

Разработка цифровой геологической базы данных Калба-Нарымского рудного пояса Восточного Казахстана

¹**АСЫЛХАНОВА Жанна Александровна**, магистр, зам. декана, ZhAssylkhanova@edu.ektu.kz,

^{1*}**РАХЫМБЕРДИНА Маржан Есенбековна**, PhD, декан, MRahymberdina@edu.ektu.kz,

¹**БЕКИШЕВ Еркебулан Темирханович**, докторант, YBekishev@edu.ektu.kz,

^{2,3}**ЛЕВИН Евгений**, PhD, профессор, elevin@mtu.edu,

¹**ГРОХОТОВ Евгений Витальевич**, старший научный сотрудник, info@geosat.biz,

¹НАО «Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева», ул. Д. Серикбаева, 19, Усть-Каменогорск, Казахстан,

²Школа прикладных вычислительных наук, медицинский колледж Мехарри, Нашвилл, Теннесси, США,

³Мичиганский технологический университет, Хоутон, Мичиган, США,

*автор-корреспондент

Аннотация. Рассмотрен процесс разработки цифровой геологической базы данных Калба-Нарымского рудного пояса Восточного Казахстана для создания геоинформационного портала с целью мониторинга и управления природными ресурсами с использованием космических снимков. Анализируется актуальность применения дистанционного зондирования Земли и геоинформационных систем в геологической отрасли, особенно в контексте роста потребности в современных инструментах пространственного анализа. Портал позволит интегрировать архивные и актуальные данные, обеспечивая визуализацию границ рудных месторождений и поддержку принятия управленческих решений. Основными элементами портала являются: база данных, представленная картографическими материалами масштаба 1 : 1 000 000 – 1 : 50 000, данные полевых обследований, спутниковые снимки и инструменты для анализа в виде автоматических AI-алгоритмов. Исследование подчеркивает важность создания цифровой инфраструктуры для эффективного недропользования и устойчивого развития региона и страны в целом.

Ключевые слова: Калба-Нарымская зона, геоинформационные системы, геопортал, карта, база данных, геологические исследования.

Введение

В условиях современного технологического уклада цифровизация становится ключевым фактором повышения эффективности и прозрачности стратегически значимых отраслей экономики. Геологическая отрасль, играющая важную роль в экономике Республики Казахстан как поставщик информации о минерально-сырьевых ресурсах, также находится в процессе активной цифровой трансформации. Внедрение цифровых решений в геологоразведочную деятельность позволяет оптимизировать процессы сбора, обработки и анализа геологических данных, повысить точность прогнозирования, а также обеспечить более эффективное управление природно-ресурсным потенциалом страны.

В Казахстане цифровизация геологической отрасли осуществляется в рамках государственной политики модернизации недропользования и привлечения инвестиций. Одним из ключевых шагов в этом направлении стало создание Национального банка данных минеральных ресурсов Республики Казахстан (ныне платформа «Kaznedra»), целью которого являются поиск участков недр, получение геологической информации и лицензий, а также формирование и сдача отчетности. Однако необходимо внедрение цифровых платформ и автоматизированных систем обработки информации, которые будут способствовать развитию «открытой геологии», повышать доступность данных для инвесторов и научного сообщества, а также обеспечивать прозрачность в сфере недропользования.

пользования [1]. Необходимость применения основных инструментов ДЗЗ и ГИС-технологий при геологических исследованиях показана и изучена многими учеными мира. В работе [2] дистанционное зондирование показано как один из важных инструментов для обнаружения месторождений полезных ископаемых, а также применения ГИС для интеграции и анализа различных геоданных на отдельных участках месторождений полезных ископаемых. Кроме того, существует ряд обзорных статей по аспектам геологического дистанционного зондирования, включая дистанционное зондирование для разведки полезных ископаемых [3], применение гиперспектрального дистанционного зондирования в геологии [4]. В Казахстане вопросу применения ДЗЗ уделяется большое внимание, например, в работах [5, 6] подчеркивается растущее значение технологий дистанционного зондирования в горнодобывающей промышленности Казахстана. Аспекты изучения и применения ДЗЗ в Восточном регионе страны показаны в следующих исследованиях [7, 8].

Методы исследований

Несмотря на достижения, процесс цифровизации сталкивается с рядом вызовов: недостаточная стандартизация данных, ограниченный доступ к историческим архивам, нехватка кадров, владеющих современными навыками программирования, и необходимость обеспечения кибербезопасности. Важно понимать, что обработать большие объемы пространственных данных, полученных в результате геологоразведочных работ, дистанционного зондирования Земли будет сложно традиционными методами хранения и обработки информации, что приводит к длительному решению поставленных задач. Для решения данной проблемы целесообразно использовать геопорталы, как специализированные информационные системы, обеспечивающие централизованный доступ к геологическим и геофизическим данным, их визуализацию, анализ и распространение. Они способствуют повышению эффективности геологоразведочных работ, оптимизации процессов принятия решений и привлечению инвестиций в отрасль. Использование спутниковых снимков высокого и сверхвысокого разрешения в сочетании с ГИС-технологиями обеспечивает новый уровень анализа месторождений полезных ископаемых, оптимизируя как научные исследования, так и прикладные задачи в области недропользования.

На международном уровне существует ряд геоинформационных порталов, предоставляющих доступ к пространственным данным о месторождениях минеральных ре-

сурсов. Среди них – USGS Mineral Resources Data, Mineral Resources Online Spatial Data, OneGeology, MINERALinfo, SNL Metals & Mining, а также региональные платформы (например, GeoScience Australia, GeoIndex UK). Эти системы интегрируют картографические, геофизические и геохимические данные, включая космические снимки, результаты полевых исследований и исторические геологические архивы. Подобные порталы становятся всё более важными в контексте глобальной цифровизации геологоразведочной деятельности и обеспечения открытого доступа к данным. Отсутствие единых стандартов метаданных, различия в форматах данных и уровнях детализации создают барьеры для межгосударственного обмена информацией и ограничивают возможности комплексного анализа. Кроме того, не все платформы интегрируют автоматизированные методы интерпретации спутниковых изображений, что снижает потенциал к их аналитической применимости.

Для разработки геопортала был выполнен анализ содержания известных геопорталов мира для определения четкой структуры будущего портала (таблица).

Целью создания геопортала месторождений региона является обеспечение единого цифрового пространства для сбора, хранения, анализа и визуализации геологической информации о минеральных запасах для эффективного планирования геологоразведочных работ, поддержки принятия управленческих решений, обеспечения прозрачности недропользования и ускорения доступа специалистов к актуальным данным. Объектом исследования является Калба-Нарымский рудный пояс.

При разработке геопортала для его наполнения определены основные составляющие:

- Общая информация о портале;
- Геологические карты (обзорная карта масштаба 1 : 1 000 000, 1 : 200 000);
- Гидрогеологические карты;
- Карты остаточных аномалий силы тяжести, масштаб 1 : 50 000;
- Геофизические карты;
- Геологические отчеты (архивы);
- Веб-картографические сервисы (WebGIS);
- Каталог пространственных данных;
- Инструменты анализа и визуализации;
- Интеграция с государственными реестрами геологических данных.

К дополнительным функциям рассматривается возможность фильтрации и поиска по слоям, сравнение различных тематических карт, а также загрузка пользовательской информации и экспорт данных в форматах

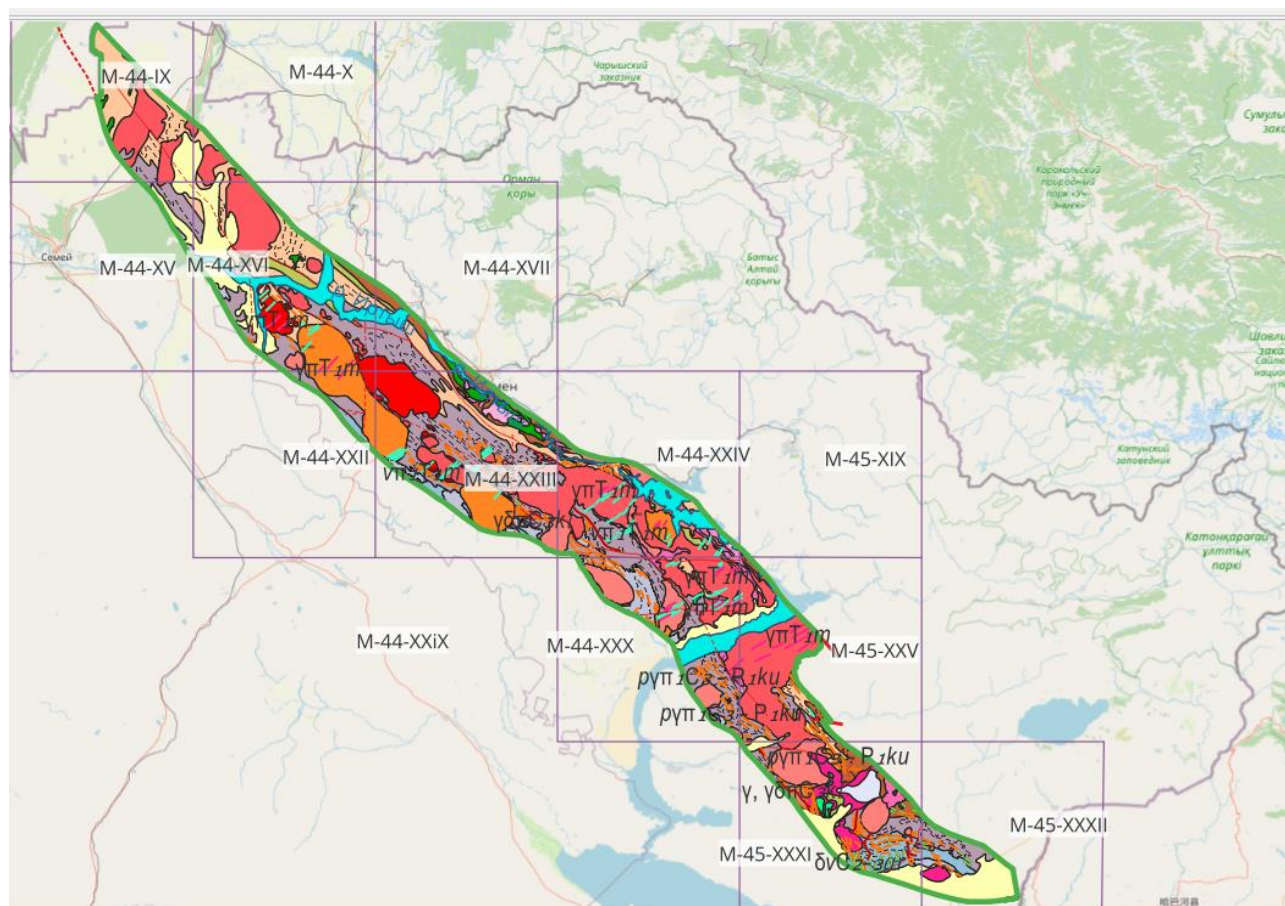
Сравнительный анализ геоинформационных порталов по структуре				
Компонент / Портал	Росгеолфонд / Роснедра	USGS	Geoscience Australia	OneGeology
Интерактивная карта	GIS.NEDRA.gov.ru	National Map, MRDATA	GA Portal, AusGIN	Глобальная карта
Геологические карты	1 : 200 000 / 1 : 1 000 000	Штатные, тематические	Масштабные, тематические	Страны предоставляют слои
Каталог месторождений	Имеется	MINES, MRDS	Minerals Deposits Atlas	Частично, зависит от страны
Геофизика и геохимия	Частично, доступ ограничен	Подробно, открыто	Очень подробно	Нет
Лицензии и участки недр	Да, с ограниченным доступом	Частично (через BLM)	Да (Exploration Licences)	Нет
Архив геологических отчетов	Да (по заявке, не всё открыто)	Да, большинство доступны	Да, REGS, Open File Reports	Нет, не хранит отчёты
Инженерная геология / гидрогеология	Да, выборочно	Да (National Hydrography, Aquifer maps)	Да (Groundwater Atlas)	Нет
API / WMS / WFS	Есть, частично ограничен	Полный доступ (open data services)	Полный доступ	Да, через OGC
Инструменты анализа	Базовые (поиск, фильтры)	Расширенные (модели, визуализация)	Расширенные (3D, аналитика)	Визуализация, без анализа
Пользовательский кабинет / доступ	Да (недропользователи, заявки)	Нет (только просмотр)	Частично (для специалистов/бизнеса)	Нет
Открытость и доступность данных	Частично (по запросу, архивный фонд)	Высокая, open data	Высокая, всё в открытом доступе	Зависит от стран-участников
Целевой пользователь	Госорганы, недропользователи	Исследователи, общественность	Геологи, компании, органы	Международное научное сообщество

SHP, KML и др.

На основе имеющихся картографических архивных данных была создана обзорная карта на район работ в масштабе 1 : 1 000 000 (рисунок 1). Карты на данную территорию доступны в открытых источниках – Web Map Service (WMS) – OneGeology. Было выполнено сканирование бумажных карт, проведена обработка качества изображения по удалению муаров и повышению резкости изображения. Проанализировав рынок геоинформационных обеспечений, было принято решение о применении программного обеспечения QGIS 3.36.

На основе геологических данных была создана таблица атрибутивной информации на территорию Калба-Нарымского рудного пояса. При формировании атрибутивных данных указывается идентификатор объекта, наименование геологического объекта, стратиграфическая принадлежность, основ-

ной литотип, геологический возраст, тип структуры, тип минерализации, название месторождения или проявления, рудоносная формация и другие характеристики минералов. Также можно указать этап геологоразведки (прогноз, выявление, разведка, эксплуатация), категория запасов, источники данных (карта, отчет, спутниковые снимки, данные геофизических исследований). Создана карта остаточных аномалий силы тяжести в масштабе 1 : 200 000 для выявления скрытых геологических структур и рудоносных зон в земной коре, с целью повышения эффективности прогноза и поисков месторождений полезных ископаемых, особенно в районах со сложным геологическим строением и ограниченной наблюдаемостью. В дальнейшем будут формироваться базы данных для геофизических карт, геологические отчеты (архивы), геологические объекты и карты полезных ископаемых на район работ.



**Рисунок 1 – Обзорная геологическая карта Калба-Нарымского рудного пояса.
Масштаб 1 : 1 000 000**

Для актуальности исследования в качестве данных дистанционного зондирования Земли использовались снимки спутников Sentinel-2 и Landsat-8, так как их спектральные диапазоны подходят для геологических целей. Это связано с важными поглощающими свойствами минералов в ближнем инфракрасном (NIR) и коротковолновом инфракрасном (SWIR) диапазонах, которые должны быть охвачены спектральными полосами того или иного диапазона. Предварительная обработка спутниковых снимков будет производиться с помощью плагина полуавтоматической классификации (SCP) на базе QGIS. Предварительная обработка состоит из двух действий: атмосферной коррекции и преобразования отражательной способности поверхности. На основе обработки космических снимков были созданы и интерпретированы изображения. В качестве исходных данных были использованы снимки открытого доступа со средними пространственными разрешениями (Landsat-8, Sentinel-2). После проведения радиометрической калибровки и атмосферной коррекции, были выполнены классические приемы

обработки спутниковых изображений – комбинации каналов (RGB combinations) и соотношения полос (band ratio).

Для определения спектральных различий между горными породами и другими материалами был использован индекс литологический контраст (R – канал 8, G – канал 12, B – канал 3). Данный прием отчетливо определяет и разделяет различные горные породы между собой. Например, на территории бывшего карьера Жаркынколь (центральная часть Калба-Нарымского рудного пояса) с помощью снимка Sentinel-2, были выделены интрузивные породы от других (рисунок 2).

При использовании метода соотношения полос использовались каналы коротковолнового инфракрасного диапазона (например, канал 8 снимка Sentinel-2), на которых очень высокие отражательные способности у гранитоидов и каналы видимого диапазона (например, красный – канал 4). В результате данной операции были созданы изображения в оттенках серого, на которых каждый объект приобрел «свой» уровень серого (рисунок 3).

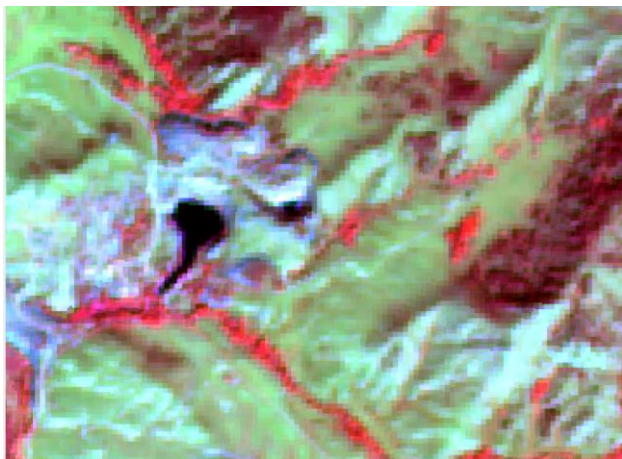


Рисунок 2 – Индекс литологический контраст (8-12-3) снимка Sentinel 2.
Черные пиксели – вода, красные – растительность, зеленые – осадочные и четвертичные отложения, бирюзовые – гранитоиды, синие – карьер Жаркынколь, богатый на слюды

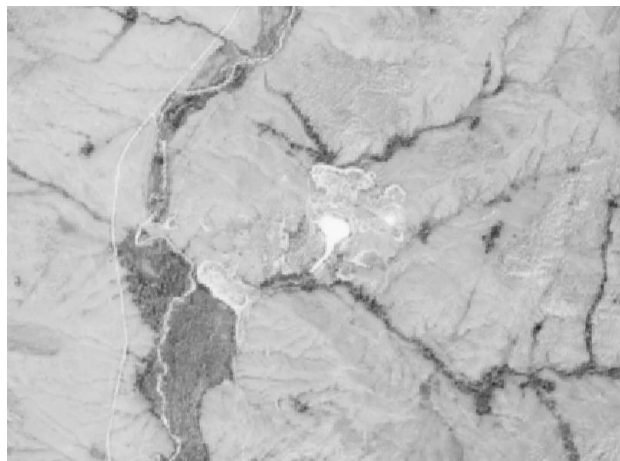


Рисунок 3 – Результат соотношения полос. Черные пиксели – растительность, серые – осадочные и четвертичные породы, белые – граниты и пегматиты в которых высокий процент минералов из группы слюд на бывшем карьере Жаркынколь и водные объекты

Результаты

Проведен сравнительный анализ существующих мировых геоинформационных порталов месторождений. На основе анализа, можно выделить ряд ключевых тенденций, достижений и проблем, характеризующих текущее состояние и перспективы развития ГИС в области геологии. Геопорталы ведущих стран демонстрируют устойчивую тенденцию к расширению открытого доступа к геологической информации, в частности геологические карты, базы месторождений, геофизические и геохимические данные, отчеты и это способствует активным научным исследованиям и развитию инвестиционной активности в стране. Значительная часть зарубежных геопорталов предоставляет REST/WMS/WFS-интерфейсы, что позволяет подключать данные напрямую в ГИС-программы, геоаналитику и мобильные приложения. Однако имеется ряд недостатков с открытостью и оперативностью обновления данных (официальный запрос в разные ведомства и платформы, формальные процедуры), на мировом уровне нехватка семантического словаря геологических терминов, различия в форматах данных и легендах, отсутствие сервисов пространственного анализа.

Авторами впервые создана цифровая геологическая база Калба-Нарымского рудного пояса, которая включает в себя обзорную геологическую карты масштаба 1 : 1 000 000, карты аэро- и магнитометрической аномалии, а также карту со слоя-

ми минерализации масштабов 1 : 200 000 – 1 : 50 000. С помощью дешифрирования данных Sentinel-2 и Landsat-8 были выделены перспективные зоны редкометалльной минерализации, которые были подтверждены результатами полевых исследований..

Выводы

В ходе исследования разработана структура геоинформационного портала редкометалльных месторождений Восточного Казахстана с использованием космических снимков, сочетающая в себе современные технологии дистанционного зондирования, аналитические методы для создания удобного интерфейса для пользователей, а также ведется его наполнение и интеграция с картографическими, геологическими и статистическими данными. Анализ спутниковых данных позволил точно выделить ключевые минералогические зоны рудопроявлений. При разработке портала учитывались технические и методологические основы для интеграции гиперспектральных данных, 3-D моделирования, AI-алгоритмов и синхронизации с базами данных национальной геологической службы и научных организаций Казахстана.

Разработка геоинформационного портала месторождений Восточного Казахстана представляет собой значимый шаг в цифровизации геологической отрасли. Интеграция современных технологий дистанционного зондирования и аналитических методов позволит ускорить процессы геологораз-

ведки и повысить эффективность анализа минеральных ресурсов. Создание единого цифрового пространства для хранения и визуализации геологической информации обеспечит прозрачность в сфере недропользования, улучшит доступность данных для исследователей и инвесторов, а также будет способствовать повышению инвестиционной привлекательности региона. В дальнейшем развитие портала, включая интеграцию гиперспектральных данных и алгоритмов машинного обучения, откроет новые горизонты

для геологических исследований и устойчивого использования природных ресурсов.

Статья выполнена в рамках программно-целевого финансирования (Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан) BR24992854 «Разработка и внедрение конкурентоспособных научно обоснованных технологий для обеспечения устойчивого развития горно-металлургической отрасли Восточно-Казахстанской области».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Концепция развития геологической отрасли Республики Казахстан на 2023-2027 годы. Утверждена Постановлением Правительства РК от 30 декабря 2022 года № 1127.
2. Sun, K.; Chen, Y.; Geng, G.; Lu, Z.; Zhang, W.; Song, Z.; Guan, J.; Zhao, Y.; Zhang, Z. A Review of Mineral Prospectivity Mapping Using Deep Learning. *Minerals* 2024, 14, 1021.
3. Adiri, Z.; Lhissou, R.; El Harti, A.; Jellouli, A.; Chakouri, M. Recent advances in the use of public domain satellite imagery for mineral exploration: A review of Landsat 8 and Sentinel 2 applications. *Ore Geol. Rev.* 2020, 117, 103332.
4. Gorretta, N.; Feis, N.; Van der Meer, F.; Segl, K.; van Ruitenbeek, F. A spectral and spatial comparison of satellite-based hyperspectral sensors and airborne data for geological mapping. *Remote Sens.* 2023, 15 (12), 2089.
5. Alpysbay, M., Orynassarova, E., Sydyk, N., Adebiyet, B., & Kamza A. Mining mapping and exploration using remote sensing data in Kazakhstan: a review. *Engineering Journal of Satbayev University*, 2024, 146 (2), 37-46.
6. Baibatsha, A., Kembayev, M., Mamanov, E., and Shaiyakhmet, T. «Remote sensing techniques for identification of mineral deposit», *Periodico Tche Quimica*, 2020, vol. 17, no. 36, pp. 1038-1051.
7. Бекишев, Е., Рахымбердина, М., Мизерная, М., Матайбаева, И., Кузьмина, О. Применение методов дистанционного зондирования при поиске редкометалльных месторождений ВКО // *Вестник ВКТУ*. 2023. № 3.
8. Bekishev Ye.T., Rakhymberdina M.Ye., Levin E., Assylkhanova Zh.A., Kapasov A.K. Creating of a geological GIS database of Eastern Kazakhstan using the Kalba-Narym Zone as an example // 45th Asian Conference on Remote Sensing, ACRS 2024, Colombo, Sri-Lanka.

Шығыс Қазақстанның Қалба-Нарым кен белдеуінің цифрлық геологиялық дерекқорын әзірлеу

¹**АСЫЛХАНОВА Жанна Александровна**, магистр, деканның орынбасары, ZhAssylkhanova@edu.ektu.kz,

^{1*}**РАХЫМБЕРДИНА Маржан Есенбековна**, PhD, MRakhymberdina@edu.ektu.kz,

¹**БЕКИШЕВ Еркебулан Темирханович**, докторант, YBekishev@edu.ektu.kz,

^{2,3}**ЛЕВИН Евгений**, PhD, профессор, elevin@mtu.edu,

¹**ГРОХОТОВ Евгений Витальевич**, аға ғылыми қызметкер, info@geosat.biz,

¹«Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті» КеАҚ,
Д. Серікбаев көшесі, 19, Өскемен, Қазақстан,

²Қолданбалы есептеу ғылымдары мектебі, Мехарри медициналық колледжі, Нашвилл, Теннесси, АҚШ,

³Мичиган технологиялық университеті, Хоутон, Мичиган, АҚШ,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Ғарыш түсірілімдерін пайдалана отырып, табиғи ресурстарды мониторингілеу және басқару мақсатында геоақпараттық портал құру үшін Шығыс Қазақстанның Қалба-Нарым кен белдеуінің цифрлық геологиялық дерекқорын әзірлеу процесі қарастырылған. Геология саласында, әсіресе кеңістіктік талдаудың қазіргі заманғы құралдарына қажеттіліктің өсу контексінде жерді қашықтықтан зондауды және геоақпараттық жүйелерді қолданудың өзектілігі талданады. Портал кен орындарының шекараларын визуализациялауды және басқару шешімдерін қабылдауды қолдауды қамтамасыз ете отырып, мұрағаттық және өзекті деректерді ықпалдастыруға мүмкіндік береді. Порталдың негізгі элементтері: масштабы 1 : 1 000 000 – 1 : 50 000 картографиялық материалдармен ұсынылған дерекқор, далалық зерттеу деректері, спутниктік суреттер және автоматты AI-алгоритмдер түріндегі талдауға арналған құралдар болып табылады. Зерттеу жер қойнауын тиімді пайдалану және өңір мен жалпы елдің тұрақты дамуы үшін цифрлық инфрақұрылым құрудың маңыздылығын атап көрсетеді.

Кілт сөздер: Қалба-Нарым аймағы, геоақпараттық жүйелер, геопортал, карта, мәліметтер базасы, геологиялық зерттеулер.

Development of a Digital Geological Database for the Kalba-Narym Ore Belt, East Kazakhstan

¹ASSYLKHANOVA Zhanna, Master's Degree, Deputy Dean, ZhAssylkhanova@edu.ektu.kz,

^{1*}RAKHYMBERDINA Marzhan, PhD, MRahymberdina@edu.ektu.kz,

¹BEKISHEV Yerkebulan, Doctoral Student, YBekishev@edu.ektu.kz,

^{2,3}LEVIN Eugene, PhD, Professor, elevin@mtu.edu,

¹GROKHOTOV Evgeny, Senior Researcher, info@geosat.biz,

¹NPJSC «D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University», 19 D. Serikbayev Street, Oskemen, Kazakhstan,

²School of Applied Computational Sciences, Meharry Medical College, Nashville, Tennessee, USA,

³Michigan Technological University, Houghton, Michigan, USA,

*corresponding author.

Abstract. The process of developing a digital geological database of Kalba-Narym ore belt of East Kazakhstan is considered to create a geoportal for the purpose of monitoring and management of natural resources using space images. The relevance of Earth remote sensing and GIS application in the geological industry is analyzed, especially in the context of growing demand for modern tools of spatial analysis. The portal will make it possible to integrate archival and current data, providing visualization of ore deposit boundaries and support for management decision-making. The main elements of the portal are: a database of 1 : 1 000 000 to 1 : 50 000 scale cartographic materials, field survey data, satellite imagery and tools for analysis in the form of automated AI algorithms. The study emphasizes the importance of creating a digital infrastructure for efficient subsoil use and sustainable development of the region and the country as a whole.

Keywords: Kalba-Narym zone, geoinformation systems, geoportal, map, database, geological research.

REFERENCES

1. Konceptiya razvitiya geologicheskoy otrasli Respubliki Kazakhstan na 2023-2027 gody. Utverzhdena Postanovleniem Pravitel'stva RK ot 30 dekabrya 2022 goda № 1127.
2. Sun, K.; Chen, Y.; Geng, G.; Lu, Z.; Zhang, W.; Song, Z.; Guan, J.; Zhao, Y.; Zhang, Z. A Review of Mineral Prospectivity Mapping Using Deep Learning. *Minerals* 2024, 14, 1021.
3. Adiri, Z.; Lhissou, R.; El Harti, A.; Jellouli, A.; Chakouri, M. Recent advances in the use of public domain satellite imagery for mineral exploration: A review of Landsat 8 and Sentinel 2 applications. *Ore Geol. Rev.* 2020, 117, 103332.
4. Gorretta, N.; Feis, N.; Van der Meer, F.; Segl, K.; van Ruitenbeek, F. A spectral and spatial comparison of satellite-based hyperspectral sensors and airborne data for geological mapping. *Remote Sens.* 2023, 15 (12), 2089.
5. Alpysbay, M., Orynassarova, E., Sydyk, N., Adebiyet, B., & Kamza A. Mining mapping and exploration using remote sensing data in Kazakhstan: a review. *Engineering Journal of Satbayev University*, 2024, 146 (2), 37-46.
6. Baibatsha, A., Kembayev, M., Mamanov, E., and Shaiyakhmet, T. «Remote sensing techniques for identification of mineral deposit», *Periodico Tche Quimica*, 2020, vol. 17, no. 36, pp. 1038-1051.
7. Bekishev, E., Rahymberdina, M., Mizernaya, M., Matajbaeva, I., Kuz'mina, O. Primenenie metodov distantsionnogo zondirovaniya pri poiske redkometall'nyh mestorozhdenij VKO // *Vestnik VKTU*. 2023. № 3.
8. Bekishev Ye.T., Rakhymberdina M.Ye., Levin E., Assylkhanova Zh.A., Kapasov A.K. Creating of a geological GIS database of Eastern Kazakhstan using the Kalba-Naryn Zone as an example // 45th Asian Conference on Remote Sensing, ACRS 2024, Colombo, Sri-Lanka.