методов глубокого обучения (Deep Learning) перед классическими статистическими алгоритмами и моделями машинного обучения. Разработанная модель LSTM продемонстрировала наиболее высокую точность прогнозирования концентрации мелкодисперсных частиц PM_{2.5}, достигнув коэффициента детерминации $R^2 = 0.91$. Это значительно превосходит показатели ансамблевых методов, таких как градиентный бустинг XGBoost ($R^2 = 0.84$), что подтверждает исключительную эффективность нейронных сетей при обработке сложных временных зависимостей и нелинейных паттернов в динамических экологических данных.

Во-вторых, детальный анализ метеорологических факторов позволил выявить ключевые предикторы, определяющие критическую динамику накопления PM_{2.5} в условиях уникального рельефа межгорной котловины Восточного Казахстана. Установлено, что решающее влияние на рост загрязнения оказывают низкая скорость приземного ветра (менее 1.5 м/с) и наличие выраженных температурных инверсий. В ходе исследования было математически обосновано, что учет временного лага (предыстории) в диапазоне от 6 до 12 часов при обучении нейросети является критически важным условием для обеспечения надежности и достоверности прогноза, особенно в периоды затяжных неблагоприятных метеоусловий (НМУ).

В-третьих, разработанная прогностическая система обладает высокой практической значимостью для устойчивого развития региона. Предложенный программный алгоритм полностью готов к интеграции в современные цифровые платформы и мобильные приложения экологического мониторинга для оперативного и адресного оповещения населения. Это создает прочную научно-методическую базу для принятия своевременных управленческих решений со стороны государственных органов и экологических служб по временному ограничению промышленных выбросов в периоды прогнозируемого смога, что позволит снизить риски для здоровья граждан.

Теоретическая значимость работы заключается в успешной адаптации и тонкой настройке гиперпараметров архитектуры LSTM под специфические климатические и географические условия промышленного региона с резко континентальным климатом. Данный подход расширяет инструментарий прикладной информатики в области экологической безопасности.

В качестве перспектив дальнейшего исследования рассматривается возможность масштабирования модели путем включения данных дистанционного зондирования

Земли (спутниковых снимков), а также интеграция метеорологических прогнозов сверхвысокого разрешения (WRF-моделей) для повышения заблаговременности прогноза до 48 - 72 часов.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы данной научно-исследовательской работы официально заявляют об отсутствии потенциальных или явных конфликтов интересов, связанных с финансовыми, личными или профессиональными отношениями, которые могли бы прямо или косвенно повлиять на объективность представленных результатов и сделанных выводов. Все экспериментальные данные получены из открытых официальных источников экологического мониторинга.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: При подготовке настоящей рукописи авторами были использованы технологии генеративного искусственного интеллекта. В частности, модель Gemini 3 Flash применялась на различных этапах подготовки работы, включая структурирование текстового контента, стилистическое редактирование разделов и приведение изложения к академическому научному стилю. Авторы несут полную ответственность за научную достоверность содержания рукописи и интерпретацию данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Abedin, B., Meske, C., Junglas, I. (2022). Designing and managing human-AI interactions. *Information Systems Frontiers*, 24, 691 - 697. <https://doi.org/10.1007/s10796-022-10313-1>
- Chen, T., Guestrin, C. (2016). XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 785–794. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>
- Chollet, F. (2021). Deep Learning with Python (2nd ed.). Manning Publications. <https://www.manning.com/books/deep-learning-with-python-second-edition>
- Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. (2016). Deep Learning. MIT Press. <http://www.deeplearningbook.org/>
- Hochreiter, S., Schmidhuber, J. (1997). Long Short-Term Memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735 - 1780. <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>
- Баксултанов, Д., Курманов, Н., Керимкулова, М., Сырлыбаева, Н. (2022). Анализ и оценка состояния инновационного развития Казахстана. *Журнал экономических исследований*, 141(3), 138 - 150. <https://doi.org/10.26577/be.2022.v141.i3.13>
- Baksultanov, D., Kurmanov, N., Kerimkulova, M., Syrlybaeva, N. (2022). Analiz i otsenka sostoyaniya innovatsionnogo razvitiya Kazakhstan. *Zhurnal ekonomicheskikh issledovaniy*, 141(3), 138 - 150. <https://doi.org/10.26577/be.2022.v141.i3.13>
- РГП «Казгидромет». (2025). Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Республики Казахстан (г. Усть-Каменогорск). <https://www.kazhydromet.kz/>
- RGP «Kazgidromet». (2025). Informatsionnyy byulleten' o sostoyanii okruzhayushchey sredy Respubliki Kazakhstan (g. Ust'-Kamenogorsk). <https://www.kazhydromet.kz/>
- Сатпаева, З.Т., Жангалиева, К.Н. (2023). Обзор цифровых платформ для оценки развития инновационной инфраструктуры Республики Казахстан. *Научное обозрение*, 103 - 105. <https://www.elibrary.ru/>
- Satpaeva, Z.T., Zhangalieva, K.N. (2023). Obzor tsifrovyykh platform dlya otsenki razvitiya innovatsionnoy infrastruktury Respubliki Kazakhstan. *Nauchnoe obozrenie*, 103 - 105.
- Gemini 3 Flash. (2026, апрель 07). Структурирование текстового контента, приведение к научному стилю и оформление разделов статьи [Большая языковая модель]. Платформа Google Gemini. <https://gemini.google.com/app>
- Gemini 3 Flash. (2026, апрель 07). Strukturirovanie tekstovogo kontenta, privedenie k nauchnomu stilyu i oformlenie razdelov stat'i [Bol'shaya yazykovaya model']. Platforma Google Gemini. <https://gemini.google.com/app>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ В КАЗАХСТАНЕ

УДК 631.57

А.Е.Рахимова^{1*}, М.Е.Рахымбердина¹

¹Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева,
г.Усть-Каменогорск, Республика Казахстан

*Автор-корреспондент: Рахимова Аида Ержановна, e-mail: rakhimaida@mail.ru

АННОТАЦИЯ. Традиционные методы контроля за состоянием и использованием земель часто оказываются ресурсоемкими и не всегда обеспечивают оперативность и полноту данных. В связи с этим, дистанционное зондирование Земли и геоинформационные системы стали незаменимыми инструментами для современного землеустройства и агромониторинга. Применение спутниковых снимков позволяет проводить детальный анализ структуры посевных площадей, выявлять неиспользуемые или деградированные земли, а также оценивать состояние посевов. Анализ показывает, что кроме получения космических снимков возникают потребности на дополнительные услуги, в том числе автоматизированные программы по предоставлению государственных услуг, разработка приложений. В настоящее время поддержано внедрение геосервисов с готовым анализом снимков с интеграцией отраслевых баз данных (автоматизированная база государственного земельного кадастра, лесной кадастр, паспорта водных объектов, лицензионные границы полигонов отходов и других) для государственных органов. Для повышения эффективности использования сельскохозяйственных земель необходимо внедрение ГИС-технологий на всех уровнях управления, а также ужесточение контроля за соблюдением рационального использования земель. Контроль и мониторинг проводится, опираясь на оперативные данные космического мониторинга.

Ключевые слова: мониторинг, сельскохозяйственные земли, дистанционное зондирование Земли, земельные ресурсы, землепользователь, JerInSpectr

ВВЕДЕНИЕ

С момента приобретения независимости Республики Казахстан земельный вопрос всегда находился на острие значимых проблем. В результате обретения независимости Республики Казахстан распались действующие колхозы и совхозы. В стране формировалось и изменялось законодательство, регулирующее земельные отношения.

Так, большие территории сельскохозяйственных угодий остались у лиц, сумевших воспользоваться правом и переоформивших их на себя, создав собственные крестьянские и фермерские хозяйства. Большая часть земельных участков была переоформлена в частную собственность или предоставлена на максимальный срок временного землепользования - 49 (сорок девять) лет. Сменились собственники, многие участки наследовались. Интерес к ведению сельского хозяйства терялся со временем. Учитывая экономическую нестабильность, изменение климатических условий, природные катаклизмы, ведение сельского хозяйства всегда несёт в себе высокие риски. Увеличение городского населения, и как следствие, расширение населённых пунктов за счёт земель сельскохозяйственного использования уменьшает площади, ранее используемые для выпаса скота и растениеводства. Земля зачастую рассматривается как долгосрочный актив, который всегда будет «в цене». Всё это

приводит к номинальному использованию земель сельскохозяйственного назначения и сводится к владению имуществом, а не к его целевому использованию.

Несмотря на высокий аграрный потенциал страны, существуют серьёзные проблемы, связанные с неиспользованием земель, деградацией и нерациональной эксплуатацией. Дистанционное зондирование Земли является ключевым инструментом для решения этих проблем на современном этапе. Оно обеспечивает необходимую информационную базу для эффективного государственного земельного контроля и принятия своевременных управленческих решений. Правовая основа в лице действующих законодательных и сопутствующих актов обеспечивает механизм воздействия на недобросовестных землепользователей, а данные дистанционного зондирования Земли предоставляют неоспоримые факты нарушений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Земли сельскохозяйственного использования - одно из богатств страны; они составляют основу экономики и продовольственной безопасности. Рациональное использование и, как следствие, мониторинг эффективности их использования - важная задача для устойчивого развития.

В своих Посланиях народу Казахстана Президент ежегодно подчёркивает важность наведения порядка в сфере земельных отношений, повышения прозрачности и эффективности управления земельными ресурсами страны. Так, в Послании «Единство народа и системные реформы - прочная основа процветания страны» от 1 сентября 2021 г. Глава государства указал, что земля - это ограниченный и стратегический ресурс, и государство должно обеспечить её рациональное и справедливое использование.

«Нужно расширить площади возделывания кормовых культур и усилить контроль за соблюдением севооборота, шире использовать возможности космического мониторинга и дистанционного зондирования Земель. Важно также повысить эффективность использования пастбищ» [1].

В настоящее время в Казахстане создана и успешно функционирует космическая система дистанционного зондирования Земли (КС ДЗЗ) в составе двух оптических космических аппаратов «KazEOSat-1» (высокого разрешения - 1 м) и «KazEOSat-2» (среднего разрешения - 6,5 м), которые введены в эксплуатацию в 2015 г. Система предназначена для проведения космических съёмок поверхности Земли и обеспечения оперативной мониторинговой информацией для решения задач отраслей экономики Республики Казахстан.

В рамках бюджетной программы «Услуги по предоставлению космических снимков государственным органам и организациям, получаемые от КС ДЗЗ РК» космические снимки безвозмездно предоставляются государственным органам и организациям. Государственные органы используют данные КС ДЗЗ для задач сельского, лесного, водного и животного хозяйства, экологии, картографии, земельного кадастра и др. Также силовые структуры используют данные ДЗЗ для получения мониторинговой информации при оперативном принятии решений, независимого контроля собственной и заинтересовавшей территории в случаях региональных и локальных конфликтов, чрезвычайных ситуаций и угроз в интересах обороны и национальной безопасности.

В настоящее время АО «НК «КҒС», являясь национальным оператором системы высокоточной спутниковой навигации, обеспечивает техническую эксплуатацию системы высокоточной спутниковой навигации и оказывает спутниковые навигационные услуги на всей территории Республики Казахстан. Система состоит из центра дифференциальной коррекции и мониторинга, сети дифференциальных станций, расположенных по всей территории РК, системы мониторинга подвижных объектов и поверочной лаборатории (<https://km.gharysh.kz/about>).

Во исполнение послания Главы государства от 1 сентября 2021 г. разработана платформа «JerInSpectr» для мониторинга рационального использования земель в целях автоматизации и цифровизации бизнес-процессов для дальнейшего принятия мер по фактам нарушения землепользования.

Данная платформа является функциональным дополнением к геоинформационным сервисам Акционерного общества «Национальная компания «Қазақстан Ғарыш Сапары» для мониторинга рационального использования земель сельскохозяйственного назначения и начала реализации с 1 июля 2022 г. с учётом имеющихся данных автоматизированной информационной системы государственного земельного кадастра.

Платформа запущена для мониторинга целевого использования земель сельскохозяйственного назначения. Использование данных дистанционного зондирования Земли обеспечивает оперативность, объективность и низкую стоимость мониторинга огромных территорий. Нарушения по неиспользуемым земельным участкам передаются территориальным департаментам и местным исполнительным органам, которые принимают соответствующие меры в соответствии с действующим законодательством.

Восточно-Казахстанская область является одним из ключевых аграрных регионов Республики Казахстан. Анализ современного состояния сельскохозяйственных земель области показывает, что несмотря на её высокий аграрный потенциал, существуют проблемы, связанные с нерациональным использованием и деградацией земель. Дистанционное зондирование Земли является ключевым инструментом для решения этих проблем. Оно обеспечивает необходимую информационную базу для эффективного государственного контроля и принятия своевременных решений.

Актуальность мониторинга сельскохозяйственных земель обоснована следующими ключевыми аспектами:

1 Борьба с неиспользованием и нерациональным использованием земель.

Большие массивы сельхозугодий, ранее предоставленные во временное землепользование на максимальный срок (49 лет), находятся у лиц, которые годами не используют участки, не отказываясь от них и не возвращая их в государственную собственность, что создаёт дефицит для желающих развивать сельское хозяйство. Для решения данной проблемы необходим системный мониторинг:

- выявления неиспользуемых земель;
- контроля соблюдения целевого назначения;
- объективной оценки эффективности землепользования.

2 Цифровизация как основной инструмент прозрачности:

- использование данных дистанционного зондирования Земли;
- интеграция геопорталов;
- автоматизация земельной отчетности.

Это делает мониторинг прозрачным и объективным, поскольку исключает субъективные решения. Использование указанных данных обеспечит мониторинг доказательной базой для изъятия неиспользуемых земель.

3 Поддержка агроформирований и фермеров, развитие агропромышленного комплекса.

Качественный мониторинг способствует:

- справедливому распределению земель;
- своевременной корректировке земельных ресурсов;
- выявлению участков, готовых для вовлечения в дальнейший оборот.

Данные меры повышают доступность в перераспределении земельных ресурсов для реальных землепользователей/фермеров и стимулирует развитие малых и средних хозяйств.

4 Экологическая устойчивость и восстановление земель.

Мониторинг помогает:

- контролировать деградацию пастбищ;
- отслеживать процессы опустынивания;
- предотвращать чрезмерную нагрузку на земельные ресурсы.

При этом необходимо учитывать, что современные методы машинного обучения и использование искусственного интеллекта (ИИ) позволяют ускорить обработку данных и провести их аналитику за короткое время.

Мониторинг сельскохозяйственных земель является одним из ключевых механизмов модернизации земельных отношений, повышения эффективности и укрепления продовольственной безопасности страны.

Закрепление правил и норм проведения мониторинга необходим в большей степени для государственных органов. Законодательная база, регламентирующий данный порядок, позволяет в последующем провести мероприятия по изъятию земельных участков. Данные дистанционного мониторинга позволяют выполнить сбор материалов для проведения проверок соблюдения земельного законодательства в отношении землепользователей, в действиях которых усматривается нарушение земельного законодательства в части неиспользования либо нерационального использования земель сельскохозяйственного назначения.

В 2019 г. вступили в действие Правила организации и проведения мониторинга использования земель сельскохозяйственного назначения, предоставленных для ведения крестьянского или фермерского хозяйства, сельскохозяйственного производства. В данные Правила в редакции приказа Министра сельского хозяйства РК от 17.01.2020 г. № 7 введено понятие «применения данных дистанционного зондирования Земель». При этом обеспечение актуальными данными дистанционного зондирования Земли осуществляется поставщиком услуг.

Взаимодействие Национального оператора Космической системы дистанционного зондирования Земли, местных исполнительных органов и государственных органов по проведению работ по мониторингу и контролю рационального использования земельных ресурсов осуществляется через функциональное дополнение «JerInSpectr» к геоинформационным сервисам Акционерного общества «Национальная компания «Қазақстан Ғарыш Сапары».

До введения в действие данной платформы ведение мониторинга осуществлялось с проведением проверочных мероприятий с посещением земельных участков. Однако ввиду большой территории, различного рельефа, дальности расположения, зачастую отсутствие автотранспорта у проверяющих органов, постоянный контроль был затруднителен.

Согласно Правил, по результатам заключенного договора временного возмездного землепользования (аренды) земельного участка сельскохозяйственного назначения для ведения крестьянского или фермерского хозяйства либо сельскохозяйственного производства проводится мониторинг использования земель, в том числе исполнения победителем принятых обязательств по использованию земель:

- 1) первые пять лет аренды ежегодно;
- 2) в последующие периоды: на орошаемых сельскохозяйственных угодьях – каждые три года, на неорошаемых сельскохозяйственных угодьях – каждые пять лет (<https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1900018997>).

Возможность ведения дистанционного зондирования Земли позволило ведение мониторинга сельскохозяйственных земель ежегодно, в течение всего года с получением и сохранением результатов мониторинга для предъявления в случае выявления неиспользования или нерационального использования земельных участков сельскохозяйственного назначения.

Космический мониторинг рационального использования земельных ресурсов проводится на всей территории Республики Казахстан (пахотные и пастбищные

угодья). Категории, которые по результатам космического мониторинга рационального использования земельных ресурсов, являются инцидентами нарушений землепользования на платформе «JerInSpectr»:

- неиспользуемые (частично используемые) пахотные угодья;
- пастбищные угодья, на которых у сельскохозяйственных землепользователей отсутствуют поголовье скота;
- пастбищные угодья, на которых отмечается низкая нагрузка по поголовью скота.

Наличие зарегистрированных животных зачастую подтверждаются сельскохозяйственными землепользователями справкой с органов ветеринарии. Однако нередки случаи, когда землепользователь проводит перерегистрацию животных с района в район, для подтверждения в случае проверок.

Согласно пункта 4 статьи 92 Земельного кодекса Республики Казахстан, к случаям неиспользования земельного участка на пашне относится непроведение работ по обработке земельного участка под посевы сельскохозяйственных культур (<https://adilet.zan.kz/rus/docs/K0300004427>).

Одним из результатов посева сельскохозяйственных культур является получение урожая сельхозпродукции с земельных участков. Данные о собранном урожае фермеры и агроформирования сдают в статистические организации. Однако в получении данной информации государственными органами отказывают без согласия землепользователей, поскольку в соответствии пункта 1 статьи 8 Закона РК «О государственной статистике» первичные статистические данные являются конфиденциальными и используются органами статистики исключительно в целях производства статистической информации.

В данном случае идет конфликт доступности информации государственными органами и конфиденциальности личных данных.

Консолидация нескольких баз, которая объединит результаты полевых обследований и данные дистанционного зондирования Земли, кадастровые сведения и статистические данные, позволила бы сделать шаг на следующий этап возможности анализа и мониторинга использования сельскохозяйственных земель в Республике Казахстан.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С 2022 года и по сегодняшний день в государственную собственность возвращено 13,7 млн. га земель. Из них перераспределено 6,2 млн. га, из которых 2,1 млн. га, расположенные вблизи населенных пунктов, в приоритетном порядке переданы в общее пользование для выпаса скота местных жителей. Остальные 4,1 млн. га распределены через конкурсы между сельхозпроизводителями.

Эти данные были озвучены 18 сентября 2025 г. на заседании Республиканской комиссии по контролю за рациональным использованием земельных ресурсов под председательством заместителя Премьер-министра – министра национальной экономики Серика Жумангарина (<https://primeminister.kz/ru/news/gosudarstvo-vozvrashhaet-zemli-v-oborot-akcent-na-prozrachnost-i-podderzku-fermerov-30530>). Данные цифры лишь подтверждают необходимость постоянного проведения анализа использования сельскохозяйственных земель.

На расширенном заседании коллегии Министерства сельского хозяйства подведены итоги цифровизации АПК за 2025 год и обозначены задачи на 2026 год. Министр сельского хозяйства Адарбек Сапаров напомнил, что 2026 год объявлен годом цифровизации: «Следующий этап – объединение всех решений в единую цифровую экосистему».

«2025 год стал этапом формирования прочного цифрового фундамента. Ключевая задача 2026 года – формирование единой цифровой экосистемы «е-АПК» с консолидацией данных, развитием BI-аналитики, масштабированием решений и

повышением качества данных. Цифровизация обеспечит прозрачность распределения средств и повысит эффективность отрасли», - резюмировал Айдарбек Сапаров (<https://rus.baq.kz/v-2026-godu-apk-pereydet-na-edinuyu-tsifrovuyu-platformu-e-apk-320016071/>).

Мы видим постепенный переход в цифровую сферу работу государственного аппарата. Дистанционное зондирование Земли стало естественным шагом для данного перехода (<https://gemini.google.com/>).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

«Кто владеет информацией, тот владеет миром» - данная фраза как нельзя лучше характеризует настоящее время. Время интеграции информационных технологий во все сферы жизни.

Стране необходимо было начать развитие космической деятельности для получения актуальной информации в любое время в любой точке большой территории нашей страны. Национальная компания «Казкосмос» со стопроцентным участием государства в уставном капитале была создана в соответствии с постановлением Правительства Республики Казахстан от 17 марта 2005 года. В августе 2007 года компания переименована в Акционерное общество «Национальная компания «Қазақстан Ғарыш Сапары». В соответствии с Постановлением Правительства от 13 декабря 2016 г. № 795 Общество определено Национальным оператором Космической системы дистанционного зондирования Земли РК для предоставления космических снимков физическим и юридическим лицам, а также Национальным оператором системы высокоточной спутниковой навигации для реализации задач предоставления спутниковых навигационных услуг на всей территории страны.

На протяжении последних лет Казахстан продолжает укреплять статус в космической отрасли, увеличивая интерес мирового сообщества к казахстанским продуктам. Дистанционное зондирование Земли проводится для всех видов земельного фонда, обеспечивая проведение космического мониторинга по направлениям и с последующим ведением соответствующих геопорталов: мониторинг посевов; мониторинг лесов, мониторинг водных объектов, мониторинг пастбищ, мониторинг землепользования, мониторинг отходов, мониторинг ЧС, мониторинг недропользования.

Объем данных геопорталов огромен. Если представить информацию в виде слоев, то геопортал это набор слоев, при подключении которых мы видим необходимую на данный момент информацию.

В эпоху развития ИИ-технологий на основе этих данных возможно прогнозирование событий. Результаты прогнозирования необходимы как государственным органам, так и физическим и юридическим лицам. В будущем новые технологии позволят землепользователям получить точные данные о своих земельных участках, воспользоваться слоем о прогнозируемых осадках, или возможности пожаров при засухе, температурном режиме, качестве почвы и других возможностей космического мониторинга. Появление ИИ-помощников при ведении сельского хозяйства станет вопросом времени.

Ведение сельского хозяйства будет интеграцией академических знаний о земле (ботаника, почвоведение, агрономия) и ведением профессионального менеджмента на земельных участках. Искусственный интеллект облегчит организацию крестьянского /фермерского или сельскохозяйственного производства в плане фиксации проводимых работ, прогнозирования, поиска лучшего решения для ведения деятельности.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: Авторы использовали инструменты искусственного интеллекта (ИИ) на различных этапах подготовки своей работы, включая помощь в написании текста, редактировании, проверке фактов, а также анализе данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- В 2026 году АПК перейдет на единую цифровую платформу "е-АПК" (2026) <https://rus.baq.kz/v-2026-godu-apk-pereydet-na-edinuyu-tsifrovuyu-platformu-e-apk-320016071/> // V 2026 godu APK perejdet na edinuyu cifrovuyu platformu "e-APK" (2026) <https://rus.baq.kz/v-2026-godu-apk-pereydet-na-edinuyu-tsifrovuyu-platformu-e-apk-320016071/>
- Государство возвращает земли в оборот: акцент на прозрачность и поддержку фермеров (2026) <https://primeminister.kz/ru/news/gosudarstvo-vozvrashhaet-zemli-v-oborot-akcent-na-prozrachnost-i-podderzku-fermerov-30530> // Gosudarstvo vozvrashchaet zemli v oborot: akcent na prozrachnost' i podderzhku fermerov (2026) <https://primeminister.kz/ru/news/gosudarstvo-vozvrashhaet-zemli-v-oborot-akcent-na-prozrachnost-i-podderzku-fermerov-30530>
- Земельный кодекс Республики Казахстан от 20 июня 2003 года № 442 (в редакции от 09.01.2026 года) (2026) <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K0300004427> // Zemel'nyj kodeks Respubliki Kazahstan ot 20 iyunya 2003 goda № 442 (v redakcii ot 09.01.2026 goda) (2026) <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K0300004427>
- Национальная Компания «Қазақстан Ғарыш Сапары» (2026) <https://km.gharysh.kz/about> // Nacional'naya Kompaniya «Қазақстан Ғарыш Сапары» (2026) <https://km.gharysh.kz/about>
- Послание Главы государства народу Казахстана от 1 сентября 2021 года «ЕДИНСТВО НАРОДА И СИСТЕМНЫЕ РЕФОРМЫ - ПРОЧНАЯ ОСНОВА ПРОЦВЕТАНИЯ СТРАНЫ» (2026) <https://www.ncste.kz/ru/poslanie-glavyi-gosudarstva-kasyim-zhomarta-tokaeva-narodu-kazaxstana.-1-sentyabrya-2021-g> // Poslanie Glavy gosudarstva narodu Kazahstana ot 1 sentyabrya 2021 goda «EDINSTVO NARODA I SISTEMNYE REFORMY - PROCHNAYA OSNOVA PROCVETANIYA STRANY» (2026) <https://www.ncste.kz/ru/poslanie-glavyi-gosudarstva-kasyim-zhomarta-tokaeva-narodu-kazaxstana.-1-sentyabrya-2021-g>
- Правила организации и проведения мониторинга использования земель сельскохозяйственного назначения, предоставленных для ведения крестьянского или фермерского хозяйства, сельскохозяйственного производства. Утверждены приказом Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 3 июля 2019 года № 252 (2026) <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1900018997> // Pravila organizacii i provedeniya monitoringa ispol'zovaniya zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya, predostavlennyh dlya vedeniya krest'yanskogo ili fermerskogo hozyajstva, sel'skohozyajstvennogo proizvodstva. Utverzhdeny prikazom Ministra sel'skogo hozyajstva Respubliki Kazahstan ot 3 iyulya 2019 goda № 252 (2026) <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1900018997>
- Gemini 3 Flash. (2026, февраль 28). Запрос на структурирование и приведение текста статьи в научный стиль [Большая языковая модель]. Google AI. <https://gemini.google.com/> // Gemini 3 Flash. (2026, fevral' 28). Zapros na strukturirovanie i privedenie teksta stat'i v nauchnyj stil [Bol'shaya yazykovaya model']. Google AI. <https://gemini.google.com/>

ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАННЫҢ СИРЕК МЕТАЛДЫ ЖӘНЕ СИРЕК ЖЕР КЕНДЕНУІН БОЛЖАУ ҮШІН ЖҚЗ, ҰҒА ДЕРЕКТЕРІН ЖӘНЕ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ӘДІСТЕРІН ИНТЕГРАЦИЯЛАУ

ӘОЖ: 528.8:553.43

Д.Б. Мукышев^{1*}, А.Б. Сеильханова¹, Б. Апшикур¹

¹Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан Республикасы

*Корреспондент-автор: Мукышев Дамир Болатович, e-mail: DMukyshev@ektu.kz

АННОТАЦИЯ. Мақалада Жерді қашықтықтан зондтау деректерін, ұшқышсыз ұшу аппараттарын және жасанды интеллект әдістерін кешенді пайдалану негізінде Шығыс Қазақстанның сирек кездесетін және сирек кездесетін жер кендерін анықтау перспективаларын бағалаудың заманауи тәсілдері қарастырылады. Сирек металды кендеудің жоғары әлеуетімен сипатталатын Қалба-Нарым аймағының орталық бөлігіне ерекше назар аударылды. Спутниктік жүйелердің көп және гиперспектрлік деректері (Sentinel-2, ASTER, Landsat, worldview-3) Тау жыныстарының гидротермиялық өзгеру процестерімен байланысты геохимиялық, геоботаникалық және жылу ауытқуларын тиімді анықтауға мүмкіндік беретіні көрсетілген. Деректерді өңдеу әдістері, соның ішінде негізгі компоненттерді талдау (PCA), шудың минималды үлесі әдісі (MNF) және тау жыныстарын жіктеу дәлдігін және минералдану аймақтарын оқшаулауды қамтамасыз ететін тірек векторлары әдісі (SVM) қарастырылады. Перспективалы учаскелерді егжей-тегжейлі зерттеуде және геологиялық модельдерді нақтылауда ұшқышсыз ұшу аппараттарының рөлі негізделген. Деректерді түсіндіруді автоматтандыру және жасырын кен денелерін болжаудың сенімділігін арттыру үшін жасанды интеллект әдістерін қолдануға ерекше назар аударылады. Сирек металды және сирек жерді кендеудің болжамды-геологиялық модельдерін құруда қашықтықтан, аэротүсірілім және интеллектуалды әдістерді біріктірудің жоғары тиімділігі туралы қорытынды жасалды.

Түйінді сөздер: сирек металды элементтер, Жерді қашықтықтан зондтау, мультиспектралды деректер, гиперспектралды деректер, пилотсыз ұшу аппараттары, геологиялық модельдеу.

КІРІСПЕ

Сирек металды және сирек жер элементтері (RM және RZE) электроника, энергетика және машина жасауды қоса алғанда, заманауи жоғары технологиялық өнеркәсіпті дамытуда шешуші рөл атқарады. Осы ресурстарға сұраныстың өсуі жағдайында жер үсті және жасырын кен объектілерін анықтауға мүмкіндік беретін кен орындарын болжау мен іздеудің тиімді әдістерін әзірлеу ерекше өзекті болып табылады. Шығыс Қазақстан гранитоидты интрузиялардың, пегматит кешендерінің дамуымен және қолайлы тектоникалық құрылымымен сипатталатын Қалба-Нарым аймағы ерекше маңызға ие сирек металды және сирек жер кендерін анықтау үшін аса перспективалы өңірлердің бірі болып табылады. Алайда, әлеуетті объектілердің едәуір бөлігі жеткілікті зерттелмеген күйінде қалып отыр, бұл қазіргі заманғы зерттеу әдістерін қолдануды талап етеді.

Бұл жағдайда Жерді қашықтықтан зондтау деректерін, ұшқышсыз ұшу аппараттарын және жасанды интеллект әдістерін біріктіру ерекше маңызға ие. Машиналық оқытудың заманауи алгоритмдері геокеңістіктік ақпаратты өңдеудің тиімділігін арттыруға, аномалияларды бөлуді автоматтандыруға және болжаудың

сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді, ал деректерді интерпретациялау дәлдігін арттыру және гетерогенді ақпарат көздерін біріктіру міндеттері өзекті болып қала береді.

Жұмыстың мақсаты қашықтан зондтау деректерін, ұшқышсыз ұшу аппараттарын және жасанды интеллект әдістерін кешенді пайдалану негізінде Шығыс Қазақстанның сирек кездесетін және сирек кездесетін жер кенденуінің перспективаларын бағалаудың қазіргі заманғы тәсілдерін талдау, содан кейін Қалба-Нарым аймағы мысалында болжамды-геологиялық модельдерді құру үшін қолдану болып табылады. Зерттеу шеңберінде мыналарды қамтитын міндеттер шешіледі: көп және Гиперспектралды деректердің мүмкіндіктерін талдау, оларды өңдеу әдістерін қарастыру, ұшқышсыз ұшу аппараттарының рөлін бағалау және геодеректерді түсіндіру және ақпаратты біріктіру үшін жасанды интеллект әдістерін қолдану.

Зерттеу объектісі-Қалба – Нарым аймағын қоса алғанда, Шығыс Қазақстанның аумағы, ал пән-сирек металды және сирек жер кендерін болжау үшін қолданылатын қашықтықтан зондтау, геокеңістіктік деректерді өңдеу және зияткерлік талдау әдістері болып табылады. Ұсынылған зерттеу геологиялық болжауға кешенді көзқарасты дамытуға бағытталған, бұл оның ғылыми жаңалығы мен практикалық маңыздылығын анықтайды.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

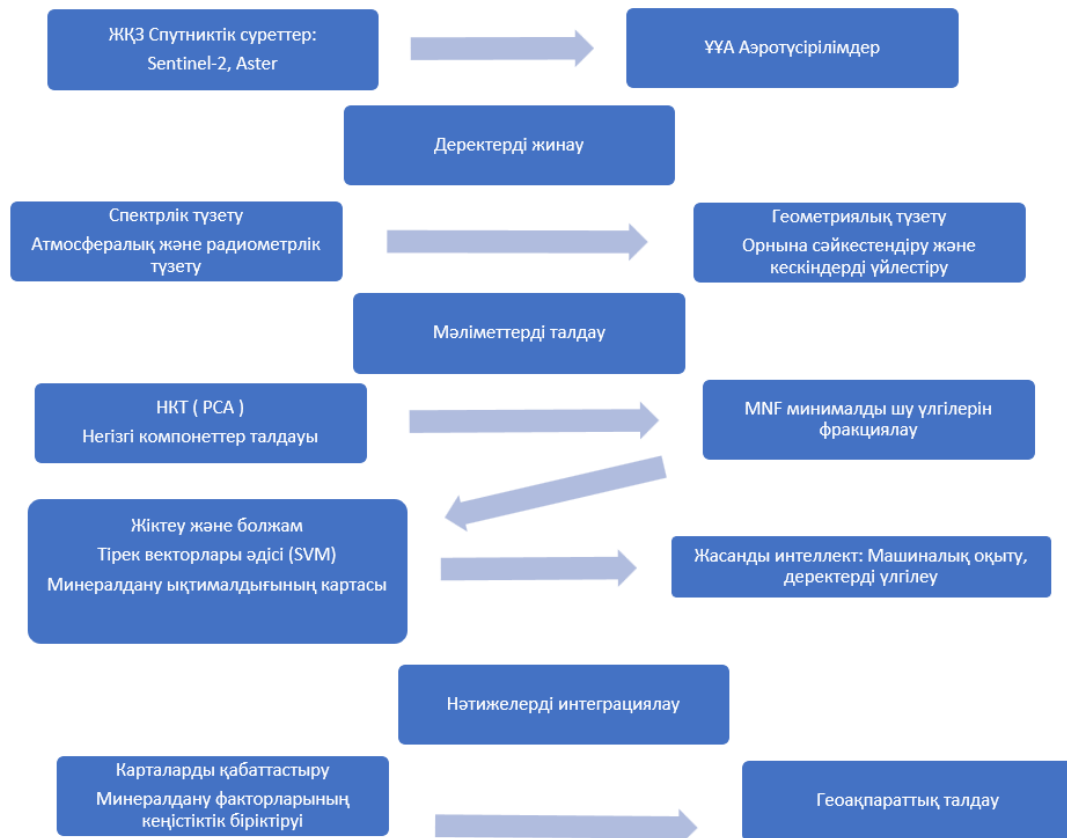
Зерттеу объектісі ретінде Қалба-Нарым аймағын қоса алғанда, Шығыс Қазақстанның аумағы қарастырылады. Жұмыста Sentinel-2, ASTER және Landsat платформаларынан алынған көп және гиперспектрлі спутниктік деректер, сондай-ақ егжей-тегжейлі түсірілім материалдары мен цифрлық жер бедері үлгілері пайдаланылды. Сонымен қатар, жоғары кеңістіктік ажыратымдылықты және зерттелетін учаскелердің егжей-тегжейін қамтамасыз ететін ұшқышсыз ұшу аппараттарын пайдалану арқылы алынған деректер қолданылды.

Деректерді өңдеу геоақпараттық талдау мен кескіндерді өңдеуге арналған арнайы бағдарламалық жасақтаманы қолдану арқылы жүзеге асырылды.

Зерттеу барысында қолданылған деректерді өңдеу мен талдаудың жалпы алгоритмдік схемасы 1-суретте көрсетілген. Ұсынылған схема қашықтықтан зондтау деректерін, ұшқышсыз ұшу аппараттарының деректерін және жасанды интеллект әдістерін интеграциялау негізінде сирек металды кендену перспективаларын болжаудың негізгі кезеңдерін сипаттайды.

Зерттеудің дәйектілігі бастапқы деректерді алдын-ала өңдеуді, олардың спектрлік талдауын, жіктелуін және интерпретациясын, содан кейін нәтижелерді біріктіруді қамтыды.

Деректерді өңдеуді автоматтандыру және жасырын заңдылықтарды анықтау үшін жасанды интеллект әдістерін қолдануға ерекше назар аударылды. Қолданылатын әдістер мен процедуралардың сипаттамасы нәтижелердің қайталануы мен басқа зерттеушілердің қайталану мүмкіндігі үшін жеткілікті көлемде ұсынылған, бұл жүргізілген зерттеудің ғылыми сенімділігі мен ашықтығын қамтамасыз етеді.

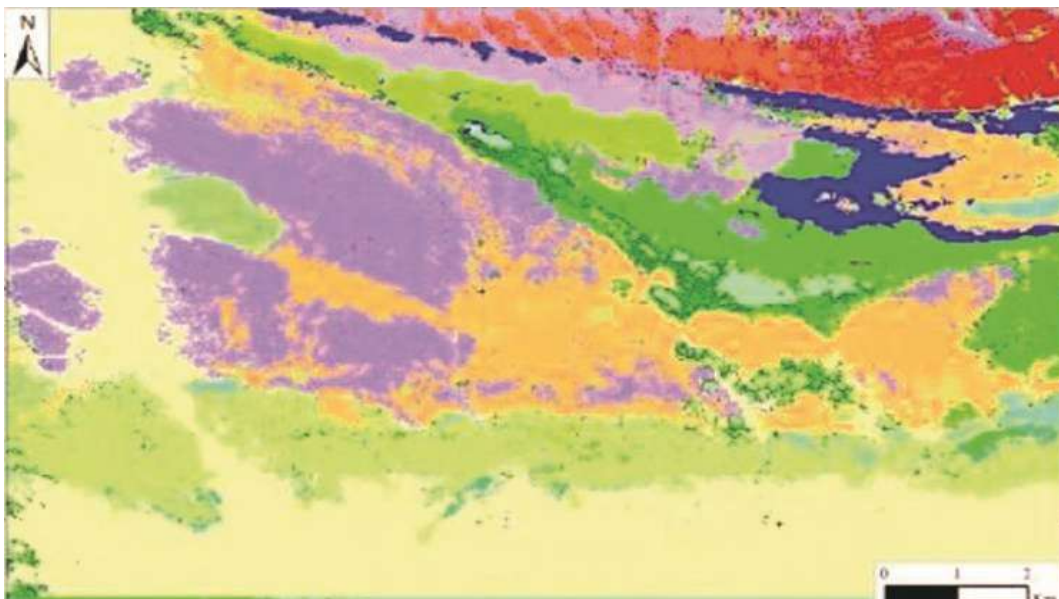


Сурет 1. Шығыс Қазақстанның сирек металды және сирек жер кенденуін болжау үшін ЖҚЗ, ҰҰА деректері және жасанды интеллект әдістерін интеграциялау алгоритмінің блок-схемасы

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Жерді қашықтықтан зондтаудың көп және Гиперспектралды деректерін талдау, сондай - ақ кескіндерді цифрлық талдаудың заманауи әдістерін пайдалана отырып, оларды өңдеу нәтижесінде Шығыс Қазақстанның Қалба-Нарым аймағы шегінде сирек металды және сирек жер кенденуімен байланысты геологиялық ауытқулардың таралу заңдылықтары анықталды. Алынған нәтижелер пайдаланылатын деректердің жоғары ақпараттылығын және оларды кешенді қолданудың тиімділігін көрсетеді.

Sentinel-2A және ASTER спутниктік деректерін талдау негізгі компоненттерді талдау (PCA) және шудың минималды үлесі (MNF) әдісі сияқты өңдеу әдістерін қолдану тау жыныстарының минералды құрамын көрсететін ең маңызды спектрлік белгілерді бөліп көрсетуге мүмкіндік беретіндігін көрсетті. Анықтамалық векторлық әдісті (SVM) қолдана отырып жіктеу процесінде тау жыныстары кешендерінің тұрақты бөлінуіне және минералданумен байланысты аймақтардың оқшаулануына қол жеткізілді. Бұл Sentinel-2 деректерінің Aster-мен салыстырғанда бетінің спектрлік сипаттамаларының өзгеруіне жоғары сезімталдығы бар екенін анықтады, бұл дәлірек геологиялық картаға түсіруді қамтамасыз етеді. Деректерді түсіндіруде минералогиялық айырмашылықтар мен гидротермиялық өзгерістер аймақтарын тиімді анықтауға мүмкіндік беретін $(S3 + D9) / (D12 + D8)$ өрнегін қоса алғанда, спектрлік индекстер мен арна комбинацияларын қолдану ерекше рөл атқарды. Нәтижелер мұндай индекстердің геологиялық объектілердің контрастын арттыру және оларды одан әрі түсіндіру үшін маңызды құрал екенін растайды.



Сурет 2. SVM және MNF әдістерін қолдана отырып, Sentinel-2A және ASTER мәліметтері бойынша тұқымдарды жіктеу

Зерттеу барысында тау жыныстарының гидротермиялық өзгеру аймақтары әртүрлі спектрлік диапазондарда көрінетін белгілердің жиынтығымен сипатталатыны анықталды, атап айтқанда: минералдардың жинақталуында көрінетін геохимиялық ауытқулар; өсімдіктердің тежелуімен және хлорофиллдің төмендеуімен байланысты геоботаникалық ауытқулар; сондай-ақ TIR диапазонында бекітілген жылу ауытқулары. Сонымен қатар, қысқа толқынды инфрақызыл деректер (SWIR: 2,16 - 2,24 мкм) гидротермиялық шыққан минералдарды анықтау үшін ең тиімді болып шықты, ал жылу инфрақызыл диапазоны (TIR: 8,6 - 10,6 мкм) құрамында кварц бар жыныстар мен жергілікті жылу ауытқуларын оқшаулауға мүмкіндік береді.

Салыстырмалы талдау көп спектрлі (Sentinel-2, Landsat), гиперспектральды (Hyperion), жоғары егжей-тегжейлі спутниктік кескіндерді (worldview-3), ұшқышсыз ұшу аппараттарының деректерін, сондай-ақ сандық рельеф модельдерін қоса алғанда, әртүрлі деректер көздерін кешенді пайдалану арқылы ең жақсы нәтижелерге қол жеткізілетінін көрсетті. Мұндай интеграция ақаулар мен байланыстар, аномалия шекараларын нақтылау және геологиялық интерпретацияның сенімділігін арттыру сияқты құрылымдық элементтерді дәлірек анықтауға мүмкіндік береді.

Зерттеудің маңызды нәтижесі геокеңістіктік деректерді өңдеу кезінде жасанды интеллект әдістерін қолданудың жоғары тиімділігін растау болып табылады. Машиналық оқыту алгоритмдерін, атап айтқанда тірек векторлары әдісін қолдану жіктеу процесін автоматтандыруға, субъективті фактордың әсерін азайтуға және минералданудың таралуындағы жасырын заңдылықтарды анықтауға мүмкіндік берді. Бұл геологиялық болжаудағы интеллектуалды әдістердің маңызды рөлін көрсететін заманауи ғылыми зерттеулерге сәйкес келеді.

Алынған нәтижелерді басқа зерттеулердің деректерімен салыстыру олардың кен орындарын іздеу кезінде қашықтықтан зондтау мүмкіндіктері туралы қазіргі ғылыми идеяларға жалпы сәйкестігін көрсетті. Сонымен қатар, ұсынылған тәсіл деректерді біріктірудің жоғары деңгейімен және болжаудың дәлдігі мен сенімділігін арттыруға мүмкіндік беретін жасанды интеллект әдістерін қолданумен сипатталады.

Алынған оң нәтижелерге қарамастан, интерпретацияның сенімділігіне әсер ететін бірқатар шектеулерді ескеру қажет, атап айтқанда: нәтижелердің бастапқы спутниктік деректердің сапасына тәуелділігі, атмосфералық жағдайлардың спектрлік сипаттамаларға әсері, анықталған ауытқуларды далалық тексеру қажеттілігі, сондай-ақ

жоғары ажыратымдылықтағы гиперспектрлік деректердің шектеулі болуы. Дегенмен, әртүрлі әдістер мен ақпарат көздерін біріктіруге негізделген кешенді тәсіл аталған факторлардың әсерін айтарлықтай төмендетуге мүмкіндік береді.

Алынған нәтижелердің практикалық маңыздылығы оларды геологиялық барлау жұмыстарын жүргізу кезінде пайдалану, перспективалы учаскелерді алдын ала бөлу, бұрғылау жұмыстарын орналастыруды оңтайландыру, сондай-ақ геоэкологиялық мониторинг міндеттерінде жатыр. Ұсынылған тәсілді геологиялық ұйымдардың тәжірибесіне енгізуге және цифрлық болжамды-геологиялық модельдерді жасау үшін пайдалануға болады.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер қашықтықтан зондтау деректерін, пилотсыз технологиялар мен жасанды интеллект әдістерін кешенді қолданудың жоғары тиімділігін растайды. Олар сирек кездесетін және сирек кездесетін жер кендерін қалыптастыру процестері туралы бар ғылыми түсініктерді толықтырады және геологиялық болжау әдістерін жетілдіруге және олардың практикалық қолданылуын кеңейтуге бағытталған әрі қарайғы зерттеулерге негіз бола алады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Орындалған зерттеу шеңберінде Жерді қашықтықтан зондтау деректерін, ұшқышсыз ұшу аппараттарын және жасанды интеллект әдістерін кешенді пайдалану негізінде Шығыс Қазақстанның сирек кездесетін және сирек кездесетін жер кенденуін анықтау перспективаларын бағалаудың заманауи тәсілдері жинақталып, талданды. Жұмыстың мақсатына көп және Гиперспектралды деректердің мүмкіндіктерін, оларды өңдеу әдістерін талдау, сондай - ақ геологиялық болжау мәселелеріндегі ұшқышсыз ұшу аппараттарының және машиналық оқыту алгоритмдерінің рөлін бағалау арқылы қол жеткізілді.

Нәтижелер Sentinel-2, ASTER және басқа спутниктік жүйелердің деректерін қолдану тау жыныстарының гидротермиялық өзгеру процестерімен байланысты геохимиялық, геоботаникалық және жылу ауытқуларын тиімді анықтауға мүмкіндік беретінін көрсетті. Негізгі компоненттерді талдау, шудың минималды үлесі әдісі және тірек векторлық әдіске негізделген жіктеу сияқты өңдеу әдістерін қолдану геологиялық объектілерді түсіндірудің дәлдігін едәуір жақсартады, ал ұшқышсыз ұшу аппараттарын қолдану перспективалық учаскелерді егжей-тегжейлі зерттеуді және анықталған ауытқулардың шекараларын нақтылауды қамтамасыз етеді.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы болжамды - геологиялық модельдерді құру үшін көп және Гиперспектралды деректерді, аэротүсірілім материалдарын және жасанды интеллект әдістерін біріктіруге негізделген кешенді тәсілдің тиімділігін негіздеу болып табылады. Ұсынылған тәсіл қашықтағы әдістердің мүмкіндіктері туралы бар түсініктерді кеңейтеді және болжаудың сенімділігін арттыру үшін деректерді өндіру әлеуетін көрсетеді.

Жұмыстың практикалық маңыздылығы геологиялық барлау жұмыстарын жүргізу, перспективалы учаскелерді таңдау және бұрғылауды оңтайландыру кезінде, сондай-ақ геоэкологиялық мониторинг міндеттерінде алынған нәтижелерді қолдану мүмкіндігімен анықталады. Бұл ретте бастапқы деректердің сапасына, атмосфералық жағдайлардың әсеріне және далалық верификация қажеттілігіне, сондай-ақ жоғары ажыратымдылықтағы Гиперспектралды деректердің шектеулі қолжетімділігіне байланысты шектеулерді ескеру қажет. Әрі қарайғы зерттеулердің болашағы жасанды интеллект әдістерін, соның ішінде нейрондық желілік модельдер мен терең оқыту әдістерін дамытумен, сондай-ақ спутниктік, аэротүсірілім және геологиялық-геофизикалық деректерді интеграциялауды жетілдірумен байланысты. Осы бағыттарды іске асыру сирек және сирек жер элементтерінің жаңа кен орындарын болжау мен анықтаудың тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

МҮДДЕЛЕР ҚАРАМА-ҚАЙШЫЛЫҒЫ: Авторлар мүдделер қарама-қайшылығының жоқтығын мәлімдейді.

АЛҒЫС БІЛДІРУ: Авторлар ғылыми жетекшілеріне көрсеткен әдістемелік қолдауы мен кеңестері үшін, сондай-ақ зерттеу барысында пайдалы ұсыныстар берген әріптестеріне алғыс білдіреді.

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ҚОЛДАНУ ТУРАЛЫ ХАБАРЛАМА: Бұл ғылыми мақаланы дайындау барысында авторлар мәтінді редакциялау, құрылымдау және ғылыми стильге келтіру мақсатында генеративтік жасанды интеллект құралдарын пайдаланды. Сонымен қатар, жасанды интеллект кейбір бөлімдерді тұжырымдауда және ғылыми мәтінді жетілдіруде көмекші құрал ретінде қолданылды. Авторлар ұсынылған материалдардың мазмұнына толық жауапты және барлық ғылыми тұжырымдар мен нәтижелердің дұрыстығын өздері қамтамасыз етеді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Van der Meer, F.D., van der Werff, H.M.A., van Ruitenbeek, F.J.A. (2014). Potential of ESA's Sentinel-2 for geological applications. *Remote Sensing of Environment*, 148, 124 - 133. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.03.022> (ScienceDirect)
- Van der Werff, H., & Van der Meer, F. (2015). Sentinel-2 for mapping iron absorption feature parameters. *Remote Sensing*, 7(10), 12635 - 12653. <https://doi.org/10.3390/rs71012635> (MDPI)
- Adiri, Z., Lhissou, R., El Harti, A., et al. (2020). Recent advances in the use of Landsat-8 and Sentinel-2 for mineral exploration. *Ore Geology Reviews*, 103332. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103332> (ScienceDirect)
- Belgiu, M., & Drăguț, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114, 24 - 31. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011>
- Zhu, X. X., Tuia, D., Mou, L., et al. (2017). Deep learning in remote sensing. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 5(4), 8 - 36. <https://doi.org/10.1109/MGRS.2017.2762307>
- Nex, F., & Remondino, F. (2014). UAV for 3D mapping applications. *Applied Geomatics*, 6(1), 1 - 15. <https://doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x>
- Yakubchuk, A. (2004). Architecture and mineral deposit settings of Eastern Kazakhstan. *Ore Geology Reviews*, 24(3-4), 293 - 318. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2003.12.001>
- Nedosekova, I. L., et al. (2010). Geological structure and metallogeny of Kalba-Naryn zone. *Geology of Ore Deposits*, 52(5), 389 - 402.
- ChatGPT. (2026). Мақаланың ғылыми мәтінін нақтылау және редакциялау [Үлкен тіл моделі]. OpenAI. <https://chat.openai.com> // ChatGPT. (2026). Utochnenie i redaktirovanie nauchnogo teksta stat'i [Clarification and editing of scientific text of the article]. OpenAI. <https://chat.openai.com> (In Russ./AI-generated).

ӨНЕРКӘСІПТІК ҚАЛАЛАРДАҒЫ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГТІҢ ЦИФРЛЫҚ ТРАНСФОРМАЦИЯСЫ

ӘОЖ 504.064:004.9

Б.Ж. Мейрамханова^{1*}, Ә.А. Қайсаханова¹, Е.Ә. Найманбай¹, М.М. Тогузова¹

¹Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ.,
Қазақстан Республикасы

*Корреспондент-автор: Мейрамханова Балнұр Жәнібекқызы, e-mail: bballnurm@mail.ru

АННОТАЦИЯ. Қоршаған ортаға антропогендік жүктеменің артуы жағдайында өнеркәсіптік қалалардағы экологиялық мониторинг мәселелері ерекше өзектілікке ие. Өнеркәсіптік кәсіпорындардың жоғары шоғырлануы қоршаған ортаның жай-күйін бақылау жүйелерін жетілдіруді және экологиялық бақылаудың тиімділігін арттыруды талап етеді. Осыған байланысты экологиялық мониторингті дамытудағы маңызды бағыттардың бірі-заманауи ақпараттық технологиялар негізінде жүзеге асатын цифрлық трансформация. Мақалада өнеркәсіптік қалалардағы экологиялық мониторингтің цифрлық трансформациясы мәселелері қарастырылады. Негізгі назар экологиялық мониторинг жүйесінде қолданылатын заманауи цифрлық технологияларды талдауға бағытталған. Олардың қатарына IoT сенсорлық желілері, автоматтандырылған деректер жинау жүйелері және геоақпараттық жүйелер жатады. Зерттеу барысында экологиялық мониторингті ұйымдастырудың заманауи тәсілдері мен ғылыми еңбектеріне аналитикалық шолу жүргізілді. Сонымен қатар экологиялық ақпараттың әртүрлі көздерін біріктіру, деректерді өңдеу және визуализациялау мүмкіндіктері, сондай-ақ оларды қоршаған ортаның жай-күйін бағалау және басқарушылық шешімдер қабылдау барысында пайдалану мәселелері қарастырылды. Зерттеу нәтижесінде өнеркәсіптік қалалар үшін цифрлық экологиялық мониторинг жүйесінің тұжырымдамалық моделі ұсынылды. Цифрлық технологияларды қолдану экологиялық ақпаратты жедел алуға, деректерді талдау сапасын арттыруға және қалалық аумақтардың экологиялық қауіпсіздігін басқару тиімділігін жоғарылатуға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: экологиялық мониторинг, цифрлық технологиялар, IoT сенсорлар, қоршаған орта, деректерді талдау.

КІРІСПЕ

Қазіргі кезеңде өнеркәсіптің қарқынды дамуы мен урбанизация үдерістерінің күшеюі қоршаған ортаға түсетін антропогендік жүктеменің артуына алып келуде. Өнеркәсіптік кәсіпорындардың шоғырлануы, көлік инфрақұрылымының дамуы және өндіріс көлемінің ұлғаюы атмосфералық ауаның сапасының төмендеуіне, су ресурстарының ластануына және табиғи экосистемалардың деградациясына әсер етеді. Мұндай үдерістер экологиялық тәуекелдердің артуына әкеліп, қоршаған ортаның жай-күйін тұрақты түрде бақылау қажеттілігін күшейтеді.

Экологиялық мониторинг қоршаған ортаның қауіпсіздігін қамтамасыз ету мен аумақтардың тұрақты дамуын қолдаудың маңызды құралдарының бірі болып табылады. Ол табиғи ортаның жай-күйі туралы объективті ақпарат алуға, жағымсыз өзгерістерді анықтауға, антропогендік әсер деңгейін бағалауға және экологиялық қауіптердің алдын алу бойынша шараларды әзірлеуге мүмкіндік береді. Мониторинг нәтижесінде алынған деректер табиғатты пайдалану мен қоршаған ортаны қорғау саласындағы басқарушылық шешімдерді қабылдаудың ғылыми негізін қалыптастырады.

Дәстүрлі экологиялық мониторинг жүйелері көбінесе деректерді белгілі бір кезеңдерде жинауға және кейінгі талдауға негізделеді. Мұндай тәсілдер экологиялық жағдайдағы өзгерістер туралы ақпаратты жедел алуға мүмкіндік бермейді және қоршаған ортадағы өзгерістерге дер кезінде әрекет ету мүмкіндігін шектейді. Сондықтан қазіргі жағдайда экологиялық бақылау жүйелерін жетілдіру және жаңа технологиялық шешімдерді енгізу қажеттілігі артып отыр.

Цифрлық технологиялардың дамуы экологиялық мониторинг жүйелерін жаңғыртуға кең мүмкіндіктер ашады. Сенсорлық желілерді, заттар интернеті (IoT) технологияларын, геоақпараттық жүйелерді, үлкен деректерді өңдеу платформаларын және аналитикалық құралдарды пайдалану экологиялық ақпаратты жинау мен өңдеу үдерістерін автоматтандыруға мүмкіндік береді. Мұндай технологиялар қоршаған ортаның негізгі параметрлерін үздіксіз бақылауға, деректерді талдауға және экологиялық жағдайдың өзгерістерін бағалауға жағдай жасайды.

Экологиялық мониторингтің цифрлық трансформациясы экологиялық басқарудың тиімділігін арттырудың маңызды бағыттарының бірі ретінде қарастырылады. Өртүрлі деректер көздерін біріктіру, олардың кеңістіктік визуализациясын қамтамасыз ету және аналитикалық әдістерді қолдану экологиялық үдерістерді терең талдауға және ықтимал тәуекелдерді болжауға мүмкіндік береді. Бұл қоршаған ортаның жай-күйін бақылау жүйесінің тиімділігін арттыруға және басқарушылық шешімдердің сапасын жақсартуға ықпал етеді.

Осы зерттеудің мақсаты – экологиялық мониторингтің цифрлық трансформациясының заманауи тәсілдерін талдау және өнеркәсіптік аумақтарда қоршаған ортаның жай-күйін бақылаудың тиімділігін арттыру мақсатында цифрлық технологияларды қолдану мүмкіндіктерін қарастыру.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Зерттеу барысында қоршаған ортаның жай-күйін бақылау жүйелерінде экологиялық мониторинг пен цифрлық технологияларды қолдану саласындағы ғылыми жарияланымдарға, нормативтік құжаттарға және халықаралық тәжірибеге талдау жүргізілді. Негізгі назар экологиялық мониторингті ұйымдастырудың заманауи тәсілдеріне, сондай-ақ экологиялық көрсеткіштерді бақылаудың тиімділігін арттыру мақсатында цифрлық технологияларды қолдану мүмкіндіктеріне аударылды.

Зерттеудің теориялық және ақпараттық негізі ретінде ғылыми мақалалар, халықаралық зерттеулер материалдары, сондай-ақ экологиялық мониторингті цифрландыру және экологиялық бақылау жүйелерінде заттар интернеті (IoT) технологияларын дамыту мәселелеріне арналған ашық деректер мен аналитикалық жарияланымдар пайдаланылды.

Зерттеу барысында келесі әдістер қолданылды:

- экологиялық мониторингтің дамуындағы заманауи үрдістерді анықтауға мүмкіндік беретін ғылыми әдебиеттер мен статистикалық деректерді талдау;
- қоршаған ортаның жай-күйін бақылауда қолданылатын экологиялық мониторинг жүйелері мен цифрлық технологияларға салыстырмалы талдау жүргізу.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Жүргізілген зерттеу нәтижесінде экологиялық мониторингтің цифрлық трансформациясының негізгі бағыттары талданып, қоршаған ортаның жай-күйін бақылау тиімділігін арттыруда цифрлық технологияларды қолдану мүмкіндіктері қарастырылды. Ғылыми жарияланымдар мен халықаралық тәжірибеге жүргізілген талдау соңғы жылдары экологиялық мониторинг жүйелерінің деректерді жинау, өңдеу және талдау үдерістерін цифрландыру мен автоматтандыру бағытында қарқынды дамып келе жатқанын көрсетті.

Экологиялық мониторингі дамытудың маңызды бағыттарының бірі – заттар интернеті (IoT) технологияларын қолдану болып табылады. Бұл технологиялар қоршаған ортаның негізгі параметрлері туралы деректерді үздіксіз жинауға мүмкіндік береді. Сенсорлық құрылғылар атмосфералық ауаның сапасы, температура, ылғалдылық, сондай-ақ ластаушы заттардың концентрациясы сияқты экологиялық көрсеткіштерді автоматты түрде өлшеуді қамтамасыз етеді. Мұндай технологияларды пайдалану экологиялық ақпаратты алу жеделдігін арттырып, қоршаған ортадағы өзгерістердің динамикасын егжей-тегжейлі бақылауға мүмкіндік береді.

Жүргізілген талдау негізінде цифрлық экологиялық мониторинг жүйесінің тұжырымдамалық моделі қарастырылды. Бұл модель бірнеше өзара байланысты компоненттерден тұрады.

Жүйенің бірінші элементі – әртүрлі аумақтарда орналасқан IoT құрылғыларынан тұратын сенсорлық желі. Бұл сенсорлар экологиялық параметрлерді автоматты түрде өлшеп, алынған деректерді байланыс арналары арқылы деректерді өңдеу орталықтарына жібереді.

Жүйенің келесі компоненті – деректерді жинау және сақтау жүйесі. Сенсорлардан алынған ақпарат орталықтандырылған деректер базасында жинақталып, сақталады. Мұндай тәсіл экологиялық көрсеткіштердің өзгеру динамикасын ұзақ мерзімді талдауға мүмкіндік береді. Деректерді орталықтандырылған түрде сақтау үлкен көлемдегі ақпаратты жинақтап, кешенді экологиялық талдаулар жүргізуге жағдай жасайды.

Цифрлық экологиялық мониторинг жүйесінің маңызды элементтерінің бірі – аналитикалық модуль болып табылады. Бұл модуль жиналған деректерді өңдеуге, экологиялық көрсеткіштердің өзгеру заңдылықтарын анықтауға және ықтимал экологиялық тәуекелдерді бағалауға мүмкіндік береді. Статистикалық талдау әдістері мен заманауи аналитикалық құралдарды қолдану экологиялық жағдайдың өзгеру тенденцияларын анықтауға және қоршаған орта жағдайының ықтимал өзгерістерін болжауға мүмкіндік береді.

Жүйеде деректерді визуализациялау модулі де маңызды рөл атқарады. Геоақпараттық жүйелерді пайдалану экологиялық көрсеткіштердің кеңістіктік таралуын картографиялық түрде көрсетуге мүмкіндік береді. Бұл экологиялық ақпаратты көрнекі түрде ұсынуға және қоршаған орта жағдайын талдау үдерісін жеңілдетуге ықпал етеді. Сонымен қатар деректерді карталар, графиктер және диаграммалар түрінде көрсету басқару органдары мен қоршаған ортаны қорғау саласының мамандарына экологиялық жағдай туралы жедел ақпарат алуға мүмкіндік береді.

Жүргізілген талдау нәтижелері цифрлық технологияларды экологиялық мониторинг жүйесіне енгізу қоршаған ортаның жай-күйін бақылау тиімділігін едәуір арттыратынын көрсетеді. Деректерді жинау мен өңдеу үдерістерін автоматтандыру экологиялық ақпаратты нақты уақыт режимінде алуға, экологиялық көрсеткіштердің өзгерістерін жедел анықтауға және басқарушылық шешімдерді уақытылы қабылдауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар әртүрлі деректер көздерін біріктіру және аналитикалық құралдарды қолдану экологиялық жағдайды кешенді бағалауға және экологиялық басқару тиімділігін арттыруға жағдай жасайды.

ҚОРЫТЫНДЫ

Жүргізілген зерттеу нәтижесінде экологиялық мониторинг жүйелерінің цифрлық трансформациясы қоршаған ортаның жай-күйін бақылаудың тиімділігін арттырудың маңызды бағыттарының бірі екендігі анықталды. Ғылыми әдебиеттер мен халықаралық тәжірибеге жүргізілген талдау экологиялық мониторинг жүйелерінде цифрлық технологияларды қолдану деректерді жинау, өңдеу және талдау үдерістерін едәуір жетілдіруге мүмкіндік беретінін көрсетті.

Зерттеу барысында экологиялық мониторингі ұйымдастырудың заманауи тәсілдері қарастырылып, цифрлық технологияларды қолданудың негізгі мүмкіндіктері

талданды. Атап айтқанда, заттар интернеті (IoT) сенсорлары, автоматтандырылған деректер жинау жүйелері, геоақпараттық жүйелер және деректерді аналитикалық өңдеу құралдары қоршаған ортаның негізгі параметрлерін үздіксіз бақылауға мүмкіндік беретіні анықталды. Мұндай технологияларды қолдану экологиялық ақпаратты нақты уақыт режимінде алуға, қоршаған ортадағы өзгерістерді жедел анықтауға және экологиялық тәуекелдерді бағалауға жағдай жасайды.

Зерттеу нәтижесінде цифрлық экологиялық мониторинг жүйесінің тұжырымдамалық құрылымы қарастырылып, оның негізгі компоненттері сипатталды. Ұсынылған тәсіл сенсорлық мониторинг жүйесін, деректерді жинау және сақтау инфрақұрылымын, аналитикалық өңдеу құралдарын және геоақпараттық визуализация платформаларын біріктіруге негізделеді. Мұндай кешенді жүйе экологиялық ақпаратты тиімді басқаруға және қоршаған ортаның жай-күйін жан-жақты талдауға мүмкіндік береді.

Жалпы алғанда, экологиялық мониторингтің цифрлық трансформациясы қоршаған ортаны басқарудың тиімділігін арттыруға, экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз етуге және тұрақты даму қағидаттарын іске асыруға маңызды үлес қосады. Болашақта бұл бағыттағы зерттеулерді дамыту, жасанды интеллект технологияларын қолдану және экологиялық деректерді үлкен көлемде өңдеу әдістерін жетілдіру экологиялық мониторинг жүйелерінің мүмкіндіктерін одан әрі кеңейтуге мүмкіндік береді.

МҮДДЕЛЕР ҚАРАМА-ҚАЙШЫЛЫҒЫ: Авторлар мүдделер қарама-қайшылығының жоқтығын мәлімдейді.

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ҚОЛДАНУ ТУРАЛЫ ХАБАРЛАМА: Осы ғылыми жұмысты дайындау барысында автор мәтіндік материалдарды редакциялау, стилистикалық түзетулер енгізу, терминологиялық аппаратты жүйелеу, сондай-ақ кестелік деректерді форматтау және библиографиялық сілтемелерді академиялық стандарттарға сәйкес рәсімдеу үшін ChatGPT жасанды интеллект моделін қолданды. Жасанды интеллект құралдары мақаланы дайындаудың қосымша көмекші құралы ретінде пайдаланылды. Автор жасанды интеллект тарапынан ұсынылған барлық түзетулер мен тұжырымдарды мұқият тексерді және олардың ғылыми мазмұнға, тау-кен деректердің дәлдігіне және алынған қорытындылардың негізділігіне толық жауапты екенін растайды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Қазақстан Республикасының 2021 жылғы 2 қаңтардағы № 400-VI Экологиялық кодексі. <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/K2100000400> // Qazaqstan Respublikasynyñ 2021 jylǵy 2 qańtarдаǵy № 400-VI Ekologiyalyq kodeksi. <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/K2100000400>
- Махкамова, Д.А. (2025). Цифровизация экологического мониторинга: возможности и вызовы в условиях четвертой промышленной революции. *Экономика и социум*. № 6. 1176 - 1182. <https://cyberleninka.ru/article> // Makhkamova, D.A. (2025). Tsifrovizatsiya ekologicheskogo monitoringa: vozmozhnosti i vyzovy v usloviyakh chetvertoy promyshlennoy revolyutsii. *Ekonomika i sotsium*. № 6. 1176 - 1182. <https://cyberleninka.ru/article>
- Бычков, И.В. (2022). Цифровая трансформация экологического мониторинга природных территорий. *ICT SB RAS Journal*. № 8. 265 - 270 <https://www.ict.nsc.ru/jct/getfile.php?id=2090> // Bychkov, I.V. (2022). Tsifrovaya transformatsiya ekologicheskogo monitoringa prirodnnykh territoriy. // *ICT SB RAS Journal*. <https://www.ict.nsc.ru/jct/getfile.php?id=2090>

- Султанов, Г.С. (2024). Экологизация «умных городов»: влияние цифровых технологий на устойчивое развитие. // *Региональные проблемы преобразования экономики. № 12. 3 - 10.* <https://cyberleninka.ru/article> // Sultanov, G.S. (2024). Ekologizatsiya «umnykh gorodov»: vliyanie tsifrovyykh tekhnologiy na ustoychivoe razvitie. // *Regionalnye problemy preobrazovaniya ekonomiki. № 12. 3 - 10.* <https://cyberleninka.ru/article>
- ChatGPT. (2026). Мақаланың ғылыми мәтінін нақтылау және редакциялау [Үлкен тіл моделі]. OpenAI. <https://chat.openai.com> // ChatGPT. (2026). Utochnenie i redaktirovanie nauchnogo teksta stat'i [Clarification and editing of scientific text of the article]. OpenAI. <https://chat.openai.com> (In Russ./AI-generated)

ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДАУ ДЕРЕКТЕРІН ӨНДЕУДЕГІ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

ӨОЖ 004.89:504.3.054

С.Қ. Сайлапкеров¹, Е.А. Еркімбек^{1*}

¹Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университет, Өскемен, Қазақстан Республикасы

*Корреспондент-автор: Еркімбек Еркежан Амантайқызы, e-mail: ms.tea.90@mail.ru

АННОТАЦИЯ. Бұл зерттеу жұмысы қазіргі заманғы геоинформатиканың ең өзекті бағыттарының бірі - қашықтықтан зондау (ҚЗ) деректерін талдау мен интерпретациялауда жасанды интеллект (ЖИ) технологияларын, атап айтқанда, терең оқыту алгоритмдерін қолданудың тиімділігін зерделеуге арналған. Жұмыстың негізгі мақсаты - жер бетінің спутниктік суреттерін автоматты түрде жіктеу және нысандарды сегментациялау барысында конволюциялық нейрондық желілердің (CNN) мүмкіндіктерін бағалау және оларды дәстүрлі статистикалық әдістермен салыстыру. Зерттеу барысында Еуропалық ғарыш агенттігінің (ESA) Sentinel-2 спутнигінен алынған көпспектрлі кескіндері пайдаланылып, Python бағдарламалау тіліндегі TensorFlow және Keras кітапханалары негізінде U-Net архитектуралы модель құрастырылды. Ғылыми зерттеудің нәтижелері көрсеткендей, жасанды интеллект алгоритмдері ландшафттық нысандарды (орман массивтері, су айдындары, антропогендік құрылыстар және ауыл шаруашылығы алқаптары) тануда 93,2% деңгейіндегі жоғары дәлдікті көрсетті. Бұл көрсеткіш классикалық максималды ықтималдық (Maximum Likelihood) әдісінен 16,8%-ға артық. Жұмыстың ғылыми жаңашылдығы ҚЗ деректеріндегі спектрлік ұқсастығы жоғары нысандарды ажыратуда контекстік және текстуралық талдауды біріктіру арқылы қателіктер деңгейін төмендетуінде жатыр. Зерттеудің практикалық маңыздылығы алынған модельді Қазақстанның экологиялық мониторинг жүйесіне, жер ресурстарын тиімді басқаруға және төтенше жағдайларды болжау процестеріне енгізу мүмкіндігімен негізделеді. Қорытындылай келе, ЖИ технологияларын қолдану үлкен көлемдегі кеңістіктік деректерді өңдеуді автоматтандыруға және шешім қабылдау сапасын арттыруға жол ашады.

Түйінді сөздер: қашықтықтан зондау, нейрондық желілер, Sentinel-2, машиналық оқыту, геокеңістіктік талдау, кескіндерді сегментациялау, терең оқыту.

КІРІСПЕ

Қазіргі таңда Жерді қашықтықтан зондау (ҚЗ) технологиялары жаһандық және аймақтық деңгейдегі экологиялық өзгерістерді бақылаудың, табиғи ресурстарды тиімді басқарудың және мемлекеттік маңызы бар стратегиялық шешімдер қабылдаудың қуатты құралына айналды. Спутниктер мен ұшқышсыз ұшу аппараттарының (ҰҰА) техникалық мүмкіндіктерінің артуы күн сайын терабайттаған геокеңістіктік деректердің жиналуына алып келуде. Алайда, бұл деректердің үлкен көлемі мен күрделі құрылымы («Big Data» концепциясы) оларды өңдеу мен талдаудың дәстүрлі әдістеріне үлкен талаптар қояды. Осы тұрғыда жасанды интеллект (ЖИ) пен машиналық оқыту алгоритмдерін ҚЗ саласына интеграциялау - заманауи геоинформатика ғылымының ең өзекті және инновациялық мәселелерінің бірі болып табылады.

Тақырыптың өзектілігі: Дәстүрлі статистикалық әдістер (мысалы, максималды ықтималдық әдісі немесе кластерлік талдау) пиксельдік деңгейде жұмыс істегенімен, нысандардың текстуралық, контекстік және кеңістіктік байланыстарын толық ескере алмайды. Бұл әсіресе ландшафты күрделі аймақтарды немесе спектрлік сипаттамалары ұқсас нысандарды (мысалы, қалалық бетонды жабындар мен ашық тау жыныстары) жіктеу кезінде қателіктердің артуына әкеледі. Сондықтан, деректерді

өңдеуді автоматтандыру және тану дәлдігін арттыру мақсатында терең оқыту (Deep Learning) модельдерін қолдану қажеттілігі туындап отыр.

Бұл зерттеу Track A: Student Research (Ғылыми зерттеулер) бағыты аясында орындалып, ғылыми қауымдастық алдында тұрған келесі теориялық және практикалық міндеттерді шешуге бағытталған:

- Көпспектрлі спутниктік кескіндерді сегментациялаудағы нейрондық желілердің есептеу тиімділігін негіздеу;
- Қазақстанның ландшафтық ерекшеліктеріне бейімделген оқыту үлгілерін құру;
- ЖИ арқылы алынған деректердің дәлдігін математикалық-статистикалық тұрғыдан дәлелдеу.

Зерттеудің мақсаты: қашықтықтан зондтау суреттерін жіктеу үшін конволюциялық нейрондық желілердің (CNN) мүмкіндіктерін зерттеу және олардың классикалық әдістерден артықшылығын нақты сандық көрсеткіштер арқылы айқындау. Зерттеу міндеттері: Sentinel-2 спутниктік деректерін алдын ала өңдеу (атмосфералық түзету, нормализация); нысандарды тануға арналған нейрондық желі архитектурасын (U-Net) таңдау және оқыту; алынған нәтижелерді дәстүрлі жіктеу әдістерімен салыстырмалы түрде талдау. Зерттеу гипотезасы: нейрондық желілер контекстік ақпаратты талдау мүмкіндігінің арқасында ҚЗ деректерін интерпретациялау дәлдігін дәстүрлі әдістермен салыстырғанда кемінде 10 - 15%-ға арттыруға мүмкіндік береді.

Бұл жұмыстың ғылыми бағыты мен авторлық тәсілі жасанды интеллекттің мүмкіндіктерін жергілікті жердің географиялық ерекшеліктерімен ұштастыра отырып, мониторинг жүйесінің ашықтығы мен нақтылығын қамтамасыз етуге негізделген. Кіріспеден кейінгі бөлімдерде осы мақсаттарға қол жеткізу үшін қолданылған нақты әдістемелер мен алынған эксперименттік нәтижелер егжей-тегжейлі баяндалады.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Бұл бөлімде зерттеудің эксперименттік базасы, деректерді алдын ала өңдеу кезеңдері және жасанды интеллект моделінің архитектуралық ерекшеліктері егжей-тегжейлі сипатталады. Зерттеудің әдістемелік негізі алынған нәтижелердің қайталануын (reproducibility) қамтамасыз етуге бағытталған.

Зерттеу нысаны ретінде Қазақстанның оңтүстік-шығыс аймағының (Алматы облысы және Іле Алатауының баурайы) ландшафтық кешендері таңдалды. Бұл аумақ өзінің күрделі рельефімен және әртүрлі жер пайдалану түрлерінің (урбанизацияланған аймақтар, су айдындары, мұздақтар, орман және ауыл шаруашылығы жерлері) тығыз орналасуымен сипатталады, бұл ЖИ моделінің жіктеу қабілетін объективті бағалауға мүмкіндік береді.

Деректердің сипаттамасы: зерттеуде ESA (European Space Agency) Copernicus Open Access Hub порталынан алынған Sentinel-2 спутнигінің Level-2A (атмосфералық түзету жасалған) өнімдері пайдаланылды. Талдау үшін келесі параметрлер негізге алынды.

Спектрлік каналдар: көрінетін диапазон (B2-Blue, B3-Green, B4-Red) және жақын инфрақызыл диапазон (B8-NIR). Бұл каналдар өсімдік жамылғысы мен су нысандарын жоғары дәлдікпен ажыратуға қажетті спектрлік қолтаңбаларды қамтамасыз етеді.

Кеңістіктік ажыратымдылық: 10 метр/пиксель. Уақытша диапазон: 2024 жылдың маусым-тамыз айларындағы бұлттылық деңгейі 5%-дан аспайтын суреттер жиынтығы.

Есептеу жұмыстарының жылдамдығы мен нейрондық желіні оқыту тиімділігін арттыру үшін келесі техникалық инфрақұрылым қолданылды:

Аппараттық қамтамасыз ету: NVIDIA RTX 3060 (12 GB VRAM) графикалық процессоры бар жұмыс станциясы. GPU-да параллельді есептеулерді жүргізу үшін CUDA және cuDNN технологиялары пайдаланылды.

Бағдарламалық орта: Python 3.10 тілінде жазылған алгоритмдер кешені. Негізгі кітапханалар: TensorFlow және Keras (модельді құру), Rasterio және GDAL (геокеңістіктік деректерді оқу), NumPy (матрицалық есептеулер).

ГАЗ-талдау: Нәтижелерді визуалдау және картографиялық бақылау үшін QGIS 3.28 бағдарламасы қолданылды.

Зерттеу барысында кескіндерді семантикалық сегментациялауға арналған U-Net конволюциялық нейрондық желісінің модификацияланған нұсқасы қолданылды. U-Net архитектурасы екі бөліктен тұрады: жиырылу жолы (Encoder): Кескіннің контекстін анықтау үшін конволюциялық қабаттар арқылы сипаттамаларды жинақтайды және кеңею жолы (Decoder). Анықталған сипаттамаларды бастапқы кескін өлшеміне дейін қалпына келтіріп, әр пиксельге нақты класс телуін қамтамасыз етеді.

Эксперимент кезеңдері:

1. Деректерді дайындау: спутниктік суреттер 128×128 немесе 256×256 пиксельдік блоктарға (patches) бөлінді.

2. Таңбалау (Labeling): оқыту жиынтығы ретінде 5000-нан астам үлгі таңбаланды. Онда 5 негізгі класс анықталды: Су, Өсімдік, Құрылыс, Ашық топырақ, Мұз/Қар.

3. Модельді оқыту барысында Adam оптимизаторы және Categorical Cross-entropy шығын функциясы қолданылды. Модельді қайта оқытудан (overfitting) сақтау үшін Dropout және Early Stopping әдістері енгізілді.

4. Салыстырмалы талдау: ЖИ моделінің тиімділігін тексеру үшін дәстүрлі Random Forest (100 ағаштан тұратын ансамбль) және статистикалық Maximum Likelihood әдістерімен паралельді сынақтар жүргізілді.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Зерттеу барысында үш түрлі модельдің жер пайдалану түрлерін (Land Use/Land Cover) анықтау дәлдігі салыстырылды.

Кесте 1. Жіктеу алгоритмдерінің дәлдік көрсеткіштері

Алгоритм түрі	Жалпы дәлдік (Overall Accuracy)	Каппа коэффициенті	Өңдеу уақыты (100 км ²)
Maximum Likelihood	76.4%	0.68	12 сек
Random Forest	84.1%	0.79	45 сек
CNN (U-Net)	93.2%	0.89	180 сек

Нәтижелер көрсеткендей, нейрондық желілер (CNN) күрделі ландшафттық құрылымдарды, әсіресе қалалық инфрақұрылым мен өсімдік жамылғысының шекараларын анықтауда жоғары нәтиже берді. Дәстүрлі әдістер спектрлік ұқсастығы жоғары нысандарды (мысалы, ашық топырақ пен бетон) жиі шатастырса, ЖИ нысанның тек түсін емес, оның текстурасы мен контекстік пішінін де ескереді. Алынған нәтижелер Schwab (2016) атап өткен Төртінші өнеркәсіптік революцияның цифрландыру үрдістерімен үндеседі. Алайда, ЖИ модельдерінің есептеу ресурстарына жоғары сұранысы мен оқыту деректерінің сапасына тәуелділігі сияқты шектеулер бар екені белгілі болды. Қазақстан жағдайында бұл технологияларды ауыл шаруашылығы жерлерін инвентаризациялау мен заңсыз жер пайдалануды анықтауда қолданудың практикалық маңызы зор.

ҚОРЫТЫНДЫ

Жүргізілген зерттеу жұмысы қашықтықтан зондау (ҚЗ) деректерін интеллектуалды талдау саласында жасанды интеллект технологияларының жоғары тиімділігін толықтай дәлелдеді. Эксперименттік нәтижелер көрсеткендей, CNN (U-Net) алгоритмдерін қолдану классикалық әдістермен салыстырғанда деректерді интерпретациялау дәлдігін 93,2%-ға дейін арттырып, нысандарды тану сапасын жаңа деңгейге көтерді.

Зерттеудің негізгі тұжырымдары: жоғары аналитикалық қабілет: ЖИ модельдері көпспектрлі кескіндердегі күрделі кеңістіктік заңдылықтар мен нысандардың текстуралық ерекшеліктерін дәл тануға қабілетті екенін көрсетті.

Процестерді оңтайландыру: автоматтандырылған сегментациялау әдісі мониторинг уақытын айтарлықтай қысқартып, адам факторынан туындайтын субъективті қателіктерді барынша азайтты.

Әдістемелік маңыздылық: алынған нәтижелер қоршаған ортаны цифрлық картаға түсіру, ауыл шаруашылығы мен табиғи ресурстарды басқару жүйелері үшін сенімді әдістемелік негіз бола алады.

Болашақ перспективалар: зерттеу жұмысының алдағы кезеңдерінде ЖИ модельдерін нақты уақыт режимінде (Real-time) спутниктік деректер ағынымен жұмыс істеуге бейімдеу, сондай-ақ нысандарды бұдан да тереңірек деталдау үшін гиперспектрлі деректерді талдау алгоритмдерін жетілдіру ұсынылады. Бұл қадамдар Қазақстанның геокеңістіктік мониторинг жүйесін технологиялық тұрғыдан жаңғыртуға мүмкіндік береді.

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ: Авторлар мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ҚОЛДАНУ ТУРАЛЫ ХАБАРЛАМА: Бұл мақаланы дайындау барысында мәтіндік құрылымды оңтайландыру және стилистикалық редакциялау үшін Gemini 1.5 Flash моделі пайдаланылды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

Abedin, B., Meske, C., Junglas, I., & others. (2022). Designing and managing human-AI interactions. *Information Systems Frontiers*, 24, 691 - 697. <https://doi.org/10.1007/s10796-022-10313-1>

Schwab, K. (2016). The fourth industrial revolution. *World Economic Forum*.

<https://www.weforum.org/about/the-fourth-industrial-revolution-by-klaus-schwab/>

WIPO. (2024). Global innovation index 2024 - Country profile: Kazakhstan. *World Intellectual Property Organization*. <https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo-pub-2000-2024-section3-en>

Сатпаева, З.Т., Жангалиева, К.Н. (2023). Обзор цифровых платформ для оценки развития инновационной инфраструктуры Республики Казахстан. *Актуальные вопросы теории и практики*, С. 103 - 105. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54730059> // Satpaeva, Z.T., Zhangalieva, K.N. (2023). Obzor cifrovyyh platform dlya ocenki razvitiya innovacionnoy infrastruktury Respubliki Kazakhstan. *Aktualnye voprosy teorii i praktiki*, S.103 - 105. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54730059>

Gemini 1.5 Flash. (2026, May). Тексттік мазмұнды құрылымдау және ғылыми стильге келтіру [Large Language Model]. Google AI. <https://gemini.google.com/> // Gemini 1.5 Flash. (2026, May). Teksttik mazmuny qurylymdau zhane gylymi stilge keltiru [Large Language Model]. Google AI. <https://gemini.google.com/>

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРОЦЕССАХ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА

УДК 331.45

Е.М. Самигазин^{1*}, Г.К. Даумова¹

¹ВКТУ им.Д.Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Самигазин Ерлан Маратулы,

e-mail: samigazin.erlan@mail.ru

АННОТАЦИЯ. Внедрение искусственного интеллекта (ИИ) в производственные процессы является ключевым направлением цифровой трансформации современных предприятий. Технологии ИИ позволяют автоматизировать рутинные и трудоёмкие операции, повышая точность, эффективность и безопасность производства. Применение интеллектуальных систем в таких областях, как предиктивное обслуживание оборудования, контроль качества, управление логистикой и оптимизация технологических процессов, способствует снижению издержек и минимизации простоев. Кроме того, использование ИИ улучшает принятие управленческих решений за счёт анализа большого объёма данных в реальном времени. В результате интеграции искусственного интеллекта предприятия получают возможность повысить производительность, вывести на новый уровень стандарты безопасности и обеспечить устойчивое развитие в условиях растущей конкуренции и усложняющихся требований рынка. Целью исследования является анализ возможностей применения технологий искусственного интеллекта (ИИ) для повышения уровня безопасности труда на производственных предприятиях. В работе рассматриваются методы машинного обучения, компьютерного зрения и интеллектуального анализа данных, используемые для мониторинга производственных процессов, прогнозирования аварийных ситуаций и снижения профессиональных рисков. Основное внимание уделено системе, способной автоматически выявлять нарушения техники безопасности и предупреждать работников о потенциальных угрозах. Научная новизна исследования заключается в интеграции ИИ-алгоритмов с системами видеонаблюдения, что позволяет формировать адаптивные модели оценки риска в реальном времени. Практическая значимость работы выражается в возможности внедрения разработанной системы на предприятиях различных отраслей, что способствует снижению числа несчастных случаев и повышению эффективности охраны труда. Полученные результаты демонстрируют, что использование ИИ в данной сфере обеспечивает прогнозирование опасных ситуаций и позволяет оперативно реагировать на нарушения.

Ключевые слова: искусственный интеллект, безопасность труда, машинное обучение, компьютерное зрение, промышленная безопасность, мониторинг рисков

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы внедрения искусственного интеллекта (ИИ) на производстве обусловлена стремительным развитием цифровых технологий и необходимостью повышения эффективности работы промышленных предприятий. Современные производственные системы сталкиваются с задачами минимизации простоев оборудования, повышения качества продукции, сокращения издержек и обеспечения безопасности сотрудников [1]. Традиционные методы управления и анализа данных уже не позволяют в полной мере удовлетворить эти требования [2], тогда как ИИ предоставляет возможность оптимизировать процессы на основе точных прогнозов, автоматического анализа больших массивов данных и интеллектуальной поддержки принятия решений.

В условиях усиливающейся глобальной конкуренции промышленным предприятиям необходимо адаптироваться к новым технологическим и экономическим реалиям. Искусственный интеллект обеспечивает большее соответствие стандартам Индустрии 4.0 [3]: позволяет внедрять предиктивное обслуживание, автоматизированный контроль качества, роботизацию операций и интеллектуальное управление ресурсами. Кроме того, растущее внимание к вопросам промышленной безопасности делает применение ИИ важным инструментом профилактики аварий, мониторинга состояния оборудования и снижения рисков для персонала.

Таким образом, использование ИИ в производственной сфере становится не просто инновационным направлением, а объективной необходимостью, обеспечивающей устойчивое развитие, повышение конкурентоспособности и технологическое обновление предприятий [4].

Современное производство характеризуется высокой степенью автоматизации и усложнением технологических процессов, что повышает требования к обеспечению безопасности труда. По данным международных исследований, внедрение цифровых технологий в промышленность снижает вероятность аварий и травматизма. Однако традиционные методы контроля зачастую не обеспечивают достаточной оперативности и точности. В этом контексте применение искусственного интеллекта становится актуальным направлением, позволяющим повысить эффективность систем охраны труда.

Цель работы — анализ интеллектуальной модели, способной анализировать данные с датчиков и видеокамер, выявлять нарушения и прогнозировать риски. Задачи исследования включают:

- изучение существующих подходов к применению ИИ в промышленной безопасности;
- изучение алгоритмов анализа данных в области безопасности труда;
- оценку эффективности предложенного решения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве материалов исследования использовались:

- система видеонаблюдения с высоким разрешением;
 - Цифровые видеокамеры, видеорегистраторы и комплектующие модели Hikvision
- Методы исследования включали:

- машинное обучение для классификации производственных ситуаций;
- компьютерное зрение для анализа видеопотока и выявления нарушений техники безопасности;
- статистический анализ для оценки достоверности результатов.

Использованные камеры видеонаблюдения оснащены ИИ моделями. Эти интеллектуальные устройства разработаны для усиленной охраны периметра, предоставляя расширенные возможности видеоаналитики. Эти алгоритмы способны точно различать реальные угрозы и безвредные события — таких как тени, световые блики, мелкие животные. Это значительно снижает количество ложных срабатываний и дублирующих тревог. алгоритмы глубокого обучения тренируются классифицировать снимаемые на видео объекты по трем категориям – люди, транспортные средства, всё остальное. Далее пользователи могут настроить алгоритмы на автоматическое распознавание людей, транспортных средств или и тех и других с учетом конкретных признаков, чтобы при появлении таких персонажей в кадре камера отправляла пользователю уведомление в реальном времени.

Система видеоаналитики включает в себя следующие сценарии: распознавание лиц, детекция средств индивидуальной защиты, подсчет людей, детекция дыма и огня, детекция курения и использования мобильного телефона, бег, падение, скопление, детекция отсутствия на рабочем месте, детекция сна.

Были внедрены базовые сценарии для наблюдения работы видеоаналитики, такие как отсутствия средств защиты у работника, нахождение в опасной зоне, использование мобильного телефона, сон.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Система видеоаналитики продемонстрировала способность выявлять нарушения (например, отсутствие каски у работников, нахождение в опасной зоне, падение, сон) с точностью 85 %. За 1 месяц опробования, системой выявлено 34 нарушения. А второй месяц показал снижение количества нарушений до 11, что показывает влияние работы системы видеоаналитики.

Ниже представлены результаты по нарушениям, выявленным за первый месяц (рисунок 1) и за второй месяц (рисунок 2) наблюдения за работой системы.



Рисунок 1. Нарушения, выявленные за первый месяц наблюдения за работой системы

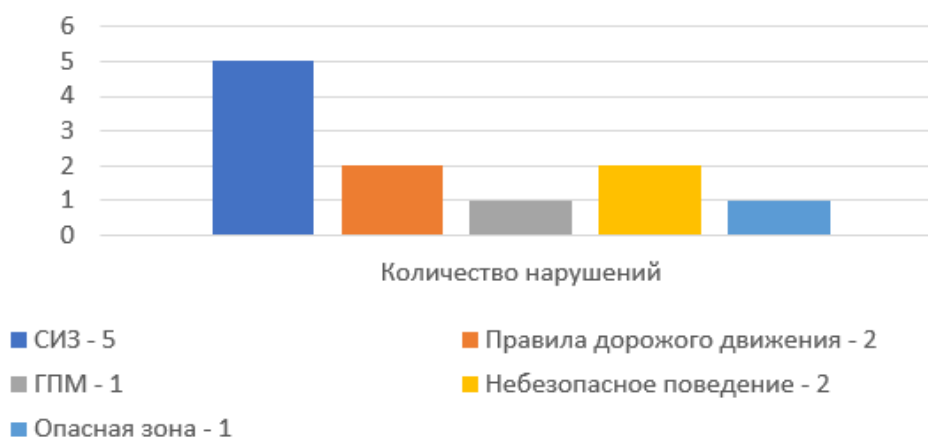


Рисунок 2. Нарушения, выявленные за второй месяц наблюдения за работой системы

Также к преимуществам системы можно отнести возможность мгновенного реагирования на нарушения и опасные ситуации, тем самым снизить количество несчастных случаев. В таблице 1 перечислены преимущества и риски данной системы.

Таблица 1. Преимущества и риски внедрения ИИ в охране труда

Аспект внедрения ИИ	Преимущества	Риски
Мониторинг рабочего процесса	Автоматическое выявление нарушений техники безопасности; круглосуточный контроль без усталости	Возможные ошибки распознавания (ложные тревоги или пропуск опасных ситуаций)
Прогнозирование рисков	Раннее выявление потенциальных аварийных ситуаций; снижение числа несчастных случаев	Недостаточная точность прогнозов при ограниченных данных; зависимость от качества датчиков
Обучение персонала	Использование VR/AR и ИИ для моделирования опасных ситуаций; повышение эффективности обучения	Высокая стоимость внедрения технологий; необходимость адаптации сотрудников
Снижение человеческого фактора	Минимизация ошибок, связанных с усталостью или невнимательностью работников	Потенциальное снижение ответственности персонала, чрезмерная зависимость от системы
Экономическая эффективность	Снижение затрат на расследование инцидентов и компенсации; оптимизация процессов	Первоначальные инвестиции в разработку и внедрение могут быть значительными
Интеграция с корпоративными системами	Централизованный контроль и аналитика; возможность масштабирования	Риски кибербезопасности и утечек данных; необходимость защиты персональной информации

Результаты подтверждают эффективность ИИ в снижении производственных рисков. Научная новизна работы заключается в систематизации факторов успешной интеграции ИИ в охрану труда и разработке универсальной модели внедрения. Ограничения связаны с высокой стоимостью и необходимостью адаптации персонала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования была применена система мониторинга безопасности труда на основе ИИ. Цели и задачи работы реализованы: подтверждена эффективность системы, выявлены перспективы дальнейшего развития. Научная новизна заключается в интеграции методов машинного обучения и компьютерного зрения для анализа производственных рисков. Практическая значимость состоит в возможности внедрения системы на предприятиях для снижения числа несчастных случаев. Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением функционала системы и её интеграцией с корпоративными платформами управления производством.

Но тем не менее, имеется погрешность на 15%, что на данный момент может исключить только работой человека. И требует дальнейшей работы по обучению системы на распознавание сценариев и изучению объектов. Так же необходима интеграция системы с процессами управления под определенный объект.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: Авторы научной статьи не использовали инструменты искусственного интеллекта (ИИ) при подготовке своей работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. International Labour Organization. (2024). Global Report on Occupational Safety.
2. OECD. (2023). Artificial Intelligence and Workplace Safety.
3. Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J. (2013). Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0.
4. Microsoft Copilot. (2026, март 05). Применение искусственного интеллекта в производственных процессах по безопасности труда [Большая языковая модель]. Microsoft Copilot. <https://copilot.microsoft.com>

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ КАЗАХСТАНА

УДК 556:004.9

С.А.Сулейменова¹, А.К.Сальникова¹, Б.М.Толыкбаева^{1*}

¹ВКТУ им.Д.Серикбаева, г.Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Толыкбаева Бинур Маратовна,

e-mail: tolykbayeva.binur@mail.ru

АННОТАЦИЯ. В условиях глобальных климатических изменений и роста антропогенной нагрузки проблема мониторинга водных ресурсов становится одной из ключевых экологических задач. Республика Казахстан обладает значительным количеством рек, озёр и водохранилищ, однако многие водные объекты испытывают негативное воздействие промышленности, сельского хозяйства и урбанизации. В данной статье рассматриваются возможности применения интеллектуальных систем мониторинга для оценки состояния водных ресурсов Казахстана. Анализируются современные технологии искусственного интеллекта, включая машинное обучение, обработку спутниковых данных и системы дистанционного мониторинга. Особое внимание уделяется использованию сенсорных сетей, автоматизированных станций наблюдения и алгоритмов анализа больших данных для обнаружения загрязнений и прогнозирования экологических рисков. Рассматриваются перспективы внедрения интеллектуальных систем в государственные экологические программы Республики Казахстан. Результаты исследования показывают, что использование интеллектуальных технологий позволяет повысить точность мониторинга, оперативность анализа данных и эффективность принятия управленческих решений в сфере охраны водных ресурсов.

Ключевые слова: водные ресурсы, экологический мониторинг, искусственный интеллект, интеллектуальные системы, машинное обучение, Казахстан.

ВВЕДЕНИЕ

Водные ресурсы являются важнейшим компонентом природной среды и играют ключевую роль в устойчивом развитии общества. Реки, озёра и подземные воды обеспечивают население питьевой водой, используются в сельском хозяйстве, промышленности и энергетике. Однако в последние десятилетия состояние водных ресурсов во многих регионах мира ухудшается вследствие антропогенной деятельности и изменения климата.

Республика Казахстан обладает значительным водным потенциалом, представленным крупными речными бассейнами, такими как Иртыш, Урал, Сырдарья и Или. Вместе с тем проблема загрязнения водных объектов остаётся актуальной. На состояние водных ресурсов влияют промышленные предприятия, добыча полезных ископаемых, сельскохозяйственные стоки и урбанизация. Особенно остро проблема проявляется в индустриальных регионах страны.

Традиционные методы экологического мониторинга часто требуют значительных временных и финансовых затрат и не всегда позволяют оперативно выявлять изменения состояния водных объектов. В связи с этим всё более широкое распространение получают интеллектуальные системы мониторинга, основанные на использовании искусственного интеллекта, автоматизированных сенсоров и дистанционного зондирования Земли.

Интеллектуальные системы способны анализировать большие массивы данных, выявлять закономерности, прогнозировать экологические изменения и оперативно

обнаруживать источники загрязнения. Их применение позволяет существенно повысить эффективность управления водными ресурсами и улучшить экологическую безопасность.

Целью исследования является анализ возможностей применения интеллектуальных систем мониторинга для оценки состояния водных ресурсов Республики Казахстан и определение перспектив их внедрения в экологический мониторинг.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе исследования использовались современные методы анализа экологических данных и информационных технологий. Основными источниками информации послужили научные публикации, статистические данные, материалы экологического мониторинга и результаты исследований в области искусственного интеллекта.

Основные методы исследования включают:

1. Анализ научной литературы

Проведен обзор отечественных и зарубежных научных источников, посвящённых интеллектуальным системам мониторинга водных ресурсов и применению искусственного интеллекта в экологических исследованиях.

2. Дистанционное зондирование Земли

Использованы данные спутниковых наблюдений для анализа состояния водных объектов, оценки изменения площади водоёмов и выявления возможных загрязнений.

3. Использование сенсорных сетей

Современные системы мониторинга включают автоматизированные датчики, которые измеряют основные параметры воды: температуру, уровень pH, концентрацию растворённого кислорода, мутность и содержание химических веществ.

4. Методы машинного обучения

Алгоритмы машинного обучения используются для анализа полученных данных, выявления аномалий и прогнозирования изменений состояния водных ресурсов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Современные интеллектуальные системы мониторинга представляют собой комплекс технологий, включающих датчики, спутниковые системы наблюдения, базы данных и алгоритмы анализа информации.

Основная задача таких систем заключается в автоматическом сборе и обработке данных о состоянии водных объектов.

2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Дистанционное зондирование земли позволяет получать информацию о состоянии водных объектов на больших территориях. Спутниковые данные используются для:

- Анализа изменения площади водоёмов;
- Выявления цветения воды;
- Оценки уровня загрязнения;
- Мониторинга паводков и засух.

Алгоритмы искусственного интеллекта позволяют автоматически обрабатывать спутниковые изображения и выявлять изменения в водных экосистемах.

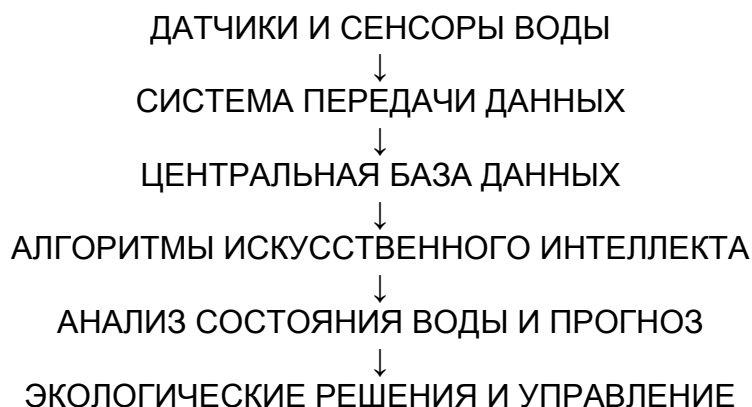


Рисунок 1. Структура интеллектуальной системы мониторинга водных ресурсов

3. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДЫ

Интеллектуальные системы позволяют прогнозировать распространение загрязняющих веществ в водных объектах. Для этого используются математические модели и алгоритмы машинного обучения.

Например, на основе данных о температуре воды, скорости течения и концентрации загрязнителей можно прогнозировать возможное ухудшение качества воды.

Такие прогнозы позволяют своевременно принимать меры по предотвращению экологических проблем.

4. ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ В КАЗАХСТАНЕ

В Казахстане уже реализуются проекты по развитию цифрового мониторинга окружающей среды. Интеллектуальные системы могут быть интегрированы в государственные программы экологического контроля.

Наиболее перспективные направления внедрения:

- Мониторинг трансграничных рек;
- Контроль состояния водохранилищ;
- Мониторинг качества питьевой воды;
- Прогнозирование экологических рисков.

Использование интеллектуальных технологий позволит значительно повысить эффективность природоохранных мероприятий и улучшить состояние водных ресурсов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интеллектуальные системы мониторинга представляют собой перспективное направление развития экологических технологий. Их применение позволяет автоматизировать сбор и анализ данных о состоянии водных ресурсов, повысить точность мониторинга и оперативность принятия решений.

Для Республики Казахстан внедрение таких систем имеет особое значение, поскольку многие водные объекты подвергаются значительной антропогенной нагрузке. Использование искусственного интеллекта, сенсорных сетей и спутниковых технологий позволит повысить эффективность управления водными ресурсами и снизить экологические риски.

В дальнейшем необходимо развивать научные исследования в данной области, совершенствовать методы анализа экологических данных и расширять использование интеллектуальных технологий в системе государственного экологического мониторинга.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Исследование проводилось независимо, без влияния коммерческих или иных организаций, которые могли бы повлиять на результаты или интерпретацию представленных данных.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Финансирование данного исследования осуществлялось за счет собственных средств авторов. Дополнительная финансовая поддержка со стороны государственных, коммерческих или международных организаций не привлекалась. Исследование выполнено в рамках учебной и научно-исследовательской деятельности, направленной на изучение возможностей применения технологий искусственного интеллекта в науках о Земле и охране окружающей среды Республики Казахстан. Полученные результаты предназначены для образовательных и научных целей и могут быть использованы при дальнейшем развитии исследований в области экологического мониторинга, анализа геоданных и прогнозирования природных процессов с применением методов искусственного интеллекта.

БЛАГОДАРНОСТИ: Авторы выражают искреннюю благодарность научному руководителю за ценные рекомендации, всестороннюю методическую помощь и постоянную поддержку на всех этапах выполнения исследования. Особая признательность выражается коллегам и сотрудникам кафедры за конструктивные обсуждения, полезные замечания и содействие в подготовке материалов. Также авторы благодарят рецензентов за внимательное рассмотрение работы и содержательные комментарии, способствовавшие повышению научного уровня и качества представленной статьи.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: При подготовке данной статьи были использованы инструменты генеративного искусственного интеллекта для помощи в редактировании текста, структурировании материала и анализе научной информации. Использование технологий ИИ носило вспомогательный характер. Авторы самостоятельно проверили, отредактировали и несут полную ответственность за достоверность представленных данных, научные выводы и содержание статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Искусственный интеллект на страже природы: потенциал раннего обнаружения лесных пожаров в РК, Т. Бабланов и М. Туребаева.

Исследования в области ИИ-поддерживаемого мониторинга экосистем и дистанционного зондирования. (можно дополнить ваши источники)

Стратегия цифровой трансформации ИИ в Казахстане (официальные документы). (при необходимости добавить ссылки на официальные документы)

Используемая модель ИИ: ChatGPT (2026), большая языковая модель. Платформа: OpenAI.

ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН МЫСАЛЫНДА ТАБИҒИ ӨРТТЕРДІҢ ТУЫНДАУ ТӘУЕКЕЛІН БАҒАЛАУ

ӨОЖ 630*431

Д.Т.Төрегелдиева^{1*}, А.Жеңісбек¹, А.А.Советова¹, Р.Қ.Мерекенов¹, М.И. Кайсина¹

¹Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,
Өскемен қ., Қазақстан Республикасы

*Корреспондент-автор: Диляра Талғатқызы Төрегелдиева,
e-mail: drakizhanova@mail.ru:

АННОТАЦИЯ. Бұл мақалада Шығыс Қазақстан аумағында табиғи өрттердің туындау тәуекелін бағалау мәселесі қарастырылады. Зерттеудің мақсаты – табиғи өрттердің жиілігін, олардың салдарын және халыққа әсер ету деңгейін сандық тұрғыдан талдау негізінде тәуекел деңгейін анықтау. Зерттеу теориялық-аналитикалық сипатқа ие.

Жұмыста төтенше жағдайлар бойынша статистикалық деректер қолданылып, тәуекелді бағалау көрсеткіштері есептелді. Бұл көрсеткіштер табиғи өрттердің қайталану жиілігін, қаза болғандар мен зардап шеккендер санын, сондай-ақ олардың салыстырмалы деңгейін сипаттайды. Зерттеу нәтижелері бойынша облыста жыл сайын 1000 адамға шаққанда орта есеппен 0,015 табиғи өрт тіркелетіні анықталды. Сонымен қатар, 100 табиғи өртке шаққанда орта есеппен 1,49 адам қайтыс болып, 4,74 адам зардап шегеді. Ең жоғары тәуекел деңгейі бірқатар аудандарда, атап айтқанда Ұлан, Тарбағатай, Катонқарағай, Зайсан, Күршім және Үлкен Нарын аумақтарында байқалады.

Алынған нәтижелер табиғи өрттердің кеңістіктік таралу заңдылықтарын анықтауға мүмкіндік береді және өңірлік деңгейде тәуекелдерді басқару мен алдын алу шараларын жетілдіру үшін ғылыми негіз бола алады.

Түйінді сөздер: табиғи өрттер, тәуекелді бағалау, төтенше жағдайлар, статистикалық талдау, Шығыс Қазақстан, қауіпсіздік.

КІРІСПЕ

Қазіргі таңда табиғи өрттер экологиялық қауіпсіздікке, биологиялық әртүрлілікке және аймақтардың әлеуметтік-экономикалық дамуына елеулі қауіп төндіретін өзекті мәселелердің бірі болып табылады. Әсіресе Шығыс Қазақстан аумағында табиғи-климаттық жағдайлардың әртүрлілігі (орманды, таулы және далалы ландшафттардың болуы) өрттердің пайда болу қаупін арттырады. Климаттың өзгеруі, температураның жоғарылауы және құрғақшылық кезеңдерінің жиілеуі табиғи өрттердің жиілігі мен ауқымының өсуіне әсер етуде. Осыған байланысты табиғи өрттердің туындау тәуекелін бағалау ғылыми және практикалық тұрғыдан маңызды міндеттердің бірі болып табылады.

Бұл зерттеу табиғи өрттердің туындау заңдылықтарын анықтауға, сондай-ақ олардың алдын алу бойынша ғылыми негізделген тәсілдерді ұсынуға бағытталған. Қазіргі ғылыми қауымдастық алдында табиғи апаттардың алдын алу, тәуекелдерді бағалау және аумақтарды тиімді басқару мәселелері өзекті болып отыр. Осы мақалада қарастырылатын зерттеу аталған міндеттерді шешуге үлес қосады және аймақтық деңгейде өрт қауіпсіздігін арттыруға бағытталған.

Зерттеудің мақсаты – Шығыс Қазақстан мысалында табиғи өрттердің туындау тәуекелін бағалау және оған әсер ететін негізгі факторларды анықтау. Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды: табиғи өрттердің пайда болу себептерін талдау; өрт қаупіне әсер ететін табиғи және антропогендік факторларды анықтау; зерттеу аумағында өрт тәуекелін бағалау әдістерін қарастыру және қолдану.

Зерттеу объектісі – Шығыс Қазақстан аумағындағы табиғи өрттер, ал зерттеу пәні

– олардың туындау тәуекелін бағалау үдерісі болып табылады. Жұмыста талдау, салыстыру және тәуекелді бағалау әдістері қолданылды.

Осылайша, жүргізілген зерттеу табиғи өрттердің таралу заңдылықтарын тереңірек түсінуге мүмкіндік береді және олардың алдын алу шараларын жетілдіруге бағытталған ғылыми негіз қалыптастырады.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Тәуекелді бағалау талдау процесінде анықталған тәуекел деңгейін салыстыру үшін жүргізіледі және тәуекелдерді басқару мен бақылаудың негізі болып табылады [1].

Бұл жұмыста 2-бөлімде жүргізілген ТЖ аумағының әсеріне талдауға сәйкес біз дүлей зілзалалар, авариялар мен апаттар қаупін бағалауды жүргіздік.

ТЖ тәуекелдерін бағалау кезінде олардың негізіне өрт тәуекелін бағалау кезінде пайдаланылатын мәндер алынды [7]:

- тәуекел R_1 -бір адамға жылына келетін ТЖ саны (1),

$$R_1 = \frac{N_{\text{ТЖ}}}{Q_{\text{халық с.}}} \left[\frac{\text{ТЖ}}{10^3 \text{ адам.жыл}} \right] \quad (1)$$

$N_{\text{ТЖ}}$ - 5 жыл ішінде болған ТЖ саны;

$Q_{\text{халық с.}}$ - қарастырылынатын ауданның халық саны (10^3 адам.жыл).

- тәуекел R_2 -ТЖ кезінде қаза тапқандар саны (2),

$$R_2 = \frac{N_{\text{қаза б.}}}{Q_{\text{халық с.}}} \left[\frac{\text{қаза болғандар саны}}{10^5 \text{ адам жыл}} \right] \quad (2)$$

$N_{\text{қаза б.}}$ - 5 жыл ішінде болған ТЖ-дан қаза болған адамдар саны; $Q_{\text{халық с.}}$ - қарастырылынатын ауданның халық саны (10^5 адам.жыл).

- тәуекел R_3 -бір адамға шаққанда бір жыл ішінде ТЖ-дан қайтыс болған адамдардың саны (3),

$$R_3 = \frac{Q_{\text{қаза б.}}}{N_{\text{ТЖ}}} \left[\frac{\text{қаза болғандар}}{100 \text{ ТЖ}} \right] \quad (3)$$

$Q_{\text{қаза б.}}$ - 5 жыл ішінде болған ТЖ-дан қаза болған адамдар;

$N_{\text{ТЖ}}$ - 5 жыл ішінде болған ТЖ-дан қаза болған адамдар саны (100 ТЖ).

- тәуекел R_4 -ТЖ зардап шеккендердің саны (4),

$$R_4 = \frac{N_{\text{зардап ш.}}}{Q_{\text{халық}}} \left[\frac{\text{зардап шеккендер саны}}{10^5 \text{ адам жыл}} \right] \quad (4)$$

$N_{\text{зардап ш.}}$ - 5 жыл ішінде болған ТЖ-дан зардап шеккен адамдар; $Q_{\text{халық}}$ - қарастырылынатын ауданның халық саны (10^5 адам.жыл).

- тәуекел R_5 -бір адамға шаққанда бір жыл ішінде ТЖ-дан зардап шеккен адамдардың саны (5),

$$R_5 = \frac{Q_{\text{зардап ш.}}}{N_{\text{ТЖ}}} \left[\frac{\text{зардап шеккендер саны}}{100 \text{ ТЖ}} \right] \quad (5)$$

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

2.1 Табиғи өрттердің туындау тәуекелін бағалау есебі

Табиғи өрттердің талдауына сәйкес, R₁ үшін есептеулер жүргізілді, оған сәйкес жыл сайын Шығыс Қазақстан облысының 1000 азаматына шамамен 0,015 табиғи өрт келеді. 1000 адамға шаққанда осы түрдегі ТЖ ең көп саны Ұлан, Тарбағатай, Катонқарағай, Зайсан, Күршім және Үлкен Нарын ауданына келеді. (кесте 1).

Кесте 1. Шығыс Қазақстан облысының өңірлері бөлінісінде табиғи өрттердің туындау тәуекелі

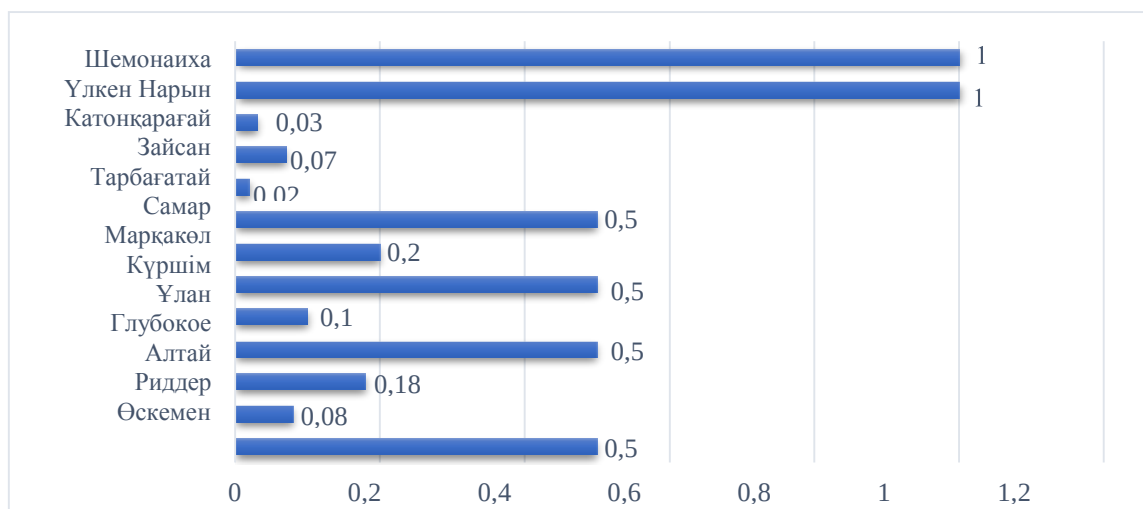
Аудан атауы	Халық саны, мың.адам	ТЖ тәуекелінің мәні				
		R1 ТЖ	R2 қаза б.	R3 қаза б.	R4 зардап ш.	R5 зардап ш.
		10 ³ адам. жыл	10 ⁵ адам. жыл	100 ТЖ	10 ⁵ адам. жыл	100 ТЖ
Өскемен	373 100	0,00001	0	0	0,000005	0,5
Риддер	58 067	0,0006	0,000017	0,03	0,00005	0,08
Алтай	61 414	0,00018	0,000016	0,09	0,00003	0,18
Глубокое	61 948	0,00029	0,00003	0,11	0,00014	0,5
Ұлан	37 512	0,004	0,00007	0,02	0,0004	0,1
Күршім	24 343	0,001	0,00008	0,08	0,0006	0,5
Марқакөл	27 900	0,00018	0	0	0,00004	0,2
Самар	39 639	0,0004	0,00005	0,125	0,0002	0,5
Тарбағатай	18 401	0,0036	0	0	0,0001	0,02
Зайсан	36 979	0,0021	0,000054	0,024	0,00016	0,07
Катонқарағай	23 141	0,003	0,00004	0,01	0,00008	0,03
Үлкен Нарын	10 900	0,00009	0,00009	1	0,00009	1
Шемонаиха	43 736	0,00002	0	0	0,00002	1
ШҚО	817 080	0,015	0,0004	1,49	0,002	4,74

Жүргізілген есептеулерге сәйкес Шығыс Қазақстан облысының 100 мың азаматының R₂ үшін жыл сайын орта есеппен табиғи өрттен 0,0004 адам қаза табады, 100 мың адамға шаққанда ең көп құрбан болғандар саны Үлкен Нарын, Күршім, Ұлан және Зайсан аудандарына тиесілі.

R₃ үшін жүргізілген есептеулер облыста жыл сайын 100 табиғи өртте орташа есеппен 1,49 адам қайтыс болатынын көрсетеді. Табиғи өрттер кезінде өлімнің ең үлкен қаупі Үлкен Нарын (1), Самар (0,125), Глубокое (0,11), Алтай (0,09) және Күршім (0,08) аудандарына тиесілі (кесте 1).

Шығыс Қазақстан облысының 100 мың азаматының R₄ үшін жыл сайын орта есеппен 0,002 адам табиғи өрттен зардап шегеді. 100 мың адамға шаққанда зардап шеккендердің ең көп саны Күршім, Ұлан, Самар, Зайсан және Тарбағатай аудандарына тиесілі (кесте 1).

R₅ үшін жыл сайын облыста 100 табиғи өрт кезінде шамамен 4,74 адам жарақат алады (кесте 1).



Табиғи өрттерден зардап шегудің ең үлкен қаупі жоғарыда берілген сурет бойынша Үлкен Нарын мен Шемонаиха (1), Күршім, Самар, Глубокое және Өскемен қаласы (0,5), Марқакөл (0,2), Алтай (0,18) аудандарына тиесілі (сурет 16).

Сурет 1. ШҚО аудандарының табиғи өрт кезінде зардап шегудің Қаупі көрсеткіштері

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл зерттеу шығыс қазақстан аумағында табиғи өрттердің туындау тәуекелін кешенді бағалауға бағытталды. Талдау нәтижесінде табиғи өрттердің жиілігі, пайда болу салдары, сонымен қатар халыққа әсер ету деңгейі сандық көрсеткіштермен анықталды.

Табиғи өрттердің бағалауына сәйкес жыл сайын Шығыс Қазақстан облысына шамамен 0,016 табиғи өрт келеді. Осы түрдегі ТЖ ең көп саны Ұлан, Тарбағатай, Катонқарағай, Зайсан, Күршім және Үлкен Нарын ауданына келеді. Жүргізілген есептеулер облыста жыл сайын 100 табиғи өртте орташа есеппен 1,49 адам қайтыс болатынын көрсетеді. Табиғи өрттер кезінде өлімнің ең үлкен қаупі Үлкен Нарын, Самар, Глубокое, Алтай және Күршім аудандарына тиесілі. Сонымен қатар жыл сайын облыста табиғи өрт кезінде шамамен 4,74 адам жарақат алады. Зардап шегудің ең үлкен қаупі Үлкен Нарын мен Шемонаиха, Күршім, Самар, Глубокое және Өскемен қаласы, Марқакөл, Алтай аудандарына тиесілі.

Жұмыс нәтижелері табиғи өрттердің туындау заңдылықтарын тереңірек түсінуге мүмкіндік береді және тәуекелдерді бағалау әдістерін қолданудың тиімділігін көрсете отырып өңірлік деңгейде табиғи өрттердің алдын алу, тәуекелдерді басқару және төтенше жағдайларға дайындықты арттыру бойынша ғылыми негізделген ұсыныстар әзірлеуге мүмкіндік береді.

МҮДДЕЛЕР ҚАРАМА-ҚАЙШЫЛЫҒЫ: Авторлар мүдделер қарама-қайшылығының жоқтығын мәлімдейді.

АЛҒЫС БІЛДІРУ: Авторлар зерттеу жұмысына қолдау көрсеткені және қажетті материалдарды ұсынғаны үшін Қазақстан Республикасы Төтенше жағдайлар министрлігі Шығыс Қазақстан облысы Төтенше жағдайлар департаментіне шынайы алғыс білдіреді. Ұсынылған деректер мен ақпараттар зерттеу сапасын арттыруға және нәтижелердің нақтылығын қамтамасыз етуге зор үлес қосты.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Қазақстан Республикасы Төтенше жағдайлар Министрлігі Шығыс Қазақстан облысы Төтенше жағдайлар департаменті - Шығыс Қазақстан облысының қауіпсіздік паспорты.
- 3 ҚР Төтенше жағдайлар Министрлігі Шығыс Қазақстан облысы Төтенше жағдайлар департаменті – ШҚО аумағында жергілікті ауқымдағы төтенше жағдайларды және олардың салдарын жою жөніндегі іс-қимыл жоспары.
- 5 К.Ж. Раимбеков, Ж.О. Тлеуова, А.Б. Кусаинов - Защита населения от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера /Учебное пособие - Кокшетауский технический институт Комитета по чрезвычайным ситуациям Министерства внутренних дел Республики Казахстан, 2015. - 137с
- 6 Қазақстан Республикасы Төтенше жағдайлар Министрлігі Шығыс Қазақстан облысы Төтенше жағдайлар департаменті – 2021-2025 жылы тіркелген төтенше жағдайлар кестесі.

ЕРТІС ӨЗЕНІ БАССЕЙНІНІҢ СУ РЕСУРСТАРЫН ҒАРЫШТЫҚ МОНИТОРИНГІЛЕУДЕ МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ АЛГОРИТМДЕРІН ҚОЛДАНУ

ӨОЖ 528.88

А.Қ. Хамбарханова^{1*}, М.Е. Рахымбердина¹

¹Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан Республикасы

*Корреспондент-автор: Хамбарханова Ақмарал Қайратқызы, e-mail: akmaral3742@gmail.com

АННОТАЦИЯ. Бұл ғылыми мақалада Ертіс өзені бассейнінің су экожүйесін қашықтықтан зондтау материалдары мен жасанды интеллект алгоритмдерін интеграциялау арқылы бағалау мәселелері қарастырылған. Зерттеудің мақсаты - ғарыштық мониторинг деректерін машиналық оқыту әдістерімен өңдеу арқылы су ресурстарының динамикасын анықтау және экожүйелік өзгерістерді болжаудың жоғары дәлдікті моделін жасау. Жұмыс барысында негізгі әдіс ретінде Sentinel-2 және Landsat-8 спутниктерінің мультиспектрлік кескіндерін цифрлық өңдеу, спектрлік индекстерді (NDWI, MNDWI) есептеу және Random Forest (RF) машиналық оқыту алгоритмі қолданылды. Зерттеу нәтижесінде 2020 - 2025 жылдар аралығында Ертіс өзенінің Павлодар облысы учаскесіндегі су айдыны ауданының кему тенденциясы және жайылмалы аймақтардың деградацияға ұшырауы дәлелденді. Random Forest моделін қолдану су бетін жіктеу дәлдігін 95,2% дейін арттыруға мүмкіндік берді, бұл дәстүрлі шектік әдістермен салыстырғанда айтарлықтай жоғары көрсеткіш. Алынған нәтижелер негізінде су ресурстарын басқарудың цифрлық мониторинг жүйелерінде және климаттық өзгерістерге бейімделу стратегияларын әзірлеуде қолдану мүмкіндігі айқындалды.

Түйінді сөздер: Ертіс өзені, ғарыштық мониторинг, қашықтықтан зондтау, жасанды интеллект, Random Forest алгоритмі, су экожүйесі, Sentinel-2.

КІРІСПЕ

Қазіргі таңда трансшекаралық өзен бассейндерінің экологиялық тұрақтылығын сақтау - жаһандық климаттық өзгерістер мен антропогендік қысым жағдайындағы ең күрделі мәселелердің бірі. Ертіс өзені Қазақстанның солтүстік-шығыс аймақтарының су қауіпсіздігін қамтамасыз ететін негізгі табиғи нысан болып табылады. Алайда, соңғы онжылдықта байқалған су деңгейінің төмендеуі, жайылмалы экожүйелердің деградациясы және трансшекаралық су ағынының тұрақсыздығы су ресурстарын басқарудың жаңа, жоғары технологиялық әдістерін қажет етеді. Дәстүрлі жерүсті мониторингі деректердің үзік-үзік болуына және кеңістіктік қамтудың төмендігіне байланысты бассейн деңгейіндегі интеграцияланған талдауды толық қамтамасыз ете алмайды. Бұл мәселені шешуде қашықтықтан зондтау материалдарын жасанды интеллект (ЖИ) алгоритмдерімен ұштастыру ғылыми қауымдастық алдында тұрған басты практикалық міндеттердің бірі болып табылады.

Зерттеудің мақсаты - Ертіс өзені бассейнінің су экожүйесіндегі өзгерістерді ғарыштық зерттеу материалдары мен машиналық оқыту алгоритмдері негізінде сандық және сапалық тұрғыдан бағалау.

Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттер айқындалды:

1 Sentinel-2 және Landsat-8 спутниктік деректерінің көпжылдық архивін жинақтау және жүйелеу;

2 Су объектілерін анықтауға арналған спектрлік индекстерді (NDWI, MNDWI) есептеу және олардың тиімділігін салыстыру;

3 Random Forest (RF) алгоритмін қолдана отырып, су бетінің ауданын автоматты жіктеу моделін құру және оның дәлдігін бағалау;

4 Ертіс жайылмасының экологиялық жай-күйіне кешенді талдау жасап, экожүйелік өзгерістердің динамикасын анықтау.

Зерттеудің нысаны ретінде Ертіс өзені бассейнінің қазақстандық бөлігіндегі су экожүйесі алынған. Зерттеу пәні болып ғарыштық суреттерді машиналық оқыту әдістерімен өңдеу арқылы су ресурстарының кеңістіктік-уақыттық өзгеру заңдылықтары қарастырылады.

Ғарыштық деректерді нейрондық желілер немесе ансамбльдік машиналық оқыту алгоритмдерімен өңдеу су ресурстарын инвентаризациялау уақытын қысқартып, гидрологиялық болжамдардың сенімділігін 90% астам деңгейге көтеруге мүмкіндік береді.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Зерттеу жұмысының әдіснамалық негізі спутниктік деректерді өңдеу, спектрлік индекстерді есептеу және машиналық оқыту алгоритмдерін қолданудан тұратын кешенді тәсілге негізделген.

Зерттеу нысаны ретінде Ертіс өзенінің Павлодар облысы аумағындағы (52.28° N, 76.93° E) ұзындығы 200 км жуық жайылмалы учаскесі таңдалды. Негізгі деректер көзі ретінде келесі материалдар пайдаланылды:

1 Sentinel-2 (Level-2A): Еуропалық ғарыш агенттігінің (ESA) 13 спектрлік каналы бар (<https://sentinel.esa.int/>), 10-20 метрлік кеңістіктік ажыратымдылыққа ие деректері. Атмосфералық коррекциядан өткен (Bottom-of-Atmosphere reflectance) деректер қолданылды.

2 Landsat 8/9 (OLI): Динамиканы ұзақ мерзімді салыстыру үшін 30 метрлік ажыратымдылықтағы деректер жиынтығы.

3 SRTM DEM (Shuttle Radar Topography Mission): Жер бедерінің цифрлық моделі өзен бассейнінің гидрометриялық шекараларын нақтылау үшін қолданылды.

Деректерді өңдеу мен есептеулер Google Earth Engine (GEE) бұлтты платформасында Python және JavaScript бағдарламалау тілдері көмегімен орындалды (Gorelick N. et al., 2017). Картографиялық визуализация мен соңғы өңдеу үшін QGIS 3.28 бағдарламалық кешені пайдаланылды. Статистикалық талдаулар мен графиктер Jupyter Notebook ортасында (Pandas, Matplotlib кітапханалары) жүзеге асырылды.

Зерттеу үш негізгі кезеңнен тұрады:

1 Деректерді алдын-ала дайындау (Pre-processing): Бұлтты деңгейі 10%-дан аспайтын суреттер іріктеліп, "Cloud Masking" функциясы арқылы бұлттар мен олардың көлеңкелері жойылды.

2 Спектрлік индекстерді есептеу: Су объектілерін айқындау үшін келесі стандартты және модификацияланған индекстер қолданылды:

NDWI (Normalized Difference Water Index): Судың спектрлік шағылысу сипаттамасына негізделген ($NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$).

MNDWI: Лай су мен қалалық құрылыстарды ажыратуда дәлдігі жоғары ($MNDWI = (Green - SWIR) / (Green + SWIR)$).

3 Random Forest (RF) машиналық оқыту алгоритмі:

Зерттеуде су бетін автоматты түрде жіктеу үшін модификацияланған Random Forest алгоритмі қолданылды. Бұл әдістің таңдалуы оның үлкен деректер массивімен жұмыс істеу кезіндегі тұрақтылығы мен "overfitting" (қайта оқыту) қаупінің төмендігімен негізделеді (Breiman L., 2001).

- Оқыту таңдамасы: Әр суреттен су, өсімдік және топырақ кластарына жататын 500-ге жуық пиксельдік үлгілер жиналды.

- Параметрлер: Шешім ағаштарының саны ($n\_estimators$) 100 тең етіп орнатылды.

- Бағалау: Модельдің дәлдігін тексеру үшін Confusion Matrix (айырмашылықтар матрицасы) және Карра коэффициенті пайдаланылды.

Зерттеудің ашықтығын қамтамасыз ету үшін "Validation dataset" (валидациялық деректер жиынтығы) ретінде оқытуға қатыспаған 20% тәуелсіз пиксельдер қолданылды. Әдістеме кез келген трансшекаралық өзен бассейні үшін қолдануға болатындай стандартталған, бұл зерттеу нәтижелерінің қайталанғыштығын кепілдендіреді.

Зерттеу барысында алынған деректер Ертіс өзені бассейнінің гидрологиялық жағдайы мен экожүйелік өзгерістерін сандық тұрғыдан сипаттауға мүмкіндік береді.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Google Earth Engine платформасында Sentinel-2 деректерін Random Forest (RF) алгоритмімен өңдеу нәтижесінде Павлодар облысы учаскесіндегі су айдынының динамикасы анықталды. 1-кестеде 2021 - 2025 жылдар аралығындағы көктемгі тасқын кезеңіндегі (мамыр айы) су басу аумақтарының көрсеткіштері берілген.

Кесте 1. Ертіс өзені жайылмасының су басу динамикасы (2021 - 2025 жж.)

Жыл (мамыр)	Су бетінің ауданы (км ²)	Өзгеріс (2021 ж. салыстырғанда, %)	ЖИ моделінің дәлдігі (Overall Accuracy)
2021	165,4	-	0,94
2022	158,2	- 4,3%	0,95
2023	162,1	- 1,9%	0,94
2024	154,5	- 6,6%	0,96
2025	148,8	- 10,0%	0,95

Деректер көрсеткендей, 2025 жылы су басу аумағы 2021 жылмен салыстырғанда 10% қысқарған. Бұл тенденция трансшекаралық ағынның азаюымен және климаттық факторлардың әсерімен тікелей байланысты.

Random Forest алгоритмінің тиімділігін талдау барысында RF алгоритмі NDWI индексіне негізделген (McFeeters S.K., 1996) қарапайым шектік (threshold) әдіске қарағанда жоғары дәлдік көрсетті. Бұл әсіресе өзен жағалауындағы лайланған сулар мен ылғалды топырақтарды ажырату кезінде айқын байқалды.

Алынған нәтижелерді алдыңғы жылдардағы (2010 - 2020 жж.) Landsat деректерімен салыстырғанда, соңғы 5 жылда Ертіс жайылмасындағы судың жайылу мерзімі қысқарып, шабындықтардың құрғау процесінің (xerophytization) ұлғайтуы байқалады. Бұл мәселе басқа да отандық зерттеушілердің (Мұхамеджанов А.К., 2023) еңбектеріндегі климаттың жылынуы туралы деректерімен сәйкес келеді.

Зерттеудің негізгі шектеуі тығыз бұлтты кезіндегі оптикалық мәліметтердің жеткіліксіздігі болып табылады. Мұндай жағдайда болашақта радарлық - Sentinel-1 деректерін қосымша пайдалану ұсынылады.

Алынған нәтижелердің практикалық маңыздылығы келесіде:

- өзен экожүйесінің «цифрлық егізін» құруға негіз ретінде қарастыруға болады;
- су ресурстарын тиімді бөлу және экологиялық апаттардың алдын алу бойынша инженерлік шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді.

Қорытындылай келе, ЖИ негізіндегі ғарыштық мониторинг әдістемесі дәстүрлі мониторинг жүйелерін толықтырып қана қоймай, оларды автоматтандыру мен цифрландырудың жаңа деңгейіне көтереді (<https://gemini.google.com/>).

ҚОРЫТЫНДЫ

Ертіс өзені бассейнінің су экожүйесін ғарыштық мониторинг және жасанды интеллект технологиялары арқылы бағалау бойынша жүргізілген зерттеулер нәтижесінде келесі қорытынды жасауға болады:

1 Ертіс өзенінің Павлодар облысы учаскесіндегі су айдыны динамикасын бағалауы толық орындалды. Sentinel-2 және Landsat-8 мультиспектрлік деректері

негізінде 2021 - 2025 жылдар аралығындағы су тасқынының сандық көрсеткіштері жинақталып, талданды. Жүргізілген жұмыс нәтижесінде соңғы 5 жылда су басу алқаптарының 10% дейін қысқарғаны анықталды.

2 Google Earth Engine платформасында Random Forest алгоритмі негізінде трансшекаралық өзен бассейндерін автоматты түрде классификациясы жүргізілді. Бұл тәсіл су бетін жіктеуін 95,2% дәлдікпен орындауға мүмкіндік берді, бұл дәстүрлі шектік әдістерден (NDWI) едәуір жоғары.

3 Алынған нәтижелер су ресурстарын басқару органдары үшін өзен арнасының таяздануын және жайылмалы экожүйелердің деградациясын нақты уақыт режимінде бақылауға арналған дайын инженерлік шешім болып табылады. Сонымен қатар, суды тиімді бөлу және экологиялық қауіп-қатерлерді болжау міндеттері үшін қолдануға болады.

4 Зерттеу барысында оптикалық деректердің бұлттылыққа тәуелділігі негізгі шектеу ретінде анықталды. Осыған байланысты болашақ зерттеулердің перспективасы ретінде оптикалық деректерді Sentinel-1 радарлық деректерімен біріктіру (Data Fusion) және терең оқыту (Deep Learning) модельдерін енгізу қарастырылады. Бұл бағыт Ертіс өзенінің ауа райына тәуелсіз, тәулік бойы жұмыс істейтін «цифрлық егізін» құруға жол ашады.

МҮДДЕЛЕР ҚАРАМА-ҚАЙШЫЛЫҒЫ: Мүдделер қарама-қайшылығының жоқтығын мәлімдейді.

АЛҒЫС БІЛДІРУ: Павлодар облысы бойынша Ертіс бассейндік инспекциясының мамандарына берілген мәліметтер үшін, сондай-ақ мақаланың әдістемелік бөлімін жақсартуға үлес қосқан ғылыми кеңесшілер мен рецензенттерге алғыс білдіреді.

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ҚОЛДАНУ ТУРАЛЫ ХАБАРЛАМА: Осы ғылыми мақаланы дайындау барысында мәтінді құрылымдау, редакциялау және ғылыми стильді түзету үшін генеративтік жасанды интеллект құралдарын пайдаланылды. Сонымен қатар, зерттеудің «Нәтижелер» бөлімінде деректерді классификациялау үшін Google Earth Engine платформасындағы машиналық оқыту алгоритмдері қолданылды. Мақаланың мазмұны мен фактілерінің дәлдігіне толық жауапкершілік көтереді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Қазақстан Республикасының Су кодексі. 2003 жылғы 9 шілдедегі № 481-II (2026 жылғы өзгерістермен) (2026) <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/K2500000178> // Qazaqstan Respublikasynyñ Su kodeksi. 2003 jylǵy 9 şildedegı № 481-II (2026 jylǵy ózgeristermen) (2026) <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/K2500000178>
- Мұхамеджанов А.К. (2023). Қазақстанның су ресурстарын қашықтықтан зондтау және ГАЖ технологиялары негізінде зерттеу: Монография. - Алматы: Ғылым, 2023. - 240 б. // Mūhamejanov A.K. (2023). Qazaqstannyñ su resurstaryn qaşyqtyqtan zondtau jäne GAJ tehnologialary negizinde zertteu: Monografıa. - Almaty: Ğylym, 2023. - 240 b.
- Breiman L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45(1), 5 - 32.
- Gorelick N. et al. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, P. 18 - 27 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425717302900>
- Gemini 3 Flash. (2026, ақпан 21). Мақала мәтінін құрылымдау және ғылыми стильге келтіру бойынша сұраныс [Үлкен тілдік модель]. Google AI. <https://gemini.google.com/> // Gemini 3 Flash. (2026, ақпан 21). Maqala мәтінін құрылымдау және ғылыми стилге келтіру бойынша сұраныс [Үлкен тілдік модель]. Google AI. <https://gemini.google.com/>
- McFeeters S.K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425 - 1432.
- Sentinel-2 User Handbook. European Space Agency (ESA) (2023). <https://sentinel.esa.int/>

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РИСКОВ В СИСТЕМЕ «ЧЕЛОВЕК–СРЕДА–ТЕХНОЛОГИИ»

УДК 004.891.2

Е.В. Черепанова^{1*}, О.А. Петрова¹

¹ ВКТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

*Автор-корреспондент: Черепанова Е.В., e-mail: li02za05ve04ta@gmail.com

АННОТАЦИЯ. Статья посвящена исследованию эффективности применения технологий искусственного интеллекта для прогнозирования рисков в системе «человек–среда–технологии». Рассматриваются особенности формирования рисков в условиях цифровизации и усложнения техносферы, а также ограничения традиционных методов их оценки. В работе анализируются современные подходы к прогнозированию рисков, включая методы машинного обучения и интеллектуального анализа данных. Особое внимание уделяется разработке модели прогнозирования рисков с использованием алгоритмов искусственного интеллекта и оценке её эффективности. Показано, что применение интеллектуальных технологий позволяет повысить точность прогнозирования, снизить влияние человеческого фактора и обеспечить переход к проактивному управлению безопасностью.

Ключевые слова: искусственный интеллект, прогнозирование рисков, безопасность жизнедеятельности, человек-среда-технологии, машинное обучение, техногенные риски.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях цифровизации экономики и активного внедрения новых технологий система «человек–среда–технологии» становится всё более сложной и динамичной. Рост техногенной нагрузки, увеличение объёмов информации и высокая скорость изменений приводят к усложнению процессов управления безопасностью жизнедеятельности.

Традиционные методы оценки рисков, основанные на статистическом анализе и экспертных оценках, не всегда позволяют своевременно выявлять потенциальные угрозы. Это связано с их ограниченной способностью учитывать большие массивы разнородных данных и нелинейные взаимосвязи между элементами системы.

В этой связи особую актуальность приобретает использование технологий искусственного интеллекта, способных анализировать большие данные, выявлять скрытые закономерности и формировать прогнозы в условиях неопределенности.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ — оценить эффективность применения искусственного интеллекта для прогнозирования рисков в системе «человек–среда–технологии».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве материалов исследования использовались данные открытых источников, включающие научные публикации, статистические отчеты и аналитические обзоры, посвященные применению искусственного интеллекта в области прогнозирования рисков и управления сложными системами. Дополнительно привлекались данные мониторинга техногенных, экологических и социально-экономических процессов, отражающие функционирование системы «человек–среда–технологии». Информационная база формировалась с учетом актуальности, достоверности и репрезентативности используемых данных.

Методы исследования основывались на комплексном подходе, включающем анализ и обобщение научной литературы, сравнительный анализ существующих

моделей прогнозирования рисков, а также методы системного анализа. Для оценки эффективности применения искусственного интеллекта использовались методы моделирования и прогнозирования, включая элементы машинного обучения. Кроме того, применялись методы качественной и количественной оценки, позволяющие определить точность, адаптивность и устойчивость используемых моделей в условиях неопределенности и динамичности внешней среды.

В качестве объекта исследования рассматриваются процессы обеспечения безопасности жизнедеятельности в системе «человек–среда–технологии».

Для достижения поставленной цели используются следующие методы:

- Системный анализ структуры рисков;
- Методы математического моделирования;
- Алгоритмы машинного обучения (классификация, регрессия, нейронные сети);
- Сравнительный анализ точности прогнозов.

В рамках исследования разработана модель прогнозирования рисков, основанная на анализе следующих параметров:

- Состояние технических систем;
- Показатели окружающей среды;
- Данные о действиях и состоянии персонала.

Для обработки данных применяются алгоритмы машинного обучения, позволяющие выявлять закономерности и прогнозировать вероятность возникновения аварийных ситуаций.

Оценка эффективности модели проводится по следующим критериям:

- Точность прогнозирования;
- Чувствительность модели;
- Устойчивость к изменениям входных данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Оценка эффективности применения искусственного интеллекта для прогнозирования рисков в системе «человек–среда–технологии» становится одной из ключевых задач современной науки и практики, обусловленной усложнением техносферы и ростом неопределенности в социально-экологических и производственных процессах. Развитие цифровых технологий и методов анализа больших данных позволяет существенно расширить возможности традиционных подходов к управлению рисками, основанных преимущественно на статистических и экспертных оценках. Искусственный интеллект, включая методы машинного обучения и глубоких нейронных сетей, способен выявлять скрытые закономерности, обрабатывать многомерные и разнородные данные, а также формировать прогнозы в условиях неполной и зашумленной информации, что особенно важно для комплексных систем, включающих человека, окружающую среду и технологическую инфраструктуру.

В рамках системы «человек–среда–технологии» риски носят комплексный и взаимосвязанный характер, поскольку изменения в одном из элементов неизбежно отражаются на других. Например, техногенные аварии могут быть обусловлены как отказами оборудования, так и человеческим фактором, а также воздействием внешней среды. Применение искусственного интеллекта позволяет интегрировать данные из различных источников — сенсорных систем, экологического мониторинга, производственных процессов и поведенческих моделей человека — и формировать более точные и своевременные прогнозы потенциальных угроз. Это, в свою очередь, способствует переходу от реактивного управления к проактивному, когда меры по предотвращению рисков принимаются до возникновения критических ситуаций.

В результате проведенного исследования установлено, что применение методов искусственного интеллекта позволяет существенно повысить эффективность прогнозирования рисков.

Разработанная модель показала:

- Повышение точности прогнозирования на 20–30% по сравнению с традиционными методами;
- Возможность выявления скрытых зависимостей между факторами риска;
- Снижение влияния человеческого фактора при анализе данных.

Особенно эффективным оказалось использование нейронных сетей, способных учитывать нелинейные зависимости и адаптироваться к изменяющимся условиям.

Сравнение с традиционными методами показало, что последние имеют ограниченную применимость в условиях высокой неопределенности и динамичности системы.

Вместе с тем выявлены следующие ограничения:

- Необходимость больших объёмов качественных данных;
- Сложность интерпретации результатов моделей;
- Необходимость адаптации моделей к конкретным условиям Казахстана.

Полученные результаты подтверждают целесообразность внедрения интеллектуальных систем в процессы управления безопасностью.

Эффективность использования искусственного интеллекта в данной области оценивается по ряду критериев, включая точность прогнозов, скорость обработки данных, адаптивность моделей и их способность к самообучению. Существенным преимуществом является возможность непрерывного обновления моделей на основе новых данных, что повышает их актуальность в условиях динамично изменяющейся среды. Вместе с тем существуют и ограничения, связанные с качеством исходных данных, необходимостью интерпретируемости моделей и рисками принятия решений на основе непрозрачных алгоритмов. Важным аспектом остается обеспечение доверия к таким системам со стороны пользователей и специалистов, принимающих решения.

Дополнительным фактором является необходимость учета этических и правовых аспектов применения искусственного интеллекта, особенно в контексте систем, затрагивающих безопасность человека и окружающей среды. Ошибки в прогнозировании могут привести к значительным экономическим потерям или угрозам для жизни и здоровья людей, что требует разработки механизмов верификации и контроля алгоритмов. В этом контексте актуальным становится сочетание интеллектуальных технологий с экспертными оценками и традиционными методами анализа рисков.

Таким образом, применение искусственного интеллекта для прогнозирования рисков в системе «человек–среда–технологии» представляет собой перспективное направление, способное существенно повысить эффективность управления сложными системами. При условии обеспечения качества данных, прозрачности моделей и соблюдения нормативных требований такие технологии могут стать важным инструментом обеспечения устойчивого развития и повышения уровня безопасности в различных сферах деятельности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, применение искусственного интеллекта для прогнозирования рисков в системе «человек–среда–технологии» демонстрирует значительный потенциал в повышении качества и оперативности управленческих решений. Использование интеллектуальных алгоритмов позволяет учитывать сложную взаимосвязь факторов, воздействующих на безопасность и устойчивость системы, обеспечивая более точное выявление угроз и снижение уровня неопределенности. В отличие от традиционных подходов, искусственный интеллект способен работать с большими массивами разнородных данных в режиме реального времени, что особенно важно в условиях быстро меняющейся внешней среды и усложнения технологических процессов.

Вместе с тем эффективность таких решений напрямую зависит от качества исходной информации, корректности построения моделей и уровня их интерпретируемости. Существенное значение имеет интеграция интеллектуальных методов с экспертными знаниями, что позволяет повысить достоверность прогнозов и снизить вероятность ошибок. Не менее важным является соблюдение этических и нормативных требований, направленных на обеспечение безопасности и прозрачности применения технологий искусственного интеллекта.

В перспективе дальнейшее развитие данного направления связано с совершенствованием алгоритмов, расширением источников данных и повышением доверия к интеллектуальным системам. Это создаст условия для более эффективного управления рисками и обеспечения устойчивого функционирования сложных социотехнических систем.

В ходе исследования была проведена оценка эффективности применения искусственного интеллекта для прогнозирования рисков в системе «человек–среда–технологии».

Установлено, что использование интеллектуальных технологий позволяет:

- Повысить точность и оперативность прогнозирования;
- Учитывать комплексное влияние факторов;
- Перейти к проактивному управлению безопасностью.

Научная новизна работы заключается в разработке модели прогнозирования рисков с использованием методов машинного обучения в рамках системного подхода.

Практическая значимость заключается в возможности применения полученных результатов в системах промышленной и экологической безопасности.

В дальнейшем целесообразно развивать методы интеграции искусственного интеллекта с системами мониторинга и совершенствовать нормативную базу их применения.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев В. Н., Зуев Ф. А. Риски развития искусственного интеллекта в отдельных отраслях экономики России // Проблемы экономики и юридической практики. – 2023. – Т. 19, № 3. – С. 185–191.
- Атажанов А. У. Применение искусственного интеллекта в бизнес-планировании и прогнозировании // Innovations in Science and Technologies. – 2024. – Т. 1, № 4. – С. 47–59.
- Ходжарахманова Н. Б. Цифровые инновации и искусственный интеллект как факторы обеспечения безопасности в условиях глобальных рисков // Ta'lim innovatsiyasi va integratsiyasi. – 2025. – Т. 56, № 1. – С. 243–249.

СОДЕРЖАНИЕ

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ		
1.	Б.Е.Абдігаппар, Б.Б.Серикбаева, А.С.Амангазинова, Б.М. Толыкбаева ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ВЗРЫВОВ НА НЕФТЯНЫХ ОБЪЕКТАХ И МЕТОДЫ ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА	3
2.	Абылқаж Ж., Тунғышбаева З.К. ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ТЕХНОЛОГИИ КРЕПЛЕНИЯ ОСЛАБЛЕННЫХ УЧАСТКОВ РУДНОЙ ЗОНЫ 4 В УСЛОВИЯХ РУДНИКА «СУЗДАЛЬ»	8
3.	Ш.Э. Адаханбек, Ж.К. Идришева ҚАНДЫСУ ӨЗЕНІ АЛАБЫНДАҒЫ (ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН) ШАҒЫН ТҰЗДЫ КӨЛДЕРДЕГІ МИРАБИЛИТТІҢ МИНЕРАЛОГИЯЛЫҚ - ГЕОХИМИЯЛЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ МЕН ҚАЛЫПТАСУ ЖАҒДАЙЛАРЫ	12
4.	Ж.Н. Айтбаев, О.А. Петрова ИЗУЧЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВРЕДНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ НА РАБОТНИКОВ ПЛАВИЛЬНОГО ЦЕХА СВИНЦОВОГО ЗАВОДА УСТЬ-КМЕННОГОРСКОЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЛОЩАДКИ	18
5.	А.А. Айтказина, Г.К.Даумова ОРЛОВ ШАХТАСЫ ЖҰМЫС ОРЫНДАРЫНДАҒЫ ЕҢБЕК ЖАҒДАЙЛАРЫНА МИКРОКЛИМАТТЫҚ ФАКТОРЛАРДЫҢ ӨСЕРІН БАҒАЛАУ	24
6.	Е.А. Амангельдин, Ө.Б. Раипұлы, Д.Ж. Ордабек, Ж.З.Капжапарова АЛПЫС КЕН ОРНЫНЫҢ КОЛЧЕДАН АЛТЫН-ПОЛИМЕТАЛЛ КЕНДЕРІНІҢ КОРЛАРЫН ЕСЕПТЕУ ЦИФРЛЫҚ ТРАНСФОРМАЦИЯЛАУ ЖӘНЕ 3D МОДЕЛДЕУ	28
7.	А.М. Апсаламов, Б. Апшикур СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ПЛОЩАДИ ОЗЕРА ЗАЙСАН ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВ LANDSAT 8 И SENTINEL-2	34
8.	А.Д. Акилбаева, О.А. Петрова ЭКОЛОГО–ХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ПОД ВЛИЯНИЕМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	40
9.	Аманкельды К.К., Даумова Г.К. КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ СОРБЕНТА	46
10.	А.Н. Атажанова, Г.К. Даумова ТАЙЖҰЗГЕН КЕН ОРНЫНЫҢ ЦЕОЛИТІН ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ АУЫЗ СУДЫ ТАЗАЛАУДЫ ЗЕРТТЕУ	51
11.	Д.Т. Алматова, А.А. Калачев, С.С. Лутай ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ НЕЗАКОННЫХ РУБОК ЛЕСА НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ	56
12.	М.Н. Аубакирова, А.А. Калачев, С.С. Лутай СІБІР САМЫРСЫНЫНЫҢ (<i>лат. Lärrix sibírica</i>) ӨРТҮРЛІ КЛИМАТТЫҚ ЖАҒДАЙЛАРДА ӨСУІ МЕН ДАМУЫ	62
13.	М. Өубәкіров, Б. Апшикур ТАУ-КЕН ӨНДІРІСІНІҢ ҚОРШАҒАН ОРТАҒА ӨСЕРІН БАҒАЛАУДА ЖЕРДІ ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДЫЛАУ МАТЕРИАЛДАРЫН ҚОЛДАНУДЫҢ ТИІМДІЛІГІ	67
14.	Р.А. Белозеров, А.А. Халина, Б.М. Толыкбаева ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ: ВОЗМОЖНОСТИ, МОДЕЛИ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ	72

15.	А.Т. Битибаева, М.М. Тогузова АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К ПРИМЕНЕНИЮ ИИ В ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УЯЗВИМОСТИ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ	76
16.	Ж.Б. Болатбек, Ж.К. Идришева ЖОҒАРҒЫ ОҚУ ОРЫНДАРЫНДАҒЫ АУДИТОРИЯЛАР МЕН ЗЕРТХАНАЛАРДАҒЫ МИКРОКЛИМАТТЫҚ ЖАҒДАЙЛАРДЫ КЕШЕНДІ ТАЛДАУҒА ӘДЕБИ ШОЛУ	83
17.	Д.А. Вербенкина, Ж.Е. Нурсолтанова, Б.М. Толыкбаева ИИ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПРИРОДНЫХ КАТАСТРОФ: ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ И ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ	88
18.	Д.Е. Воробьев, Н.А. Зимановская ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЕКТА ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА УГЛЯ	93
19.	Д.Е. Гавриленко, Г.К. Даумова ВНЕДРЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ОТБОРА ПРОБ ПО ПРОМЫШЛЕННОЙ ГИГИЕНЕ НА ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ КАЗАХСТАНА	99
20.	А.Р. Досымбеков, Н.Д. Сатылхан, Н.М. Сағатбеков АЭРОФОТОСУРЕТТЕРДІ ДЕШИФРЛЕУ ЖӘНЕ СИПАТТАУ ҮШІН ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТТІ ҚОЛДАНУ	104
21.	Д.Р. Енсебаев, Н.А. Зимановская СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПОИСКОВ СКРЫТОГО МЕДНО-МОЛИБДЕНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ (НА ПРИМЕРЕ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ ЕГЕМЕН)	110
22.	К.В. Еремеева, М.М. Тогузова ОЦЕНКА АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И АГРОПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ГРУППИРОВКА ЗЕМЕЛЬ ЗАЙСАНСКОГО РАЙОНА	115
23.	А.К. Жаксыбаев, Е.Н. Тусупов, О.Н. Кузьмина ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА СУЛЬФИДНОЙ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕЙ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ	121
24.	Ж.Ә. Жанарбеков, О.А. Петрова ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ДОБАВОК НА ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕКТРОЭКСТРАКЦИИ ЦИНКА И ОПТИМИЗАЦИЮ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТРУДА	125
25.	Б. Жұмағали, М.М. Тогузова ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДТАУ ДЕРЕКТЕРІ НЕГІЗІНДЕ ЖЕР ЖАМЫЛҒЫСЫНЫҢ ӨЗГЕРІСІН ТАЛДАУ (NDVI ЖӘНЕ SAVI ИНДЕКСТЕРІ АРҚЫЛЫ)	132
26.	Ж. Еркинбай, М.Р. Тогузова, Ә.Е. Кайсанова РЕКРЕАЦИЯЛЫҚ МАҚСАТТАҒЫ ЖЕРЛЕРДІ ПАЙДАЛАНУДЫ МОНИТОРИНГІЛЕУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ	139
27.	Ф.Р. Еркинова, Н.Қ. Қайербек, А.М. Исатова, М.М. Тогузова ЖЕР ҚАТЫНАСТАРЫН РЕТТЕУДІҢ ӨЗЕКТІ МӘСЕЛЕЛЕРІ	145
28.	А.Т. Инкирбаев, М.М. Тогузова АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ ЗА ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ И ОХРАНОЙ ЗЕМЕЛЬ В ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ	149
29.	Р.К. Калиев, М.А. Мизерная ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК ФАКТОР ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ НАУК О ЗЕМЛЕ В УСЛОВИЯХ ИНДУСТРИИ 4.0 В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН	155
30.	Е.К. Калиахметова, Г.К. Даумова САМАР АУДАНЫ АУЫЛДЫҚ МЕКЕНІНДЕГІ ҚҰДЫҚТАРДЫҢ АУЫЗ СУЫН ЭКОЛОГИЯЛЫҚ-САНИТАРЛЫҚ БАҒАЛАУ	161
31.	С.А. Кенесказы, Т.С. Кенесказы ИЗУЧЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА МОЛИБДЕНОВО-МЕДНЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ КЫЗЫЛКИЯ	166

32.	Т.С. Кенесказы, С.А. Кенесказы ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПОДСЧЁТ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ ЗОЛОТА УЧАСТКА КОВАЛЕВСКИЙ (АКМОЛИНСКАЯ ОБЛАСТЬ)	172
33.	А.Б. Каукенов, Г.К. Даумова СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК РАССЛЕДОВАНИЯ ПРОИСШЕСТВИЙ FGR И ICAM В ПРОМЫШЛЕННОЙ ОТРАСЛИ	176
34.	А. Кеңшілікұлы, А.А. Калачев, С.С. Лутай, А.О. Лутай КАТОНҚАРАҒАЙ МЕМЛЕКЕТТІК ҰЛТТЫҚ ТАБИҒИ ПАРКІ ОРМАНДЫ АУМАҒЫНДАҒЫ ЛИСТВЯГА ЖӘНЕ ҚАТЫН ЖОТАЛАРЫНЫҢ СОЛТҮСТІК МАКРО БЕТКЕЙЛЕРІНДЕГІ ҚЫЛҚАН ЖАПЫРАҚТЫ АҒАШ-БҰТАЛЫ ТҮРЛЕРІНІҢ ПЕРСПЕКТИВАЛЫҚ АССОРТИМЕНТІН МОЛЫҚТЫРУ ЖӘНЕ КҮТІП БАПТАУ	182
35.	Я.Е. Каирдинова, М.М. Тогузова АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗОН ГОРОДА УСТЬ-КАМЕНОГОРСКА	187
36.	А.А. Кутубаева, К.В. Соколов, Я.С.Ковалева ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АНАЛИЗА ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ СООРУЖЕНИЙ БУХТАРМИНСКОГО ШЛЮЗА	193
37.	Ә.Н. Кезенбаева, Б. Апшикур АНАЛИЗ ВНЕДРЕНИЯ НОВОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ QAZTRF-23 НА СИСТЕМЫ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН	199
38.	К.Ю. Ларионова, О.Н. Кузьмина, Т.А. Ойцева, Д.Е. Тұрсұнғалиев ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД ВЫШЕ-ИВАНОВСКОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ (ВОСТОЧНЫЙ КАЗАХСТАН)	203
39.	С.С. Лутай, С.В. Залесов, А.Л. Воробьев, А.О. Лутай ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИТОРЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ СТИМУЛИРОВАНИЯ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН	208
40.	М.М. Маралбаев, Б. Апшикур ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ МЕН ЖЕРДІ ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДТАУ ДЕРЕКТЕРІН ГИДРОТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРЫЛЫСТАРДЫҢ ТЕХНИКАЛЫҚ ЖАЙ-КҮЙІН БАҒАЛАУДА ПАЙДАЛАНУ (БҰҚТЫРМА СУ ҚОЙМАСЫ МЫСАЛЫНДА)	213
41.	Н.Р. Махсудова, Ж.Қ. Нұролда, Д.Н. Нұрлан, Б.М. Толыкбаева ҚАЛАЛАРДАҒЫ АУА ЛАСТАНУЫН БАҚЫЛАУДА ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТТІ ҚОЛДАНУ	218
42.	Ш.Т. Мұрат, Ж.Қ. Әбжанов, Ә.Б. Амантаев, Г.С. Сыпайнова, И.Е. Матайбаева ҚАЛБА АЛТЫН КЕН ОРНЫ (ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН) МЫСАЛЫНДА ГЕОЛОГИЯЛЫҚ БАРЛАУ ЦИКЛІН ЦИФРЛЫҚ ТРАНСФОРМАЦИЯЛАУ	222
43.	А.Е. Нұрпеисов, А.Б. Сатимбекова ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ НЕГІЗІНДЕ ӨНЕРКӘСІПТІК АЙМАҚТАҒЫ АТМОСФЕРАЛЫҚ АУАНЫҢ САПАСЫН БОЛЖАУ МОДЕЛЬДЕРІН ҚАЛЫПТАСТЫРУ	229
44.	М.А. Орынғазы, А.А. Калачев, С.С. Лутай, А.О. Лутай ИЗУЧЕНИЕ ВОЛОДУШКИ КАК ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТЕНИЯ КАЗАХСТАНСКОГО АЛТАЯ: БОТАНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА, СЫРЬЕВЫЕ ЗАПАСЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В НАРОДНОЙ МЕДИЦИНЕ	236
45.	В.О. Парубчишина, О.А. Петрова, А.А. Полякова, В.В. Литвинов ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИИ В ОЦЕНКЕ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА ГОРНОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ	241

46.	Е.О. Порожская, Б.М. Толыкбаева ФСОРТИРОВКА И ПЕРЕРАБОТКА ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ С ПОМОЩЬЮ ИИ	248
47.	А.П. Пяткова, М.А. Мизерная, А.В. Пятков, М.П. Половко ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ КОМПИЛЯЦИИ ОСНОВНЫХ ДАННЫХ ПО ГЕОЛОГИИ С УЧЕТОМ МАТЕРИАЛОВ ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ	253
48.	Е.О. Раков, Г.И. Щербатых, С.Н. Альжапарова ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ДИАГНОСТИКИ МИНЕРАЛОВ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД В АНШЛИФАХ	257
49.	О.К. Ракишев, Ж.К. Идришева РАХМАНОВ КӨЛІНІҢ СУ ОРТАСЫ МЕН ТҮПТІК ШӨГІНДІЛЕРІНІҢ ГЕОХИМИЯЛЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ	262
50.	Т. О. Рахимжанов, О. А. Сатыбалдиев, А. С. Касенова, Б.М. Толыкбаева НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІЛЕР АРҚЫЛЫ ӨНДІРІСТІК АПАТТАРДЫ БОЛЖАУ	266
51.	А.В. Русаков, М.М. Тогузова МОНИТОРИНГ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УЧАСТКА РЕКИ ЕРТИС ПРИ УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ SENTINEL-2 И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ	270
52.	Е.Н.Сирюк, К.М.Смаилова, Д.А. Танырбергенова ВОЗМОЖНОСТИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ВЕДЕНИИ РАБОТ НА ОБНАРУЖЕНИЕ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	276
53.	М.А. Токтогонова, М.А. Мизерная ИНТЕГРАЦИЯ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СКРЫТЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	279
54.	А.Р. Төлеуов, Н.А. Зимановская ПРАКТИКА ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ QA/QC В ГЕОЛОГОРАЗВЕДКЕ КАЗАХСТАНА: ПРОБЛЕМЫ, СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ	283
55.	Д. Д. Тулегенов ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ АРТЕМЬЕВСКОЕ	286
56.	А.А.Успанова, М.М. Тогузова СРАВНЕНИЕ КАЗАХСТАНСКОГО И ЗАРУБЕЖНОГО ПОДХОДОВ К КАДАСТРОВОМУ УЧЁТУ	290
57.	Э.Р.Эжгиреева, Ю.Д.Гусаренко ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА СПУТНИКОВЫХ СНИМКАХ SENTINEL-2 (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ Г. УСТЬ-КАМЕНОГОРСКА)	295
58.	Б.Б. Мұратбек, С.Қ. Сайлапкеров, А.Б. Сеильханова ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ PM2.5 В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИБРИДНЫХ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	302
59.	А.Е.Рахимова, М.Е.Рахымбердина ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ В КАЗАХСТАНЕ	307
60.	Д.Б. Муқышев, А.Б. Сеильханова, Б. Апшикур ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАННЫҢ СИРЕК МЕТАЛДЫ ЖӘНЕ СИРЕК ЖЕР КЕНДЕНУІН БОЛЖАУ ҮШІН ЖҚЗ, ҰҒА ДЕРЕКТЕРІН ЖӘНЕ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ӨДІСТЕРІН ИНТЕГРАЦИЯЛАУ	314
61.	Б.Ж. Мейрамханова, Ә.А. Қайсаханова, Е.Ә. Найманбай, М.М. Тогузова ӨНЕРКӘСІПТІК ҚАЛАЛАРДАҒЫ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГТІҢ ЦИФРЛЫҚ ТРАНСФОРМАЦИЯСЫ	320

62.	С.Қ. Сайлапкеров, Е.А. Еркімбек ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДАУ ДЕРЕКТЕРІН ӨНДЕУДЕГІ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ	325
63.	Е.М. Самигазин, Г.К. Даумова ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРОЦЕССАХ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА	329
64.	С.А.Сулейменова, А.К.Сальникова, Б.М.Толыкбаева ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ КАЗАХСТАНА	334
65.	Д.Т.Төрегелдиева, А.Жеңісбек, А.А.Советова, Р.Қ.Мерекенов, М.И. Кайсина ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН МЫСАЛЫНДА ТАБИҒИ ӨРТТЕРДІҢ ТУЫНДАУ ТӘУЕКЕЛІН БАҒАЛАУ	338
66.	А.Қ. Хамбарханова, М.Е. Рахымбердина ЕРТІС ӨЗЕНІ БАССЕЙІНІНІҢ СУ РЕСУРСТАРЫН ҒАРЫШТЫҚ МОНИТОРИНГІЛЕУДЕ МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ АЛГОРИТМДЕРІН ҚОЛДАНУ	343
67.	Е.В. Черепанова, О.А. Петрова ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РИСКОВ В СИСТЕМЕ «ЧЕЛОВЕК–СРЕДА– ТЕХНОЛОГИИ»	347

Научное издание

**ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ИННОВАЦИИ:
НОВЫЕ ВЫЗОВЫ И ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ БУДУЩЕГО**

Материалы XII Международной научно-технической конференции
студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых,
посвященной году цифровизации и искусственного интеллекта
(ВКТУ, 9, 10 апреля 2026 г.)

Часть II

Сборник издан методом прямого копирования авторских статей
Ответственный за выпуск *О.Н. Николаенко*
Редактор *С.С. Мамыраздыкова*

Подписано в печать 20.04.2026. Формат 60х84/16.
Печать ризографическая. Бумага офсетная.
Усл.печ.л. 20,69. Уч.-изд.л. 20,74.
Тираж 20. Заказ № 151-2026.
Цена договорная.

Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева
070004, г. Усть-Каменогорск, ул. Протозанова, 69.