

Код МРНТИ 37.01.11

*А.У. Ашуров, С.С. Мурашкин

«Центральная геолого-геофизическая» экспедиция АО «Узбекгеологоразведка»
 Министерства горнодобывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан
 (г. Самарканд, Узбекистан)

АЭРОГАММАСПЕКТРОМЕТРИЯ (УРАН, КАЛИЙ, ТОРИЙ) В РАЙОНЕ ГОР БУКАНТАУ: ОБРАБОТКА АЭРОГАММАСПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Аннотация. В статье рассматриваются теоретические и практические аспекты аэрогаммаспектрометрии, метода, позволяющего изучать распределение естественных радионуклидов (калия, урана, тория) в горных породах. Методика используется для определения литологического состава, выявления геохимических аномалий и поиска потенциальных рудных зон. Приведен сравнительный анализ зарубежного опыта применения аэрогаммаспектрометрии, охватывающий исследования, проводимые в России, Казахстане и Канаде. Особое внимание уделено интеграции аэрогаммаспектрометрических данных с другими геофизическими методами и современным технологическим достижениям (беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), высокочувствительные детекторы, компьютерное моделирование). Результаты свидетельствуют о высокой практической ценности метода для геологоразведки и экологического мониторинга, а также о перспективах его дальнейшего развития.

Ключевые слова: аэрогаммаспектрометрия, естественные радионуклиды, калий, уран, торий, высокочувствительные детекторы, экологический мониторинг, рудные зоны.

Букантау таулары аймағындағы аэрогаммаспектрометрия (уран, калий, торий): аэрогаммаспектрометрический данные и перспективы исследований

Аннотация. В данной статье рассматриваются теоретические и практические аспекты аэрогаммаспектрометрии – метода, позволяющего изучать распределение естественных радионуклидов (калий, уран, торий) в горных породах. Методика используется для определения литологического состава, выявления геохимических аномалий и поиска потенциальных рудных зон. Приведен сравнительный анализ зарубежного опыта применения аэрогаммаспектрометрии, охватывающий исследования, проводимые в России, Казахстане и Канаде. Особое внимание уделено интеграции аэрогаммаспектрометрических данных с другими геофизическими методами и современным технологическим достижениям (беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), высокочувствительные детекторы, компьютерное моделирование). Результаты свидетельствуют о высокой практической ценности метода для геологоразведки и экологического мониторинга, а также о перспективах его дальнейшего развития.

Ключевые слова: аэрогаммаспектрометрия, естественные радионуклиды, калий, уран, торий, высокочувствительные детекторы, экологический мониторинг, рудные зоны.

Aerogammaspectrometry (uranium, potassium, thorium) in the area of the Bukantau mountains: aerogammaspectrometric data processing and research prospects

Abstract. This article discusses both the theoretical and practical aspects of airborne gamma spectrometry – a method that enables the study of the distribution of natural radionuclides (potassium, uranium, thorium) in rock formations. The methodology is used for determining the lithological composition, identifying geochemical anomalies, and locating potential ore zones. A comparative analysis of the international experience in applying airborne gamma spectrometry, including research conducted in Russia, Kazakhstan, and Canada, is presented. Particular emphasis is placed on the integration of gamma spectrometric data with other geophysical methods and modern technological advances (unmanned aerial vehicles (UAVs), high-sensitivity detectors, and computer modeling). The results indicate the high practical value of the method for mineral exploration and environmental monitoring, as well as prospects for its further development.

Key words: airborne gamma spectrometry, natural radionuclides, potassium, uranium, thorium, high-sensitivity detectors, environmental monitoring, ore zones.

Введение

Аэрогаммаспектрометрические методы исследования занимают одно из ключевых мест в геофизической разведке, поскольку позволяют получать детальные данные о распределении радиоактивных элементов в земной коре. С их помощью возможно анализировать радиационную активность на поверхности, что представляет важную информационную базу для геологического картирования, определения литологических границ и выявления потенциальных месторождений редкоземельных и ураноносных элементов [1, 2]. Аэрогаммаспектрометрия остается мощным и эффективным инструментом геофизической разведки, позволяющим получать подробные данные о распределении естественных радионуклидов (калия, урана, тория) в земной коре. Сравнительный анализ опыта России, Казахстана и Канады показывает, что сочетание высокой точности измерений, интеграция с другими геофизическими методами и использование передовых технологий открывает широкие перспективы для геологоразведки и экологического мониторинга.

Цель данной статьи – рассмотреть теоретические основы и методические подходы аэрогаммаспектрометрии,

привести практические примеры обработки данных (на примере Бокалинского интрузива), а также провести сравнительный анализ зарубежного опыта в России, Казахстане и Канаде. Особое внимание уделено вопросам интеграции данных аэрогаммаспектрометрии с другими геофизическими методами и перспективам внедрения новых технологий.

Теоретические основы аэрогаммаспектрометрии

Принципы метода

Аэрогаммаспектрометрия основана на регистрации гамма-излучения, испускаемого радиоактивными элементами в результате их естественного распада. Основные элементы, регистрируемые методом, включают:

Калий (K). Сигнал от калия (линия 1,46 МэВ) связан с минералами, содержащими калиевые полевые шпаты и биотит, что позволяет определять магматические и метаморфические породы [3].

Уран (U). Излучение от урана отражает присутствие гранитоидных, вулканических и гидротермальных структур. Повышенные концентрации урана часто свидетельствуют о рудных процессах и потенциальных месторождениях [4].

Торий (Th). Торий, характерный для осадочных и метаморфических пород, дает возможность оценить устойчивость минералов к выветриванию и долгосрочные геохимические процессы [5].

Особенности регистрации и обработки данных

Современные аэрогаммаспектрометрические системы устанавливаются на летательных аппаратах (самолеты, вертолеты, беспилотники), что позволяет проводить съемку на обширных территориях с высокой скоростью. Основные технические параметры включают:

- энергетическую разрешающую способность, необходимую для разделения спектров гамма-излучения от различных элементов;

- пространственную разрешающую способность, зависящую от высоты полета и плотности линий съемки;

- калибровку прибора, обеспечивающую стабильность и сопоставимость данных [6].

Обработка данных включает построение карт распределения концентраций калия, урана и тория, а также карт мощности экспозиционной дозы (МЭД), измеряемой в микроРентгенах в час (мкР/ч). Такие карты служат для выявления аномалий, установления литологических границ и создания базы данных для дальнейших геологоразведочных работ [7, 8].

Методика исследований и практические примеры

Применение метода на местности

Рассмотрим применение аэрогаммаспектрометрии на примере исследования Бокалинского интрузива. На основании проведенных съемок получены следующие данные.

Содержание калия (**K**) варьируется от 0,84 до 5,64% (среднее значение – 3,76%). На территории интрузива выявлены характерные литологические аномалии, такие как участки пониженного содержания, ассоциированные с рудопроявлениями меди, и зоны повышенного калия, указывающие на гидротермальную активность [9].

Содержание тория (**Th**) варьируется от $1,34 \times 10^{-4}\%$ до $20,1 \times 10^{-4}\%$ со средним значением $9,15 \times 10^{-4}\%$. Анализ показателей тория позволяет выявлять изменения состава пород в результате тектонических воздействий.

Содержание урана (**U**) варьируется от 0 до $24 \times 10^{-4}\%$ (среднее значение – $4,74 \times 10^{-4}\%$), что отражает различия в литологическом составе и помогает определить перспективность месторождений.

Алгоритм спектральной деконволюции и методы коррекции данных на атмосферные и рельефные искажения

Спектральная деконволюция (Full Spectrum Stripping)

Оконный анализ

Определяем три окна вокруг каждой гамма линии (**K**, **U**, **Th**): фон слева, пик, фон справа.

Удаление фона

– Аппроксимируем фон по боковым окнам и вычитаем его из центрального счета.

Решение обратной задачи

– Собираем скорректированные пики в вектор [**K**, **U**, **Th**] и умножаем на заранее калиброванную матрицу чувствительностей, чтобы получить концентрации.

Атмосферная коррекция

– Космический фон: вычитаем экспоненциально затухающую компоненту, зависящую от высоты полета.

– Барометрическая поправка: корректируем счет в зависимости от отличия текущего давления от опорного.

Рельефная (топографическая) коррекция

– Digital Terrain Model (DTM): по карте рельефа строим профиль высот вокруг точки.

– Вычисление взвешенного вклада: каждую ячейку рельефа «весим» по расстоянию и углу обзора (затухание + косинус угла).

– Итоговая поправка: вычитаем интегральный топографический вклад.

Построение карт и использование тернарного грида

Обработка аэрогаммаспектрометрических данных ведется с построением карт распределения концентраций радиоактивных элементов, что позволяет выделять зоны аномальной активности; карт мощности экспозиционной дозы (МЭД), отражающих суммарное гамма-излучение территории, что служит индикатором структурных и литологических особенностей; тернарного грида (Ternary Grid), позволяющего визуализировать соотношение концентраций калия, урана и тория. Этот метод существенно облегчает интерпретацию геохимических данных и выделение зон, требующих дальнейшего детального изучения [10].

Зарубежный опыт применения аэрогаммаспектрометрии с учетом нашего опыта на Букантау

Аэрогаммаспектрометрия успешно применяется во многих странах для детального картирования распределения радионуклидов в земной коре. Опыт, полученный в России, Казахстане и Канаде, демонстрирует как общие подходы, так и специфические особенности организации съемок, обработки данных и интерпретации результатов. Дополнительно, наши исследования на участке Букантау предоставляют ценные сведения о распределении мощности экспозиционной дозы (МЭД) и литологических аномалиях, что позволяет более полно оценить перспективность месторождений.

Российский опыт

В отечественной практике аэрогаммаспектрометрии разработаны детальные методики статистической обработки данных. Среди основных особенностей:

- использование специализированных алгоритмов для построения статистических карт распределения калия, урана и тория, что позволяет точно определять литологические границы и выявлять тонкие структурные аномалии¹;

- интеграция аэрогаммаспектрометрических данных с результатами магнитных, сейсмических и грунтовых ис-

¹Возможности комплексных аэрогеофизических съемок при создании геофизического обеспечения регионально-геологических и прогнозно-поисковых работ (сборник статей). URL: <https://aerogeo.ru> (дата обращения: 17.05.2025).

следований обеспечивает создание комплексных геологических моделей;

- применение тернарного грида (Ternary Grid) позволяет визуализировать соотношение радиоактивных элементов, что является эффективным инструментом для выделения аномальных геохимических зон [1, 5].

Опыт Казахстана

В Казахстане аэрогаммаспектрометрия используется для:

- оценки естественного уровня радиоактивности, что особенно важно в районах с интенсивной добычей полезных ископаемых;
- разведки ураноносных залежей, где метод позволяет уточнить границы осадочных и метаморфических формаций, содержащих уран;
- комплексного интегрирования данных с результатами магнитных и сейсмических исследований для построения трехмерных моделей, что оптимизирует работы по бурению и снижает затраты [2, 4].

Канадский опыт

Канадский опыт характеризуется:

- строгой калибровкой и высокими стандартами съемок, что обеспечивает минимальные погрешности и высокую разрешающую способность измерений;
- активным использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), что позволяет проводить съемки в труднодоступных районах и получать данные с повышенной детализацией;
- объединением аэрогаммаспектрометрических данных с результатами сейсмических и грунтовых исследований для создания детализированных геологических моделей месторождений [3, 4].

Наш опыт на участке Букантау

На участке Букантау наши аэрогаммаспектрометрические исследования показали следующее.

Мощность экспозиционной дозы (МЭД): значения МЭД варьируются от 2,2 до 25,5 мкР/ч с средним значением 11,44 мкР/ч. Это отражает разнообразие литологического состава и структурных особенностей участка.

Рис. 1 демонстрирует статистические параметры грида мощности экспозиционной дозы, а рис. 2 – карту распределения МЭД.

Распределение калия (К): концентрации калия на участке изменяются от 0,84 до 5,64% (среднее значение – 3,76%). Бокалинский интрузив характеризуется средними значениями в диапазоне 3,2–3,6% с локальными повышениями до 4% (в восточной части).

Рудопроявления меди (например, Архар и Архар-1) связаны с понижением содержания калия (3,2% и 2,8% соответственно). Рис. 3 иллюстрирует статистические параметры грида содержания калия, а рис. 4 – карту распределения калия.

Распределение тория (Th): показатели тория колеблются от $1.34 \times 10^{-4}\%$ до $20.1 \times 10^{-4}\%$ со средним значением $9,15 \times 10^{-4}\%$.

В Бокалинском интрузиве значения тория стабилизированы ($8 \times 10^{-4}\%$ – $10 \times 10^{-4}\%$) с локальными понижениями

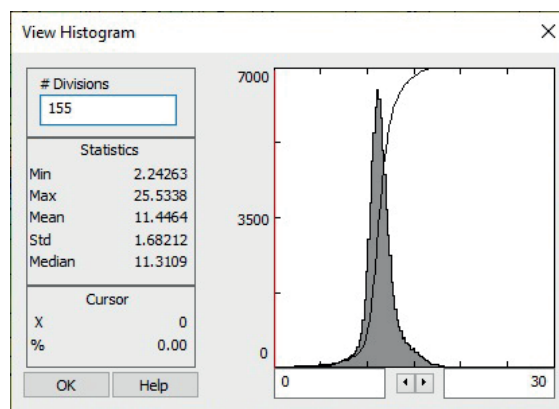


Рис. 1. Статистические параметры грида мощности экспозиционной дозы гамма излучения.

Сурет 1. Гамма-сәулеленудің экспозициялық дозасының қуат торының статистикалық параметрлері.

Figure 1. Statistical parameters of the grid of gamma radiation exposure dose rate.

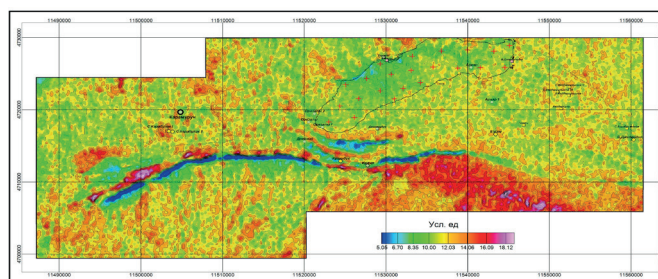


Рис. 2. Карта мощности экспозиционной дозы гамма-излучения.

Сурет 2. Гамма-сәулеленудің экспозициялық дозасының картасы.

Figure 2. Map of gamma radiation exposure dose rate.

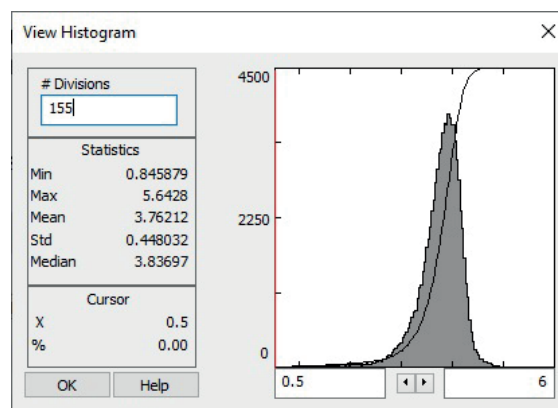


Рис. 3. Статистические параметры грида содержания калия.

Сурет 3. Калий құрамының гридінің статистикалық параметрлері.

Figure 3. Statistical parameters of the potassium content grid.

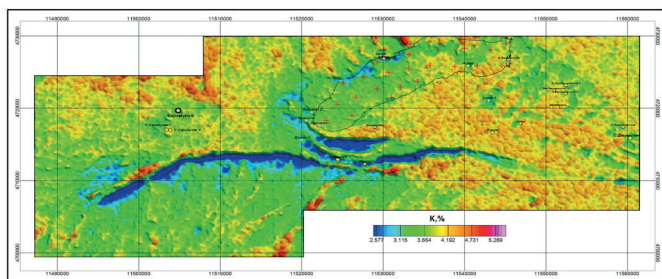


Рис. 4. Карта содержания калия.
Сурет 4. Калий құрамының картасы.
Figure 4. Map of potassium content.

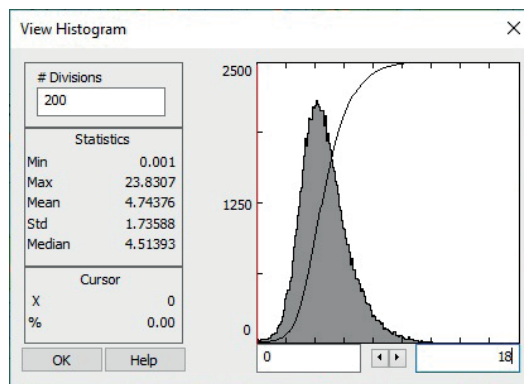


Рис. 7. Статистические параметры града содержания урана.

Сурет 7. Уран құрамының гридінің статистикалық параметрлері.

Figure 7. Statistical parameters of the uranium content grid.

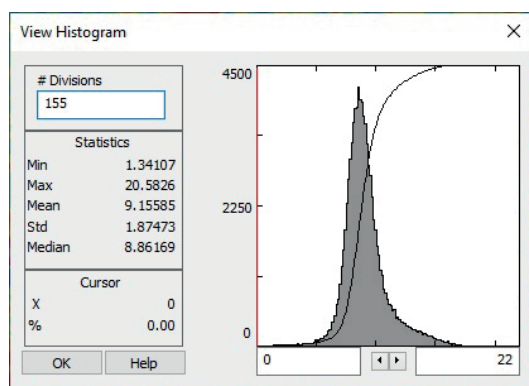


Рис. 5. Статистические параметры града содержания тория.

Сурет 5. Торий құрамының гридінің статистикалық параметрлері.

Figure 5. Statistical parameters of the thorium content grid.

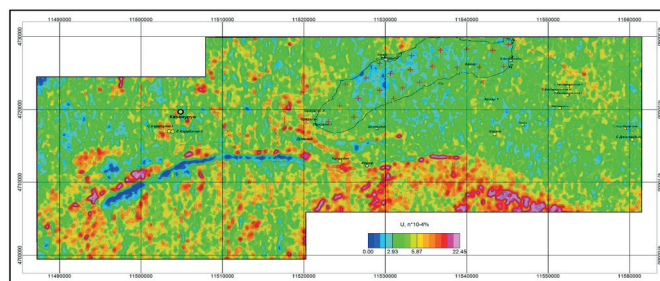


Рис. 8. Карта содержания урана.

Сурет 8. Уран құрамының картасы.
Figure 8. Map of Th of uranium content.

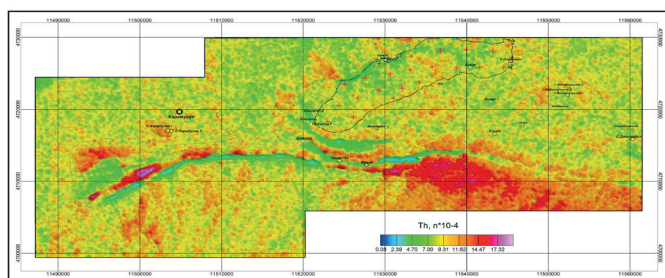


Рис. 6. Карта содержания тория.
Сурет 6. Торий құрамының картасы.
Figure 6. Map of thorium content.

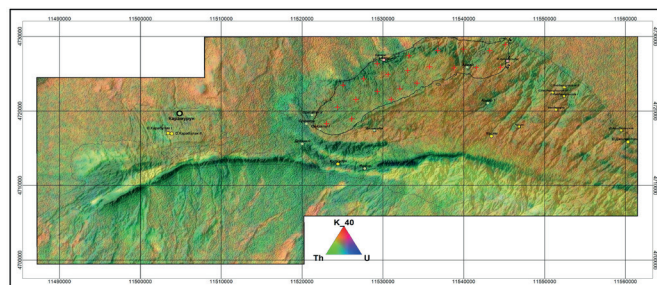


Рис. 9. Ternary grid (трехкомпонентный грид ЕРЭ).
Сурет 9. Үш компонентті грид (ЕРЭ).
Figure 9. Ternary grid (three-component grid of NRE).

до $5 \times 10^{-4}\%$ и повышениями до $11 \times 10^{-4}\%$ в центральной и северо-восточной частях. Рис. 5 представляет статистические параметры града содержаний тория, а рис. 6 – карту распределения тория.

Распределение урана (U): концентрация урана варьируется от 0 до $24 \times 10^{-4}\%$ со средним значением $4,74 \times 10^{-4}\%$.

В Бокалинском интрузиве уран имеет низкие концентрации ($1 \times 10^{-4}\%$ – $3 \times 10^{-4}\%$), а в районах, ассоциированных с вулканическими породами, значения увеличиваются до $10 \times 10^{-4}\%$ – $15 \times 10^{-4}\%$.

Рис. 7 демонстрирует статистические параметры града содержания урана, а рис. 8 – карту распределения урана.

Использование тернарного грида: построение тернарного грида (Ternary Grid) в Geosoft Oasis Montaj позволяет визуально отобразить соотношение концентраций калия, урана и тория на участке, выявляя геохимические аномалии и распределение ЕРЭ.

Рис. 9 показывает трехкомпонентный тернарный грид, который облегчает интерпретацию данных и выделение перспективных зон для дальнейшей детальной разведки.

Литологические особенности. На Букантау наблюдаются участки с пониженным содержанием калия, например, в областях, ассоциированных с рудопроявлениями меди (Архар, Архар-1), а также участки с повышенным содержанием калия в областях, где доминируют интрузивные породы.

Структурные аномалии. Особое внимание следует уделить зонам, где пониженные значения калия сочетаются с локальными аномалиями тория и урана, что указывает на потенциальную связь с глубинными рудными телами и тектоническими нарушениями. Эти данные совпадают с зарубежными тенденциями, где высокие показатели МЭД и изменения в распределении радиоактивных элементов связаны с разломами и зонами гидротермальной активности.

Интегрированная интерпретация. Наш опыт демонстрирует важность комплексного анализа, при котором аэрогаммаспектрометрические данные интегрируются с геологическими, магнитными и сейсмическими исследованиями. Такое объединение позволяет создать полную картину распределения полезных ископаемых, повысить точность интерпретации и выявить перспективные зоны для дальнейших детальных исследований.

Таким образом, наш опыт на участке Букантау подтверждает эффективность аэрогаммаспектрометрии для определения распределения естественных радионуклидов и показывает, как данные, полученные методом, могут быть использованы для комплексного геологического анализа. Сопоставление полученных результатов с зарубежными практиками позволяет адаптировать лучшие методики для оптимизации геологоразведочных работ в регионах с разнообразными литологическими и структурными особенностями. Эти данные подтверждают, что аэрогаммаспектрометрия на участке Букантау успешно выявляет литологические и структурные

аномалии, что согласуется с зарубежным опытом, а интеграция данных помогает оптимизировать программы геологоразведки.

Обсуждение

В ходе сравнительного анализа зарубежного опыта можно выделить следующие ключевые моменты.

Методологическая база: российский опыт отличается глубокой статистической обработкой данных и использованием специализированных инструментов визуализации (тернарный грид), что позволяет выявлять тонкие геохимические аномалии. Это является сильной стороной отечественной методики.

Комплексный подход: Казахстан, благодаря комплексной интеграции аэрогаммаспектрометрических данных с другими методами, сумел достичь высокой эффективности в геологоразведке, особенно в определении ураноносных зон. Такой подход способствует оптимизации расходных материалов и снижению затрат на буровые работы.

Технологические инновации: Канадский опыт показывает, что внедрение современных технологий (БПЛА, высокочувствительных детекторов, компьютерного моделирования) существенно повышает точность и оперативность получения данных. Высокая стандартизация съемок и строгий контроль качества позволяют создавать детализированные геологические модели.

Ограничения метода: несмотря на все преимущества, метод преимущественно регистрирует поверхностное радиоактивное излучение, что может создавать сложности при исследовании глубоких структур. Кроме того, результаты сильно зависят от внешних условий (погодные условия, растительность, влажность), что требует дополнительных корректировок и регулярной калибровки оборудования.

Таблица 1

Сводная таблица сравнительных характеристик АГС-работ в странах

Кесте 1

Елдердегі АГС жұмыстарының салыстырмалы сипаттамаларының жиынтық кестесі

Table 1

Summary table of comparative characteristics of AGS works in different countries

| Страна | Тип носителя | Высота полета, м | Программное обеспечение | Коррекция данных |
|------------|-------------------|------------------|-----------------------------------|--|
| Россия | Самолет, вертолет | 80–120 | Geosoft Oasis Montaj, СП «Росгео» | Атмосферная, барометрическая, топографическая |
| Казахстан | Самолет | 100 | Geosoft Oasis Montaj | Атмосферная, топографическая |
| Канада | Самолет, БПЛА | 60–100 | Proprietary Canadian package | Атмосферная, барометрическая, топографическая |
| Узбекистан | Вертолет | 70–150 | Geosoft Oasis Montaj, PRAGA | Собственное излучение воздушного судна и фон космического излучения. Комтоновское рассеяние. Поглощение гамма-излучения воздухом. Коэффициенты чувствительности. Вариации радона |

Метрологические параметры аппаратуры, используемой в исследованиях

Таблица 2

Зерттеулерде қолданылатын аппаратураның метрологиялық параметрлері

Кесте 2

Metrological parameters of the equipment used in the research

Table 2

| Параметр | Окно | Коэффициент концентрационной чувствительности |
|------------------|------------------------------|---|
| Чувствительность | Общий канал имп (мкР/ч) | 142,24 |
| | Калий имп/% | 40,48 |
| | Уран имп/10 ⁻⁴ % | 6,25 |
| | Торий имп/10 ⁻⁴ % | 2,52 |
| Точность съемки | σK | 3,83% |
| | σU | 3,47% |
| | σTh | 3,61% |

Перспективы развития: интеграция аэрогаммаспектрометрии с новыми дистанционными методами зондирования и применением аналитических методов (например, машинного обучения) открывает перспективы для создания еще более точных и оперативных геологических моделей, что особенно актуально для глобальной геологоразведки и экологического мониторинга.

Технологические инновации и перспективы развития

Новейшие разработки

Современные технологические достижения позволяют существенно расширить возможности аэрогаммаспектрометрии.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) снижают затраты и повышают детализацию съемок за счет полетов на низких высотах [3].

Высокочувствительные детекторы. Современные модели спектрометров уменьшают погрешности измерений и точно разделяют сигналы от различных радиоактивных элементов [4].

Компьютерное моделирование. Методы машинного обучения и геостатистического анализа позволяют строить трехмерные модели распределения радиоактивных элементов, прогнозировать будущие аномалии и оптимизировать геологоразведочные работы [4].

Перспективы развития

Будущее аэрогаммаспектрометрии определяется:

- расширением сфер применения, включая мониторинг экологической обстановки и контроль за техногенными объектами;
- интеграцией методов дистанционного зондирования для создания комплексных геологических моделей, способных учитывать не только поверхностные, но и глубинные структуры;
- международным сотрудничеством по обмену опытом и внедрению лучших практик, что позволит повысить эффективность геологоразведочных работ на глобальном уровне.

Заключение

Таким образом, аэрогаммаспектрометрия продолжает оставаться одним из наиболее эффективных методов геофизической разведки, предоставляя уникальную возможность изучать распределение естественных радионуклидов – калия, урана и тория в горных породах. Сравнительный анализ опыта России, Казахстана и Канады показывает, что интеграция аэрогаммаспектрометрических данных с другими геофизическими и геохимическими методами позволяет существенно повысить эффективность геологоразведочных работ, а также способствует более точной интерпретации полученных данных.

Современные технологии, включая использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), высокочувствительных детекторов и компьютерного моделирования, открывают новые горизонты для развития метода, расширяя возможности аэрогаммаспектрометрии в труднодоступных районах и повышая точность исследований.

Практические примеры, рассмотренные на основе исследований в районе Бокалинского интрузива и Букантау, демонстрируют успешное применение аэрогаммаспектрометрии для выявления литологических и геохимических аномалий, связанных с потенциальными рудными зонами. Эти результаты подтверждают высокую информативность и практическую ценность метода, особенно при решении задач комплексной геологоразведки и экологического мониторинга.

Перспективы дальнейшего развития аэрогаммаспектрометрии связаны:

- с широким внедрением автоматизированных систем сбора и обработки данных;
- с повышением пространственной и энергетической разрешающей способности измерений;
- с развитием программного обеспечения для интеграции аэрогаммаспектрометрических данных с другими геофизическими и геохимическими методами;
- с расширением использования метода в экологическом мониторинге, включая контроль радиоактивного загрязнения и анализ природного фона.

Таким образом, аэрогаммаспектрометрия не только сохраняет свою актуальность как инструмент геологоразведки, но и демонстрирует значительный потенциал для применения в смежных областях науки и техники, таких как экология, геоинформатика и управление природными ресурсами.

Благодарность

Исследование проведено в рамках производственной деятельности «Центральной геолого-геофизической» экспедиции Акционерного общества «Узбекгеологоразведка» Министерства горнодобывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бойко А.А. Аэрогаммаспектрометрия в современных геофизических исследованиях: монография: М.: Геофизический институт РАН, 2019. 272 с. (на русском языке)
2. Иванов И.И. Методы дистанционного зондирования в горнодобывающей промышленности // Журнал геологических исследований. 2020. Т. 45. № 3. С. 112–127 (на русском языке)
3. Воздушная гамма-спектрометрия: методы и применение / Смит Дж. [и др.] // Канадский журнал наук о Земле. 2021. Т. 58. № 4. С. 412–430 (на английском языке)
4. Радиометрические исследования в Центральной Азии: методика и применение / Каримова Н. [и др.] // Казахстанский геологический обзор. 2020. Т. 14. № 1. С. 25–46 (на русском языке)
5. Петров С.С. Публикационные материалы по аэрогаммаспектрометрическим исследованиям: сб. тр. / под ред. С. С. Петрова. М.: Геофизический институт РАН, 2018. 312 с. (на русском языке)
6. Бабаянц П.С. Возможности современных аэрогеофизических технологий при решении задач геологического картирования и поисков месторождений твердых полезных ископаемых: монография: М., 2015. 55 с. (на русском языке)
7. Контарович Р.С., Бабаянц П.С., Блох Ю.И., Трусов А.А. Методологические основы интерпретации материалов современных аэрогеофизических съемок // Европейская ассоциация геологов и инженеров, Geotodel 2007 – 9-я науч.-практ. конференция EAGE по геологоразведке и разработке месторождений нефти и газа, сентябрь 2007 г. (на русском языке)
8. Бабаянц П.С. Методология современной аэро-геофизической интерпретации // Разведка и охрана и недр. 2015. С. 25–33 (на русском языке)
9. Калмыков Б.А. Современные аэрогеофизические технологии при поисках месторождений золота // XI Межд. науч.-практ. конф. ЦНИГРИ, Москва, 2022. С. 209–213 (на русском языке)
10. Калмыков Б.А., Левин Ф.Д., Трусов А.А. Возможности современных аэрогеофизических методов при прогнозировании и поисках золоторудных месторождений // Золото и технологии. 2017. № 2. С. 64–70 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Бойко А.А. Қазіргі геофизикалық зерттеулерде әуе гамма спектрометриясы: монография: М.: Ресей Ғылым академиясының Геофизика институты, 2019. 272 б. (орыс тілінде)
2. Иванов И.И. Тау кен өнеркәсібінде қашықтықтан зондтау әдістері // Геологиялық зерттеулер журналы. 2020. Т. 45. № 3. Б. 112–127 (орыс тілінде)
3. Әуе гамма спектрометриясы: әдістері мен қолданбалары / Смит Дж. [және т. б.] // Канадалық Жер туралы ғылымдар журналы. 2021. Т. 58. № 4. Б. 412–430 (ағылшын тілінде)
4. Орталық Азиядағы радиометриялық жұмыстар: әдістері мен қолданбалары / Каримова Н. [және т. б.] // Қазақстандық геологиялық шолу. 2020. Т. 14. № 1. Б. 25–46 (орыс тілінде)
5. Петров С.С. Әуе гамма спектрометриялық зерттеулер материалдары: мақалалар жинағы: М.: Ресей Ғылым академиясының Геофизика институты, 2018. 312 б. (орыс тілінде)
6. Бабаянц П.С. Қатты пайдалы қазбалар кен орындарын іздеу мен геологиялық картографиялауда заманауи аэро-геофизикалық технологиялардың мүмкіндіктері: монография: М., 2015. 55 б. (орыс тілінде)
7. Контарович Р.С., Бабаянц П.С., Блох Ю.И., Трусов А.А. Қазіргі заманғы аэрогеофизикалық түсірілім материалдарын интерпретациялаудың әдістемелік негіздері // Еуропалық геологтар мен инженерлер қауымдастығы, Geotodel 2007 – мұнай мен газ кен орындарын барлау және игеру жөніндегі 9-ғылыми-практикалық конференция, қыркүйек 2007 ж. (орыс тілінде)
8. Бабаянц П.С. Заманауи аэро-геофизикалық интерпретация әдіснамасы // Жер қойнауын барлау және қорғау. 2015. Б. 25–33 (орыс тілінде)
9. Калмыков Б.А. Алтын кен орындарын іздестірудегі заманауи аэро-геофизикалық технологиялар // XI Халықаралық ғылыми-практикалық конференция ЦНИГРИ, Мәскеу, 2022. Б. 209–213 (орыс тілінде)
10. Калмыков Б.А., Левин Ф.Д., Трусов А.А. Алтын кен орындарын болжау және іздестіру кезіндегі заманауи аэрогеофизикалық әдістердің мүмкіндіктері // Алтын және технология. 2017. № 2. Б. 64–70 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Boiko A.A. *Aerogammaspektrometriya v sovremennykh geofizicheskikh issledovaniyakh: monografiya [Airborne Gamma Spectrometry in Modern Geophysical Research: Monograph]*. Moscow: Geofizicheskii institut RAN, 2019. 272 p. (in Russian)
2. Ivanov I.I. *Metody distantsionnogo zondirovaniya v gornodobyvayushchei promyshlennosti [Methods of Remote Sensing in the Mining Industry]*, Zhurnal geologicheskikh issledovaniy [Journal of Geological Research]. 2020. V. 45. No. 3. 112–127 pp. (in Russian)
3. *Airborne Gamma Spectrometry: Methods and Applications / Smith J. [et al.] // Can. J. Earth Sci.*, 2021. V. 58. No. 4. 412–430 pp. (in English)
4. *Radiometricheskie issledovaniya v Tsentral'noi Azii: metodiki i primeneniye [Radiometric Surveys in Central Asia: Techniques and Applications]*, Karimova N. [et al.], Kazakhstanskii geologicheskii obzor [Kazakhstani Geological Review]. 2020. V. 14. No. 1. 25–46 pp. (in Russian)
5. Petrov S.S. *Publikatsionnye materialy po aerogammaspektrometricheskim issledovaniyam: sb. tr. [Proceedings of Airborne Gamma-Spectrometry Research: Collection of Papers]*. Moscow: Geofizicheskii institut RAN, 2018. 312 p. (in Russian)
6. Babayants P.S. *Vozможности современных аэрогеофизических технологий при решении задач геологического картирования и поисков месторождений твердых полезных ископаемых: монография [Capabilities of modern airborne geophysical technologies in geological mapping and solid mineral exploration: Monograph]*. Moscow, 2015. 55 p. (in Russian)
7. Kontarovich R.S., Babayants P.S., Blokh Yu.I., Trusov A.A. *Metodologicheskie osnovy interpretatsii materialov sovremennykh аэрогеофизических s'emok [Methodological foundations for the interpretation of modern airborne geophysical survey data]*, Evropeiskaya assotsiatsiya geologov i inzhenerov, Geomodel 2007 – 9-ya nauch.-prakt. konferentsiya EAGE po geologorazvedke i razrabotke mestorozhdenii nefi i gaza [European Association of Geoscientists and Engineers, Geomodel 2007 – 9th Scientific and Practical Conference of the EAGE on Geological Exploration and Development of Oil and Gas Fields], September 2007 (in Russian)
8. Babayants P.S. *Metodologiya sovremennoi аэро-геофизической интерпретации [Methodology of interpreting modern airborne geophysical data]*, Razvedka i okhrana i nedr [Prospecting and Protection of Mineral Resources]. 2015. 25–33 pp. (in Russian)
9. Kalmykov B.A. *Sovremennye аэрогеофизические технологии при поисках месторождений золота [Modern airborne geophysical technologies for gold deposit exploration]*, XI Mezhd. nauch.-prakt. konf. TsNIGRI [XI International Scientific and Practical Conference TSNIGRI], Moscow, 2022. 209–213 pp. (in Russian)
10. Kalmykov B.A., Lyovin F.D., Trusov A.A. *Vozможности современных аэрогеофизических методов при прогнозировании и поисках золоторудных месторождений [Opportunities of modern airborne geophysical methods in forecasting and exploration of gold ore deposits]*, Zoloto i tekhnologii [Gold and Technology]. 2017. No. 2. 64–70 pp. (in Russian)

Сведения об авторах:

Ашуров А.У., главный геофизик, «Центральная геолого-геофизическая» экспедиция АО «Узбекгеологоразведка» Министерства горнодобывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан (г. Самарканд, Узбекистан), abrashurov1986@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0003-9239-1327>

Мурашкин С.С., начальник Аэрогеофизической партии, «Центральная геолого-геофизическая» экспедиция АО «Узбекгеологоразведка» Министерства горнодобывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан (г. Самарканд, Узбекистан), sergej.murashkin.1990@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-9301-6605>

Авторлар туралы мәліметтер:

Ашуров А.У., бас геофизик, Өзбекстан Республикасының тау-кен өнеркәсібі және геология министрлігінің «Орталық геологиялық-геофизикалық» экспедициясының «Өзбекгеологоразведка» акционерлік қоғамы (Самарканд қ., Өзбекстан)

Мурашкин С.С., Аэрогеофизикалық топтың меңгерушісі, Өзбекстан Республикасының тау-кен өнеркәсібі және геология министрлігінің «Орталық геологиялық-геофизикалық» экспедициясының «Өзбекгеологоразведка» акционерлік қоғамы (Самарканд қ., Өзбекстан)

Information about the authors:

Ashurov A.U., Chief Geophysicist, «Central Geological-Geophysical» expedition of Uzbek Geological Search JSC of the Ministry of Mining Industry and Geology of the Republic of Uzbekistan (Samarkand, Uzbekistan)

Murashkin S.S., Head of the Aerogeophysical Team, «Central Geological-Geophysical» expedition of Uzbek Geological Search JSC of the Ministry of Mining Industry and Geology of the Republic of Uzbekistan (Samarkand, Uzbekistan)