

Код МРНТИ 36.23.31

\*А.З. Капасова, М.П. Талерчик, Е.Ж. Маусымбеков

Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина (г. Астана, Казахстан)

# ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО МЕТОДА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

**Аннотация.** В настоящее время ГИС продемонстрировала свое удобство в разведке полезных ископаемых, принимая за основу метод дистанционного зондирования Земли, включающий в себя различные измерения отраженных и поглощенных электромагнитных колебаний от удаленных объектов, состоящих из различных сред, таких как горная порода, минералы, земельный и растительный покров. Спектральные спутниковые снимки с использованием бортовых дистанционных датчиков позволяют обнаружить перспективные участки месторождений полезных ископаемых. Программа ГИС (ARGIS) имеет возможность создавать прогнозную карту полезных ископаемых без выезда в поле, находясь в камеральных условиях. Это обусловлено тем что, дистанционное зондирование Земли может различать спектральные признаки горных пород и минералов, а программа ГИС способна интегрировать различные источники данных по геологии, что позволяет различать типы геологических минералов.

**Ключевые слова:** пространственные данные, дистанционное зондирование Земли, спектральные данные, спектрометры, спектральные диапазоны, система координат и высот в геодезии, оптико-электронная съемка и радарная съемка, геоинформационная система, анализ геопрограммных данных, геологическое картографирование, геопрограммные данные.

## Геологиялық белгілерді анықтау үшін қашықтықтан зондтаудың спектрлік әдісін қолдану ерекшеліктерін зерттеу пайдалы қазбалар кен орындары

**Аннотация.** Қазіргі уақытта ГАЗ Жерді қашықтықтан зондтау әдісін негізге ала отырып, пайдалы қазбаларды барлауда өзінің ыңғайлылығын көрсетті, оған әртүрлі ортадан тұратын алыс объектілерден шағылысқан және сіңірілген электромагниттік тербелістердің әртүрлі өлшемдері кіреді тау жыныстары, минералдар, жер және өсімдік жамылғысы. Бортық қашықтықтағы датчиктерді қолданатын спектрлік спутниктік суреттер пайдалы қазбалар кең орындарының перспективасын анықтауға мүмкіндік береді. ГАЗ бағдарламасы (ARGIS) камералдық жағдайда далаға шықпай-ақ пайдалы қазбалардың болжамды картасын жасау мүмкіндігіне ие. Бұл жерді қашықтықтан зондтау тау жыныстары мен минералдардың спектрлік белгілерін ажырата алатындығына байланысты, ал ГАЗ бағдарламасы геология бойынша әртүрлі деректер көздерін біріктіре алады, бұл геологиялық минералдардың түрлерін ажыратуға мүмкіндік береді.

**Түйіндер сөздер:** кеңістіктік деректер, Жерді қашықтықтан зондтау, спектрлік деректер, спектрометрлер, спектрлік диапазондар, геодезиядағы координаттар мен биіктіктер жүйесі, оптико-электронды және радиолокациялық түсірілім, геоапараттық жүйе, геокеңістіктік деректерді талдау, геологиялық картаға түсіру, геокеңістіктік деректер.

## Study of the features of using the spectral remote sensing method to detect geological features of mineral deposits

**Abstract.** Currently, GIS has demonstrated its convenience in mineral exploration, taking as a basis the method of remote sensing of the Earth, which includes various measurements of reflected and absorbed electromagnetic vibrations from remote objects consisting of various media such as rock, minerals, land and vegetation. Spectral satellite images using on-board remote sensors make it possible to detect promising areas of mineral deposits. The GIS program (ARGIS) has the ability to create a forecast map of minerals without going into the field, while in office conditions. This is due to the fact that remote sensing of the Earth can distinguish the spectral features of rocks and minerals, and the GIS program is able to integrate various data sources on geology, which makes it possible to distinguish types of geological minerals.

**Key words:** spatial data, remote sensing of the Earth, spectral data, spectrometers, spectral ranges, the system of coordinates and heights in geodesy, optoelectronic photography and radar photography, geographic information system, analysis of geospatial data, geological mapping, geospatial data.

## Введение

Наша страна располагает огромными природными богатствами, из 110 полезных ископаемых в Казахстане имеется 99. По данным иностранных специалистов разведанные и эксплуатируемые нефтегазовые месторождения могут оказаться лишь небольшой частью огромного нефтяного или газового месторождения. При полной и тщательной геологической разведке нашей территории, страна по запасам может оказаться среди мировых лидеров нефти и газодобывающих стран. Кроме того, по косвенным признакам имеется более 300 месторождений золота, из них разведаны лишь 173. Также природа щедро одарила другими полезными ископаемыми. Имеется ряд малоизученных бассейнов, таких как Северо-Торгайский, Аральский и Сырдарьинский, Прииртышский, Шу-Сарысуйский, а также территория южного Алтая Восточно-Казахстанской области.

В настоящее время основным способом геологической разведки является полевой метод. Непосредственно находясь в полевых условиях, изучается геологическая обстановка, проводится сбор образцов горных пород, кернов после бурения. Все данные наносятся на карту. Используемая методика геологоразведочных работ отличается

большой достоверностью, но требуется огромное количество времени и выполнение большего объема трудоемких работ [1].

Из-за большой трудоемкости выполнения геологоразведочных работ невозможно за определенное время полностью охватить всю территорию РК. В данное время стоит вопрос о полной разведке, при необходимости переразведки и доразведки территории в геологическом отношении. Для выполнения требуется огромное количество времени и труда. Исходя из этого, в мире активно начали использовать технологию дистанционного зондирования Земли, что внесло значительный вклад в геологоразведку и оценку минеральных ресурсов.

Методы дистанционного зондирования упрощают проведение трудоемких геологоразведочных работ. Это обусловлено возможностью доступа к труднодоступным территориям и различным местностям, имеющим сложные формы рельефа (например, к некоторым горным массивам и различным полупустынным и пустынным территориям), что позволяет осуществлять сбор интересующих данных быстро, через частые промежутки времени и в больших масштабах.

Таким образом, космические технологии дают новые возможности в определении литологии горных пород и зон их изменений. Ранее геологические карты составлялись по результатам традиционных полевых изысканий на основе строгих правил, что неизбежно приводило к некоторым неточностям. Появление дистанционного зондирования и ГИС дало возможность постоянного обновления картографических данных. Впоследствии появилась возможность в реальном масштабе времени контролировать геологическую обстановку. Мультиспектральные данные и данные высокого разрешения доступны благодаря технологиям цифровой обработки изображений с расширенными возможностями [2]. Они еще больше расширили потенциал дистанционного зондирования при определении геологических структур и литологии за счет создания улучшенных и интерпретируемых изображений с более высоким уровнем точности. В настоящее время уже имеется диапазон спектральных волн, которые являются признаками определенных наземных объектов (таблица 1).

#### Методы исследования

Существующие подходы к анализу дистанционного зондирования, спектральных изображений основаны на сопоставлении четких граней перехода диапазона спектра при изменении химического состава минералов и других объектов окружающей среды. Используемые программные средства и их возможности анализа позволили до-

биться хороших успехов в обнаружении определенных спектральных сигналов, исходящих от различных объектов, что впоследствии дало возможность выявления и изучения объектов, расположенных на местности дистанционно, с возможным использованием спутников дистанционного зондирования Земли.

Однако стандартный подход решения вопроса не полностью удовлетворяет, это связано с тем, что спектральные особенности, исходящие из одних и тех же химических веществ минералов, различаются и имеют небольшие сдвиги от эталонных спектральных и тоновых данных. Описанные сдвиги обычно встречаются только на определенных территориях и еще хуже, с неизвестным ареалом распространения. Инструменты анализа ГИС программ не в состоянии подвергать к фильтрациям сдвиги (спектральные шумы), с целью исключения описанного недостатка, каждое государство подходит к этому индивидуально, исходя из особенностей своей государственной территории. Пример показан на рис. 1, где видно, что формы спектров довольно последовательны, но амплитуды значительно различаются в зависимости от особенностей территории, что наблюдается в сдвиге спектра волн [3].

По этой причине возможности метода дистанционного зондирования Земли для геологических целей используются в нашей стране с малой эффективностью.

Главной особенностью данного исследования является повышение надежности геоинформационных систем для проведения автоматического анализа с такой эффектив-

#### Спектральные каналы и область их применения

#### Спектрлік арналар және оларды қолдану саласы

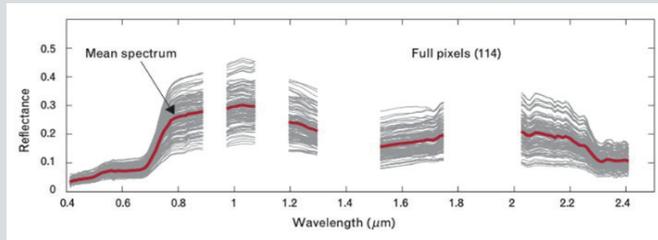
#### Spectral channels and their field of application

Таблица 1

Кесте 1

Table 1

| Наименование спектрального канала и область его применения, мкм          | Применение спутниковой информации в дистанционном зондировании Земли   |
|--|--|
| Видимый сине-фиолетовый<br>0,42-0,55                                     | Данный спектр используется при проведении атмосферных коррекций данных ДЗЗ, при определении некоторых видов озеленения.  |
| Видимый синий<br>0,45-0,52   | В этой зоне хорошо разделяются структурные горные породы.  |
| Видимый зеленый<br>0,52-0,60   | Зона максимально отличает здоровую растительность, также используется для составления карт концентрации наносов и осадков в мутных водах.  |
| Видимый красный<br>0,63-0,69   | Данная зона помогает различать множество разновидностей растений. Также используется для определения границ почв и геологического оконтуривания (залежей, рудного тела, нефтяных полей). |
| Ближний инфракрасный<br>0,76-0,90  | Зона полезна для идентификации почв, оценки урожайности, а также для определения береговых линий водных объектов на местности.   |
| Коротковолновый инфракрасный<br>1,55-2,50                                | Зона чувствительна к содержанию воды в растительности и почвах.  |
| Тепловой инфракрасный<br>10,40-12,50                                     | Используется для определения интенсивности теплоты объектов.   |
| Тепловой инфракрасный участок, коротковолновый инфракрасный<br>2,08-2,35 | Данная зона важна для выделения границ почв, а также степени увлажненности почв и растительности.  |



**Рис. 1. Изменчивость спектров отражения, измеренных для нескольких экземпляров одного и того же наземного материала.**

**Сурет 1. Бір жердегі материалдың бірнеше даналары үшін өлшенген шағылысу спектрлерінің өзгерістігі.**

**Figure 1. Variability of reflection spectra measured for several instances of the same terrestrial material.**

ностью, чтобы за короткий период было возможным проводить обработку больших наборов данных, тем самым повысив надежность и скорость обнаружения наземных интересующих объектов.

Для решения подобных задач предусматривается изучать источник природы каждого спектра, опираясь на географию, климат и другие данные, влияющие на отражающие факторы спектра волн. Необходимо глубоко изучать особенности отражающей способности горных пород исходя из химической, минералогической и других особенностей и проводить анализ данных, более глубоко изучать каждый спектр индивидуального, независимого от остальных сотен сопутствующих спектров в наборе данных. Для индивидуализации сопутствующих спектров волн (шумов), исходящих из основного минерального состава, необходимо проводить полевые спектрометрические измерения на местах уже разведанных и разрабатываемых участков месторождений и полезных ископаемых [4].

Целью таких полевых спектрометрических измерений являются выявления разницы спектральных данных, полученные инструментами анализа геоинформационных систем и результатами полевых измерений, спектральные отклонения в результате дают возможность с высокой вероятностью идентифицировать материалы. Индивидуальные поправочные данные (спектральные шумы) создают условия для создания базы данных спектров или называемой в мире библиотекой спектров.

Особенностью исследования является то, что при сравнении с известными спектральными данными отраженных от материала, выбранного в качестве эталона и полученные при анализе, образуются посторонние шумы (отклонения спектра), которые предполагаются характерными только для данного материала, образуемые под влиянием различных факторов. Это связано с особенностью поглощения, отражения или рассеивания света для каждого химического элемента и является главной индивидуальной информацией о материале. Индивидуальность обусловлена изменением интенсивности излучения в зависимости от длины волны в узком интервале способности материала поглощать или рассеивать. Данную индивидуальность будем считать главным оценочным признаком поглощения.

Характеристики оценочного поглощения уникальны для конкретных материалов по форме (изменение интенсивности в зависимости от длины волны в узком интервале) и обычно сосредоточены в ограниченных диапазонах длин волн в зависимости от типа поглощения. Между оценочными признаками находятся промежуточные переходные спектры волн, которые содержат мало информации, но считаются специфично для каждого интересующего материала. Поэтому внимание следует сосредоточить на оценочных характеристиках при анализе природных сцен, которые имеют решающее значение, поскольку смеси спектров распространены в естественной среде и препятствуют простому сопоставлению спектров.

При данных исследованиях необходимо учесть следующие факторы: некоторые материалы имеют спектры с менее интенсивными и/или второстепенными характеристиками поглощения в дополнение к более сильному оценочному поглощению. Поглощение материала можно обнаружить, если содержание определенного материала в породе достаточно велико. Однако более слабые поглощения могут быть скрыты поглощениями других материалов или могут быть слишком слабыми, чтобы их можно было обнаружить при низких содержаниях материала, не пренебрегая малейшими признаками и провести оценку дополнительно многократно, при этом сосредоточить усилия на смещенных сигналах для расслоения слабых сигналов на дополнительные спектры волн.

При анализе должны учитывать и другие признаки обнаружения предполагаемых материалов, если по дополнительным признакам будет считаться, что вероятность обнаружения определенных полезных ископаемых имеется, то тогда усилия исследования направить на изучение спектра излучаемого в виде смещенных или слабых сигналов с целью обнаружения малейших признаков полезного компонента в спектре волн. Предположение строится по наличию других характеристик и обнаруженных признаках в спектре информации, что дает возможность идентифицировать необходимый материал. В случае, если показатели спектра волн близки к нулю, тогда необходимо считать, что в изучаемом районе нужных горных пород нет [5].

Используемые подходы к анализу дистанционного зондирования, основанные на данных спектрального изображения, базируются на статистических методах, использующих большое количество выборок и сравнения с имеющимися эталонными базами данных. Но с повышением мощности компьютерной техники и впоследствии совершенствованием программных средств значительно увеличилась информативность обрабатываемого спектра полос на порядок.

Сам по себе набор полученных спектральных данных не дает возможность детализировать отдельные конкретные химические и другие элементы горных пород и других объектов местности. Существующие технологии, используя известный набор данных, проводя фильтрацию, могут дать информацию об определенном объекте в том случае, если исходящие от него сигналы стабильные и без примесей. Такая методика ограничивает возможность использования современной технологии дистанционного зондирования Земли на более широком уровне. Это

связанно с тем, что необходимо иметь дополнительные данные о природе полос спектра, исходящих от объектов. Так как инструменты анализа обнаруженных определенных сигнатур могут классифицироваться по-разному, это снижает доверие к результату анализа. Для выяснения природы спектральных несоответствий и посторонних шумов, необходимо проводить работу параллельно способом камерального анализа и выездом в поле (полевые спектрометрические измерения) [6].

Совместная обработка результатов полевого спектрометрического измерения и геоинформационных систем позволяет обнаруживать отклонения спектра от эталонного, без выясненных причин. Для выявления причины отклонения необходимо основное внимание направить на определение химической, минералогической, климатической природы каждого спектрального отклонения от остальных сотен (тысяч) сопутствующих спектров в наборе данных, то есть главное усилие необходимо направить на изучение особенности данного явления.

Для проведения анализа спектральных показателей различных химических элементов следует в полной мере использовать существующие библиотеки спектральных данных (база эталонных данных) в мире и имеющихся у нас в стране. Основное внимание требуется сосредоточить на обнаружение горных пород и залежей полезных ископаемых с помощью спектроскопических измерений в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне, которое будет давать основную информацию для изучения возникновения природы явлений, в виде отклонений и шумов. В зависимости от результатов исследования, при точном диагнозе причин, можно выйти на следы, влияющие на достоверность идентификации интересующих объектов [7].

Однако следует учитывать, что имеются и другие факторы, влияющие на природу спектра волн, они включают в себя нечто большее, чем описано выше. Туда можно отнести и возможные недостатки используемых программных средств, и стандартные технологии метода дистанционного зондирования Земли, что порождает дополнительное исследование по изучению алгоритма анализа геоинформационных систем, туда входят и методики обобщения программных средств, изучение решаемых прикладных задач системой, в том числе алгоритм управления и анализа данных. Есть вероятность, что в ходе выявления причины несвойственных спектральных отклонений могут возникнуть и другие причины, которые могут выйти за рамки исследования, что дает необходимость изучения возникших явлений с другим подходом и может стать темой другого исследования. Независимо от возникающих ситуаций, все усилия будут сосредоточены на идентификации материалов.

Пренебрегая частями спектра или другими сопутствующими явлениями, не имеющими отношения к химическому составу эталонного материала, мы уменьшаем шум или помехи. Следствием этого является возможность регулярно обнаруживать присутствие не только интересующего объекта, но и влияние многих и других материалов в спектре [8].

Например, в ходе предварительных лабораторных исследований в наших условиях выявлено, что ключевые спектральные особенности оксидов железа находятся в видимой области спектра, тогда как глинистые минералы

демонстрируют диагностические характеристики в диапазоне от 2 до 2,5 микрон. Из результатов полученных предварительных данных выяснено, что наличие нескольких материалов может ослабить силу их спектральных характеристик по сравнению с эталонными данными спектра определенного материала, но показывает, что их базовые стандартные характеристики спектра не смешиваются друг с другом. Исходя из этого, в дальнейшем исследовании должны быть направлены на использование методов поэтапного удаления сначала одних длин волн, потом и последующих в зависимости от отражения и поглощения, пока не останутся волны по характеристикам близкие к интересующим объектам, которые в процессе будут подвергаться тщательному анализу. Это позволяет провести конкретное сравнение каждого отдельного спектра со спектральной библиотекой [9].

Следующим объектом изучения являются объекты при опознаваниях, когда материалы по химическому составу разные, но по составу спектрально схожи. В данном случае предполагается, что идентификационные признаки материалов, имеющихся в базах данных, внешне схожи, но могут отличаться по шумам спектра, так как химический состав объектов различается, и усилия должны направляться к поиску обнаружения разницы в спектральных отклонениях. Обнаруженные шумы при детальном изучении могут дать информацию об индивидуальности искажения для каждого объекта отдельно [10].

При дальнейшем изучении спектральных особенностей различных минералов, химических веществ и полезных ископаемых решаются следующие задачи:

- *уменьшение влияние двусмысленности определения, используя вспомогательную спектральную информацию;*
- *разрешение неоднозначностей, связанных с родственными минералами, которые имеют схожие спектральные диагностические характеристики;*
- *пополнение библиотеки спектральных данных результатами, выявленными в ходе исследования с учетом географической особенности Республики Казахстан;*
- *по результатам совместного анализа, данные, полученные в полевых условиях и в результате обработки данных дистанционного зондирования в программном средстве, будут получены спектральные почерки на горные породы и на районы полезных ископаемых;*
- *разработка методики использования дистанционного зондирования Земли для геологоразведочных целей.*

### **Заключение**

Опираясь на спектральные характеристики, можно получить информацию о горных породах. При решении задач необходимо исходить из следующих факторов: породы подразделяются на осадочные, магматические и метаморфические типы в зависимости от процесса их образования, используя отличительные спектральные характеристики и информацию о текстуре горных пород, идентифицировать вид залежей, при этом изучить особенности растительного покрова в зависимости от геологической особенности почвы. Анализ данных в конечном итоге создает условия для выявления спектральных особенностей наземных объектов, горных пород, свойственных на-

шему географическому расположению на поверхности Земли [11].

Полученные результаты дают геологам дополнительные возможности с более высокой вероятностью

обнаруживать и оценивать места скопления необходимых ископаемых, выявлять более перспективные районы и повышать эффективность геологоразведочных работ.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Нимрод Кармон. Унифицированная топографическая и атмосферная коррекция для дистанционной спектроскопии изображений. / Нимрод Кармон, Александр Берк, Никлас Бон, Филип Грегори Бродрик, Ольга Калашикова, Хай Нгуен, Дэвид Рэй Томпсон, Майкл Термон. // *Front. Remote Sens.* 2022. Т. 3 (на английском языке)
2. Шаньшань Ван. Выявление и картирование измененных минералов с использованием гиперспектральных данных HySpex с борта самолета и алгоритма случайного леса. / Шаньшань Ван, Кефа Чжоу, Цзиньлинь Ван, Цзе Чжао. // *Earth Sci.* 2022. Т. 10 (на английском языке)
3. Сонгель Полат. Новый метод классификации, основанный на правилах, с использованием свойств спектральных кривых, основанных на форме. / Сонгель Полат, Ален Тремо, Фрэнк Бучс. // *Журнал спектроскопии.* 2022 (на английском языке)
4. Юкиэ Асано. Геологическое картирование по тепловой инерции, полученное на основе долгосрочных максимальных и минимальных температур в данных ASTER. / Юкиэ Асано, Ясуси Ямагути, Синсукэ Кодама. // *Ежеквартальный журнал инженерной геологии и гидрогеологии.* 2022. Т. 56 (1) (на английском языке)
5. Рупса Чакраборти. Поиск полезных ископаемых на основе биогеохимической и геологической информации с использованием гиперспектрального дистанционного зондирования – технико-экономическое обоснование и проблемы. / Рупса Чакраборти, Габор Керестури, Редди Пуллангари, Патриция Дюранс, Салман Ашраф, Крис Андерсон. // *Журнал геохимических исследований.* 2021. Т. 232. Ст. №106900 (на английском языке)
6. Хришикеш Кумар. Моделирование положения поглощения по длине волны с использованием ковариационно-взвешенной инверсии наименьших квадратов». / Хришикеш Кумар, Д. Рам Раджак. // *Достижения в космических исследованиях.* 2022. Т. 73. Вып. 2. С. 1252-1261 (на английском языке)
7. Гаурав Мишра. Сравнительная оценка гиперспектральных данных бортового AVIRIS-NG и космического PRISMA при идентификации и картировании измененных/выветренных минералов в Джахазпуре, Раджастхан. / Гаурав Мишра, Химаншу Говил, Ариндам Гуха, Хришикеш Кумар, Шаши Кумар, Судипта Мукерджи. // *Успехи космических исследований.* 2024. Т. 73. Вып. 2. С. 1459-1474 (на английском языке)
8. Суканта Рой. Автоматизированное крупномасштабное картирование минерализованного пояса Джахазпур с помощью модели Map Reduce с интегрированным методом ELM. / Суканта Рой, Сатадру Бхаттачарья, Суббарамаджойс Нарасипур Омкар. // *Журнал фотограмметрии, дистанционного зондирования и геоинформатики.* 2022. Т. 90. С. 191-209 (на английском языке)
9. Мин Се. Экспериментальный анализ ультрафиолетовой визуализации масляной пленки на поверхности воды: значение оптимального диапазона для обнаружения масляной пленки с использованием ультрафиолетовой визуализации. / Мин Се, Ин Л. Архивы загрязнения окружающей среды и токсикологии. 2022. Т. 83 (1). С. 109-115 (на английском языке)
10. Маттиас Линен. Библиотека почвенных спектров среднего инфракрасного диапазона на базе LUCAS: ее полезность для исследования почвы и точного земледелия. / Маттиас Линен, Стефан Петцольд, Гергели Тот, Герхард Велп. // *Журнал «Питание растений и почвоведение.* 2022. Т. 185. Вып. 3. С. 370-383 (на английском языке)
11. Сонгель Полат. Комбинированное использование 3D и HSI для классификации компонентов печатных плат. / Сонгель Полат, Ален Тремо, Фрэнк Бучс. // *Прикладная наука.* 2021. Т. 11 (18). Ст. №8424 (на английском языке)

**ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ**

1. Нимрод Кармон. Қашықтықтан бейнелеу спектроскопиясы үшін бірыңғай топографиялық және атмосфералық түзету. / Нимрод Кармон, Александр Берк, Никлас Бон, Филип Григорий Бродрик, Ольга Калашикова, Хай Нгуен, Дэвид Рэй Томпсон, Майкл Термон. // *Remote Sens.* 2022. Т. 3 (ағылшын тілінде)
2. Шаншань Ван. Ұшақ бортындағы гиперспектральды HySpex деректерін және кездейсоқ орман алгоритмін қолдана отырып, өзгертілген минералдарды анықтау және картаға түсіру. / Шаншань Ван, Кефа Чжоу, Цзинлинь Ван, Цзе Чжао. // *Earth Sci.* 2022. Т. 10 (ағылшын тілінде)
3. Сонгель Полат. Формаға негізделген спектрлік қисықтардың қасиеттерін қолдана отырып, ережеге негізделген жіктеудің жаңа әдісі. / Сонгель Полат, Ален Тремо, Фрэнк Бучс. // *Спектроскопия журналы.* 2022 (ағылшын тілінде)

4. Юкиэ Асано. ASTER деректеріндегі ұзақ мерзімді максималды және минималды температурадан алынған жылу инерциясының геологиялық картасы. / Юкиэ Асано, Ясуши Ямагучи, Шинсуке Кодама. Инженерлік геология және гидрогеология тоқсан сайынғы журналы. 2022. Т. 56 (1) (ағылшын тілінде)
5. Рупса Чакраборти. Гиперспектральды қашықтықтан зондтауды қолдана отырып, биогеохимиялық және геологиялық ақпараттан пайдалы қазбаларды іздеу – техникалық-экономикалық негіздеме және мәселелер. / Рупса Чакраборти, Габор Керестури, Редди Пуллангари, Патрисия Дюранс, Салман Ашраф, Крис Андерсон. // Геохимиялық зерттеулер журналы. 2021. Т. 232. Мақ. №106900 (ағылшын тілінде)
6. Хришикеш Кумар. Ең кіші квадраттардың ковариациялық өлшенген инверсиясын қолдана отырып, толқын ұзындығын сіңіру позициясын модельдеу. / Хришикеш Кумар, Д. Рам Раджак. // Ғарыштық зерттеулердегі жетістіктер. 2022. Т. 73. Шығ. 2. Б. 1252-1261 (ағылшын тілінде)
7. Гаурав Мишра. Джахазпур, Раджастхандағы өзгертілген/тозған минералдарды анықтау және картаға түсіру кезінде әуе-NG және ғарыштық призманың гиперспектрлік деректерін салыстырмалы бағалау. / Гаурав Мишра, Химаншу Говил, Ариндам Гуха, Хришикеш Кумар, Шаши Кумар, Судипта Мукерджи. // Ғарыштық зерттеулердің жетістіктері. 2024. Т. 73. Шығ. 2. Б. 1459-1474 (ағылшын тілінде)
8. Суканта Рой. ЕІт интеграцияланған әдісімен Map Reduce моделі арқылы Джахазпур минералданған белдеуін автоматтандырылған ауқымды картаға түсіру. / Суканта Рой, Сатадру Бхаттачария, Суббарамаджойс Нарасипур Омкар. // Фотограмметрия, қашықтықтан зондтау және геоинформатика журналы. 2022. Т. 90. Б. 191-209 (ағылшын тілінде)
9. Мин Се. Су бетіндегі майлы пленканы ультракүлгін сәулеленуді эксперименттік талдау: ультракүлгін сәулеленуді қолдана отырып, май пленкасын анықтаудың оңтайлы диапазонының мәні. / Мин Се, Ин Ли. // Қоршаған ортаның ластануы және токсикология мұрағаты. 2022. Т. 83 (1). Б. 109-115 (ағылшын тілінде)
10. Маттиас Линен. LUCAS негізіндегі орта инфрақызыл топырақ спектрлерінің кітапханасы: оның топырақты зерттеу және дәл егіншілік үшін пайдалылығы. / Маттиас Линен, Стефан Петцольд, Гергели Тот, Герхард Велп. // Өсімдіктерді тамақтандыру және топырақтану журналы. 2022. Т. 185. Шы. 3. Б. 370-383 (ағылшын тілінде)
11. Сонгель Полат. ПХД компоненттерін жіктеу үшін 3D және HSI комбинациясын қолдану. / Сонгель Полат, Ален Тремо, Фрэнк Бучс. Қолданбалы ғылым. 2021. Т. 11 (18). Мақ. №8424 (ағылшын тілінде)

## REFERENCES

1. Nimrod Karman. Unified topographic and atmospheric correction for remote image spectroscopy. / Nimrod Karman, Alexander Berg, Nicholas Bon, Philip Gregory Brodrick, Olga Kalashnikova, Hai Nguyen, David Ray Thompson, Michael Thermon, Front. // Remote Sens. 2022. Vol. 3 (in English)
2. Shanshan Wang. Identifying and Mapping Alteration Minerals Using HySpex Airborne Hyperspectral Data and Random Forest Algorithm Front. / Shanshan Wang, Kefa Zhou, Jinlin Wang, Jie Zhao. // Earth Sci. 2022. Vol. 10 (in English)
3. Songel Polat. A New Rule-Based Classification Method Using Shape-Based Properties of Spectral Curves. / Songel Polat, Alain Tremeau, Frank Boochs. // Journal of Spectroscopy. 2022 (in English)
4. Yukie Asano. Geological thermal inertia mapping based on long-term maximum and minimum temperatures in ASTER data. / Yukie Asano, Yasushi Yamaguchi, Shinsuke Kodama. // Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology. 2022. Vol. 56 (1) (in English)
5. Rupsa Chakraborty. Mineral exploration based on biogeochemical and geological information using hyperspectral remote sensing – Feasibility study and Problems. / Rupsa Chakraborty, Gabor Keresturi, Reddy Pullangari, Patricia Durance, Salman Ashraf, Chris Anderson. // Journal of Geochemical Research. 2021. Vol. 232. Art. №106900 (in English)
6. Hrishikesh Kumar. Wavelength absorption position modeling using covariance-weighted least squares inversion. / Hrishikesh Kumar, D. Ram Rajak. // Advances in space research. 2022. Vol. 73. Issue 2. P. 1252-1261 (in English)
7. Gaurav Mishra. Comparative evaluation of hyperspectral data from AVIRIS-NG and space PRISMA in the identification and mapping of altered/weathered minerals in Jahazpur, Rajasthan. / Gaurav Mishra, Himanshu Govil, Arindam Guha, Hrishikesh Kumar, Shashi Kumar, Sudipta Mukherjee. // Achievements in Space Research. 2024. Vol. 73. Issue 2. P. 1459-1474 (in English)
8. Sukanta Roy. Automated Large-Scale Mapping of the Jahazpur Mineralised Belt by a MapReduce Model with an Integrated ELM Method. / Sukanta Roy, Satadru Bhattacharya, Subbaramajous Narasipur Omkar. // Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformatics. 2022. Vol. 90. P. 191-209 (in English)

9. Min Xie. *Experimental analysis of ultraviolet imaging of an oil film on the surface of water: the value of the optimal range for detecting an oil film using ultraviolet imaging.* / Min Xie, Ying Li. // *Archives of Environmental Pollution and Toxicology*. 2022. Vol. 83 (1). P. 109-115 (in English)
10. Matthias Linen. *LUCAS-based library of mid-infrared soil spectra: its usefulness for soil research and precision agriculture.* / Matthias Linen, Stefan Petzold, Gergely Toth, Gerhard Welp. // *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2022. Vol. 185. Issue 3. P. 370-383 (in English)
11. Songel Polat. *Combined use of 3D and HSI for PCB component classification.* / Songel Polat, Alain Tremeau, Frank Buchs. // *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11. Issue 18. Art. №8424 (in English)

**Сведения об авторах:**

**Капасова А.З.**, к.т.н., асс. профессор кафедры «Геодезии и картографии» «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина» (г. Астана, Казахстан), [kapasova\\_77@mail.ru](mailto:kapasova_77@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-5523-2413>

**Талерчик М.П.**, к.т.н., ст. преподаватель кафедры «Геодезии и картографии» «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина» (г. Астана, Казахстан), [mar-aru@mail.ru](mailto:mar-aru@mail.ru); <https://orcid.org/0009-0005-7036-2271>

**Маусымбеков Е.Ж.**, ст. преподаватель кафедры «Геодезии и картографии» «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина» (г. Астана, Казахстан), [m.e.g\\_65@mail.ru](mailto:m.e.g_65@mail.ru); <https://orcid.org/0009-0009-5923-8295>

**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Капасова А.З.**, т.ғ.к., асс. «Геодезия және картография» кафедрасының профессоры, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» (Астана қ., Қазақстан)

**Талерчик М.П.**, т.ғ.к., «Геодезия және картография» кафедрасының аға оқытушысы, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» (Астана қ., Қазақстан)

**Маусымбеков Е.Ж.**, «Геодезия және картография» кафедрасының аға оқытушысы, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» (Астана қ., Қазақстан)

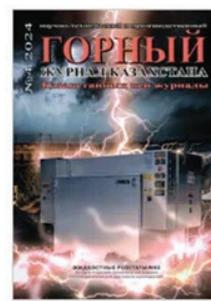
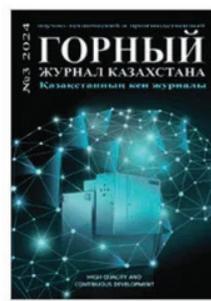
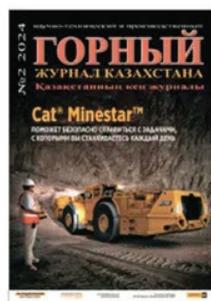
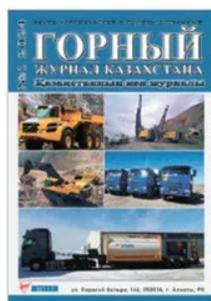
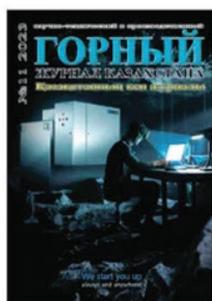
**Information about the authors:**

**Kapasova A.Z.**, Candidate of Technical Sciences, ass. Professor of the Department of Geodesy and Cartography «Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin» (Astana, Kazakhstan)

**Talerchik M.P.**, Candidate of Technical Sciences, senior lecturer of the Department of Geodesy and Cartography «Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin» (Astana, Kazakhstan)

**Mausymbekov E.J.**, Senior lecturer of the Department of Geodesy and Cartography «Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin» (Astana, Kazakhstan)

# ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ КАЗАХСТАНА



## ПОДПИСКА' 2025 РЕКЛАМНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОТРУДНИЧЕСТВО

POST-DTS@YANDEX.KZ / +7 747 343 15 02 / MINMAG.KZ