УДК 553.078.2; https://doi.org/10.37878/2708-0080/2025-2.26
https://orcid.org/0000-0002-9521-7872
https://orcid.org/0000-0001-5069-9399
https://orcid.org/0009-0007-2386-1857

ПЕРСПЕКТИВЫ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ПОИСКАХ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

А.Б. БАЙБАТША,
доктор геолого-минералогических наук,
профессор кафедры Геологии
a.baibatsha@satbayev.university

***М.К. КЕМБАЕВ,**
доктор PhD, ассоциированный
професссор кафедры Геологии,
m.kembayev@satbayev.university

С.Е. РАИС,
докторант кафедры Геологии,
s.rais@stud.satbayev.university

SATBAYEV UNIVERSITY
Республика Казахстан, 050043, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22

В статье рассматриваются перспективы применения методов дистанционного зондирования (ДЗЗ) по выявлению геологических структур, благоприятных для накопления углеводородов и других полезных ископаемых. Использованы данные спутников Landsat и ASTER, на основе которых созданы космоструктурные схемы. Представлены современные подходы к дешифрированию спутниковых изображений, анализу спектральных характеристик и интеграции ДЗЗ-данных с геологическими и геофизическими материалами. Особое внимание уделено применимости этих методов на ранних стадиях поисков и оценки нефтегазового потенциала территорий. Выявлены так же факторы как тектонические разломы, трещины и интрузивные тела, а также примеры выделения перспективных участков для обнаружения рудной минерализации (золото, медь, уран и др.).

Методология включает выбор спутниковых изображений с максимальным спектральным разрешением, их предварительную обработку, интерпретацию для картирования линейных, кольцевых и площадных структур.

Новизна исследования заключается в разработке и апробации технологии анализа скрытых и нетрадиционных месторождений в условиях сложного рельефа и ограниченного доступа. Результаты показали высокую эффективность дистанционного зондиро-

вания для оптимизации разведки полезных ископаемых, особенно в районах с мощными осадочными покровами.

Практическое применение связано с выделением новых перспективных участков для постановки поисковых работ, что позволяет сократить затраты и время на геологоразведку.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *нефтегазоносные бассейны, дистанционное зондирование нефти и газа, спутниковая интерпретация геологических структур». Landsat, ASTER, космоструктурные схемы, перспективные участки.*

ҚАШЫҚТАН ЗОНДЫЛАУ ӘДІСТЕРІНІҢ ҚАТТЫ ПАЙДАЛЫ ҚАЗБАЛАРДЫ ЖӘНЕ МҰНАЙ ГАЗ КЕНОРЫНДАРЫН ІЗДЕУДЕГІ БОЛАШАҒЫ

А.Б. БАЙБАТША, геология-минералогия ғылымдарының докторы, геология кафедрасының профессоры, *a.baibatsha@satbayev.university*
М.К. КЕМБАЕВ, PhD докторы, геология кафедрасының қауымдастырылған профессоры, *m.kembayev@satbayev.university*
С.Е. РАИС, геология кафедрасының докторанты, *s.rais@stud.satbayev.university*

SATBAYEV UNIVERSITY
Қазақстан Республикасы, 050043, Алматы қ., Сәтбаев к-сі, 22

Мақалада көмірсутектер мен басқа да пайдалы қазбалардың жинақталуына қолайлы геологиялық құрылымдарды анықтау үшін қашықтықтан зондылау (ҚЗ) әдістерін қолдану перспективалары қарастырылады. Landsat және ASTER спутниктерінің деректері пайдаланылды, олардың негізінде ғарыштық-құрылымдық схемалар жасалды. Спутниктік түсірімдерді интерпретациялауға, спектрлік сипаттамаларды талдауға және қашықтықтан зондылау деректерін геологиялық және геофизикалық материалдармен біріктіруге заманауи тәсілдер ұсынылған. Бұл әдістерді аумақтардың мұнай-газ әлеуетін барлау мен бағалаудың бастапқы кезеңдерінде қолдану мүмкіндігіне ерекше назар аударылады. Сондай-ақ тектоникалық бұзылымдар, жарықшақтар және интрузив денелер сияқты факторлар анықталды, сонымен қатар кен минералдануға (алтын, мыс, уран және т.б.) перспективалы алаңдарды анықтау мысалдары келтірілді.

Әдістеме максимал спектрлік анықтауға қабілетті спутниктік суреттерді таңдауды, оларды алдын ала өңдеуді және сызық, сақина және алаңдық құрылымдарды кескіндеу үшін интерпретациялауды қамтиды.

Зерттеудің жаңалығы күрделі рельеф және шектеулі қолжетімділік жағдайында жасырын және бейдәстүрлі кенорындарды талдау технологиясын әзірлеу және сынау болып табылады. Нәтижелер пайдалы қазбаларды барлауды оңтайландыру үшін, әсіресе қалың шөгінді жамылғылары бар жерлерде қашықтықтан зондылаудың жоғары тиімділігін көрсетті.

Практикалық қолдану геологиялық барлау жұмыстарын жүргізуге кететін шығындар мен уақытты қысқартуға мүмкіндік беретін жаңа перспективалы бөлікшелерді анықтауға байланысты. Ұсынылған космогеологиялық зерттеулер әдістемесі геологиялық жағдайлары ұқсас аймақтарда қолданылады.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: *мұнай және газ алаптары, мұнай мен газды қашықтықтан зондылау, геологиялық құрылымдарды спутниктік интерпретациялау." Landsat, ASTER, ғарыштық құрылымдық схемалар, перспективалы алаңдар.*

PROSPECTS OF REMOTE SENSING METHODS IN THE SEARCH FOR SOLID MINERALS AND OIL AND GAS FIELDS

A.B. BAIBATSHA, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor of the Department of Geology, *a.baibatsha@satbayev.university*
M.K. KEMBAYEV, PhD, Associate Professor of the Department of Geology, *m.kembayev@satbayev.university*
S.E. RAIS, PhD student of the Department of Geology, *s.rais@stud.satbayev.university*

SATBAYEV UNIVERSITY
Republic of Kazakhstan, 050043, Almaty, Satpayev str., 22

The article discusses the prospects of using remote sensing methods to identify geological structures favorable for the accumulation of hydrocarbons and other minerals. Data from the Landsat and ASTER satellites were used, on the basis of which space-structural schemes were created. Modern approaches to decoding satellite images, analyzing spectral characteristics, and integrating remote sensing data with geological and geophysical materials are presented. Special attention is paid to the applicability of these methods at the early stages of exploration and assessment of the oil and gas potential of the territories. Factors such as tectonic faults, cracks, and intrusive bodies have also been identified, as well as examples of identifying promising sites for detecting ore mineralization (gold, copper, uranium, etc.).

The methodology includes the selection of satellite images with maximum spectral resolution, their pre-processing, and interpretation for mapping linear, ring, and area structures.

The novelty of the research lies in the development and testing of technology for analyzing hidden and unconventional deposits in conditions of difficult terrain and limited access. The results showed high efficiency of remote sensing for optimizing mineral exploration, especially in areas with heavy sedimentation.

Practical application is associated with the allocation of new promising sites for exploration, which reduces the cost and time of exploration.

KEYWORDS: *oil and gas basins, remote sensing of oil and gas, satellite interpretation of geological structures." Landsat, ASTER, space-structural schemes, promising sites.*

Введение. Данное исследование связано с разработкой и апробацией методики анализа геологических структур, контролирующих процессы формирования углеводородов и рудных образований с использованием данных спутников Landsat и ASTER [1]. Эти спутниковые системы предоставляют уникальные возможности для получения непрерывных данных о земной поверхности и приповерхностных структурах на обширных территориях, что особенно ценно для слабоизученных или труднодоступных регионов Казахстана [5]. Основной целью работы является создание детальных космоструктурных схем, которые позволят выявить ключевые факторы минерализации и определить перспективные участки для проведения дальнейших геологоразведочных работ. Среди задач исследования – картирование поверхностных и скрытых геологических образований, таких как тектонические разломы, трещины, интрузивные тела и палеодолины, которые играют важную роль в локализации месторождений полезных ископаемых [8]. Исследование охватывает несколько геологически значимых регионов Казахстана: Торгайский прогиб, зону Карсакпай-Улытау, пояс Шу-Иле, Северный и Восточный Балхаш, а также площадь Ушарал. Особое внимание уделяется поиску скрытых месторождений, для которых

традиционные методы геологических исследований оказываются неэффективными, что требует применения инновационных прогностических технологий.

Технологии дистанционного зондирования давно используются в геологии, однако их сочетание с современными методами обработки данных открывает новые горизонты [16.17]. Например, данные Landsat ETM+ с высоким пространственным разрешением (менее 15 м в панхроматическом канале) и широким спектральным диапазоном (от видимого до теплового инфракрасного) идеально подходят для картирования поверхностных геологических объектов и обнаружения аномалий, связанных с углеводородами и твердыми полезными ископаемыми. В свою очередь, данные ASTER с их повышенным спектральным разрешением в коротковолновом и тепловом инфракрасном диапазонах позволяют проводить детальный анализ и выявлять признаки изменений, что критически важно для поиска нефтегазовых и месторождений твердых полезных ископаемых. В исследованиях применяются цифровые модели рельефа (DEM) от SRTM и AsterGDEM, которые помогают анализировать топографические особенности и выявлять структурные элементы, такие как тектонические разломы и складки. Интеграция этих данных с спутниковыми изображениями позволяет создавать трехмерные модели геологических структур, значительно улучшая понимание строения исследуемых территорий.

Казахстан представляет собой уникальную площадку для таких исследований, поскольку многие его перспективные районы остаются недостаточно изученными, особенно на глубине или в районах с мощными осадочными покровами. В таких условиях традиционные методы геофизической разведки часто оказываются затруднительными или экономически нецелесообразными. Дистанционное зондирование, напротив, выступает как инструмент предварительного анализа, позволяющий оптимизировать затраты и время на геологоразведку за счет выделения приоритетных участков для более детальных наземных исследований [4,17]. Таким образом, наши исследования развивают методологию применения дистанционного зондирования в геологии и имеет непосредственное практическое значение для добывающей отрасли Казахстана, способствуя более эффективному поиску и освоению полезных ископаемых.

Материалы и методы. Для анализа использованы изображения Landsat ETM+ и ASTER, а также цифровые модели рельефа (DEM) от SRTM и AsterGDEM [9]. Landsat ETM+ предоставляет спектральные диапазоны от 450 до 2350 нм с разрешением 30 м (*рис. 1*), а ASTER – от 520 до 11650 нм с разрешением 15-90 м (*табл. 1*). Данные выбраны за их способность охватывать исследуемые территории в максимальном спектральном диапазоне [15].

Примечание: VNIR – видимая и ближняя инфракрасная области спектра, SWIR – коротковолновая инфракрасная область спектра, TIR – тепловая инфракрасная область спектра.

Предварительная обработка включала геометрическую коррекцию, радиометрическую калибровку и атмосферную коррекцию с использованием ПО ERDAS Imagine и ArcGIS [11]. Эти шаги необходимы для подготовки данных к интерпретации.

Обработка и интерпретация: Обработка данных проводилась в два этапа: предварительная (коррекция) и основная (геологическая интерпретация). Применялись методы фильтрации, градиентного анализа и спектрального анализа для выделения

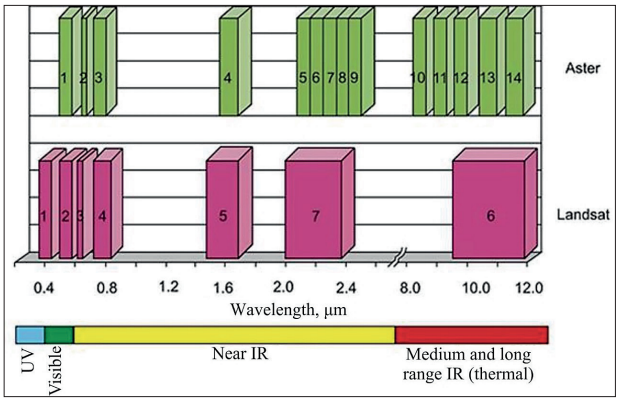

Рисунок 1 – **Спектральные характеристики систем Landsat и ASTER**

Таблица 1 – **Характеристики изображений ASTER**

Режим обследования	VNIR	SWIR	TIR
Номер канала и спектральный диапазон, нм	1: 520-600 2: 630-690 3: 760-860	4: 1600-1700 5: 2145-2185 6: 2185-2225 7: 2235-2285 8: 22- 95-2365 9: 2360-2430	10: 8125-8475 11: 8475-8825 12: 8925-9275 13: 10250-10950 14: 10950-11650
Пространственное разрешение, м	15	30	90

линейных, кольцевых и площадных структур [7]. Интерпретация сочетала прямой (визуальный) и формальный (автоматизированный) подходы, что позволило выявить скрытые объекты.

Результаты и обсуждение. Созданы космоструктурные схемы для регионов Казахстана (*рис. 2, 3*). Они отображают линейные, кольцевые и площадные структуры, которые являются ловушками нефти и локализации твердых полезных ископаемых [2, 3].

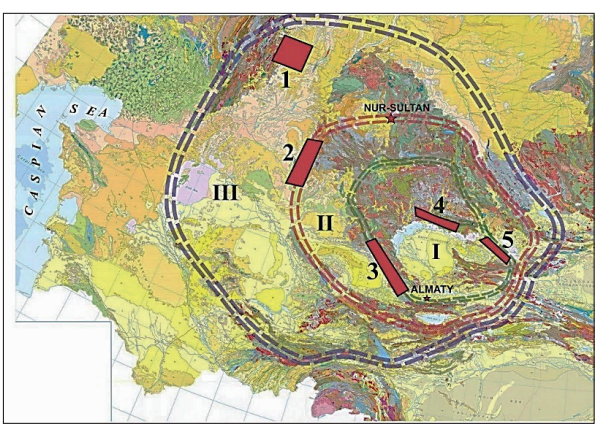

Рисунок 2 – **Карта районов космической геологической разведки в Казахстане: 1 - Торгай; 2 - Карсакпай-Улытау; 3 - Шу-Иле; 4-5 - Северный (4) и Восточный (5) Балхаш**

Факторы накопления углеводородов и рудообразования. Для изучения ловушек нефти, локализации твердых полезных ископаемых и их прогноза выявлены ключевые факторы, такие как тектонические разломы, трещины и площадные структуры. Например, в поясе Шу-Иле определены разломы северо-западного и субширотного направлений, а также кольцевые структуры радиусом 0,13-48 км, связанные с глубинными интрузиями (*рис. 3*).

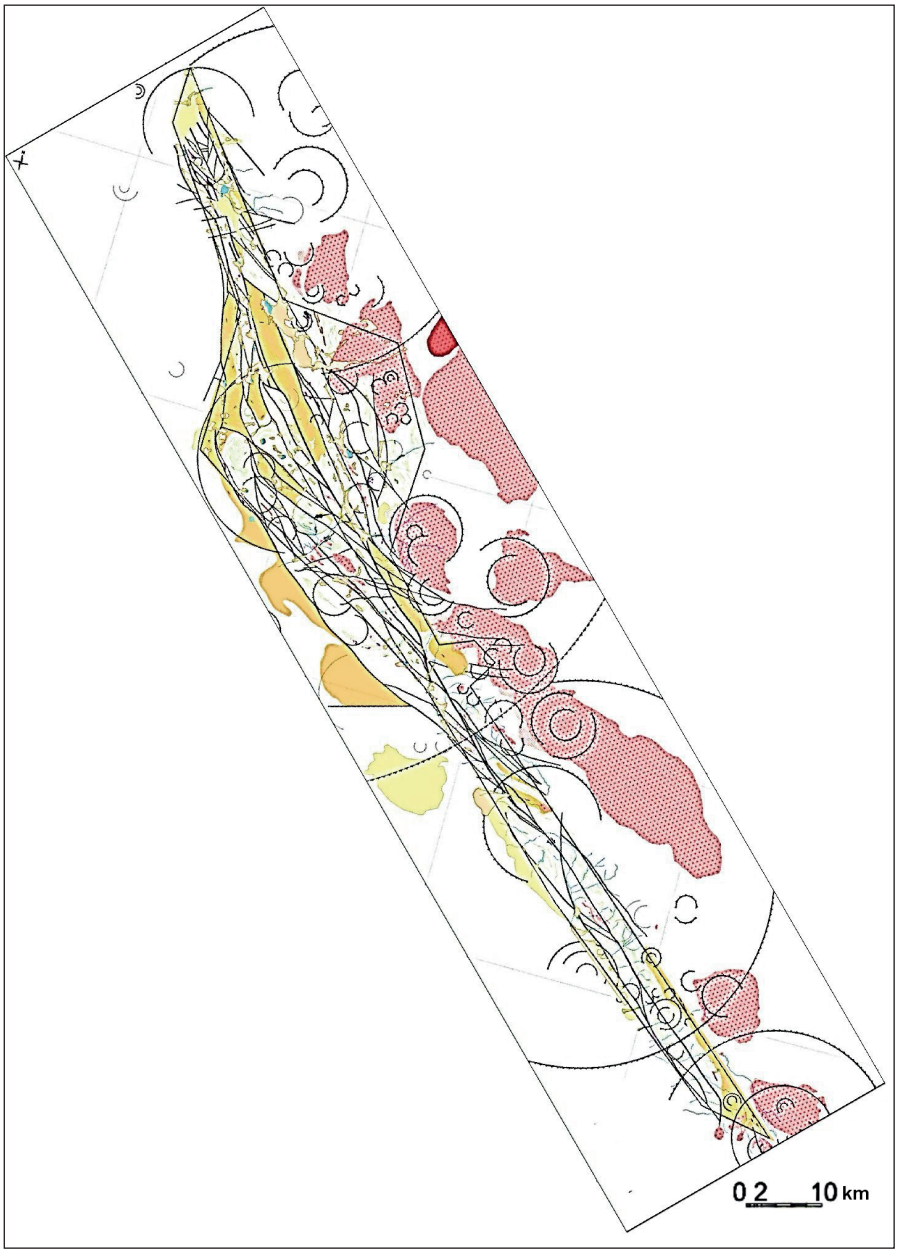

Рисунок 3 – **Космоструктурная схема зоны разломов Жалайыр-Найман, М:1:200000**

Перспективные участки: В Торгайском районе анализ данных Landsat выявил погребенные палеодолины, потенциально содержащие месторождения подземных вод, урана и золота (*рис. 4, 5*) [14]. В зоне Валерьянов анализ показал скрытые структуры на глубине 40-60 м (*рис. 6*) [12,13].

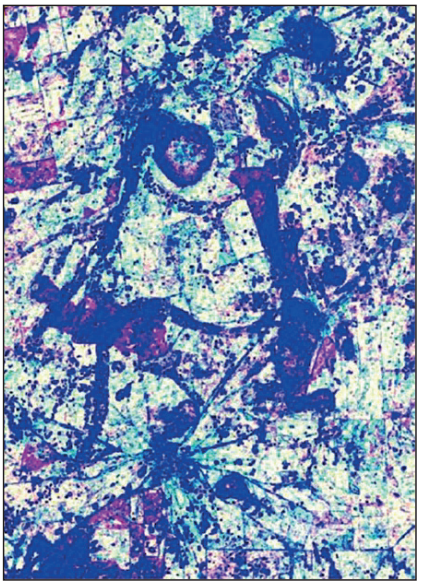

Рисунок 4 – **Пример выделения палеодолин. Растр получен в результате тематической фильтрации с последующей индексацией инфракрасного и теплового каналов**

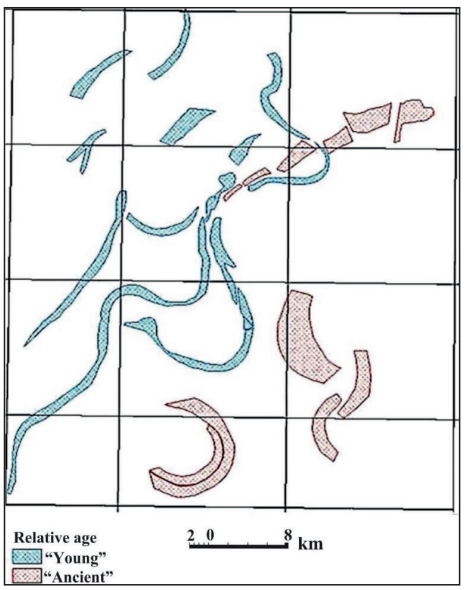

Рисунок 5 – **Схема расположения палеодолин а Торгайском прогибе**

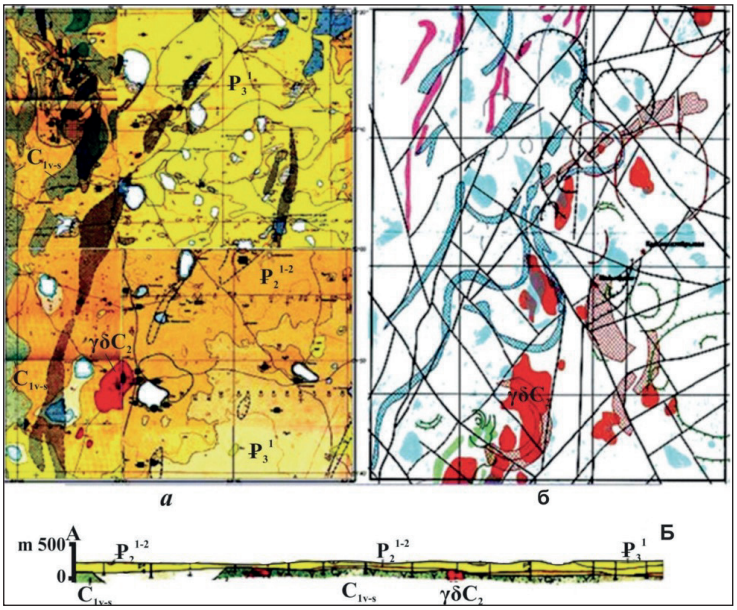

Рисунок 6 – **Геологическая карта зоны Валерьянов, перекрытой покровными отложениями (а) и ее космоструктурная схема с интерпретацией скрытых структур, площадных тел и палеодолин на глубине 40-60 м (б)**

Методика показала свою эффективность в условиях слаборасчлененного рельефа и перекрытия мощными отложениями. В районе Жалайыр-Найман спектральный анализ ASTER позволил выявить признаки минерализации (мусковит, хлорит), что указывает на потенциал эндогенных месторождений (Au, Cu, Mo) [10].

Заключение. Проведенное исследование показывает эффективность использования методов дистанционного зондирования для решения задач геологоразведки. Применение данных спутников Landsat и ASTER в сочетании с цифровыми моделями рельефа SRTM и AsterGDEM позволило создать детальные космоструктурные схемы для ряда ключевых регионов страны, включая Торгайский район, зону Карсакпай-Улытау, пояс Шу-Иле, Северный и Восточный Балхаш, а также площадь Ушарал. Полученные космогеологические схемы стали основой для выявления главных факторов ловушек нефти и минерализации, таких как тектонические разломы, зоны трещиноватости, интрузивные тела и палеодолины, которые определяют локализацию месторождений полезных ископаемых. Разработанная методика показала свою адекватность в обнаружении скрытых и нетрадиционных месторождений, которые ранее оставались вне поля зрения традиционных методов разведки, открывая новые перспективы для горнодобывающей промышленности.

Одним из ключевых результатов исследования стало обнаружение перспективных участков, ранее не рассматривавшихся как приоритетные. Например, в Торгайском районе были выявлены погребенные палеодолины, которые могут содержать месторождения углеводородов, подземных вод, урана и золота, что подчеркивает потенциал региона для дальнейших геологических исследований. В зоне Жалайыр-Найман спектральный анализ данных ASTER позволил обнаружить признаки

гидротермальных изменений и рудной минерализации, указывающие на возможность нахождения эндогенных месторождений золота, меди, молибдена и др. [6]. Полученные результаты подтверждают, что предложенная методика эффективна в условиях сложного рельефа и мощных осадочных покровов, где традиционные подходы часто оказываются недостаточно информативными.

ДЗЗ позволяет обнаружение зон изменений растительности, связанных с утечкой углеводородов, геоморфологии потециальнноых нефтегазоносных бассейнов. Такой подход позволяет сократить время и затраты на геологоразведочные работы, сосредоточив усилия на перспективных участках.

Научная ценность исследования заключается в разработке комплексного подхода к анализу данных дистанционного зондирования, который может быть адаптирован для использования в других регионах с аналогичными геологическими условиями. Практическая значимость работы проявляется в возможности применения полученных результатов для планирования работ по геологоразведке, что особенно актуально для Казахстана при восполнении своей минерально-сырьевой базы в условиях глобальной конкуренции. Кроме того, исследование подчеркивает роль дистанционного зондирования как неотъемлемой части современной геологии, способной изменить подходы к поиску и освоению природных ресурсов.

В перспективе дальнейшие исследования могут быть направлены на интеграцию данных дистанционного зондирования с результатами наземных геофизических и геохимических исследований. Это позволит повысить результативность прогнозов и провести более глубокий анализ выявленных перспективных площадей. Можно расширить географию исследований, включив другие регионы Казахстана и, возможно, соседние страны, чтобы оценить универсальность разработанной методики и ее применимость в различных геологических обстановках. Внедрение дополнительных технологий, таких как машинное обучение и искусственный интеллект для обработки спутниковых данных, может усилить эффективность предложенного подхода.

Таким образом, данное исследование не только вносит вклад в развитие геологических наук, а также открывает новые возможности для практического применения дистанционного зондирования в будущем. Оно подчеркивает стратегическую важность инновационных технологий для устойчивого развития добывающей отрасли и рационального освоения природных ресурсов.

Благодарность: Данная статья финансировалась Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по проекту AP27511149 «Геолого-минералогические исследования гранитоидов Казахстана как источников редких металлов для восполнения их ресурсов».

ЛИТЕРАТУРА

1 Аковецкий В.И. Дешифрирование снимков. – М.: Недра, 1983. – 374 с. [Akovetskiy V.I. Deshifrirovanie snimkov. – M.: Nedra, 1983. – 374 s.]

2 Baibatsha A.B. Innovative technologies for the forecast of minerals. Almaty: LAP LAMBERT, 2018. 524 p.

3 Baibatsha A.B., Mamanov E.Zh., Bekbotayev A.T. Allocation of perspective ores on the areas Shu-Ile belt on the materials remote sensing. SGEM2016, Albena, Bulgaria, 2016.

4 Barrachina M., Cristobal J., Tulla A.F. Estimating above-ground biomass through remote sensing. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf., 2015, 38, c. 184–192.

5 Blaschke T. Object-based image analysis for remote sensing. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens., 2010, 65, c. 2–16.

6 Chemin G., Ducati J.R. Spectral discrimination using remote sensing. J. Wine Res., 2011, 22(1), c. 57–78.

7 Crowley J.K., Brickey D.W., Rowan L.C. Airborne imaging spectrometer data. Remote Sens. Environ., 1989, 29(2), c. 121–134.

8 Доливо-Добровольский А.В., Перцов А.В., Скублова Н.В. Использование дистанционных методов при прогнозировании и поисках месторождений полезных ископаемых. - М.: Наука, 1980. – 156 с. [Dolivo-Dobrovolyskiy A.V., Pertsov A.V., Skublova N.V. Ispolyzovanie distantsionnayh metodov pri prognozirovanii i poiskah mestorozhdeniy poleznayh iskopaemayh. - M.: Nauka, 1980. – 156 s.]

9 Earth Explorer, 2020. URL: https://earthexplorer.usgs.gov.

10 Galvao L.S., Formaggio A.R., Couto E.G., Roberts D.A. Relationships between soil composition and topography from hyperspectral data. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens., 2008, 63, c. 259–271.

11 Gohman V. GIS in mining and geology. ArcReview, 2015, 3(74), c. 145–161.

12 Johns Hopkins University Rock Library, 2020. URL: http://speclib.jpl.nasa.gov/search-1.

13 Kac Ya.G., Poletaev A.I., Sulidi-Kondrat`ev E.D. Ring structures of the Earth. Moscow: Nauka, 1989.

14 Калмыков В.Д., Серокуров Ю.Н. Приемы выделения рудоконтролирующих линейных структур по материалам дешифрирования космических снимков// Геология и разведка. – 1991. - № 9 – С. 75-79. [Kalmaykov V.D., Serokurov Yu.N. Priemay vaydeleniya rudokontroliruyushtih lineynayh struktur po materialam deshifrirovaniya kosmicheskih snimkov// Geologiya i razvedka. – 1991. - № 9 – S. 75-79.]

15 Mars J.C., Rowan L.C. Spectral assessment of ASTER data. Remote Sens. Environ., 2010, 114, c. 2011–2025.

16 Yang, H., Li, J., Zhang, J., et al. Application of remote sensing technology in oil and gas exploration: A review. Petroleum Exploration and Development, 2018, 45(5), pp. 927–935. DOI: 10.1016/S1876-3804(18)30098-1

17 Al-Fares, W. Application of remote sensing and GIS techniques in oil and gas exploration: A case study from Syria. Arabian Journal of Geosciences, 2011, 4, pp. 681–687. DOI: 10.1007/s12517-009-0113-0