

Исследование влияния деятельности горно-металлургического комплекса на подземные воды и пути решения экологических проблем

К. Б. Рысбеков¹, С. Б. Шерубай¹, Е. С. Ауелхан¹,
Д. Сагин², О. Байтурбай^{1✉}

¹Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, Республика Казахстан

²Школа информационных технологий и инженерии,
Западно-Мичиганский университет (WMU), г. Каламазу, Мичиган, США

✉ o.baiturbay@satbayev.university

Резюме. Исследованы основные источники загрязнения водных ресурсов Республики Казахстан, включая подземные воды. Целью исследования является изучение загрязнения водных ресурсов тяжелыми металлами, обусловленного деятельностью ряда горно-обогатительных предприятий, расположенных на побережье озера Балхаш, а также разработка подхода к предотвращению загрязнения на основе дистанционного контроля. Предложен способ дистанционного мониторинга загрязнения водных ресурсов, позволяющий осуществлять непрерывный контроль состояния подземных вод. Результаты исследований внедрены на горнодобывающих предприятиях Казахстана и используются в образовательном процессе Казахского национального исследовательского технического университета имени К. И. Сатпаева.

Ключевые слова: водные ресурсы, загрязнение воды, вредные вещества, источники загрязнения, дистанционный мониторинг

Благодарность. Авторы выражают искреннюю благодарность специалистам БОФ за предоставленные материалы, содействие в проведении исследований и помощь при выполнении полевых наблюдений.

Для цитирования: Рысбеков К.Б., Шерубай С.Б., Ауелхан Е.С., Сагин Д., Байтурбай О. Исследование влияния деятельности горно-металлургического комплекса на подземные воды и пути решения экологических проблем. *Маркшейдерия и недропользование*. 2026; 26 (4): 13-18. <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-13-18>.

Study of the impact of the mining and metallurgical complex on groundwater and ways to address environmental problems

K. B. Rysbekov¹, S. B. Sherubai¹, E. S. Auelkhan¹,
J. Sagin², O. Baiturbay^{1✉}

¹Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev
(Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan

²School of Information Technology and Engineering,
Western Michigan University (WMU), Kalamazoo MI, USA

✉ o.baiturbay@satbayev.university

Abstract. The article investigates the main sources of water resource pollution in the Republic of Kazakhstan, including groundwater. The aim of the study is to examine the contamination of water resources by heavy metals resulting from the activities of several mining and ore-processing enterprises located along the shore of Lake Balkhash, and to develop an approach for pollution prevention based on remote monitoring technologies. A remote monitoring method for water resource contamination has been proposed, enabling continuous control of groundwater quality and condition. The research results have been implemented at mining enterprises in Kazakhstan and are used in the educational process at Satbayev University.

Keywords: water resources, water pollution, hazardous substances, pollution sources, remote monitoring

Gratitude. The authors express their sincere gratitude to the BOF specialists for the materials provided, assistance in conducting research and assistance in performing field observations.

For citation: Rysbekov K.B., Sherubai S.B., Auelkhan E.S., Sagin J., Baiturbay O. Study of the impact of the mining and metallurgical complex on groundwater and ways to address environmental problems. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2026; 26 (4): 13-18. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-13-18>.

Введение

Устойчивое существование человека и природной среды напрямую связано с обеспечением чистой водой. Тяжелые металлы относятся к числу неразлагаемых загрязнителей с длительным периодом сохранения в окружающей среде. Их воздействие представляет опасность как для живых организмов, так и для человека [1, 2], что делает данную проблему одной из наиболее серьезных экологических угроз во многих регионах мира [3]. Оценка риска, основанная на концентрациях тяжелых металлов в водных объектах, проводилась в различных странах, включая Китай [4], Индию [5] и другие государства. Загрязнение водных ресурсов тяжелыми металлами является распространенной проблемой в Казахстане [6] и ставит под угрозу хрупкую региональную экосистему вокруг крупнейшего бессточного озера Балхаш. Сельскохозяйственные пестициды были обнаружены в водопроводе и почвах в нескольких деревнях региона, как и тяжелые металлы в городских почвах. Балхашский обогатительный комбинат, расположенный на берегу озера, приводит к загрязнению тяжелыми металлами, причем кадмий и свинец уже есть и представляют серьезную опасность [7].

В Казахстане горно-металлургический комплекс (ГМК) является одной из ведущих отраслей промышленности, обеспечивающей добычу и переработку полезных ископаемых. Однако деятельность предприятий ГМК оказывает значительное воздействие на окружающую среду, в том числе на подземные воды. Загрязнение подземных вод представляет серьезную экологическую проблему, поскольку они являются важным источником питьевого и хозяйственного водоснабжения.

Основными источниками загрязнения подземных вод в районах горно-металлургической деятельности являются:

- шахтные и карьерные воды;
- хвостохранилища и отвалы;
- пруды-испарители;
- атмосферные осадки, проходящие через загрязненные территории;
- отходы металлургического производства.

В связи с этим **актуальным является исследование степени** воздействия ГМК на гидрогеологическую среду и ведение дистанционного мониторинга для оперативной оценки качества подземных вод.

Цель проводимых исследований – изучение техногенного загрязнения подземных вод на территории озера Балхаш и разработка экономичного, доступного способа экспресс-оценки суммарного индекса их загрязнения.

Объект и методы исследования подземных вод

Объектом исследования является Балхаш-Алакольский водохозяйственный бассейн, формирующий единую гидрологическую систему засушливой юго-восточной части Казахстана. Данные водные ресурсы имеют важное экологическое, хозяйственное и стратегическое значение, обеспечивая водоснабжение населения, промышленности и сельскохозяйственного сектора региона.

На современное состояние поверхностных и подземных вод существенное влияние оказывает техногенная деятель-

ность Балхашская обогатительная фабрика «Корпорация Kazakhmys» и хвостохранилища Актогайского ГОКа KAZ Minerals, расположенные в северной части озера Балхаш. В процессе горно-металлургического производства образуются отходы, содержащие тяжелые металлы и другие загрязняющие вещества, способные мигрировать как в поверхностные, так и в подземные воды [8, 9].

Одним из загрязнителей водных ресурсов является Балхашская обогатительная фабрика (БОФ) «Корпорация Kazakhmys», расположенная в северной части озера Балхаш. Кроме того, в южной части озера стоит первая АЭС «Балхаш», а в западной стороне расположен Акбакайский золоторудный район, деятельность которого также рассматривается как потенциальный источник загрязнения окружающей среды и водных объектов (рис. 1).

Таким образом, объект исследования включает поверхностные и подземные воды Балхаш-Алакольского бассейна, а также природно-техногенные процессы, формирующие экологическое состояние данной территории.



Рис. 1. Расположение Балхашской обогатительной фабрики, Акбакайского золоторудного района и АЭС «Балхаш» / Fig. 1. Location of the BOF, Akbakai gold mining district and Balkhash NPP

Методы исследования

Традиционно контроль качества подземных вод осуществлялся путем еженедельного, ежемесячного или ежеквартального отбора проб из каждой наблюдательной скважины с последующей транспортировкой образцов в лабораторию и их анализом по стандартным методикам. В настоящем исследовании в качестве альтернативного подхода предлагается метод экспресс-анализа загрязнения подземных вод. Основными преимуществами данного метода являются высокая скорость получения результатов, низкая стоимость проведения исследований, возможность осуществления мониторинга в режиме реального времени, а также мобильность используемого оборудования.

Мониторинг водных ресурсов

Источники загрязнения

В результате добычи и переработки месторождений полезных ископаемых подземные воды загрязняются. Источники загрязнения подземных вод приведены в таблице.

Таблица / Table

Основные виды загрязнителей /
The main types of pollutants

Загрязнитель	Источник	Воздействие
Тяжелые металлы (Pb, Cd, Zn, Cu, Hg)	Рудники, хвостохранилища	Токсичность, накопление в организме
Сульфаты	Окисление сульфидных минералов	Повышение минерализации
Нефтепродукты	Техника и транспорт	Ухудшение качества воды
Кислотные стоки	Шахтные воды	Изменение pH
Цианиды и реагенты флотации	Обогатительные фабрики	Высокая токсичность

В результате загрязнения снижается способность вод к насыщению кислородом, парализуется деятельность бактерий, минерализующих органические вещества. Все эти причины приводят к сильному загрязнению воды, особенно в замкнутых бассейнах-озерах. Промышленные сточные воды в Казахстане в основном загрязнены отходами и выбросами горнодобывающих и горно-обогатительных производств. Этому вопросу уделено особое внимание в Водном кодексе и Законе Республики Казахстан «О недрах и недропользовании» [10].

Вопрос строительства АЭС в Казахстане уже решен. В настоящее время решается проблема, что мы охраняем от деятельности горно-металлургического комплекса и радиационного влияния будущей АЭС. В первую очередь это жемчужина Казахстана – озеро Балхаш и прилегающие природные ресурсы. Во-вторых, разведанные в свое время К. И. Сатпаевым и включенные в металлогеническую карту Казахстана и оставленные нынешнему поколению минеральные ресурсы. Это меднорудные месторождения Центрального Казахстана, золоторудная Акбакайская зона (рис. 2), прилегающая к АЭС [11].



Рис. 2. Акбакайская золоторудная зона /
Fig. 2. Akbakai gold mining zone

Мониторинг состояния подземных вод
в зоне влияния хвостохранилища

Балхашская обогатительная фабрика расположена в 3 км от ближайших населенных пунктов. Хвостохранилище, эксплуатируемое с 1937 года, находится на северо-западном побережье озера Балхаш и примыкает к заливу Торангалык. Общий объем накопленных отходов превысил 428 млн тонн.

Для контроля состояния подземных вод по периметру хвостохранилища оборудована сеть из 10 наблюдательных скважин, в которых традиционно проводится ежеквартальный мониторинг. Анализ гидрохимического состава показал, что концентрации меди, хрома, цинка и мышьяка в жидкой фазе хвостов не превышают нормативных значений, однако превышают их содержание в подземных водах санитарно-защитной зоны. Наибольшему риску загрязнения подвержен первый от поверхности водоносный горизонт, используемый населением при отсутствии централизованного водоснабжения [12].

Обзорная карта-схема расположения Балхашской обогатительной фабрики ПО «Балхашцветмет» представлена на рисунке 3.

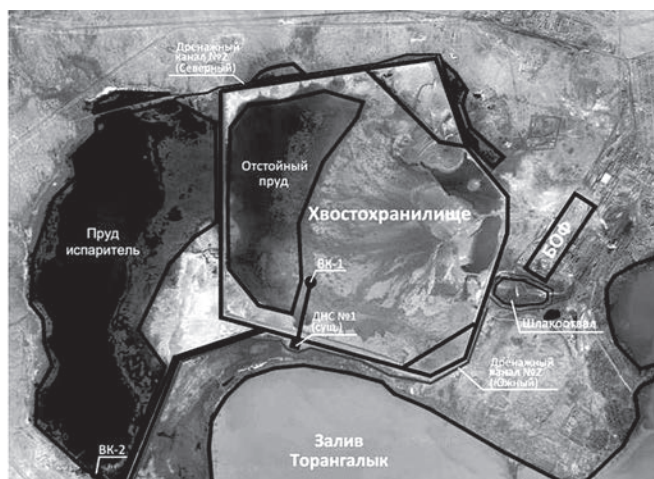


Рис. 3. Обзорная карта-схема расположения
Балхашской обогатительной фабрики /
Fig. 3. Overview map-layout of the Balkhash processing plant

Для повышения эффективности экологического контроля в Казахском национальном исследовательском техническом университете имени К. И. Сатпаева разработан программно-аппаратный комплекс (ПАК) дистанционного мониторинга подземных вод (рис. 4). Комплекс включает сеть наблюдательных скважин с погружными многопараметрическими датчиками, контроллерами, беспроводной связью LoRaWAN, базовой станцией, сервером обработки данных и автоматизированной системой оповещения. ПАК обеспечивает непрерывный сбор, передачу, обработку и визуализацию информации в режиме реального времени, исключает ручной сбор данных, повышает точность и оперативность мониторинга, а также позволяет своевременно выявлять изменения гидрохимического состояния подземных вод в соответствии с требованиями Экологического кодекса Республики Казахстан [13].

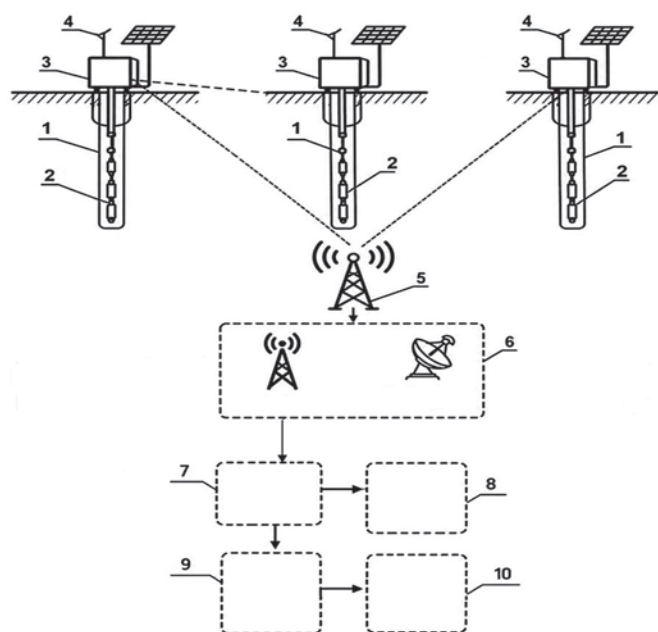


Рис. 4. Структурная схема способа экспресс-оценки загрязнения подземных вод: 1 – наблюдательные скважины; 2 – погружные датчики; 3 – контроллеры сбора и обработки данных; 4 – модули беспроводной связи; 5 – базовая станция; 6 – коммуникационный модуль передачи данных; 7 – сервер обработки данных; 8 – программный модуль анализа данных; 9 – пользовательский интерфейс; 10 – автоматизированная система оповещения /

Fig. 4. Block diagram of a method for rapid assessment of groundwater pollution: 1 – observation wells; 2 – submersible sensors; 3 – data acquisition and processing controllers; 4 – wireless communication modules; 5 – base station; 6 – communication module for data transmission; 7 – data processing server; 8 – software analysis module; 9 – user interface; 10 – automated notification system

Результаты и обсуждение

Разработанный программно-аппаратный комплекс (ПАК) дистанционного мониторинга подземных вод представляет собой интегрированную систему, обеспечивающую непрерывный контроль их состояния в режиме реального времени. В состав комплекса входят наблюдательные скважины, оснащенные автономными измерительными модулями. Каждый модуль включает погружной многопараметрический зонд, контроллер сбора и предварительной обработки данных, модуль беспроводной связи стандарта LoRaWAN и автономный источник питания.

Контроллер обеспечивает периодический опрос датчиков, предварительную обработку и буферное хранение измерительной информации, а также передачу данных по радиоканалу. Информация от всех наблюдательных скважин

поступает на базовую станцию (LoRaWAN-шлюз), где осуществляется ее прием, агрегация и последующая передача на удаленный сервер посредством каналов связи GSM, 4G или спутниковой связи. Сервер выполняет функции хранения, обработки, анализа и визуализации полученных данных, что позволяет оперативно оценивать состояние подземных вод и своевременно выявлять возможные отклонения [14, 15].

В соответствии с требованиями Экологического кодекса Республики Казахстан мониторинг подземных вод организован на участках потенциального техногенного воздействия. Контроль осуществляется на глубине залегания первого от поверхности водоносного горизонта, преимущественно в верхнечетвертичных отложениях и зоне открытой трещиноватости пород палеозойского возраста в пределах производственной инфраструктуры.

Мониторинг воздействия на водные ресурсы осуществляется непрерывно с использованием сети наблюдательных скважин. В районе эксплуатации хвостохранилища функционируют десять наблюдательных скважин, расположенных по его периметру на границе санитарно-защитной зоны. Полученные данные позволяют проводить постоянный контроль гидрохимического состояния подземных вод и своевременно выявлять возможные изменения их качества.

Выводы

1. Проведенные исследования показали, что деятельность предприятий ГМК оказывает существенное влияние на состояние подземных вод. Наибольшую экологическую опасность представляют загрязнение тяжелыми металлами, кислотный дренаж и повышение минерализации подземных вод. В связи с этим особое значение приобретает внедрение современных автоматизированных систем мониторинга, обеспечивающих непрерывный контроль гидрогеохимических показателей и оперативное выявление загрязнений.

2. Установлено, что основные очаги загрязнения приурочены к зонам размещения объектов горнодобывающей инфраструктуры. На исследуемой территории к наиболее значимым источникам техногенного воздействия относятся БОФ, объекты добычи полезных ископаемых, отвалы вскрышных пород и несанкционированные свалки. Полученные результаты свидетельствуют о стабильном характере воздействия крупных источников загрязнения во времени.

3. Эффективная защита подземных вод возможна только при комплексном подходе, включающем внедрение современных технологий очистки сточных вод, совершенствование систем дистанционного экологического мониторинга, соблюдение природоохранных требований и проведение рекультивационных мероприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Mohammadi A.A., Zarei A., Esmailzadeh M., et al. Assessment of Heavy Metal Pollution and Human Health Risks Assessment in Soils Around an Industrial Zone in Neyshabur, Iran. *Biological Trace Element Research*. 2020; 195 (1): 343-352. <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01816-1>.
2. Shokr M.S., Abdellatif M.A., El Behairy R.A., et al. Assessment of Potential Heavy Metal Contamination Hazards Based on GIS and Multivariate Analysis in Some Mediterranean Zones. *Agronomy*. 2022; 12 (12): 3220. <https://doi.org/10.3390/agronomy12123220>.
3. Rajendran S., Priya T.A.K., Khoo K.S., et al. A Critical Review on Various Remediation Approaches for Heavy Metal Contaminants Removal from Contaminated Soils. *Chemosphere*. 2022; 287: 132369. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132369>.
4. Qin Y., Tao, Y. Pollution status of heavy metals and metalloids in Chinese lakes: Distribution, bioaccumulation and risk assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2022; 248 (2): 114293. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.114293>.
5. Kumar A., Saxena P., Kisku G.C. Heavy Metal Contamination of Surface Water and Bed-Sediment Quality for Ecological Risk. Assessment of Gomti River, India. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 2023; 37: 3243-3260. <https://doi.org/10.1007/s00477-023-02447-8>.
6. Жирков В. Мониторинг подземных вод бассейна Балхаша; ТОО «Биосфера Казахстан». Караганда, 2019.

- Zhirkov V. Monitoring of groundwater in the Balkhash basin; Biosphere Kazakhstan LLP. Karaganda, 2019. (In Russ.).
7. Алимбаев Д.У., Омарова Б., Тулеубаева С., и др. Экологические проблемы водных ресурсов в Казахстане. В материалах веб-конференций E3S, Нальчик, Россия, 18–19 марта 2021 г. 2021; 244: 01004.
Alimbayev D.U., Omarova B., Tuleubayeva S., et al. Environmental problems of water resources in Kazakhstan. In the materials of the E3S web conferences, Nalchik, Russia, March 18–19, 2021. 2021; 244: 01004. (In Russ.).
 8. Muratkhanov D., Mirlas V., Anker Y., et al. Heavy metal transport reduction in groundwater from tailings storage of a beneficiation plant at Lake Balkhash, Kazakhstan. *Sustainability*. 2024; 16: 6816. <https://doi.org/10.3390/su16166816>.
 9. Смоляр В.А., Буров Б.В., Мустафаев С.Т. Подземные воды Казахстана: обеспеченность и использование. Караганда, 2012: 402.
Smolyar V.A., Burov B.V., Mustafaev S.T. Underground waters of Kazakhstan: availability and use. Karaganda, 2012: 402. (In Russ.).
 10. Кодекс Республики Казахстан «О недрах и недропользовании» от 27.12.2017 г. № 125-VI ЗРК (с изм. и доп.). Астана, 2017.
Code of the Republic of Kazakhstan «On Subsoil and Subsoil Use», No. 125-VI LRK, dated December 27, 2017 (as amended and supplemented). Astana, 2017. (In Russ.).
 11. Nurpeisova M., Menayakov K., Aitkazinova Sh., et al. Environmental and industrial safety of subsurface development near a nuclear power plant. *News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan, series of Geology and technical sciences*. 2026; 1 (475): 231-246. <https://doi.org/10.32014/2026.2518-170X.601>.
 12. Отчет «Реконструкция дренажного канала № 1 с устройством вертикального дренажа на хвостохранилище цеха складирования хвостов Балхашской обогатительной фабрики (БОФ)». Караганда, ТОО НИЦ «Биосфера Казахстана», 2016: 185.
Report «Reconstruction of drainage channel No. 1 with vertical drainage at the tailings storage facility of the Balkhash Processing Plant (BOF)». Karaganda, SIC «Biosphere of Kazakhstan» LLP, 2016: 185. (In Russ.).
 13. Экологический кодекс Республики Казахстан от 2 января 2021 года № 400-VI ЗРК (с изм. и доп.). Нур-Султан; Астана, 2021.
Environmental Code of the Republic of Kazakhstan dated January 2, 2021 No. 400-VI SAM (as amended and supplemented). Nur-Sultan; Astana, 2021. (In Russ.).
 14. Заявка на патент РК № 2026-46515. Способ дистанционного мониторинга загрязнения подземных вод (авторы: Нурпеисова М.Б., Ауелхан Е.С., Байтурбай О., Нукарбекова Ж.М.).
Application for the patent of the Republic of Kazakhstan No. 2026-46515. A method for remote monitoring of groundwater pollution (authors: Nurpeisova M.B., Auelkhan E.S., Bayturbai O., Nukarbekova Zh.M.). (In Russ.).
 15. Байтурбай О., Ауелхан Е.С., Нурпеисова М.Б. Загрязнение водных ресурсов – главная проблема рационального природопользования в Казахстане. *Молодой ученый*. 2026; 10.1 (613.1): 12-15.
Baiturbay O., Auelkhan E.S., Nurpeisova M.B. Pollution of water resources is the main problem of rational use of natural resources in Kazakhstan. *A young scientist*. 2026; 10.1 (613.1): 12-15. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Канай Бахытович Рысбеков –

канд. техн. наук, профессор, директор горно-металлургического института, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, Республика Казахстан; <https://orcid.org/0000-0003-3959-550X>

Сауле Балгаевна Шерубай –

магистр наук, проректор по академическим вопросам, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, Республика Казахстан; <https://orcid.org/0009-0009-5093-899X>

Ергали Сатышулы Ауелхан –

канд. техн. наук, профессор, директор института нефти и газа, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, Республика Казахстан; <https://orcid.org/0000-0002-4867-6910>

Джей Сагин –

PhD., профессор, профессор кафедры геоматической инженерии, Школа информационных технологий и инженерии (SITE), Западный Мичиганский университет (WMU), г. Каламазу, Мичиган, США; <https://orcid.org/0000-0002-0386-888X>

Орынбасар Байтурбай –

докторант, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, Республика Казахстан; <https://orcid.org/0000-0002-7654-2610>; e-mail: o.baiturbay@satbayev.university

ABOUT THE AUTHORS

Kanai B. Rysbekov –

Cand. Sci. (Eng.), Professor of the Department of Mine Surveying and Geodesy, Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0003-3959-550X>

Saule B. Sherubay –

MSc, Vice-Rector for Academic Affairs, Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan; <https://orcid.org/0009-0009-5093-899X>

Yergali S. Auelkhan –

Cand. Sci. (Eng.), Professor, Director of the Institute of Oil and Gas, Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev (Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0002-4867-6910>

Jay Sagin –

PhD., Professor, Geomatics Engineering, School of Information Technology and Engineering (SITE), Western Michigan University (WMU), Kalamazoo MI, USA; <https://orcid.org/0000-0002-0386-888X>

Orynbasar Baiturbay –

PhD student, Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0002-7654-2610>; e-mail: o.baiturbay@satbayev.university

Критерии авторства:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей.

Конфликт интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 15.07.2026

Поступила после рецензирования: 28.07.2026

Принята к публикации: 11.08.2026

Contribution:

The authors declare the equal contribution of everyone to the work on the article.

Conflict of interest:

The authors declare no conflict of interest.

Article info

Received: 15.07.2026

Revised: 28.07.2026

Accepted: 11.08.2026