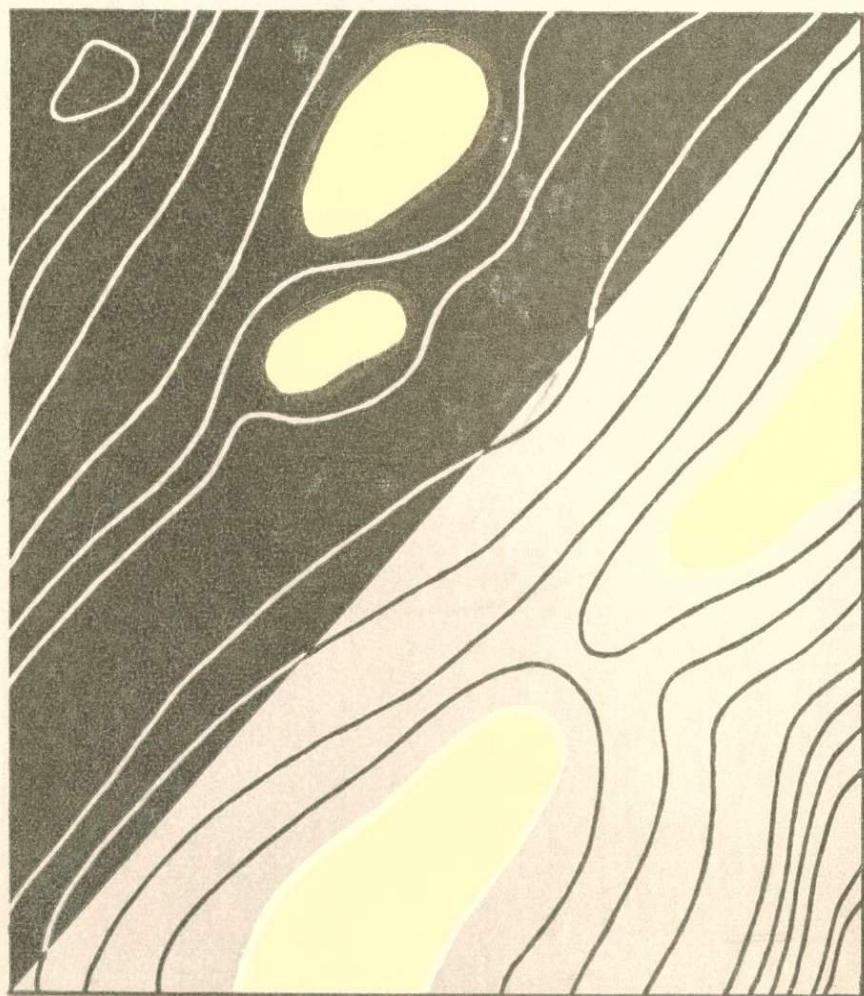


АЭРОГАММА- СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОИСКОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ «ГЕОФИЗИКА»

АЭРОГАММА- СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОИСКОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Методическое руководство

Под редакцией В. П. ВОРОБЬЕВА

2149



ЛЕНИНГРАД
«НЕДРА» ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ 1977



Аэрогамма-спектрометрический метод поисков рудных месторождений (Методическое руководство). Л., «Недра», 1977. 216 с. (М-во геологии СССР). Авт.: В. П. Воробьев, А. В. Ефимов, М. И. Альтшулер и др.

В книге рассмотрены геологические основы АГСМ-поисков рудных месторождений, физические основы метода, выпускаемая отечественная аппаратура, методика съемки и первичная обработка АГСМ-материалов, аппаратура и методика автоматической обработки АГСМ-информации. Показана методика интерпретации АГСМ-данных в полевой и камеральный периоды для поисков рудных месторождений, изложена методика применения бортовых устройств БУК-4 и МДУ на этапе предварительной интерпретации. Подробно разобраны апробированные на практике статистические методы распознавания образов, применяемые при интерпретации АГСМ-информации.

Описана методика наземной проверки АГСМ-аномалий, являющейся заключительным этапом поисков. Изложены особенности применения АГСМ-метода при поисках важнейших видов минерального сырья (олова, золота, тантала, молибдена, вольфрама, бокситов и др.).

Даны конкретные методические рекомендации по применению АГСМ-метода при поисках рудных месторождений.

Книга предназначена для геофизиков, геохимиков и геологов, занимающихся поисками полезных ископаемых.

Табл. 20, ил. 49, прил. 1, список лит. 86 назв.

Авторы: В. П. Воробьев, А. В. Ефимов, М. И. Альтшулер, Л. И. Вавилин, Д. С. Зеленецкий, В. Ф. Клавуть, С. Л. Кляковкин, А. И. Лаубенбах, О. Г. Семенова, Л. Н. Скосырева, И. И. Славягина, В. В. Филимонов, П. Н. Фогт.

ИБ № 1497

АЭРОГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОИСКОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Редактор издательства **З. К. Андрюнина**. Переплет художника **Ю. Н. Давыдова**
Техн. редактор **Н. П. Старостина**. Корректор **Л. А. Пажильцева**

Сдано в набор 28/X 1976 г. Подписано в печать 9/VI 1977 г. М-25013.
Формат 60 × 90^{1/16}. Бумага кн.-журн. Печ. л. 13^{1/2}. Уч.-изд. л. 14.45.
Тираж 2400 экз. Заказ № 1339/450-с. Цена 90 коп.

Издательство «Недра». Ленинградское отделение. 193171, Ленинград, С-171,
ул. Фарфоровская, 12.

Ленинградская типография № 6 Союзполиграфпрома при Государственном комитете
Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
198006, Ленинград, М-6, Московский проспект, 91.

А $\frac{20804-348}{043(01)-77}$ 78-77

© Издательство «Недра», 1977

Аэрогамма-спектрометрический метод изучает осредненные по площади содержания урана (радия), тория и калия в приповерхностном слое горных пород с помощью аппаратуры, установленной на борту летательного аппарата (вертолета, самолета). Первый отечественный поисковый аэрогамма-спектрометр (в составе комплексной станции АСГ-48) создан в начале 60-х годов, однако массовое внедрение метода произошло в конце 60-х начале 70-х годов на базе технического перевооружения аэрогеофизической службы страны (станции АСГ-48М, АСГ-48М2). В 1970 г. разработан высокоточный аэрогамма-спектрометр ГСА-70, который по своим параметрам находится на уровне лучших мировых образцов. Под названием АГС-71с он входит в состав новой комплексной станции АГС-71, серийный выпуск которой начат в 1975 г. Следует отметить, что уже в 1971—1975 гг. значительное количество аэропартий выполняли съемку с макетами ГСА-70.

Параллельно с созданием аппаратуры разрабатывалась и совершенствовалась методика аэрогамма-спектрометрических работ. Результаты этих разработок применительно к поискам урановых месторождений изложены в методическом руководстве [4].

По мере накопления опыта АГСМ-работ становилось ясно, что геологические возможности метода гораздо шире. Производственная практика поставила перед аэрогамма-спектрометрией новые задачи, важнейшими из которых являются поиски месторождений цветных, редких и благородных металлов.

Методика АГСМ-поисков рудных месторождений обладает многими специфическими особенностями, которые не отражены в существующих методических руководствах. Не все вопросы АГСМ-метода освещены в данном руководстве с одинаковой полнотой либо в силу их недостаточной разработанности, либо, наоборот, в связи с подробным изложением в опубликованных работах. Совсем не затрагиваются две важные проблемы: 1) геологическое картирование по аэрогамма-спектрометрическим данным и 2) комплексирование аэрогамма-спектрометрии с другими аэрогеофизическими методами, выходящие далеко за рамки данной темы.

Рассмотрены геологические основы АГСМ-поисков рудных месторождений: парагенезисы рудных и радиоактивных элементов для разных генетических классов полезных ископаемых и те трансформации, которые претерпевают «рудные» радиогеохимические аномалии в разных типах ландшафтов. Тем самым охарактеризован объект исследования, в выделении и оценке которого и заключается суть АГСМ-поисков оруденения. Описаны физические основы АГСМ-метода и серийная АГСМ-аппаратура, а также бортовое устройство классификации (БУК-4) и множительно-делительное устройство (МДУ). Дана методика АГСМ-съемки и первичная обработка АГСМ-измерений. Приведены критерии для выбора площадей и масштаба АГСМ-работ в зависимости от поставленных геологических задач. Особое значение имеет точность построения карт содержаний радиоактивных элементов, поэтому подробно рассмотрены вопросы градуировки аппаратуры и увязки результатов АГСМ-измерений.

Аппаратура и методика автоматической обработки АГСМ-информации с применением ЭВМ изложена в гл. IV. Ее преимущества перед ручной обработкой материалов общеизвестны. Но для максимально эффективного применения ЭВМ необходимо регистрировать текущие координаты летательного аппарата, что в настоящее время возможно в равнинных районах, где АГСМ-съемку можно выполнять с радионавига-

ционной привязкой. Эффективные системы машинной интерпретации данных АГСМ-измерений находятся в стадии разработки.

Следует отметить одно важное обстоятельство. Любая система машинной обработки АГСМ-данных в ближайшем будущем может быть реализована только в камеральный период и не обеспечит оперативного выделения перспективных АГСМ-аномалий, что необходимо для их наземной проверки одновременно с АГСМ-съемкой.

Следовательно, автоматизация интерпретации АГСМ-материалов должна развиваться в двух взаимосвязанных направлениях: 1) обработки данных на ЭВМ; 2) использовании бортовых устройств классификации, формирующих сигнал перспективности одновременно с регистрацией АГСМ-данных.

Дана методика интерпретации АГСМ-данных применительно к поискам рудных месторождений. В соответствии с задачами АГСМ-работ интерпретация проводится в 2 этапа: предварительный (полевой), когда оперативно выделяются аномалии под наземную проверку, и окончательный (камеральный), предусматривающий наиболее полное извлечение геологической информации из уточненных материалов.

Рассмотрена методика применения бортовых устройств БУК-4 и МДУ на этапе предварительной интерпретации. Подробно разобраны апробированные на практике статистические методы распознавания образов, применяемые при интерпретации информации. Кратко охарактеризованы возможности методов безэталонной классификации АГСМ-полей.

Методическое руководство составлено следующим коллективом авторов: В. П. Воробьевым (введение, заключение, разделы I, III.1, III.4, VI, VII.3, VII.6), А. В. Ефимовым (II.4, III.1, III.4, IV.5, V, VII.2, VII.4), М. И. Альтшулером (III.3, VII.5), Л. Н. Вавилиным (III.2, III.3), Д. С. Зеленецким (IV, V.4), В. Ф. Клавсугем (VII.1), С. Л. Ключовкиным (III.2, III.3), А. И. Лаубенбахом (VII.7, VII.8), О. Г. Семеновской (IV, V.5), Л. Н. Скосыревой (VII.7, VIII.8),

И. И. Славягиной (VII.7, VII.8), В. В. Филимоновым (III.2), П. Н. Фогтом (гл. II).

В основу книги положены материалы, полученные авторами при совместных работах или в содружестве с аэрогеофизическими партиями многих производственных организаций. Большой вклад в разработку вопросов поисковой аэрогамма-спектрометрии внесли сотрудники аэропартий Читинского ТГУ, Дальневосточного ТГУ и полевой экспедиции № 1 ЗГТ.

При составлении руководства использованы аэрогамма-спектрометрические данные Г. И. Кузьмина, Ю. Д. Пинегина (НПО «Геофизика»), В. П. Истомина, Н. В. Сачунова, Г. Н. Прокопчука (ЧТГУ), Н. К. Ждана, Б. И. Гуляева, В. П. Здориченко (ДВТГУ), В. Т. Карпушкина (ПТГУ), Г. А. Ерема, Д. В. Калмыкова (ЗГТ), А. Г. Хваловского, Л. Н. Котляревского (трест «Ташкентгеология»). Всем перечисленным лицам авторы выражают свою благодарность.

Авторы признательны В. В. Федынскому, В. В. Бродовому, М. В. Чеботареву, З. И. Смирновой, В. Е. Никитскому, В. И. Федюку, Ю. В. Хромову, К. А. Шацкину (Мингео СССР), И. С. Бредихину, М. И. Киселеву, Ю. Л. Чудинову (Мингео РСФСР), В. А. Волкову (Мингео КазССР), В. Д. Огородникову (ЧТГУ), Г. И. Иванову, К. А. Шанцыну (ДВТГУ), Н. П. Ченцову, В. К. Ключеву, Б. И. Каштаеву (ПТГУ), П. В. Бабкину, В. Н. Старовойтову (СВТГУ), В. И. Климову (трест Самаркандгеология), Н. Н. Болгурцеву, В. М. Беляеву (ЗГТ), М. И. Сердюкову, И. П. Карпееву (КазИМС) за помощь при исследованиях.

1. ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АЭРОГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ПОИСКОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

1.1. ПАРАГЕНЕЗИС РУДНЫХ И РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

С геохимической точки зрения все месторождения полезных ископаемых являются комплексными. В рудных телах или их обрамлении наряду с элементами, образующими промышленные скопления, концентрируются многие другие (иногда несколько десятков), в том числе и радиоактивные. Если ассоциация радиоактивных и рудообразующих элементов является устойчивой, повторяющейся в большинстве (во всех) однотипных месторождениях, то ее можно использовать для локализации рудоносных площадей гамма-спектрометрическими методами.

Устойчивая геохимическая ассоциация может быть только парагенетической, причем в данном случае под парагенезисом понимается тесная пространственная связь радиогеохимических аномалий с рудной минерализацией, обусловленная их генетической общностью: возникновением в один этап минерализации, в ходе единого рудного процесса. Аэрогамма-спектрометрические (АГСМ) поиски полезных ископаемых являются, таким образом, своеобразной разновидностью геохимических поисков оруденения по элементам-спутникам, методом, который давно и успешно используется в поисковой практике [24, 69].

Учитывая парагенетический характер связи радиоактивных элементов с оруденением, в основу типизации месторождений применительно к потребностям АГСМ-поисков должна быть положена рудная формация — «статистически устойчивая ассоциация парагенезисов (пород, руд), объединенных общей структурой» [61]. Структура формации определяется зональностью: закономерным расположением в пространстве слагающих формацию парагенезисов. Аномальные концентрации радиоактивных элементов или их аномальные соотношения могут быть присущи любому парагенезису или нескольким из них. Тенденция к обособлению парагенезисов в пространстве никогда не реализуется полностью, отдельные минеральные ассоциации в большей или меньшей степени накладываются на все предшествующие образования, что создает пеструю картину аномального распределения радиоактивных элементов на месторождениях полезных ископаемых. Отсюда следует, что объектом АГСМ-поисков являются не рудные тела или рудоносные зоны, а рудное поле месторождения

в целом: участок земной поверхности, в пределах которого проявлены все стадии рудного процесса, т. е. совокупность рудных тел, метасоматически измененных пород и первичных ореолов рассеяния.

Размеры рудных полей месторождений полезных ископаемых весьма разнообразны: от долей до 10, но обычно 2—4 км², поэтому месторождения и перспективные участки выделяются площадными АГСМ-аномалиями. Радиогеохимические особенности, присущие данной рудной формации, гораздо явственнее проявлены на месторождениях, чем на рудопроявлениях и проявлениях минерализации. Это и понятно. Месторождения являются сложными, длительно формирующимися объектами, в то время как мелкие рудопроявления образованы обычно 1—2 стадиями минерализации. Аэрогамма-спектрометрия, следовательно, нацелена на поиски крупных скоплений рудного вещества.

Пространственные соотношения рудных зон и участков максимальной концентрации радиоактивных элементов в пределах рудного поля могут быть различными. Если рудная и радиоактивная минерализация отлагались в одну стадию, то радиоактивные аномалии приурочены к рудным телам и первичным ореолам рассеяния. Если же они выделялись в разные стадии, то радиоактивные элементы обогащают соответствующую зону метасоматической колонки, располагаясь на удалении единиц — первых сотен метров от рудных тел. Первый случай обычен, например, на редкометалльных карбонатитовых и альбититовых месторождениях, где торий и уран концентрируются в рудных минералах; второй встречается в подавляющем большинстве жильных гидротермальных месторождений. Если «сдвиг максимумов» невелик (до 100 м), то он не улавливается АГСМ-съемкой. Если же разрыв достигает сотен метров, то внутреннюю структуру АГСМ-аномалий следует учитывать при оконтуривании перспективных участков. При наземных проверочных работах необходимо учитывать взаимные расположения радиогеохимических аномалий и рудной минерализации. В противном случае возможны грубые ошибки в оценке рудоносности аномального участка.

Таким образом, при определении предпосылок применения АГСМ-метода для поисков того или иного вида полезных ископаемых необходимо установить наличие площадных радиогеохимических аномалий на типовых месторождениях и доказать их парагенетическую связь с рудной минерализацией.

Обосновать парагенезис можно несколькими способами. Минералогический анализ позволяет надежно установить, входит ли радиоактивная минерализация в состав минеральных ассоциаций, сформированных в течение процесса рудообразования. К сожалению, возможности метода ограничены, ибо только калий всегда образует собственные минералы, в то время как торий и особенно уран часто находятся в безминеральной форме. Универсальным критерием является положение радиоактивных аномалий в зо-

нальности рудного поля. Если аномалии контролируются определенными зонами оруденелых пород или околорудных метасоматитов, то наличие их генетическая общность с оруденением. Если же они азональны, то радиоактивные элементы привнеслись в иной этап минерализации и лишь случайно два этапа проявлены в едином рудном поле (известны случаи, когда хромитовые тела рассекались ураноносными жилами). И наконец, статистическая обработка данных наземных или аэрогеофизических работ может выявить сходные радиогеохимические закономерности на нескольких однотипных рудных месторождениях, что, очевидно, будет отражать особенности генезиса руд. Однако для достоверной чисто статистической оценки требуются данные по гораздо большему числу месторождений, чем обычно имеется в распоряжении исследователя.

Комбинация перечисленных методов позволяет однозначно решить вопрос о характере связи оруденения с радиогеохимическими аномалиями и, следовательно, о применимости метода для поисков аналогичных месторождений.

Необходимо иметь в виду, что парагенетический характер связи предполагает неоднозначное соответствие АГСМ-аномалий участкам с рудной минерализацией. Так, при поисках гидротермальных месторождений по АГСМ-данным выделяются метасоматиты определенного типа, контролирующие рудные месторождения района (например, грейзены, березиты, пропилиты и др.). Известно, что все гидротермальные руды приурочены к зонам метасоматитов, однако обратное утверждение неверно. Однотипные метасоматиты, фиксируемые одинаковыми АГСМ-аномалиями, могут содержать или не содержать промышленного оруденения. Эта неопределенность в принципе не устраняется АГСМ-съемкой, а вопрос о наличии рудной минерализации в выделенных с воздуха гидротермально измененных породах решается уже на этапе наземной проверки.

Помимо выделения локальных (1—2 км²) потенциально рудоносных участков по АГСМ-данным можно оконтуривать более обширные площади размерами в десятки и первые сотни квадратных километров, перспективные на рудную минерализацию. При этом используется магматический или литологический контроль оруденения. При поисках месторождений, приуроченных к материнским массивам или их экзоконтактам [51], большой интерес представляет картирование интрузивных тел, с которыми связано оруденение. Не менее важно выделить и проследить рудовмещающий горизонт при поисках стратифицированных осадочных месторождений (например, медистых сланцев или фосфоритов). В том и другом случае это возможно, если горные породы, контролирующие размещение полезных ископаемых, обладают специфическими радиогеохимическими особенностями.

В некоторых районах установлено [64], в других предполагается, что рудные месторождения закономерно размещаются

в региональных полях гидротермально измененных пород. Радиогеохимические поля этих образований не изучены; в случае аномальности их также можно использовать как площадные косвенные АГСМ-признаки оруденения.

Крупные аномальные АГСМ-поля как косвенный признак рудной минерализации, позволяющий прогнозировать оруденения и разбраковывать АГСМ-аномалии, только начинают изучать. Их использование в поисковой практике — дело будущего. Еще более крупные перспективные площади — рудные районы и металлогенические зоны — в настоящее время не удается выявлять и оценивать по АГСМ-данным. Это объясняется, с одной стороны, отсутствием каких-либо теоретических концепций о региональных закономерностях распределения урана, тория и калия в связи с рудной минерализацией, а с другой — относительно малым объемом АГСМ-данных, не позволяющим пока установить такие закономерности чисто эмпирическим способом.

Следует учитывать, что концентрации урана (радия), тория и калия в горных породах претерпевают заметные изменения при выветривании и особенно почвообразовании. Наиболее подвижен в зоне гипергенеза уран и продукты его распада (радий, радон), наименее — торий. Влияние мощности и состава перекрывающих рыхлых отложений и других геологических факторов на достоверность определения содержания радиоактивных элементов в коренных породах подробно рассмотрено ниже. Опыт аэрогеофизических и наземных работ в гумидной и аридной климатических зонах свидетельствует о том, что радиогеохимические аномалии, присущие месторождениям полезных ископаемых, улавливаются гамма-спектрометрическими методами, если мощность автохтонных рыхлых отложений не более 2—3 м. Этому условию отвечают бóльшая часть территории горных областей Советского Союза и обширные площади в равнинных районах Казахстана, Забайкалья и других рудных регионах.

1.2. ОСНОВНЫЕ РАДИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУДНЫХ ФОРМАЦИЙ

Гамма-спектрометрическое изучение многих десятков рудных месторождений Восточной Сибири, Дальнего Востока, Северо-Востока, Средней Азии, Казахстана, Закавказья и других регионов, а также обзор литературных материалов позволяют наметить некоторые общие закономерности распределения радиоактивных элементов в месторождениях различных полезных ископаемых (табл. I.1.).

Все радиоактивные элементы — U, Th и K — являются литофильными, в процессе магматической дифференциации их концентрации резко увеличиваются от основных пород к кислым и щелочным. Поэтому магматогенные рудные месторождения, генетиче-

ски связанные с базитами и гипербазитами (Pt, Cr, Ti, V, Cu, Ni), обладают монотонным, низким содержанием урана, тория и калия, характерным для материнских магм.

В ультраосновных-щелочных комплексах содержание радиоактивных элементов возрастает в 2—3 раза, причем преимущественное накопление тория ($\text{Th}/\text{U} = 7$ и более) определяет ториевую специализацию пород щелочно-ультраосновного комплекса [54, 22]. Поздние фазы магматизма представлены щелочными породами с очень высоким содержанием калия (до 10%). С ультраосновными-щелочными комплексами связаны карбонатитовые массивы, несущие крупные месторождения редких элементов, главным образом ниобия и редких земель. Интенсивные гамма-аномалии на этих месторождениях и высокое содержание урана (0,0 п%) и тория (до 0, п%) установлены еще на заре изучения радиоактивности горных пород [23, 82].

Редкометалльное оруденение карбонатитов относится к двум рудным формациям: гатчеттолит-пирохлоровой и колумбит-бастнезитовой [20]. В гатчеттолит-пирохлоровых месторождениях тантало-ниобиевые (гатчеттолитовые) и ниобиевые (пирохлоровые) залежи зачастую пространственно разобщены. В первых концентрируются уран и торий, во вторых — в основном торий. Прямая корреляция между содержанием тантала и урана [6] позволяет оконтуривать рудные тела и ориентировочно оценивать их состав гамма-спектрометрическими методами. Ниобиево-редкоземельные (колумбит-бастнезитовые) тела характеризуются высокой радиоактивностью ториевой природы. Редкие и радиоактивные металлы отчасти выщелачивались при метасоматическом преобразовании магматических пород, вмещающих карбонатиты; часть рудного вещества (в том числе тория и урана) привносилась флюидами из глубинного источника [20].

Отмечается, что карбонатиты I стадии (безрудные) практически не отличаются от вмещающих пород по содержанию радиоактивных элементов; на II стадии формируются редкометалльные и урано-ториевые руды; на III и IV перераспределяются и выносятся как рудные, так и радиоактивные элементы, причем уран выносится интенсивнее тория и Th/U -отношение резко возрастает [6, 20].

Салические месторождения цветных, редких и благородных металлов по условиям образования, по вещественному составу руд и по ассоциациям сопутствующих радиоактивных элементов разнообразнее мафических.

При дифференциации гранитоидной магмы большинство рудообразующих элементов, так же как уран и торий, относительно накапливаются в продуктах самых поздних магматических фаз: малых телах или «дополнительных» интрузиях крупных сложно построенных гранитоидных массивов [21, 68, 73].

Малые элементы мигрируют совместно в процессах высокотемпературного постмагматического изменения материнских

ТАБЛИЦА 1.1

Локальные аэрогамма-спектрометрические признаки некоторых рудных

Приращение содержаний радиоактивных элементов, %			Вмещающие породы
U (Ra), 10 ⁻⁴	Th, 10 ⁻⁴	K	
< 6	> 20	0—5	Щелочные, ультраосновные щелочные магматические комплексы, карбонатиты, метаморфические породы
> 8	> 20	0—5	То же
4—10	0—4	0—1	Граниты
0—2	> 6	0	Алюмосиликатные породы
2—6	0—4	2—5	Гранитоиды, кислые эффузивы
			Средние и основные породы
			Метаморфические и осадочные породы
0—1	4—10	2—4	Осадочные породы; кислые и средние эффузивы
0—2	0	> 2	Средние и кислые эффузивы
0—4	> 4	—2—0	Осадочные породы
> 4	0	—1—0	То же

месторождений (доли — единицы квадратных километров по площади)

Полезные ископаемые	Рудные формации	Примечание
Nb, TR, Be	Карбонатитовая Щелочных метасоматитов	Th/U > 5
Ta, Nb	То же	
Ta, (Nb), Be, Sn, W, Mo	Апогранитовая Грейзеновая	Максимумы Th и U совмещены; $\Delta Th/\Delta U \leq 1$
Sn, W, Nb	Грейзеновая	Сопровождает аномалии апогранитовой формации
Mo, Au, Pb, Zn	Молибденит-серицитовая Золото-сульфидная Полиметаллическая в силикатных породах	Максимумы K и U не совпадают
Au, Cu—Mo	Медно-молибденовая Золото-сульфидная	
Au, Sn, (Pb, Zn)	Касситерит-сульфидная Золото-сульфидная Золото-кварцевая (?)	Типа Хапчеранги и Первоначального
Sn, (Cu, Pb, Zn)	Касситерит-силикатная Касситерит-сульфидная	Приморье, Дальний Восток
Au, Ag	Золото-серебряная вулканогенная (эпитермальная) Полиметаллическая вулканогенная (эпитермальная)	Максимумы K и U не совпадают
Al TR, Nb, Ta	Бокситы, латериты, россыши коры выветривания	Th/U > 5
Cu, фосфатное сырье	Медистые сланцы, фосфориты	U/Th > 1

пород, приводящих к образованию крупных интразитрузивных месторождений редких и цветных металлов, относящихся к двум классам рудных формаций: грейзеновому и апогранитному (альбититовому).

Общепринятым является мнение: геохимический облик интразитрузивных образований наследуется от материнских гранитоидов, что объясняет, в частности, повсеместно наблюдаемое обогащение месторождений этой группы ураном и торием (рис. I.1; I.2).

Альбититовые месторождения связаны с массивами гранитов нормального и щелочного типа; состав руд при этом закономерно

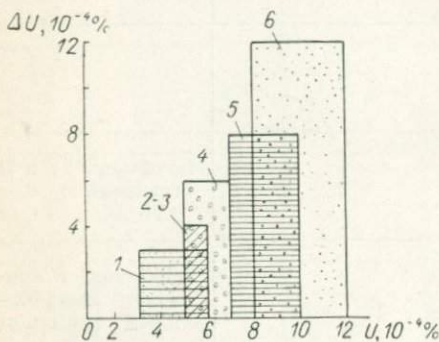


Рис. I.1. Зависимость приращения содержания урана в грейзенах от содержания урана в материнских гранитах.

Грейзеновые месторождения: 1 — Чаантальское (Чукотка), 2 — Зун-Ундур, Барун-Ундур (Забайкалье), 3 — Восточный Коунрад, Северный Коунрад, Вольфрамовые Сопки (Казахстан), 4 — Партизанское (Приморье), 5 — одно из месторождений Забайкалья, 6 — месторождение X Казахстана.

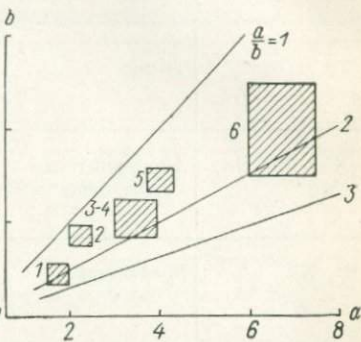


Рис. I.2. Зависимость Th/U -отношения в грейзенах (б) от Th/U -отношения в материнских гранитах (а).

Грейзеновые месторождения: 1 — Зун-Ундур, Барун-Ундур (Забайкалье), 2 — Чаантальское (Приморье), 3 — Восточный Коунрад, Северный Коунрад, Вольфрамовые Сопки (Казахстан), 4 — одно из месторождений Забайкалья, 5 — Чаантальское (Чукотка), 6 — месторождение X Казахстана.

меняется. К апогранитам нормального и субщелочного ряда приурочены месторождения тантала и бериллия с ниобием, оловом, вольфрамом. Апограниты щелочного ряда контролируют ниобиевое (с танталом), циркониевое и редкоземельное оруденения. Параллельно с разделением редких элементов происходит разделение тория и урана. Колумбит-танталитовая и пироксид-микрелитовая минерализация, характерная для апогранитов нормального и субщелочного ряда, сопровождается концентрацией урана в рудах до 0,005—0,01%, причем распределения урана и тантала в массиве в общих чертах совпадают. Основная масса урана входит в состав тантало-ниобатов. Содержание тория в рудоносных зонах остается фоновым для массива или несколько повышается, но отношение $Th/U = 1$.

Редкометалльные апограниты обычно сопровождаются серией грейзеновых и кварц-полевошпатовых жил с оловянной, вольфрамовой и бериллиевой минерализацией. Такие жилы распола-

гаются иногда в самих массивах, но обычно приурочены к экзо-контактной зоне. В грейзенах (по предварительным данным концентрируется торий (до $50 \cdot 10^{-4}\%$), мигрировавший из массива в процессе его преобразования; в грейзеновых телах отношение $\text{Th}/\text{U} = 10$. Зональность рудного поля приводит к появлению двух взаимосвязанных радиогеохимических аномалий: урановой (в редкометалльных апогранитах) и ториевой (в рудоносных грейзенах надынтризивной зоны).

Несмотря на неоднократное перераспределение калия в процессе образования месторождений, его валовое содержание в метасоматитах обычно остается на уровне кларковых концентраций в гранитах или несколько уменьшается [2].

В редкоземельно-ниобиевых щелочных альбититах резко возрастает содержание тория (до $0,0 n - 0,1\%$) и менее интенсивно — содержание урана ($0,00 n \%$), так что $\text{Th}/\text{U} = 4 \div 6$ и более. В рудных телах отмечается торит, ураноторит и торрианит, иногда настуран [47]. Максимальные концентрации тория приурочены к богатым редкометалльным рудам. Содержание калия в рудных полях снижается пропорционально интенсивности альбитизации.

Судя по немногим данным, бериллиевые месторождения в апогранитах по радиогеохимическим параметрам аналогичны месторождениям тантала, а в щелочных альбититах — месторождениям ниобия — редких земель. Формы нахождения урана в бериллоносных апогранитах неясны, в фенакитовых месторождениях, ассоциирующих со щелочными альбититами, торий образует собственные минералы (торит).

Месторождения грейзеновой группы, являющиеся важным промышленным источником олова, вольфрама и молибдена, приурочены к нормальным и кислым гранитам заключительных фаз магматических циклов, обогащенным, как правило, ураном и торием. При постмагматическом перераспределении рудообразующих элементов и формировании рудных тел уран и в меньшей мере торий накапливаются в грейзенах, входя в состав акцессорных минералов, и распределяются в грейзенах весьма неравномерно, образуя резкие локальные концентрации на общем повышенном фоне [78]. По имеющимся данным не отмечается приуроченности максимальных концентраций урана и тория к какой-либо определенной фации метасоматической колонки. Содержание калия резко варьирует в разных минеральных типах грейзенов: от долей процента (кварц-топазовые фации) до 9—10% (мусковитовые фации), однако вследствие чередования маломощных грейзеновых зон разного состава рудное поле в целом почти не отличается по содержанию калия от вмещающих гранитов. Вместе с тем устанавливается прямая зависимость между амплитудой радиометрических аномалий и интенсивностью вторичных изменений гранитов вне зависимости от состава руд (Sn, W, Mo). Некоторое количество урана привносится в пострудную стадию минерализации.

Содержание урана ($10 \div 40$) $\cdot 10^{-4}\%$ в грейзенах Казахстана, Восточной Сибири и Дальнего Востока в 2—5 раз выше фона. Содержание тория в грейзенах близко к фоновому, хотя сам фон для разных месторождений меняется в широких пределах ($10 \div 60$) $\cdot 10^{-4}\%$. Торий-урановое отношение в грейзенизированных породах меняется от долей единицы до 5, но оно всегда минимально для рудоносного массива.

В грейзеновых месторождениях надынтризивной зоны собственно грейзены слагают лишь узкие внутренние зоны метасоматической колонки, тогда как во внешних широко проявлена серицитизация и соответственно рудное поле обогащается калием. При АГСМ-съемке рудные поля экзогрейзенов обычно выделяются локальными урановыми аномалиями, которые расположены в пределах нелокальных слабоинтенсивных калиевых аномалий.

Месторождения скарновых рудных формаций (молибденовые, вольфрамовые, медные, полиметаллические) обычно обладают низким содержанием радиоактивных элементов, не отличающимся от вмещающих карбонатных пород. Изредка и закономерно на оруденелые скарны наложена урановая минерализация, но в общем скарновое оруденение является неблагоприятным объектом для АГСМ-поисков. У апоинтризивных салических месторождений, не обнаруживающих непосредственной пространственной приуроченности к определенной разновидности магматических пород, не проявляются черты геохимической преемственности с интризивными комплексами [51].

Решающее значение в формировании радиогеохимического облика рудных полей месторождений полезных ископаемых приобретает, по-видимому, режим щелочности — кислотности процессов рудообразования, который имеет универсальный характер [34, 35].

Ранняя щелочная стадия приводит к калишпатизации, альбитизации и пропилитизации вмещающих пород. Она сменяется ранней кислотной стадией, обуславливающей окварцевание, серицитизацию и образование кварцевых жил. В течение этих двух дорудных стадий и формируются поля «околорудных» метасоматитов, которые обычно фиксируются АГСМ-методом. Гидротермальные изменения чаще всего охватывают 1—2 км² (иногда до 5—6 км²), и хотя в этих пределах проявлены многие типы изменений, интенсивность их весьма различна. Это приводит к преимущественному развитию в рудном поле 2—3 типов метасоматитов (пропилиты, кварц-полевошпатовые породы, березиты и т. д.).

В следующую за ними вторую щелочную стадию отлагается основная масса рудного вещества, при этом происходит гидротермальное изменение окружающей среды. Однако метасоматоз рудной стадии проявлен локальное дорудное и локализован в узких зонах вдоль рудных жил и прожилков (десятки сантиметров — метры, редко 10—20 м). Процесс заканчивается нейтрализацией растворов, а затем их подкислением (пострудное оквар-

цевание) и новой нейтрализацией (аргиллизация, иногда карбонатизация). Аномальные концентрации радиоактивных элементов приурочены к околорудным метасоматитам и лишь спорадически встречаются в рудных телах, которые в огромном большинстве случаев характеризуются минимальной радиоактивностью.

В рудных полях апоинтрузивных месторождений (Au, W, Mo, Cu, Pb, Zn, Ag) накапливаются калий и уран, при этом калий привносится в щелочных (калишпатизация) и нейтральных — слабокислых (серцитизация) растворах, а урановые ореолы ассоциируют как с калиевыми метасоматитами, так и с пострудным окварцеванием. В общем случае вследствие горизонтальной зональности рудные тела располагаются внутри калиевых ореолов (но не в участках с максимальным содержанием калия). Ореолы урана окаймляют месторождение, располагаясь по периферии рудного поля. Абсолютное содержание калия и урана в аномальных зонах, а также площадь радиоактивных ореолов определяются интенсивностью проявления соответствующих стадий минерализации (фаций метасоматической колонки).

2149 Ранняя калишпатизация ярко проявлена на месторождениях молибденит-серцитовой, золото-молибденовой и медно-молибденовой рудных формаций [60, 66]. Пред- и синрудный калиевый метасоматоз (серцитизация) отмечается на всех мезо- и эпitherмальных месторождениях цветных и благородных металлов, залегающих в силикатных породах [53], в вулканогенных эпitherмальных месторождениях (золото-серебряная и полиметаллическая формации) серцитизация дополняется адуляризацией, наиболее тесно ассоциирующей с рудными телами. Пострудное обогащение рудных полей ураном весьма характерно для мезотермальных рудных формаций (Au, Mo, Cu, Pb, Zn), но далеко не всегда проявляется в эпitherмальных рудных полях (Au, Ag, Pb, Zn, Mo).

Содержание тория в апоинтрузивных месторождениях иногда слабо повышается (доли кларка), но в общем торий нехарактерен для мезо- и эпitherмального классов рудных формаций, что объясняется низкой миграционной способностью тория в водных растворах. Исключением являются лишь дальневосточные месторождения олова касситерит-силикатной и касситерит-сульфидной формации. Околорудные метасоматиты на этих месторождениях обогащены калием и торием (примерно в 2 раза по сравнению с вмещающими породами), пострудные концентрации урана проявлены локально и лишь на некоторых из них.

Телетермальные месторождения (Hg, Sb, As), не связанные пространственно с проявлениями магматизма, характеризуются однородным и в общем довольно простым вещественным составом, а также исключительным постоянством комплекса рудных минералов. Это указывает на длительность миграции рудоносных растворов, приводящую к обособлению рудных элементов от элементов-спутников. Околорудные изменения в силу малой

агрессивности растворов сводятся к перекристаллизации вмещающих пород с очень небольшим привносом одних компонентов (например, соединений бария) и выносом других (например, органических соединений). Специальные исследования на телетермальных рудных полях выполнены в очень небольшом объеме. По данным В. П. Сухоруких и Л. И. Юдиной (УГ Таджикской ССР), над хорошо обнаженными зонами кремнисто-кварцевых брекчий с сурьмяно-ртутным оруденением наземной гамма-спектрометрической съемкой установлены урановые аномалии протяженностью в десятки метров с приращением содержания урана над фоном $(3 \div 7) \cdot 10^{-4}\%$. Это позволяет предполагать, что в особо благоприятных случаях крупные зоны с телетермальным оруденением отмечаются при АГСМ-съемке слабоинтенсивными, локальными аномалиями урановой природы. Вывод этот нуждается в экспериментальном подтверждении.

Итак, для калийных постмагматических месторождений общая закономерность может быть сформулирована следующим образом: радиоактивными элементами-индикаторами гипотермального оруденения являются торий и уран, мезотермального — уран и калий, эпитермального — калий. Телетермальные руды не сопровождаются устойчивыми радиоактивными концентрациями.

Съемка многих десятков рудных месторождений в разных районах Советского Союза показала, что описанные характерные особенности распределения радиоактивных элементов в рудных полях уверенно выделяются с воздуха (рис. 1.3). Концентрирование радиоактивных элементов в экзогенных месторождениях цветных, редких и благородных металлов определяется их совместной миграцией с элементами, рудообразующими в процессах осадочной дифференциации. В гипергенных условиях уран обладает высокой миграционной способностью, калий — средней, торий — очень слабой. При созревании коры выветривания уран и калий выносятся из пород, в то время как торий накапливается в остаточных продуктах вместе с другими инертными мигрантами (Al, Nb-Ta, TR, Zr, Sn, Au и др.). Поэтому остаточные месторождения (латериты) и рудные залежи, сформированные при механическом переотложении продуктов выветривания (бокситы, редкометалльные россыпи, золотоносные конгломераты) в 3—10 раз обогащены торием. В них иногда несколько повышено и содержание урана, входящего в подчиненном количестве в состав ториеносных акцессорных минералов, в то время как содержание калия всегда много меньше кларка (обычно первые десятки доли процента).

Биохеогенные осадочные месторождения (медистые и ванадиевые сланцы, фосфориты и др.) сопровождаются урановыми концентрациями (0,00n—0,0n%), сформированными за счет сорбции урана фосфатами и органическим веществом; торий и калий находятся в них в кларковых количествах, за исключением фосфоритов, где содержание калия много меньше кларка (0,н%).

По предварительным данным стратиформные месторождения свинца и цинка в карбонатных породах (типа Миссисипи и Миргалимская) по содержанию радиоактивных элементов не отличаются от вмещающих толщ. В медистых песчаниках иногда

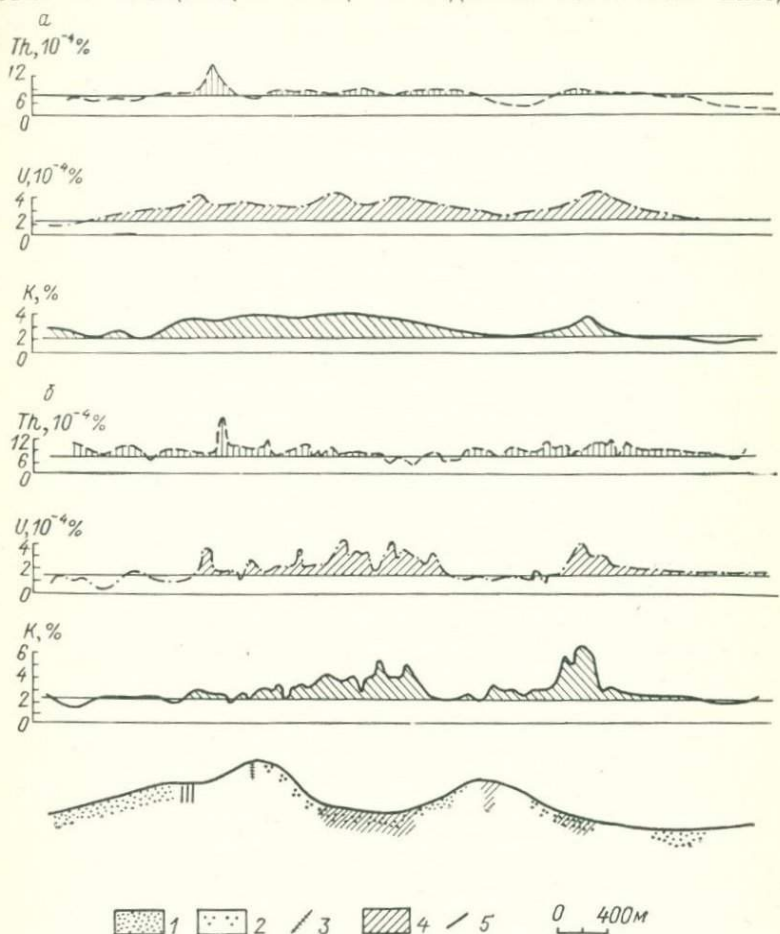


Рис. 1.3. Сравнение результатов аэрогамма-спектрометрической (а) (АСГ-48М) и наземной (б) (СП-3, шаг измерений 50 м) съемок.

1 — песчано-сланцевые отложения; 2 — кварц-серицитовые метасоматиты; 3 — дайна гранитоидного состава; 4 — оловорудные штокверки; 5 — безрудные кварцевые жилы.

образуются аномальные урановые ореолы, однако ассоциация меди и урана для этого типа руд изучена еще далеко не достаточно.

Для месторождений кор выветривания и осадочных месторождений часто устанавливается грубая корреляция между содержанием урана и тория и концентрацией полезного компонента

в руде (например, $U-V$, $U-P_2O_5$, $Th-Al_2O_3$), хотя отношения U/V , U/P_2O_5 , Th/Al_2O_3 различны по величине для разных месторождений.

Отметим, что аномальные, хотя и менее интенсивные концентрации радиоактивных элементов присущи и отложениям фаций, вмещающих рудные пласты, поэтому по радиогеохимическим данным можно выделять как рудные тела (в особо благоприятных условиях), так и рудоносный горизонт в целом, который протягивается обычно на значительные расстояния, что существенно облегчает локализацию рудоносных площадей с воздуха.

Установленные закономерности ассоциаций аномальных концентраций радиоактивных элементов с рудными месторождениями лежат в основе применения аэрогамма-спектрометрии для поисков руд цветных, редких и благородных металлов. АГСМ-аномалии, наиболее ярко отражающие радиогеохимическую специфику рудных полей месторождений полезных ископаемых в разных районах СССР (Забайкалье, Дальний Восток, Северо-Восток, Казахстан, Средняя Азия и др.), приведены в табл. I.1. Фоновые содержания радиоактивных элементов заметно варьируют в разных регионах, в то время как природа АГСМ-аномалий остается неизменной для однотипного оруденения. Приведенные данные могут служить АГСМ-критериями выделения локальных перспективных участков, но должны быть конкретизированы и дополнены для каждой металлогенической провинции. Кроме того, они не учитывают особенностей слабопроявленного оруденения, которое фиксируется с воздуха аномалиями, сопоставимыми по интенсивности с вариациями фона, но отличными от породных аномалий по природе радиоактивности (соотношению радиоактивных элементов).

Из таблицы I.1 следует, в частности, что АГСМ-аномалии определенного типа характерны не для какого-либо определенного ископаемого, а для группы генетически родственных месторождений различных видов минерального сырья. Например, калиевые аномалии, сопровождаемые повышенными концентрациями урана, перспективны на мезотермальную молибденовую, золотую, медную и полиметаллическую минерализацию; смешанными ториево-урановыми аномалиями выделяются грейзеновые руды олова, вольфрама, молибдена и редкометалльные альбититы. Металлогеническая специализация района работ часто позволяет ориентировочно определить ожидаемый вид полезного ископаемого; тем не менее это обстоятельство необходимо учитывать при наземной проверке аномалий на поисковых площадях.

1.3. МИГРАЦИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗОНЕ ГИПЕРГЕНЕЗА

Специфика АГСМ-метода заключается в том, что предметом его измерений является верхний слой литосферы и биосферы — самая верхняя часть зоны гипергенеза, представленная различными ландшафтами. Это следует учитывать при интерпретации

АГСМ-данных, так как от типа ландшафта зависит степень проявления на поверхности геологических факторов. Ландшафтно-геохимические условия определяют степень обнаженности района, характер и темп современной миграции радиоактивных элементов в системе горная порода — кора выветривания — почва и вызывают необходимость оценки вклада различных компонентов ландшафта при АГСМ-измерениях.

Уровень абсолютных содержаний радиоактивных элементов в приповерхностном слое литосферы зависит не только от концентраций их в подстилающей коренной породе, но и от степени подвижности элементов в различных ландшафтах. Особенности распределения радиоактивных элементов в почвенном слое в различных ландшафтно-геохимических зонах детально изучены на примере Восточного Забайкалья. Здесь на основе анализа климатических показателей, геологического строения, рельефа местности и особенностей геохимических систем зоны гипергенеза выделяются три ландшафтно-геохимические зоны: умеренно гумидная (подзона южной тайги), переходная (лесостепная) и умеренно аридная (подзона северных сухих степей).

Почвы отмеченных зон отличаются большим своеобразием и относятся к двум группам: мерзлотным и немерзлотным. Основная масса почв относится к типу горных. Распределение почв определяется рельефом местности. Во всех ландшафтно-геохимических зонах имеет место почвенная вертикальная поясность, в соответствии с которой варьирует и мощность почвенного профиля. Беспочвенные ландшафты на территории Забайкалья практически отсутствуют.

Ландшафтно-геохимические условия определяют особенности распределения радиоэлементов в верхнем насыщенном по гамма-излучению слое почвенного разреза (табл. I.2). Ландшафтно-геохимические условия приводят к различиям в радиогеохимической характеристике почв, развивающихся на однотипных горных породах. При АГСМ-поисках эти различия учитываются путем дифференцированного (по зонам) определения фоновых и аномальных значений поля.

Изучение распределения радиоактивных элементов в почвенном профиле различных ландшафтно-геохимических зон позволяет сделать следующие выводы.

1. При однородной почвообразующей основе и идентичности генетических типов рыхлых отложений отмечается дифференциация содержаний радия, тория и калия по горизонтам почвенного профиля. Фактически имеет место вертикальная зональность в распределении радиоактивных элементов, характерная для каждой ландшафтно-геохимической зоны.

2. Направленность процессов выветривания и почвообразования способствует обеднению торием и калием и накоплению радия в ландшафтах. Радий накапливается в гумусовых иллювиальных и торфяных горизонтах. Повышенная концентрация тория отме-

ТАБЛИЦА 1.2

Зависимость содержания радиоактивных элементов в почвах от типа ландшафтных зон и фации ландшафтов (количество измерений 4962)

Ландшафтно-геохимические зоны	Фации ландшафтов											
	Автономные						Подчиненные					
	U (Ra)		Th		K		U (Ra)		Th		K	
	10 ⁻⁴ %	% отн.	10 ⁻⁴ %	% отн.	%	% отн.	10 ⁻⁴ %	% отн.	10 ⁻⁴ %	% отн.	%	% отн.
Умеренно аридная	4,6	100	20,9	100	2,2	100	3,1	100	11,0	100	2,6	100
Переходная	3,4	74	10,9	52	1,7	77	3,0	98	7,5	68	1,15	44
Умеренно гумидная	3,9	85	10,6	53	1,5	68	3,9	126	6,8	62	1,25	48

чается только в горизонте CD почв элювиальных и трансэлювиальных ландшафтов умеренно аридной зоны, где он находится в минеральной части субстрата.

3. Средние содержания тория и калия во всех типах почв, развитых на гранитоидах среднего палеозоя Приаргунья, на 20—50% меньше содержаний в исходной коренной породе. Минимальная разница характерна для почв умеренно аридной зоны, максимальная — для умеренно гумидной.

4. Для всех ландшафтно-геохимических зон подтвердилась характерная тенденция: максимальными концентрациями радия, тория и калия характеризуются автономные (элювиальные и трансэлювиальные) ландшафты, концентрация уменьшается в направлении подчиненных фаций. Правда, иногда повышенные концентрации урана (радия) могут быть встречены и в почвах подчиненных ландшафтов.

5. Наиболее тесные геохимические связи между содержаниями радиоэлементов в почвах и подстилающих их горных породах отмечаются в элювиальных ландшафтах, что подтверждается высокими значениями коэффициентов корреляции (0,6—0,8). В направлении подчинения эти связи ослабляются.

6. Установленные различия в уровнях концентраций урана (радия), тория и калия в местном ландшафте вызывают необходимость определения фоновых и аномальных значений поля дифференцированно для каждой ландшафтной зоны.

Выявленные закономерности распределения радия, тория и калия в элементарных ландшафтах различных природных зон доказывают преемственность содержаний радиоактивных элементов в почвах и подстилающих горных породах и свидетельствуют об эффективности применения АГСМ-измерений для радиогеохимической характеристики горных пород и выделения радиогеохимических аномалий, парагенетически связанных с рудной минерализацией.

II. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АЭРОГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА И АППАРАТУРА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

II.1. ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД И ЕГО РЕГИСТРАЦИЯ

Дальнейшим развитием аэрорадиометрического метода является АГСМ-метод поисков полезных ископаемых, основанный на измерении общей радиоактивности горных пород в широком интервале энергий гамма-излучения. АГСМ-метод позволяет раздельно измерять содержания основных радиоактивных элементов: урана, тория и калия, входящих в состав горных пород, и основывается на различии энергетических спектров гамма-излучения нуклидов радиоактивных семейств уранового и ториевого ряда и нуклида ^{40}K . Энергетический спектр первичного (нерассеянного) гамма-излучения этих нуклидов линейный.

В табл. II.1 приведены основные линии первичного гамма-излучения равновесных рядов тория и урана и нуклида ^{40}K [4]. В табл. II.1 включены линии с энергией гамма-квантов на распад не менее 5%. Суммарная энергия гамма-излучения собственно урана и короткоживущих продуктов его распада не превышает 1,5% общей энергии гамма-излучения равновесного ряда элементов урана. Основными излучателями этого ряда являются короткоживущие продукты распада радона: ^{214}Pb и ^{214}Bi . Наиболее интенсивные линии ^{214}Pb лежат в области малых энергий до 56 фДж, поэтому для определения содержания урана используются только более жесткие линии гамма-излучения ^{214}Bi . Из них наибольшее значение имеют линии с энергиями 282 (1764 кэВ) и 179 фДж (1120 кэВ).

Таким образом, концентрация урана измеряется в АГСМ-методе не непосредственно, а по концентрации радия и продуктов его распада, при этом предполагается сохранение равновесного отношения этих элементов в горных породах. Нарушение равновесия между ураном и радием, а также потери радона за счет эманирования приводят к погрешностям измерения концентрации урана. Наибольший квантовый выход в семействе тория у линии нуклида ^{208}Tl с энергией 419 фДж (2620 кэВ). Калий дает только одну линию гамма-излучения нуклида ^{40}K с энергией 233,6 фДж (1460 кэВ).

Поток гамма-квантов на высоте полета создается поверхностным слоем горных пород толщиной в несколько десятков сантиметров, продуктами распада радона, находящимися в воздухе,

ТАБЛИЦА II.1

Основные линии первичного гамма-излучения равновесных рядов тория и урана и нуклида ^{40}K

Нуклид	Энергия гамма-квантов		Выход гамма-квантов на распад
	фДж	кэВ	
Ториевый ряд			
$^{212}_{82}\text{Pb}$	38,1	238	0,38
$^{228}_{89}\text{Ac}$	54,1	338	0,125
$^{208}_{81}\text{Tl}$	81,8	511	0,074
$^{208}_{81}\text{Tl}$	93,3	583	0,27
$^{212}_{83}\text{Bi}$	116,3	727	0,068
$^{208}_{81}\text{Tl}$	137,6	860	0,05
$^{228}_{89}\text{Ac}$	145,8	911	0,243
$^{228}_{89}\text{Ac}$	155,0	969	0,133
$^{228}_{89}\text{Ac}$	253,9	1587	0,120
$^{228}_{89}\text{Ac}$	262,4	1640	0,065
$^{208}_{81}\text{Tl}$	419,2	2620	0,337
Урановый ряд			
$^{214}_{82}\text{Pb}$	38,6	241	0,105
$^{214}_{82}\text{Pb}$	47,0	294	0,189
$^{214}_{83}\text{Bi}$	56,0	350	0,377
$^{214}_{83}\text{Bi}$	97,4	609	0,471
$^{214}_{83}\text{Bi}$	179,2	1120	0,166
$^{214}_{83}\text{Bi}$	198,1	1238	0,060
$^{214}_{83}\text{Bi}$	220,5	1378	0,048
$^{214}_{83}\text{Bi}$	282,2	1764	0,163
Нуклид ^{40}K	233,6	1460	1,0

космическим излучением и гамма-излучением, связанным с радиоактивным загрязнением летательного аппарата.

Энергетический спектр гамма-излучения на высоте полета отличается от спектра первичного излучения (вследствие рассеяния и поглощения гамма-квантов горными породами и атмосферой). Плотность потока гамма-квантов горных пород J убывает с высотой. Для полубесконечного пространства на высоте h справедливо выражение $J(h) = J_0 \Phi(\mu h)$, где $\Phi(x)$ — функция Кинга.

Гамма-излучение локальных аномальных участков с размерами, соизмеримыми с высотой, убывает значительно быстрее [15].

II.2. ОСНОВЫ РАЗДЕЛЬНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ УРАНА (РАДИЯ), ТОРИЯ И КАЛИЯ

Гамма-излучение регистрируется в современных аэрогамма-спектрометрах детекторами сцинтилляционного типа. Такой детектор содержит сцинтиллятор, преобразующий энергию воздействующих на него гамма-квантов в энергию световых сцинтилляций, и оптически связанный с ним фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), преобразующий световые сцинтилляции в электрические импульсы.

Амплитуда импульсов на выходе ФЭУ зависит от энергии гамма-квантов. Приборный спектр (распределение амплитуд импульсов) сплошной и значительно отличается от спектра первичного гамма-излучения. Эти отличия вызваны в основном неравномерностью спектральной чувствительности детектора, комптоновским рассеянием гамма-квантов в веществе детектора и дисперсией энергии при преобразовании в детекторе и ФЭУ. Однако аппаратный спектр в определенной мере отражает спектр первичного излучения. Каждой энергетической линии первичного спектра соответствует аппаратный пик, имеющий форму гауссовой кривой. Ширина аппаратного пика определяет энергетическое разрешение спектрометра $R(E)$, которое обычно вычисляется как отношение ширины пика на половине его высоты к наиболее вероятной его энергии. Комптоновское рассеяние и неполное поглощение энергии гамма-квантов приводят к образованию за каждой линией сплошного фона в области более низких энергий.

На рис. II.1 приведены аппаратные спектры гамма-излучения рудных моделей спектрометра, имеющего детектор гамма-излучения с пластмассовым сцинтиллятором (моноблок из полистирола объемом 0,021 м³, в состав которого введены сцинтиллирующие и смещающие добавки: П-терфенил и ПОПОП). На рис. II.2 даны соответствующие аппаратные спектры аэрогамма-спектрометра АГС-71с (ГСА-70). Блок детектирования спектрометра состоит из четырех кристаллов иодистого натрия, активированных таллием. Размеры каждого кристалла: диаметр 200, высота 100 мм. Кристаллы оптически сопряжены с фотоумножителями ФЭУ-49. Такой детектор дает лучшее энергетическое разрешение, чем пластмассовый (см. рис. II.1; II.2).

Для определения содержания урана, тория и калия в горных породах нет необходимости измерять весь энергетический спектр гамма-излучения, достаточно найти плотность потока в нескольких (не менее трех) сравнительно широких энергетических интервалах, связанных с наиболее характерными линиями гамма-

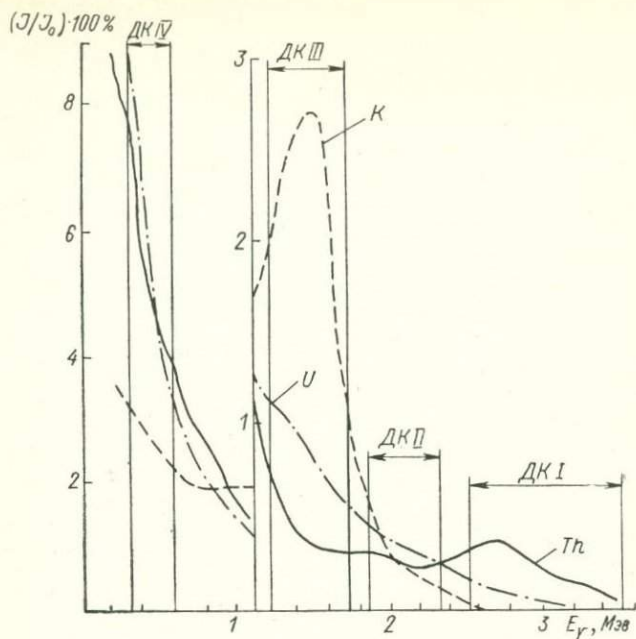


Рис. 11.1. Аппаратурные спектры гамма-излучения рудных моделей (гамма-спектрометр станции АСГ-48М2).

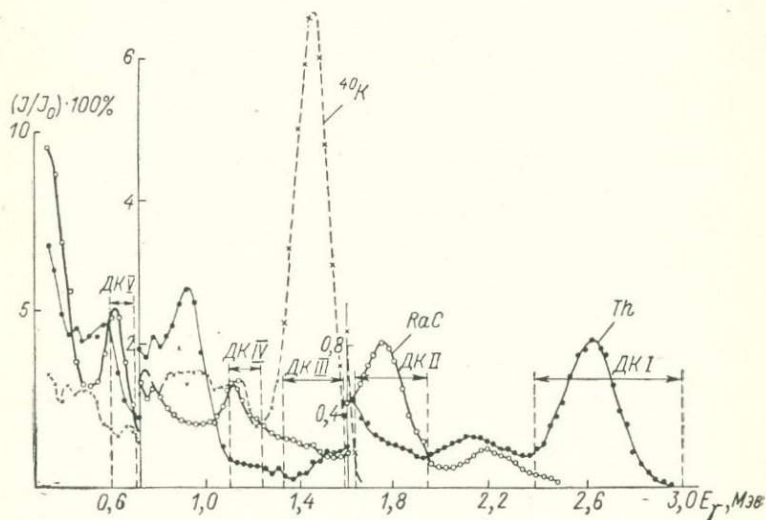


Рис. 11.2. Аппаратурные спектры гамма-излучения рудных моделей (гамма-спектрометр АСГ-71с).

излучения урана, тория и калия. В аэрогамма-спектрометрах АСГ-48М2 и АГС-71с (ГСА-70) измерения выполняются в четырех энергетических интервалах, соответствующих линиям гамма-излучения: ^{208}Tl 419 фДж (2620 кэВ); ^{214}Bi 282 (1764 кэВ) и 179 фДж (1120 кэВ) [или 97,4 фДж (0,609 кэВ) в АСГ-48М2]; ^{40}K 233,6 фДж (1460 кэВ).

Оба гамма-спектрометра измеряют интегральный поток гамма-квантов в широком диапазоне энергий (32—500 фДж). Положение границ энергетических интервалов выбирается по критерию минимума средней квадратической флюктуационной погрешности измерений содержаний, определяемых в типичных условиях аэрогамма-съемки. На рис. II.1 и II.2 показано расположение интервалов энергий на аппаратурных спектрах. Для измерения потока гамма-квантов в выбранных интервалах энергии служат дифференциальные амплитудные селекторы, которые состоят из амплитудных дифференциальных дискриминаторов, отбирающих соответствующие импульсы, и измерителей средней скорости счета этих импульсов. Гамма-кванты, воздействующие на детектор, распределены во времени по закону Пуассона, т. е. вероятность $P_1(dt)$ появления одного гамма-кванта за малый интервал времени dt пропорциональна этому интервалу, причем коэффициент пропорциональности равен средней частоте появления гамма-квантов N : $P_1(dt) = Ndt$.

Измерить среднюю скорость счета N_i можно только при усреднении за определенный промежуток времени T_c . В измерителях скоростей счета спектрометров АСГ-48М2 и ГСА-70 для усреднения применены фильтры нижних частот, имеющие экспоненциальную весовую функцию с постоянной времени τ . При этом $T_c = 2\tau$. Средняя квадратическая флюктуационная погрешность измерения средней скорости счета

$$\sigma = \sqrt{\frac{N_i}{2\tau}}.$$

Увеличение T_c приводит к уменьшению статистической погрешности, но при этом возрастают инерционные искажения регистрации гамма-полей локальных аномальных объектов. Селекторы аэрогамма-спектрометров обычно называются дифференциальными каналами (ДК). Для определения трех содержаний достаточно иметь три дифференциальных канала, поэтому выходные сигналы селекторов ДК II и ДК IV (см. рис. II.1, II.2) для облегчения настройки прибора объединяются. При этом выходной сигнал ДК IV суммируется с сигналом ДК II с постоянным весовым коэффициентом $\kappa < 1$:

$$N_{\Sigma} = N_{II} + \kappa N_{IV}.$$

При увеличении κ уменьшается флюктуационная погрешность измерения урана, но растут систематические погрешности, связанные с влиянием рассеянного в воздухе и горных породах

гамма-излучения. Для спектрометра АСГ-48М2 выбирается $\kappa = 0,05$, для АГС-71с (ГСА-70) $\kappa = 0,5$. Селекторы имеют различную чувствительность к гамма-излучению элементов уранового, ториевого ряда и калия. В табл. II.2 и II.3 приведены спектральные коэффициенты a_{ij} , полученные при измерении на естественных полигонных участках. Индекс i обозначает номер селектора.

ТАБЛИЦА II.2

Спектральные коэффициенты аэрогамма-спектрометра станции АГС-71с (ГСА-70)

Канал	E , МэВ	a_{iU} , имп./с	a_{iTh} , имп./с	a_{iK} , имп./с
OK	0,3—3,2	300	130	380
ДК IV	1,1—1,25	13,0	2,6	14,0
ДК III	1,33—1,58	5,3	1,1	62,5 *
ДК II	1,65—1,952	7,5 *	1,0	0
ДК I	2,4—3,2	0,1	4,0 *	0
ДК Σ		14,0	2,3	7,0

* Селектор ДК I регистрирует гамма-излучение тория, ДК II — урана (радия), ДК III — калия.

ТАБЛИЦА II.3

Спектральные коэффициенты аэрогамма-спектрометра станции АСГ-48М2

Канал	E , МэВ	a_{iU} , имп./с	a_{iTh} , имп./с	a_{iK} , имп./с
OK	0,3—3,5	145	60	160
ДК IV	0,3—0,6	76	36	60
ДК III	1,2—1,7	18,0	4,8	65 *
ДК II	1,9—2,3	5,8 *	1,85	4,2
ДК I	2,5—3,5	0,9	3,0 *	0,1

* Селектор ДК I регистрирует гамма-излучение тория, ДК II — урана (радия), ДК III — калия.

Применение селектора ДКIV уменьшает статистические погрешности измерения урана. Пластмассовый детектор спектрометра станции АСГ-48М2 имеет худшее разрешение, поэтому спектральные коэффициенты селекторов при разных j различаются значительно меньше, чем для спектрометра АГС-71с (ГСА-70). Скорость счета импульсов в селекторе

$$N_i = a_{iU} q_U + a_{iTh} q_{Th} + a_{iK} q_K. \quad (II.1)$$

где q_U — концентрация урана, определяемая при равновесном соотношении его с радием и продуктами распада радия, $10^{-4}\%$;

q_{Th} — концентрация тория, определяемая по нуклиду ^{208}Tl , который обычно находится в равновесии с Th, $10^{-4}\%$; q_{K} — концентрация калия, определяемая по нуклиду ^{40}K , %

Решая уравнение (II.1) относительно искомых концентраций q_i , получаем

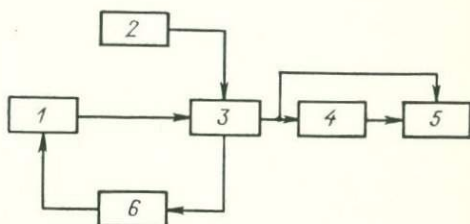
$$q_i = \alpha_{jI} N_I + \alpha_{jII} (N_{II} + \kappa N_{IV}) + \alpha_{jIII} N_{III}. \quad (\text{II.2})$$

Аэрогамма-спектрометры станции АСГ-48М2 и АГС-71с (ГСА-70) имеют вычислительные устройства аналогового типа, которые автоматически вычисляют концентрации q_{U} , q_{Th} и q_{K} , суммируют с весовыми коэффициентами α_{ji} выходных сигналов (средних скоростей счета) селекторов, согласно уравнениям (II.2).

Визуально текущие значения концентрации регистрируются при помощи многоканального перописующего регистратора

Рис. II.3. Обобщенная функциональная схема аэрогамма-спектрометра.

1 — блок детектирования гамма-излучения; 2 — система автоматического введения поправки за высоту полета; 3 — узел селекции; 4 — вычислительные устройства определения концентраций; 5 — регистрирующее устройство; 6 — устройство стабилизации.



на диаграммной ленте; возможна регистрация в цифровом виде на магнитной ленте при помощи цифрового аэрогеофизического регистратора РЦАГ-16.

Каналы определения содержаний градуируются на полигонных участках с известными содержаниями урана, тория и калия в горных породах или по рудным моделям, для которых по сопоставлению с измерениями на полигонных участках определены эквивалентные содержания. Для правильного вычисления концентраций необходимо с высокой точностью поддерживать стабильность энергетической шкалы прибора. Собственная стабильность коэффициента преобразования сцинтилляционного детектора и ФЭУ под действиями влияющих физических факторов для этой цели недостаточна. Поэтому в аэрогамма-спектрометрах применяют специальные устройства стабилизации энергетической шкалы. Для введения поправок за высоту полета и вычитания остаточного фона (не связанного с гамма-излучением горных пород) приборы снабжены устройством АПВ (автоматическая поправка за высоту полета).

Обобщенная функциональная схема аэрогамма-спектрометра для отдельных измерений концентраций урана, тория и калия в горных породах приведена на рис. II.3.

Кроме основных узлов, показанных на рис. II.3, в состав аэрогамма-спектрометров обычно входят усилители импульсов, блоки преобразования и стабилизации питающих напряжений, устройства для калибровки и настройки прибора.

II.3. АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА

Авиационная специальная геофизическая станция АСГ-48М2

Станция предназначена для поисков месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых по их радиоактивным и магнитным свойствам, а также для геологического картирования.

В состав станции входят:

- а) 5-канальный аэрогамма-спектрометр;
- б) феррозондовый магнитометр для определения и регистрации магнитного поля Земли;
- в) курсограф для автоматической записи изменений курса полета самолета и управления системой лентопротяжного механизма регистрирующего устройства;
- г) высотограф для регистрации высоты полета над уровнем земной поверхности.

Технические характеристики аэрогамма-спектрометра станции АСГ-48М2 приведены в табл. II.4.

ТАБЛИЦА II.4

Основные технические характеристики аэроспектрометра станции АСГ-48М2 и АГС-71с

Технические характеристики	АСГ-48М2	АГС-71с (ГСА-70)
Средняя квадратическая погрешность АГСМ-измерений, г/г при $q_U = 3 \cdot 10^{-6}$, $q_{Th} = 10 \times 10^{-6}$, $q_K = 2 \cdot 10^{-2}$:		
σ_U	$0,8 \cdot 10^{-6}$	$0,4 \cdot 10^{-6}$
σ_{Th}	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$
σ_K	$0,5 \cdot 10^{-2}$	$0,16 \cdot 10^{-2}$
Чувствительность интегрального канала по эталону, $\frac{\text{имп./с}}{\text{мкР/ч}}$	450	700
Постоянные времени измерителей скорости счета, с:		
интегральный канал	0,6	0,5
дифференциальные каналы	2,0	1,5
Масса полная, кг	150	120
		(для ГСА-70)
Масса детектора, кг	76	90
Мощность, потребляемая от бортовой сети, Вт	500	50

Аэрогамма-спектрометр АГС-71с (ГСА-70)

Аэрогамма-спектрометр входит в состав комплексной аэрогеофизической станции АГС-71, в которую включены протонный магнитометр, электроразведочная аппаратура по методу индук-

ции (ДИП-ЖК), высотограф, аналоговый и цифровой (с записью на магнитную ленту) регистраторы.

По сравнению с аэрогамма-спектрометром станции АСГ-48М2, аэрогамма-спектрометр АГС-71с отличается высокой разрешающей способностью детектора гамма-излучения, повышенной стабильностью, меньшим потреблением энергии и массой (табл. II.4).

II.4. БОРТОВЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ АЭРОГАММА- СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Бортовые специализированные устройства для предварительной интерпретации АГСМ-данных применяются с целью оперативного выделения перспективных участков в процессе съемки при полевой предварительной интерпретации.

Разработаны два типа устройств: бортовое устройство классификации БУК-4 и множительно-делительное устройство МДУ, которые выполнены конструктивно в виде отдельных блоков-приставок к аэрогамма-спектрометру.

Устройство классификации БУК-4 предназначено для оперативной автоматической классификации поисковой площади по степени перспективности на заданный вид полезного ископаемого в процессе АГСМ-съемки по комплексу измеряемых параметров, в частности содержания радиоактивных элементов и интенсивности гамма-излучения.

БУК-4 выделяет заранее заданные сочетания интервалов значений измеряемых величин, объединяет их в группы по степени вероятностной связи с объектом поисков или по какому-либо другому признаку и выводит на регистратор в виде ступенчато изменяющегося сигнала участки существования различных групп сочетаний. Каждой группе сочетаний на ленте записи регистратора соответствует сигнал определенной амплитуды.

Устройство БУК-4 может работать совместно с гамма-спектрометрами АСГ-48М2 или ГСА-70 (АГС-71с). Применение в приборе гибридных микросхем позволило резко сократить его массу и потребляемую мощность.

Краткая техническая характеристика БУК-4

Количество входных анализируемых параметров	До 4
Квантование по уровню входных сигналов на . . .	8 интервалов
Максимальное количество выбираемых сочетаний	16 *
Количество групп сочетаний (градаций выходного сигнала)	До 4
Сигналы на входах, В	От 0 до 6
Потребляемая мощность от бортсети, Вт	10
Масса, кг	Не более 5

* С учетом возможности объединения интервалов максимальное число фактически разных сочетаний несколько больше (20—25) в зависимости от степени объединения.

МДУ предназначено для вычисления и регистрации в процессе аэрогеофизической съемки произведений и отношений измеряемых величин, в частности содержаний радиоактивных элементов и интенсивности гамма-излучения горных пород. МДУ позволяет вычислять две функциональные зависимости вида

$$Y_1 = X_3 X_2 / X_1; \quad Y_2 = X_4 X_2 / X_1,$$

где X_1, X_2, X_3, X_4 — сигналы измеряемых величин, представленные в виде напряжений, изменяющихся от 0 до 6 В.

Функциональная схема МДУ приведена на рис. II.4.

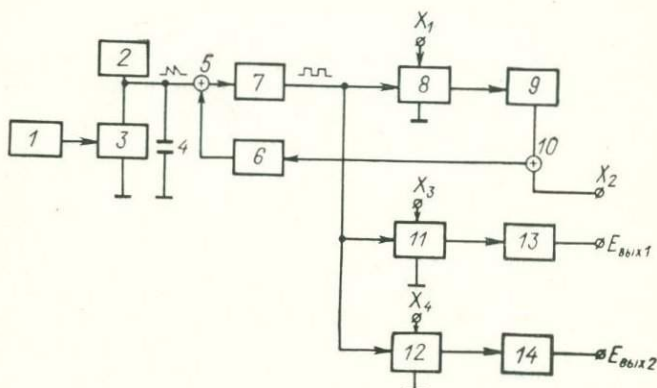


Рис. II.4. Функциональная схема МДУ.

Генератор импульсов 1, генератор постоянного тока заряда конденсатора 2 и ключ разряда 3 совместно с накопительным конденсатором 4 образуют схему генератора пилообразного напряжения. На схеме сложения 5 алгебраически складываются сигналы от генератора пилообразного напряжения и от усилителя постоянного тока 6. Суммарный сигнал подается на триггер Шмитта 7, который совместно со схемой суммирования образует модулятор скважности импульсов. В зависимости от величины постоянного напряжения усилителя постоянного тока 6 меняется время, в течение которого триггер Шмитта 7 пребывает во втором устойчивом состоянии за счет подачи на его вход пилообразного напряжения. Тем самым меняется длительность и скважность S выходных импульсов триггера. Импульсы, модулированные по скважности, подаются на двухпозиционный ключ 8. При наличии импульса на входе ключа, напряжение X_1 подается на его выход, а при отсутствии импульса выход ключа соединен с корпусом. Выходное напряжение ключа после сглаживания фильтром 9 будет равно Sx_1 . Это напряжение сравнивается с напряжением

* Вместо сигналов одной или нескольких измеряемых величин можно использовать постоянный сигнал с соответствующим упрощением получаемой функциональной зависимости.

X_2 и сигнал рассогласования подается на вход усилителя постоянного тока. Усилитель 6, модулятор скважности, ключ 8, фильтр и схема вычитания 10 образуют замкнутую систему стабилизации, поддерживающую равенство напряжений $SX_1 = X_2$. При этом величина скважности будет определяться значениями X_1 и X_2 :

$$S = X_2/X_1.$$

Импульсы от следящего реле управляют кроме ключа 8 еще двумя ключами 11 и 12, на входы которых подаются напряжения X_3 и X_4 . После сглаживания фильтрами 13 и 14 соответственно напряжения на выходах:

$$E_{\text{вых 1}} = X_3 S = X_2 X_3 / X_1;$$

$$E_{\text{вых 2}} = X_4 S = X_2 X_4 / X_1.$$

Для практики поисковых работ во многих случаях целесообразно оперативно вычислять и регистрировать на ленте записи параметры UK/Th; U/Th и др. В каждом конкретном случае возможность фиксации оруденения по этим параметрам проверяется залетом известных месторождений района.

МДУ может работать с аэрогамма-спектрометрами ГСА-70 (АГС-71с) и АСГ-48М2. В зависимости от типа аэрогамма-спектрометра должна меняться величина предусмотренного дополнительного сглаживания входных сигналов. При работе с ГСА-70 (АГС-71с) величина постоянной времени интегрирующей цепочки дополнительного сглаживания должна быть около 1 с, а при работе с АГС-48М2—1,5—1,8 с. Масса прибора не более 5 кг.

Разработано универсальное бортовое интерпретационное устройство ИКА-2, в значительной мере совмещающее методические возможности БУК-4 и МДУ. ИКА-2 позволяет резко увеличить детальность классификации комбинаций четырех сигналов и, кроме того, использовать в качестве одного из параметров отношение двух любых выходных сигналов спектрометра.

III. МЕТОДИКА АЭРОГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ И ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

III.1. НАЗНАЧЕНИЕ АЭРОГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ РАБОТ, МАСШТАБЫ СЪЕМОК И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИХ ПОИСКОВОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ

Аэрогамма-спектрометрические поиски полезных ископаемых представляют собой единый комплекс аэрогеофизической съемки и наземной проверки выявленных аномалий. Эффективность АГСМ-поисков полезных ископаемых во многом определяется рациональным выделением площадей под АГСМ-съемку и соответствием методики аэрогеофизических работ задачам, стоящим перед партией.

Выбор площадей АГСМ-работ определяется основным геологическим заданием партии, при этом поиски полезных ископаемых могут быть либо попутной, либо основной задачей аэрогеофизических работ. В последнем случае, планируя площади работ, необходимо иметь в виду следующие факторы:

— доступность территории для кондиционной гамма-спектрометрической съемки на самолете или вертолете;

— доступность для опосредования по условиям обнаженности — большая часть площади должна быть обнажена или перекрыта маломощным (≤ 2 м) чехлом грубообломочных эллювиально-делювиальных или мелкоземистых автохтонных образований;

— металлогеническую специализацию района работ — АГСМ-поиски должны проводиться в пределах рудных районов или металлогенических зон с преимущественным развитием тех рудных формаций, с которыми парагенетически связаны аномальные концентрации радиоактивных элементов (см. I.2); (при выборе площадей следует определять и типовые рудные месторождения для опытно-методических работ);

— поисковые возможности АГСМ-метода наиболее полно реализуются на крупных площадях. Планирование аэрогеофизических работ в течение одного полевого сезона на 5—8 мелких участках заметно увеличивает стоимость съемки, снижает качество интерпретации и наземной проверки аномалий. Наиболее целесообразна планомерная АГСМ-съемка крупных рудоносных структур. Это позволяет предварительно изучить эталонные месторождения и подготовить критерии выделения «рудных» аномалий, непрерывно совершенствовать методику интерпретации данных воздушных и наземных работ по мере накопления опыта их проведения в сходных геологических условиях, исполь-

зовать региональные закономерности распределения радиоактивных элементов для прогнозирования перспективных зон;

— целесообразность комплексного исследования территории. АГСМ-съёмку желательно проводить с годичным опережением наземных геолого-съёмочных или поисковых работ. Это обеспечит оперативное и действенное внедрение результатов АГСМ-съёмок в геологоразведочную практику и быструю оценку промышленной значимости рудопоявлений, выявленных аэрокартией.

Основное целевое назначение работ определяет масштаб исследований (среднее междумаршрутное расстояние), а в зависимости от последнего находится максимальная длина маршрутов (табл. III.1).

ТАБЛИЦА III.1

Основные типы и масштабы съёмок

Целевое назначение АГСМ-съёмки	Масштаб съёмки	Между-маршрутное расстояние, м	Максимальная длина маршрутов, км	Тип съёмки *
Детальное картирование рудных узлов и детальные поиски полезных ископаемых	1 : 10 000	100	15	Детальная
Поиски полезных ископаемых в районах с определенными перспективами	1 : 25 000	250	30	Крупномасштабная
Создание геофизической основы для геологического картирования масштаба 1 : 25 000—1 : 50 000	1 : 25 000	250	30	То же
Создание геофизической основы для геологического картирования масштаба 1:50 000 и поиски месторождений полезных ископаемых в районах с неясными перспективами	1 : 50 000	500	50	Среднемасштабная
Создание геофизической основы для геологического картирования масштаба 1 : 200 000	1 : 50 000	500	50	То же
Выявление региональных радиогеохимических закономерностей для целей мелко-масштабного радиогеохимического картирования, прогнозной оценки территории	1 : 100 000— 1 : 200 000	1000— 2000	300	Мелкомасштабная

* Аэрогеофизическая съёмка обычно бывает на масштаб крупнее, чем сопутствующая ей геологическая съёмка, поэтому выделенные типы АГСМ-съёмки отличаются от общепринятых.

Независимо от основного целевого назначения работ задача поисков полезных ископаемых всегда должна решаться параллельно. Рассмотрим главные условия, обеспечивающие необходимую поисковую направленность работ.

1. Получение возможно более точных данных по распределению радиоактивных элементов на исследуемой территории за счет тщательности настройки и градуировки прибора, четкого выполнения контрольно-настроечных операций, устранения или уменьшения влияния внешних помех (см. ниже).

При поисках месторождений радиоактивных руд основным поисковым признаком оруденения по АГСМ-данным являются локальные повышения содержания радиоактивных элементов, наиболее существенной помехой является флюктуационная. При поисках других полезных ископаемых объект поисков обычно менее локален (до нескольких квадратных километров) и нередко может быть выделен лишь по характерному перераспределению радиоактивных элементов. В этом случае особое значение приобретает правильность градуировки, а также учет различных факторов, искажающих измерения на отдельных маршрутах или их частях (изменения концентрации радона в воздухе, остаточного фона с абсолютной высотой полета, влажности и эманирования почв и др.).

2. Выбор рациональной сети наблюдений с более детальным изучением относительно более перспективных частей исследуемой территории. Для этого дополнительно изучаются (детализируются) локальные АГСМ-аномалии, а при среднемасштабной съемке на установленных по ее результатам наиболее перспективных частях площади сеть измерений сгущается до 1 : 25 000. В проектах следует предусматривать подобное укрупнение масштаба съемки на 10—15% площади; положение участков крупномасштабной съемки определяется в процессе работ.

В процессе съемки одним из способов изучения территории является также аэровизуальное наблюдение, которое должно быть детальным при наличии аномалий.

3. Проведение съемки на минимально допустимой по условиям безопасности полетов высоте над местностью, что особенно важно для регистрации локальных аномалий.

4. Рациональная последовательность залета площадей, заключающаяся в опережающем изучении тех из них, которые будут использованы в качестве рудных эталонов или наиболее перспективны по геологическим данным. Такая последовательность способствует полноте полевой интерпретации и наземной проверки аномалий в полевой период. Иная последовательность залета целесообразна лишь в следующих случаях:

а) если съемка на наиболее перспективных участках невозможна по природным условиям в начальный период полевых работ, а на других участках съемка может быть проведена;

б) если съемочный экипаж имеет малый опыт работы на аэрогеофизической съемке (в этом случае полеты в начальный период выполняются на участках с относительно слабо расчлененным рельефом, с наиболее легкими условиями для ориентирования и прокладки маршрутов и т. п.).

5. Знание исполнителями общих закономерностей и максимально возможное изучение местных особенностей распределения радиоактивных элементов на месторождениях различного типа в данном регионе. Общие закономерности изложены в настоящем руководстве, конкретные особенности могут быть установлены в результате опытно-методических аэро- и наземных работ на месторождениях региона.

6. Оперативность обработки материалов съемки, выделения и проверки АГСМ-аномалий. Оперативное выполнение этих работ, с одной стороны, способствует скорейшему выявлению оруденения, а с другой — обеспечивает возможность совершенствования методики работ за счет «обратной связи» — учета результатов наземной проверки.

Оперативное выделение аномалий облегчается при использовании бортовых интерпретационных устройств, формирующих сигнал перспективности по комплексу аэрогеофизических данных.

III.2. МЕТОДИКА АЭРОГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Методика АГСМ-съемки представляет собой систему различных операций, от четкого и правильного выполнения которых зависит эффективность работ. К ним относятся:

- а) подготовка полигонных участков и градуировка аэрогамма-спектрометра;
- б) рекогносцировочные полеты в районе работ;
- в) обеспечение необходимой высоты и скорости полета;
- г) выбор масштаба поисков, топоосновы и построение поисковой сети;
- д) подготовка экипажа к съемочным полетам, взаимодействие членов экипажа в полете;
- е) предполетная подготовка аппаратуры, контрольно-настроечные операции на земле и в полете;
- ж) техника выполнения поисково-съемочных полетов;
- з) детализация аномалий.

Подготовка полигонных участков и градуировка аэрогамма-спектрометра

Исходными данными для градуирования выходных каналов аэрогамма-спектрометра являются лабораторные анализы и источники гамма-излучения (радиевые эталоны). Градуировка каналов концентраций (урана, тория, калия) заключается в определении масштаба записи в единицах концентрации (уран и торий, $10^{-4}\%$

калий, %) на 1 мм ширины шкалы. Масштаб записи каналов находится по результатам измерений над полигонными участками, где есть достаточно детальные и точные данные лабораторных определений концентраций урана (по радио), тория и калия.

Полигонные участки создаются по специальной методике. Размеры участков зависят от типа применяемого летательного аппарата. Для градуировки аэрограмма-спектрометров, установленных на самолете Ан-2, подготавливаются полигонные участки размером 1000×300 м [4]. При проведении АГСМ-работ на вертолетах размер полигонных участков и соответственно объем работ могут быть значительно сокращены. Это связано с возможностью работы вертолета в режиме зависания, вследствие чего размеры эталонного участка могут быть ограничены «зоной влияния» на неподвижно подвешенный на малой высоте детектор. Если полигонный участок удовлетворяет нижеперечисленным требованиям, практически достаточным является опробование участка размером 50×50 м. Малые размеры участков в этом случае позволяют без больших затрат сил и средств подготовить достаточное их количество для обеспечения необходимой точности градуировки. Количество участков: минимальное — 3, желательное 5—6.

Основные требования к полигонным участкам, которые должны строго соблюдаться в их пределах и приблизительно — в их ближайших окрестностях, следующие.

1. Рельеф участка должен быть ровным, участок следует выбирать на горизонтальной поверхности или на пологом склоне (крутизна не более 5°).

2. Необходимо, чтобы участок был сложен однородными по составу горными породами с возможно меньшей дисперсией содержаний радиоактивных элементов (и соответственно интенсивности гамма-излучения). Поэтому не рекомендуется использовать участки с широко проявленными наложенными гидротермальными процессами.

3. Характер поверхностных отложений на участке также должен быть однородным, т. е. нужно, чтобы участок был сложен либо весь коренными породами, либо щебенистым или глыбовым элювиально-делювиальным материалом, либо весь покрыт рыхлыми отложениями. При этом характер поверхностных отложений на участке должен быть близок к среднему по району. Наиболее неблагоприятными по обнаженности будут участки с одновременным присутствием в их пределах коренных обнажений или крупных глыб с рыхлыми почвенными отложениями. В этом случае среднее содержание по участку определяется с малой точностью и в значительной мере зависит от методики опробования.

Среди полигонных должны быть участки с высокими, средними и низкими содержаниями радиоактивных элементов [уран от $(2 \div 3) \cdot 10^{-4}$ до $(10 \div 15) \cdot 10^{-4}\%$, торий от $(6 \div 8) \cdot 10^{-4}$ до $(30 \div 50) \cdot 10^{-4}\%$, калий от 1—2 до 4—6%].

Предварительно участки намечаются по топографическим и геологическим картам, аэрофотоснимкам, картам гамма-поля и имеющимся сведениям о содержании радиоактивных элементов в горных породах. Затем пригодность участков и их положение уточняются на месте при рекогносцировочных геолого-радиометрических исследованиях*. Детальные работы на участке включают в себя гамма-спектрометрические измерения и опробование. Они выполняются по предварительно разбитой сети. Для градуирования спектрометров, устанавливаемых на самолете, на полигонном участке разбиваются 5 профилей: центральный и по два боковых, параллельных ему, на расстояниях 50 и 150 м от центрального. Пикеты по профилям разбиваются через 50 м, что соответствует шагу гамма-спектрометрических наблюдений и опробования.

На «вертолетном» полигонном участке опробование и гамма-спектрометрические наблюдения проводятся по сети 5×5 м на площади 50×50 м (11 профилей по 11 точек). Экспозиция при гамма-спектрометрических измерениях (или количество измерений на каждой точке) должны обеспечивать определение содержания радиоактивных элементов с погрешностью не более $\pm 10\%$. В каждой точке отбирается проба массой около 0,5 кг, желательно способом «конверга» (в центре и по углам квадрата со стороной 1 м).

Отобранные пробы дробятся и объединяются в 10—12 объединенных проб и передаются на анализ. В объединенную пробу включаются (по результатам гамма-спектрометрии) соседние пробы с наиболее близкими содержаниями радиоактивных элементов. Это позволит оценить максимальную изменчивость содержаний на площади участка. Необходимо, чтобы коэффициент вариации содержаний по объединенным пробам на площади участка не превышал 15%. В этом случае участок считается пригодным и его характеристикой является среднее значение содержания по объединенным пробам.

В объединенных пробах радиохимическим анализом определяются содержания тория и радия (последний выражается в единицах равновесного урана из расчета $1 \cdot 10^{-4}\%$ урана на $3,4 \times 10^{-11}\%$ радия), а методом пламенной фотометрии — содержание калия. Для контроля и уменьшения случайных ошибок лабораторных анализов каждая проба дублируется и анализируется дважды.

Центр участка (или центральный профиль) закрепляется хорошо заметными с воздуха знаками с учетом необходимости его многолетней сохранности. Каждый участок фотографируется с двух высот: 50—70 и 300—400 м, причем в пределах снимка

* Необходимо, чтобы коэффициент вариации интенсивности гамма-излучения в пределах участка не превышал 15%. Возможно совмещение нескольких полигонных участков с разной интенсивностью излучения на одном протяженном маршруте (2—5 км), но в пределах каждого отрезка, протяженностью около 1 км, должно выполняться указанное требование.

с большой высоты должны находиться хорошо распознаваемые по топокарте ориентиры.

Материалы по полигонным участкам обязательно помещаются в отчет. Здесь должны быть представлены:

- 1) мелкомасштабная схема расположения исследуемых участков (1 : 100 000—1 : 200 000);
- 2) фотоснимки участков;
- 3) схемы маркировки центральных профилей (центров участков);
- 4) схемы отбора и объединения проб с указанием типа поверхностных отложений;
- 5) карты содержаний радиоактивных элементов в объединенных пробах (в оцифровке);
- 6) результаты расчетов средних содержаний и коэффициентов вариации радиоактивных элементов по каждому участку;
- 7) для «самолетных» полигонных участков дополнительно прикладывается выкопировка с ленты записи аэрогамма-спектрометра при полете по центральному профилю (с указанием положения реперных знаков).

Измерения на полигонных участках с аэрогамма-спектрометром проводятся 1—2 раза за полевой сезон. При этом прибор настраивается по рудным моделям с особой тщательностью. Необходимо также обеспечить точную настройку системы АПВ (автоматическая поправка за высоту), максимальную близость усиления к номинальному и возможно более точную компенсацию остаточного фона. Для этого следует выполнять соответствующие контрольно-настроечные операции в 2—3 раза чаще обычного. Измерения выполняются при благоприятных метеорологических условиях, лучше во второй половине дня, чтобы избежать влияния температурных инверсий.

С самолетным аэрогамма-спектрометром на каждом участке выполняются 4—5-кратные полеты по центральному профилю на высоте 40—50 м с включенной системой АПВ в режиме записи содержаний. Для контроля полезно сделать также 2—3 полета с записью скоростей счета в дифференциальных каналах (ДК). Знание скоростей счета в ДК позволит понять причины возможных расхождений на разных участках или при разных градуировках.

На «вертолетном» участке измерения проводятся при зависании вертолета над центром участка на высоте 5—10 м. В течение 2 мин ведется запись по каналам содержаний и для контроля по дифференциальным каналам.

Для каждого полигонного участка определяется среднее значение записи содержаний в миллиметрах. Средний масштаб записи по k участкам при близких содержаниях радиоактивных элементов определяется по формуле

$$m_j = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{q_{jk}}{L_{jk}},$$

где L_{jk} — среднее приращение записи по j -му каналу от уровня компенсации остаточного фона ($j = U, Th, K$) при измерениях на k -м участке; q_{jk} — среднее значение концентрации j -го элемента ($j = U, Th, K$) на k -м участке.

Если имеется 3 участка или более с различной концентрацией радиоактивных элементов, то целесообразно построить график

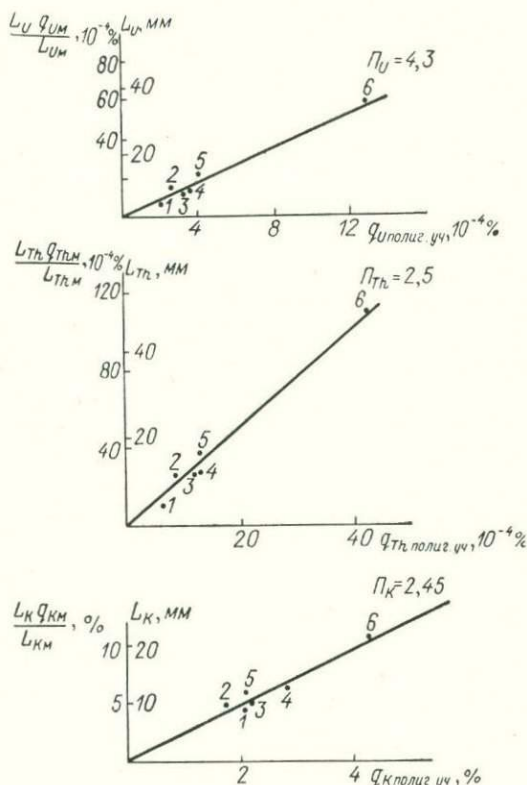


Рис. III.1. Графики корреляции между содержанием элементов в полигональных участках и записью каналов содержаний аэрогамма-спектрометра.
1—6 — номера полигональных участков.

корреляции между содержанием элемента в полигональном участке и величиной записи в соответствующем канале. Угловым коэффициентом линии регрессии равен масштабу записи содержаний, по этому же графику можно определить коэффициент перехода от рудной модели к естественному полупространству Π_j , если известно истинное содержание в рудной модели (рис. III.1).

Перед измерениями на полигональных участках и после них проводятся измерения с рудными моделями. Положение моделей по отношению к детектору должно быть постоянным и строго

определенным. Измерения на полигонных участках и рудных моделях позволяют определить эквивалентную концентрацию $q_{j \text{ экв}}$ радиоактивных элементов в j -й модели, что дает возможность в последующем использовать для градуировки каналов концентраций рудные модели.

Концентрацию в рудной модели, эквивалентную полубесконечному, насыщенному по гамма-излучению пласту, определяют по формуле

$$q_{j \text{ экв}} = q_{jk} L_{jm} / L_{jk},$$

где L_{jm} — среднее приращение записи по j -му каналу при измерении j -й рудной модели с концентрацией элемента q_{jm} .

Масштаб можно определить по результатам измерений рудных моделей:

$$m_j = q_{j \text{ экв}} / L_{jm}.$$

Таким образом, при определении масштаба записи по рудным моделям не обязательно знать истинную концентрацию j -го элемента в модели*.

Эквивалентные концентрации, указанные в паспортах урановых рудных моделей, справедливы для полигонных участков, которые имеют в приповерхностном слое коэффициент эманирования 20—25%; эквивалентные концентрации в ториевой и калиевой моделях справедливы для участков, имеющих влажность поверхностного слоя 10—15%. Это может явиться причиной расхождения в определении эквивалентных концентраций рудных моделей при работах в районах с иными условиями эманирования и влажности.

Для контроля работы спектрометра АГС-71с (ГСА-70) в воздухе используются комбинированные контрольные модели (ККМ), состоящие из урановой и ториевой руды. Канал общего счета градуируется в единицах мощности дозы с помощью эталонного источника гамма-излучения (радиевого эталона). Мощность дозы рассчитывается по формуле

$$P_r = P_0 / r^2,$$

где P_0 — мощность дозы на расстоянии $r = 1$ м (для источника 0,1 мг Ra $P_0 = 6,1$ пА/кг или 85 мкР/ч).

Перед градуировкой канала общего счета (прибор находится в самолете) с детектора спектрометра станции АСГ-48М2 снимают свинцовый экран, разворачивают его вдоль оси самолета, рабочую поверхность блока детектора АГС-71с поворачивают в сторону

* При изготовлении рудных моделей своими силами необходимо учитывать, что концентрация одного радиоэлемента в каждой модели (например, урана в урановой) должна обеспечивать мощность дозы гамма-излучения одного элемента на два порядка большую, чем от двух других элементов (в данном случае тория и калия).

источника. Под детектор, чтобы устранить влияние рассеянного землей излучения, подкладывают свинцовый экран толщиной 5—10 мм, выступающий за габариты детектора в сторону источника на 25—30 см. С помощью внутреннего калибратора лента записи аналогового регистратора градуируется в единицах скорости счета импульсов.

При градуировочных измерениях эталонного источника регистрируются приращения записи над фоном для 4—5 расстояний r . Высота источника над землей должна соответствовать высоте центра детектора. По результатам измерений строится градуировочный график, угол наклона которого характеризует чувствительность канала общего счета, имп./с на единицу мощности дозы, пА/кг (мкр/ч).

Перед градуировкой канала общего счета и после нее проводятся измерения с рудными моделями. В дальнейшем такие измерения в той же геометрии служат для оперативного контроля стабильности канала общего счета.

Методика выполнения съемочных полетов

Рекогносцировка района работ проводится в начальный период аэропоисковых работ или в конце полевого сезона за год до выполнения работ. Рекогносцировочные полеты выполняются на высотах 30—75 м маршрутами, расположенными через 15—20 км, чтобы пересечь основные геологические комплексы не менее 2—3 раз. Рекогносцировочная съемка имеет следующие основные цели.

1. Изучение общего характера распределения радиоактивных элементов на площади работ, установление фоновых значений поля для различных горных пород.

2. Ознакомление с физико-географическими условиями района работ и характером обнаженности, проверка наличия и надежности выбранных линейных и точечных ориентиров, подбор временных посадочных площадок.

3. Аэровизуальные наблюдения для установления характерных признаков горных пород.

Данные, полученные при рекогносцировке, используются для построения поисковой сети, составления памятки бортоператорам по ведению аэровизуальных наблюдений и полетной интерпретации материалов.

Высота и скорость полета при АГСМ-измерениях существенно влияют на регистрацию аномалий радиоактивности. Теоретические и экспериментальные исследования показывают, что измерения целесообразно проводить на высотах менее 75 м. Снижение высоты полета существенно улучшает регистрацию искомого объекта и мало влияет на уменьшение «зоны действия» прибора [2—4,6]. Снижение высоты полета до предельно допустимой расширяет возможность обнаружения аномалий, лежащих

в стороне от маршрута, а также слабых и малых по площади. По существу, высота полета никак не связана с масштабом поисков и полностью регламентируется «Руководством по съемочным полетам» [67].

ТАБЛИЦА III.2

Минимально допустимые высоты полетов

Характер местности	Минимально допустимая высота полета, м	Диапазон задаваемых высот, м
Равнинная, холмистая, лесистая и горные равнины (плато) с колебаниями высот рельефа до 200 м	25	25—50
Холмистые и горные равнины (плато), с колебаниями рельефа от 200 до 500 м	50	50—70
Пересеченная горная местность с колебаниями рельефа свыше 500 м	75	75—100
Местность с абсолютной высотой более 2500 м	100	100—130

В табл. III.2 по данным «Руководства по съемочным полетам» приведены минимально допустимые высоты полетов в зависимости от характера местности. Кондиционной по высоте считается съемка, выполненная на высоте полета менее 75 м. Скорость полета и ее изменения в процессе съемки оказывают влияние на форму регистрации аномалии, ее интенсивность и привязку к местности [15]. Оптимальные скорости выполнения поисково-съемочного полета для различных типов летательных аппаратов с учетом требований «авиации» приведены ниже,

Тип летательного аппарата	Оптимальная скорость полета, км/ч
Самолет Ан-2	165—175
Вертолеты:	
Ми-4	100—110
Ми-1	80—90
Ка-26	100—120
Ми-8	110—140

Коэффициент инерционных искажений аномальной записи [2] зависит от ее «полуширины» T , скорости полета v , постоянной времени τ каналов спектрометра. Приближенно он может быть выражен следующим образом:

$$Q = 1 + 2,3 (\tau v / T)^2.$$

Смещение вершины записанного пика оценивается [2] по приближенному, эмпирически полученному выражению

$$\Delta l = (0,5 \div 0,7) \tau v.$$

Исходя из приведенных выражений, можно сделать вывод о необходимости детализации аномалий на минимально допустимых скоростях полета. Направление маршрутов выбирается обычно вкрест простирания горных пород, рудоконтролирующих структур, зон или под небольшим углом к этому направлению. При этом учитываются и навигационные особенности региона: наличие входных, промежуточных и выходных ориентиров.

В условиях горного рельефа при полетах по прямолинейным параллельным маршрутам не всегда можно выполнить полеты на высотах менее 75 м, тогда сеть маршрутов можно проложить вдоль вытянутых склонов горных хребтов и долин. В подобных условиях следует проложить дополнительные прямо- и криволинейные маршруты на участках, залетанных на высотах более 75 м. Полеты по сети прямолинейных параллельных маршрутов выполняются как на самолете, так и на вертолете.

В условиях сложнорасчлененного горного рельефа, где невозможно выполнить полеты по геометрически правильной сети, применяется методика полетов «по горизонталям» и «скатывания». В таких случаях геологические требования при построении маршрутной сети не всегда можно учесть. Полеты «по горизонталям» проводятся вдоль склонов горных хребтов, приблизительно по горизонталям, имеющимся на топооснове. Расстояния между горизонталями выдерживаются в соответствии с масштабом съемки (1 : 10 000—100 м, 1 : 25 000—250 м и т. д.). Интервалы между горизонталями по высоте рассчитываются с учетом крутизны склонов. При выполнении полетов «скатыванием» отдельные горные сооружения (хребты, вершины и т. д.) обследуются сверху вниз серией линейных параллельных или веерных маршрутов. Расщелины, узкие долины, пади, котловины и другие сложные для облета формы рельефа обследуются свободными поисковыми маршрутами, т. е. произвольно. Полеты выполняются преимущественно на вертолетах.

Поисковая сеть выбирается и обосновывается на основе анализа топографической основы и фотоматериалов. В дальнейшем они используются для продолжения и привязки маршрутов. Масштаб картографического материала зависит от масштаба съемки (табл. III.3).

На выбранной топографической основе с учетом результатов рекогносцировки вся площадь, подлежащая опосредованному, разбивается на ряд участков. Для каждого из участков в соответствии с вышеизложенными положениями выбирается сеть маршрутов, по которым выполняется съемка. Длина маршрутов не должна превышать значений, указанных в табл. III.4. Если граничащие участки залетаны со значительным разрывом во времени, целесообразно предусмотреть некоторое перекрытие сетей маршрутов для облегчения увязки результатов съемки. При разбивке сети маршрутов необходимо учитывать положение естественных ориентиров, с помощью которых экипаж самолета

ТАБЛИЦА III.3

Зависимость масштаба картографического материала от масштаба съемки

Масштаб съемки	Вид картографических материалов	Масштаб картографических материалов
1 : 10 000	Топокарты	1 : 10 000—1 : 25 000
	Фотосхемы	1 : 10 000—1 : 25 000
1 : 25 000	Топокарты	1 : 25 000—1 : 50 000
	Фотосхемы	1 : 25 000—1 : 50 000
1 : 50 000	Топокарты	1 : 50 000—1 : 100 000
	Фотосхемы	1 : 50 000
1 : 100 000	Топокарты	1 : 100 000
1 : 200 000	То же	1 : 100 000—1 : 200 000

контролирует прохождение маршрута. Каждый из маршрутов должен начинаться и оканчиваться на естественных ориентирах (реки, дороги, просеки, берега озер, болот и пр.)*. В процессе полета по маршруту штурман на карте и бортоператор на ленте записи отмечают моменты пролета над ориентирами, расстояния между которыми зависят от длины маршрута (масштаба съемки). Между штурманскими ориентирами дополнительно фотографируются промежуточные ориентиры через 1—2 км.

Масштаб съемки	Расстояния между штурманскими ориентирами, км
1 : 10 000	5—7
1 : 25 000	7—10
1 : 50 000	10—15
1 : 100 000	15—20
1 : 200 000	20

При съемке в горах на вертолете и самолете скорость полета резко меняется. В таких случаях для улучшения привязки измерений необходимо возможно более частые отметки ориентиров.

Сеть маршрутов строится руководством летного отряда с обязательным участием экипажа. Вблизи территории работ или в пределах участка съемки намечается радиометрический контрольный маршрут (РКМ) длиной 3—4 км, подлежащий облету перед началом и по окончании съемки. Маршрут располагается так, чтобы при его залете свети к минимуму непроизводительные затраты летного времени. Одновременно РКМ должен удовлетворять ряду геолого-геофизических требований, главными из которых являются следующие.

1. Маршрут следует расположить в ландшафтных условиях, средних для данного участка съемки.

* Это положение, естественно, не является обязательным при полетах по искусственным ориентирам и при использовании радиогодезических систем привязки.

2. Необходимо, чтобы в пределах маршрута находились как обнаженные, так и задернованные участки.

3. Рельеф должен быть сглаженным, лесной покров отсутствовать.

4. Обязательно наличие входных и выходных ориентиров; маршрут должен быть удобен для точной штурманской прокладки.

5. Необходимо, чтобы гамма-поле в пределах участка было спокойным или имело ясно выраженный ступенчатый характер.

Целесообразно в качестве РКМ использовать один из полигонных участков.

Непосредственным ответственным исполнителем съемки является бортоператор. Он готовит аппаратуру к полету, обеспечивает работоспособность ее в воздухе, самостоятельно принимает решения о перспективности выявленной в процессе полета аномалии и ее детализации. От качества работы бортоператора и его взаимодействия с пилотом и штурманом в значительной мере зависит поисковая эффективность работ.

Обязанности съемочного экипажа при выполнении АГСМ-работ должны быть строго регламентированы. Накануне полета бортоператор вместе с геологом летного отряда изучает геолого-геофизические материалы по участку, где планируются полеты, и получает оперативные указания о детализации аномалий, ожидаемом типе их и местах наиболее вероятного обнаружения. Штурман на основе разработанного ранее плана поисковых полетов наносит на полетные карты маршруты, отмечает ориентиры, подлежащие засечке, намечает способы прокладки и контроля привязки маршрутов.

Командир экипажа получает оперативное задание и принимает организационные меры по подготовке полета.

В полете:

— пилот обеспечивает минимально возможную высоту полета, строго выдерживает курс и режим полета, немедленно и точно вводит поправки, указываемые штурманом; по сигналу бортоператора повторяет отдельные участки маршрута, детализирует участок, изменяет высоту и т. д.;

— штурман обеспечивает заданную точность самолетовождения, отмечает пролетаемые ориентиры, ведет боржурнал, обеспечивает составление крок на участке аномалий;

— бортоператор, поддерживая постоянную связь через самолетное переговорное устройство (СПУ) с пилотом и штурманом, активно ведет аэропоиск, принимая решения о детализации и повторях аномалий, контролирует высоту полета, скорость и возможные отклонения от заданной линии полета, дает указание штурману о нанесении на карту местоположения аномалий, ведет аэровизуальные наблюдения.

Перед полетом бортоператор подготавливает аппаратуру, выполняет контрольно-настроечные операции на земле. Правильная настройка аппаратуры, четкое выполнение контрольно-настроечных

операций, аккуратное и полное оформление градуировочных записей гарантируют высокое качество АГСМ-измерений.

Предполетная подготовка аппаратуры включает в себя: прогрев аэрограмма-спектрометра с дополнительными интерпретационными устройствами и радиовысотомера самолета (вертолета), установку номинального режима работы спектрометра, проверку положения нулей записи и калибровки шкал, проверку и необходимую подстройку каналов блока содержаний, проверку работоспособности системы АПВ и компенсацию начального напряжения радиовысотомера.

Прогрев спектрометра станции АСГ-48М2, выполненного по ламповой схеме, составляет 30—40 мин, спектрометра станции АГС-71 и дополнительных интерпретационных устройств, выполненных на полупроводниковых приборах, — не менее 5 мин. Радиовысотомер включается за 5 мин до компенсации его начального напряжения или начала измерений в воздухе. Спектрометр станции АСГ-48М2 вводится в номинальный режим * с помощью контрольного изотопа кобальт-60 (установка усиления) и рудных моделей (подстройки блока содержаний). Спектрометр станции АГС-71 не требует подстройки с помощью контрольного изотопа. Настройка счетно-решающего блока содержаний проверяется по комбинированной контрольной модели (ККМ). Рудные и комбинированные модели устанавливаются в строго определенные места, предусмотренные конструкцией приборов. Запись от рудных моделей и ККМ с помощью трафаретов (шаблонов) сравнивается с их записью в номинальном режиме. При существенных отклонениях от номинальных значений каналы спектрометров подстраиваются в соответствии с инструкциями по эксплуатации. Положение нулей записи и калибровки каналов спектрометра проверяется на всех шкалах измерения. Положение нулей выбирается с учетом удобства контроля записи и обработки лент.

Работа системы АПВ по имитатору РВ-2 контролируется всегда на одной и той же шкале. Начальное напряжение РВ-2 компенсируется перед вылетом в следующем порядке: на ленте записи фиксируется начало шкалы записи РВ-2, переключатель «Род работ» переводится в положение «Работа», с помощью резистора «компенсация нуля» запись начального напряжения РВ-2 совмещается с уровнем начала шкалы. Во время компенсации начального напряжения РВ-2 отклонение от нуля на индикаторе должно быть не более ± 2 м.

Самолет (вертолет) взлетает по разрешению бортоператора после прогрева аппаратуры и выполнения всех настроечных операций на земле. Контрольно-настроечные операции в воздухе предпо-

* Номинальный режим — это режим работы спектрометра, при котором проводились измерения на полигонных участках. Номинальный режим фиксируется на ленте регистратора приращенными записи от контрольного источника кобальт-60, рудных моделей и комбинированных контрольных моделей.

лагают: проверку настройки выходных каналов спектрометра по контрольному изотопу и рудным моделям, компенсацию остаточного фона*, градуировку канала записи высоты полета, настройку системы АПВ, измерения на РКМ.

Остаточный фон компенсируется при полетах над водной поверхностью (не ближе 300 м от берегов водоема глубиной не менее 2 м) или на высоте 800 м над земной поверхностью после установления номинального режима работы спектрометра по контрольным изотопам и рудным моделям. Остаточный фон записывается при отключенной системе АПВ. Он компенсируется на рабочей шкале по дифференциальным каналам спектрометра, которые предварительно калибруются. Переключатель «Род работы» ставится в положение «Работа» и регулировкой потенциометров «Компенсация ОФ» последовательно устанавливается средний уровень записи по всем каналам на уровень нулевой линии шкалы. После этого проверяется компенсация остаточного фона по каналам содержаний.

Канал записи высоты полета градуируется над ровной земной поверхностью или над водой с периодичностью 3—5 вылетов. Вначале устанавливается масштаб записи высоты при полете на высоте 100 м (60—70 мм записи), а затем проводятся последовательные полеты на высотах 100, 80, 60, 40, 20 м. По данным записи высот полета можно проверить правильность компенсации начального напряжения РВ-2: при правильной компенсации нелинейность записи высоты в диапазоне 0—80 м должна быть не хуже $\pm 10\%$. При получении худшей нелинейности компенсация начального напряжения подстраивается указанным способом и повторно градуируется канал записи высоты.

Система АПВ настраивается перед началом съемки; ее работа контролируется ежедневно по имитатору радиовысотомера и периодически (1 раз в 10—15 дней при стабильной работе) — путем полетов по одному маршруту на разных высотах. Система АПВ настраивается после тщательной компенсации остаточного фона на участке длиной 2—4 км с ровным рельефом и повышенным, но однородным гамма-полем. Настройка выполняется на возможно более чувствительной шкале при включенной системе АПВ путем полетов над выбранным участком на высотах 20 и 80 м. Одинаковый уровень записи при этом устанавливается резистором «Масштаб АПВ». Правильность настройки проверяется измерениями на других высотах (40 и 60 м). Средние значения записи гамма-поля по каналу ОК на разных высотах не должны отличаться более чем на 5%. В спектрометре станции АГС-71 предусмотрена регулировка линейности АПВ с помощью специального резистора. После регулировки линейности необходимо

* Остаточный фон — это фон, обусловленный суммарным воздействием на детектор космического гамма-излучения, радиоактивного загрязнения прибора и летательного аппарата.

снова провести измерения на разных высотах (20—80 м). После настройки АПВ выполняется контрольная запись с калибратором и имитатором радиовысотомера, сигнал которого подбирается так, чтобы запись при его включении удваивалась (АСГ-48М2) или оставалась на уровне калибровки (АГС-74с, ГСА-70).

Измерения на РКМ выполняются, чтобы учесть влияние внешних помех на результаты АГСМ-измерений. Перед началом съемки они выполняются строго в номинальном режиме, после окончания — в режиме, которым закончилась съемка. РКМ следует располагать в ландшафтных условиях, средних для площади съемки и, как правило, в ее пределах. Маршрут должен иметь четкие ориентиры и монотонные содержания радиоактивных элементов и гамма-поля.

После прохождения РКМ выполняются повторные измерения на последнем (предпоследнем) маршруте предыдущего вылета (или части его длиной 8—10 км), при этом достигаются две цели: по результатам этих измерений в дальнейшем определяется полевая точность съемки (с учетом качества работы штурмана по проложению маршрута), более быстро и надежно устанавливаются исходный ориентир очередного съемочного маршрута и его направление. При пересечении самолетом исходной точки начала маршрута штурман с помощью специального пульта делает на ленте запись отметки ориентира. В дальнейшем таким способом отмечаются все входные, промежуточные и выходные ориентиры. Бортоператор отмечает начало и конец всех маршрутов, нумерует их и промежуточные ориентиры. Особое внимание обращается на изменение регистрируемого поля и появление аномалий. О регистрации аномалии бортоператор сообщает штурману (по СПУ или сиреной), последний наносит ее на карту. Если оператор принимает решение о детализации аномалии, то полет по маршруту прекращается на ближайшем ориентире. После детализации прерванный маршрут продолжается. В процессе поисково-съемочного полета со станцией АСГ-48М2 систематически (через 1—2 ч) контролируется и подстраивается коэффициент усиления по контрольному изотопу и в необходимых случаях (при нестабильной работе спектрометра) проверяется компенсация остаточного фона (в середине вылета). Спектрометр АГС-74, оснащенный высокоточной системой стабилизации, в процессе съемки не требует дополнительного контроля и подстройки. Целесообразно лишь периодически проверять нули записи.

После работы на съемочном участке выполняется полет на высоте 800 м или над водной поверхностью на рабочей высоте для проверки правильности компенсации остаточного фона и контроля сохранности настройки прибора по контрольному изотопу и рудным моделям. Проверяется также работоспособность системы АПВ по имитатору радиовысотомера и калибратору. После посадки записывается натуральный фон и проверяется компенсация начального напряжения радиовысотомера. Для увязки АГСМ-

измерений после съемки выполняются измерения по секущим маршрутам, которые прокладываются через четкие ориентиры вкрест направления съемочных маршрутов в условиях спокойных или слабодифференцированных полей. Измерения проводятся на рабочей высоте полета в прямом и обратном направлениях и сопровождаются измерениями на РКМ.

Детализационные работы проводятся на перспективных аномалиях, выделяемых в процессе полетной и послеполетной интерпретации и требующих дополнительной геофизической или геологической информации, уточнения местоположения аномального участка и возможности доставки к нему групп наземной проверки.

Для сокращения затрат летного времени на отыскание зарегистрированной аномалии, а также для уменьшения вероятности ее «потери» основная часть аномалий детализируется непосредственно после обнаружения в процессе съемки, т. е. по результатам полетной интерпретации, проводимой бортоператором (см. V.2). Естественно, что это требует от бортоператора знания признаков перспективных аномалий и ясного представления о характере и объеме сведений, необходимых для выделения аномалий под наземную проверку и успешного проведения последней. Соответствующая подготовка бортоператоров осуществляется перед началом работ и совершенствуется в процессе их выполнения при послеполетном анализе материалов съемки и получении задания на очередной вылет.

Объем детализационных работ на аномалии зависит от геолого-геофизической и геоморфологической обстановки и может колебаться от 1—2 повторных маршрутов через аномалию до полной детализации. Полная детализация выполняется на явно перспективных локальных аномалиях, которые трудно обнаруживать при наземной съемке из-за отсутствия характерных ориентиров. При этом:

а) сообщается штурману о наличии аномалии и необходимости ее детализации;

б) штурман прерывает съемочный маршрут на ближайшем после аномалии ориентире;

в) повторяется участок маршрута, где зафиксирована аномалия, до получения аномальной записи, весьма близкой к первоначальной;

г) выявляется эпицентр аномалии, ее размеры и простираение путем выполнения детальной съемки короткими (2—5 км) маршрутами через 50—100 м в обе стороны от первоначального до затухания аномалии. Если устанавливается протяженность аномалии более 500 м, детализация прекращается. Момент прохождения над аномалией бортоператор сообщает штурману, который наносит ее положение на каждом детализационном маршруте. По всем детализационным маршрутам ведутся тщательные аэровизуальные наблюдения. Нумерация детализационных маршрутов согласуется бортоператором и штурманом;

д) закрепляется эпицентр аномалий вымпелом (вымпелами) и проверяется точность его падения относительно эпицентра;

е) штурман составляет крок участка аномалии с указанием ближайших ориентиров, изображенных на топокарте, а также местных ориентиров (отдельные деревья, поляны, болотца, промоины, скалы и т. п.), к которым привязываются детализационные маршруты. Здесь же указывается место падения вымпела (вымпелов). Особое внимание уделяется характеристике обнаженности участка: контурам осыпей, коренным обнажениям и т. п. В залесенной, горной и горнотаежной местности указывается возможность и место посадки вертолета для доставки группы проверки. При благоприятных условиях местности кроки дополняются фотографированием аномалии серией снимков в масштабе 1 : 10 000—1 : 25 000;

ж) бортоператор составляет предварительное заключение об особенностях местоположения и природы радиоактивности аномалии, характере обнаженности и характере обломков в ее районе.

В процессе детализации для экономии летного времени можно сокращать детализационные работы. Например, если выяснится приуроченность аномалии к характерным особенностям рельефа, изображенным на топокарте (вершина, гребень хребта, береговой обрыв и т. п.), то кроки по аномалии не составляются. Если в процессе детализации не подтверждаются первоначальные признаки перспективности (что вполне вероятно при малой интенсивности аномалии), детализацию можно прекратить после выполнения нескольких детализационных маршрутов.

Прокладка аэрогеофизических маршрутов и «привязка» измерений к местности

При съемке экипаж самолета (вертолета) обеспечивает полет по заданным маршрутам и «привязку» к карте всех выполненных в полете измерений.

Штурман визуально при помощи штатного навигационного оборудования и топографической основы или специального курсо-прокладчика различных конструкций прокладывает аэрогеофизические маршруты. Все выполненные измерения привязываются преимущественно с помощью фотографирования характерных ориентиров и их опознавания на карте [8], а при использовании искусственных ориентиров — визуально.

При прокладке маршрутов с помощью топоосновы и штатного навигационного оборудования экипаж со всей доступной точностью наносит на полетную карту фактическую линию пути (ФЛП) и максимальное количество ориентиров, пересекаемых самолетом. Требования к отклонениям ФЛП от заданной линии пути (ЗЛП) определяются масштабом топоосновы и по существующему «Руководству по съемочным полетам» не зависят от категории полета и масштаба съемки. Отклонения фактических от заданных линий

полета существенно зависят от опыта экипажа, качества топоосновы и количества ориентиров на местности. Частота отметки местоположения самолета (МС) и допустимые отклонения в привязке элементов поисковой сети приведены в табл. III.4.

ТАБЛИЦА III.4

Частота отметки МС и допустимые отклонения в привязке

Масштаб рабочей полетной карты или фотосхемы	Частота отметки МС не реже, км	Погрешность нанесения МС, м	Отклонение ФЛП от ЗЛП, м	Погрешность привязки крока к карте, м
1 : 1 000 000	35	1000—2000	2000—4000	—
1 : 500 000	30	500—1000	1000—2000	—
1 : 200 000	25	200—400	400—800	—
1 : 100 000	20	100—200	200—400	200—300
1 : 50 000	15	50—100	100—200	100—200
1 : 25 000	10	25—50	50—100	50—100

При полете по криволинейным маршрутам и по «горизонталям», когда ФЛП наносят, руководствуясь МС, отметками пути и рисунком горизонталей, необходимо чаще отмечать путь, время и МС, а также контролировать работу барометрического высотомера и РВ-2. Ошибки возрастают в условиях равнинной малоориентирной местности. В подобных случаях визуально прокладывают маршруты по способу передвижных искусственных ориентиров [15]. Применение этого способа прокладки и привязки маршрутов обеспечивает высокую точность поисковой сети: ориентиры привязываются с точностью 30—50 м, линия полета — 50—100 м.

По требованиям геофизических инструкций предельная погрешность в определении координат пунктов геофизических наблюдений не должна превышать 1,0—1,2 мм масштаба отчетной карты. Ниже приведены требования к аэрогеофизическим съемкам.

Масштаб отчетной карты	Предельно допустимые погрешности привязки, м	Погрешности привязки кроков к карте, м
1 : 200 000	± 200	—
1 : 100 000	± 100	± 200
1 : 50 000	± 50	± 100
1 : 25 000	± 25	± 50

Указанные требования далеко не всегда можно выполнить с помощью навигационного оборудования, поэтому применяют фотопривязку и дополнительные залеты, при значительных отклонениях фактической линии полета от заданной.

На современном этапе развития АГСМ-метода необходимо применять автономные навигационные системы и устройства, позволяющие осуществлять активное вождение самолета

(вертолета) по заданной сети маршрутов и инструментальную привязку измерений к местности. Существует ряд навигационных систем и устройств, улучшающих качество самолетовождения и привязки маршрутов. Таким устройством является курсограф АГК-2, входящий в комплект станций АСГ-48, АСГ-48М, АСГ-48М2 (П.3). Он обеспечивает протяжку ленты регистратора со скоростью, пропорциональной скорости самолета (вертолета), и регистрацию курса полета самолета.

Синхронизация скоростей протяжки ленты регистратора и полета резко уменьшает погрешность привязки, связанную с изменениями скорости при наборе высоты и снижении, но не устраняет погрешностей, связанных с изменением скорости и направления ветра в полете. Имеющиеся способы введения поправок за ветер являются приближенными [4]. Применение курсографа АГК-2 не исключает необходимости аэрофотосъемки ориентиров. Курсограф в комплексе с фотопривязкой обеспечивает привязку ориентиров с погрешностью до ± 30 м, а линии полета до 50—150 м (при расстоянии между ориентирами 7—10 км).

Применительно к условиям аэропоисков в районах с относительно небольшими превышениями рельефа до 200 м наиболее приемлемыми и доступными являются радиогеодезические системы, которые условно можно разделить на три класса: фазовые, импульсные и импульсно-фазовые.

Фазовые системы используют метод измерения фазы непрерывных колебаний несущей частоты и числа фазовых циклов, кратных двум. Системы обладают высокой инструментальной точностью. Однако имеют и существенные недостатки:

- а) при срыве синхронизации необходим возврат к точке с известными координатами;
- б) для получения информации о дальности в единицах длины требуется сложное вычислительное устройство;
- в) требуются энергоемкие источники питания.

Импульсные системы основаны на использовании метода измерений временного интервала между излучаемыми и принимаемыми импульсами. Имеют достаточно высокую инструментальную точность, небольшое потребление энергии, значения дальности получаются однозначно в единицах длины. Недостатком этих систем является большой диапазон занимаемых частот.

Существуют также *импульсно-фазовые* системы.

При аэрогеофизических работах в настоящее время целесообразно применять разностно-дальномерные фазовые системы «Поиск», «Поиск-М». Краткая техническая характеристика этих систем приведена ниже.

Техническая характеристика

Наименование, год выпуска	«Поиск», 1965 «Поиск-М», 1967
Тип	Фазовая гиперболическая

Назначение	Прокладка и привязка маршрутов
Способ контроля линий полета	Активный с РГП, пассивный без РГП
Регистрация	Цифровой счетчик, аналоговая запись
Состав комплекса	Бортовая система; 4 наземные базисные станции
Частота, МГц	1,5—2,6
Излучаемая мощность, Вт	40
Дальность действия км	100
Погрешность, м	± 20
Масса станции, кг	60; 4 × 500
Потребляемая мощность, Вт	200
	500 × 4 («Поиск-М»)
	1000 × 4 («Поиск»)

Основным параметром, измеряемым разностно-дальномерными системами, является разность расстояний от подвижного объекта до базисных станций. Каждой разности расстояний соответствует определенная гипербола с фокусами в базисных точках. Последовательная фиксация разности расстояний позволяет вести самолет (вертолет) по заданной сети гипербол.

Система «Поиск» успешно применяется при аэрогеофизических работах в малоориентированной местности. Радиогеодезическая система «Поиск-М» является модернизированным вариантом системы «Поиск» и состоит из четырех наземных передающих станций и бортового комплекса (фазового зонда) [49].

Наземные станции системы «Поиск-М» в отличие от системы «Поиск» взаимозаменяемы. Передающая антенна наземной станции состоит из мачты высотой 18 м и 12 противовесов длиной по 15 м. Питаются наземные станции от сети переменного тока частотой 50 Гц, напряжением 127 или 220 В, потребляемая мощность не превышает 500 Вт, т. е. в 2 раза меньше, чем у системы «Поиск».

Бортовое устройство состоит из 3-канального приемника, фазоиндикатора и блока питания. Фазоиндикатор позволяет измерять и регистрировать на визуальном счетчике или бумажной ленте разность фаз низкочастотных сигналов, поступающих с выходов приемников. Измеряемая разность фаз зависит от расстояния между самолетом (вертолетом) и базисными станциями. При полете по заданной гиперболе непрерывно меняются приращения фазовых циклов. Фактические линии пути самолета (вертолета) определяются при камеральной обработке результатов радиогеодезических измерений.

Активный способ контроля продолжения аэромаршрутов с применением систем «Поиск» и «Поиск-М» может быть обеспечен с помощью специального радиогеодезического прокладчика (РГП) — курсографа, который позволяет осуществлять вождение летательного аппарата, контролируя ФЛП по линии маршрута,

вычерченного на диаграммной ленте. РГП обеспечивает самолето-возждение и по системе прямолинейных маршрутов. Съемка на маршрутах, прокладываемых с помощью указанных систем, должна начинаться и заканчиваться на опорных ориентирах с известными координатами.

Применение систем «Поиск» и «Поиск-М» связано с дополнительными затратами, поэтому их используют в малоориентирной слабовсхолмленной (с относительными превышениями до 100 м) местности.

Погрешности аэрогамма-спектрометрических измерений за счет мешающих факторов и методика их учета

Заметный вклад в суммарную погрешность измерений вносят: космическая составляющая остаточного фона, гамма-излучение продуктов распада атмосферного радона, экранирующее действие лесного покрова, колебания влажности почв и эманирование рыхлых отложений*.

Космическая составляющая остаточного фона увеличивается с высотой, что наиболее отчетливо фиксируется увеличением скорости счета в канале, соответствующем энергии гамма-квантов ^{232}ThC . При разнице между абсолютной высотой съемки и высотой, где компенсируется остаточный фон, 1000 м и более погрешности достигают размеров, которые необходимо учитывать при обработке АГСМ-данных $[(2 \div 2,5) \cdot 10^{-4} \% \text{Th}]$. Погрешности устраняются введением поправок (со знаком плюс или минус) в показания каналов блока содержания спектрометра в зависимости от абсолютной высоты полета (табл. III.5).

ТАБЛИЦА III.5

Зависимость остаточного фона от абсолютной высоты полета h (АСГ-48)

h , м	Δq_U , $10^{-4}\%$	Δq_{Th} , $10^{-4}\%$	Δq_K , %
0	0	0	0
500	-0,1	0,4	-0,01
1000	-0,2	1,0	-0,02
2000	-0,4	3,0	-0,05
3000	-0,6	6,0	-0,10

* Погрешности измерений, обусловленные статистическими флюктуациями, инерционными искажениями, нестабильностью аппаратуры, погрешностями градуировки и гамма-излучением осколков ядерных взрывов, рассмотрены в Методическом руководстве [4].

Гамма-излучение продуктов распада атмосферного радона

Средняя составляющая остаточного фона прибора, обусловленная гамма-излучением продуктов распада атмосферного радона, учитывается при измерении остаточного фона. Однако вариации концентрации радона в приземном слое воздуха приводят к колебаниям уровня по каналам урана (радия) и интегральной интенсивности. Можно выделить суточные и сезонные вариации концентрации атмосферного радона, а также связанные со сменой погодных условий. Суточные вариации концентрации атмосферного радона связаны с образованием в утренние часы

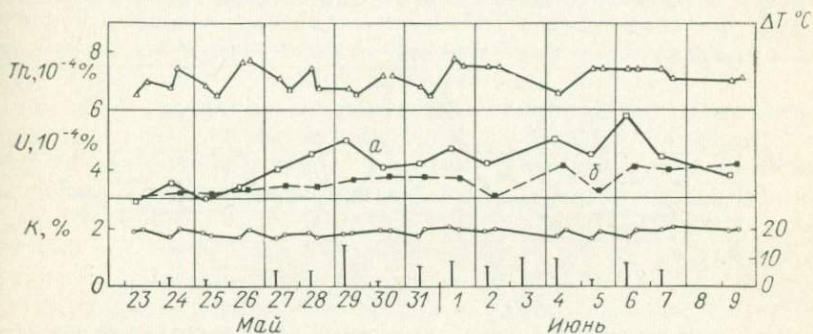


Рис. III.2. Результаты повторных АГСМ-измерений на контрольном маршруте в утренние (а) и дневные (б) часы по каналам тория, урана и калия (аридный район).

приземного слоя температурной инверсии, который способствует почти полному прекращению переноса радона в вышележащие слои и увеличивает его концентрацию вблизи земной поверхности на порядок и более (рис. III.2).

Уровень таких помех зависит от средней концентрации радона в атмосфере. В районах с морским климатом суточные вариации фона по урану (радию) в условиях воздушной съемки составляют $(0,15 \div 0,3) \cdot 10^{-4}\%$. На территориях, характеризующихся континентальным климатом, суточные вариации значительно выше и составляют $(1 \div 1,5) \cdot 10^{-4}\%$, иногда достигая $2,0 \cdot 10^{-4}\%$.

На рис. III.2 показаны результаты повторных измерений на контрольном маршруте в одном из аридных районов. Разность температур воздуха ΔT на высотах 150—200 и 0 м, отмеченная вертикальными линиями, характеризует «интенсивность» инверсионного слоя. Ход суточных вариаций фона во времени иллюстрируется на рис. III.3, где приведены результаты наземных наблюдений с прибором АГС-3 в том же районе работ. Наибольший уровень помех обычно отмечается в 5—7, реже в 8—9 ч утра. Скорость спада уровня фона, определяемая временем разрушения слоя температурной инверсии, зависит от климатических особенностей территории.

В семиаридных районах постоянный уровень фона устанавливается в 10—11, реже в 12—13 ч. В аридных полупустынных районах уровень фона по каналу урана и общего счета непрерывно уменьшается в течение всего дня от 8—9 до 18—20 ч.

Повторные измерения по одному и тому же РКМ в процессе вылета позволяют значительно уменьшить влияние суточных вариаций концентрации атмосферного радона. Для оценки необходимости дополнительных контрольных измерений существенное значение имеют наблюдения бортоператора за погодными условиями. Следует иметь в виду, что приповерхностный слой температурной инверсии наиболее хорошо развит в ясную безветренную погоду. И наоборот, наличие в предрассветные часы умеренной

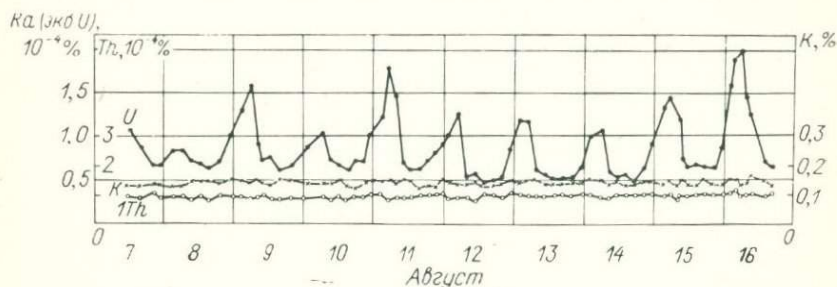


Рис. III.3. Вариации фона по каналам урана, тория и калия при наземных измерениях с прибором АГС-3 (аридный район).

или густой облачности и ветра со скоростью более 2—3 м/с говорят об отсутствии или малой интенсивности инверсионного слоя.

Предварительно оценить уровень таких помех можно в самом начале вылета, измеряя температуру забортного воздуха во время набора высоты для компенсации остаточного фона. Увеличение температуры на 3° С и более при изменении высоты от 0 до 150—200 м свидетельствует о заметном уровне инверсионных помех по урановому (радиевому) и интегральному каналам.

Необходимость дополнительных контрольных измерений, как и их периодичность, определяется уровнем суточных вариаций. В районах с морским климатом, где уровень помех невелик, для введения поправок достаточно залетов контрольного маршрута в начале и в конце вылета. Поправки по каналам урана (радия) и интегральному должны вводиться при обработке ленты записи путем постепенного смещения нулевой линии палетки в интервале времени от начала съемки до 10—11 ч утра. Это операция аналогична введению поправок за смещение нуля записи. Не следует вводить поправки путем изменения цены деления палетки.

Такую же методику введения поправок по двум контрольным измерениям можно применять и в районах с аридным климатом, где уровень фона монотонно меняется в течение всего дня. В этом случае по урановому и интегральному каналам следует посте-

ленно смещать нулевую линию палетки в пределах всей ленты от начала до конца вылета.

В семиаридных и других районах с аналогичными климатическими условиями, где суточные вариации концентрации атмосферного радона велики и имеют нелинейный характер по времени, двух залетов контрольного маршрута часто недостаточно. Целесообразен дополнительный залет по контрольному маршруту в 10—11 ч утра, который позволит отдельно вводить поправки для двух интервалов времени. Контрольные измерения и залеты полигонных участков в послеполуденное время повышают точность измерений.

В настоящее время разрабатывается устройство для автоматической компенсации помех, связанных с космическим и гамма-излучением продуктов распада атмосферного радона, что в дальнейшем позволит повысить эффективность метода.

Сезонные вариации концентрации атмосферного радона связаны с изменением интенсивности перемешивания атмосферного воздуха в различное время года, что приводит к постепенному увеличению концентрации атмосферного радона от весны к зиме. Ориентировочно можно принять, что в условиях континентального климата остаточный фон на рабочей высоте полета по урановому каналу за полевой сезон возрастает до $0,5 \cdot 10^{-4}\%$.

Погодные вариации атмосферного радона связаны с изменением погодных условий. Если после неустойчивой погоды, когда помехи инверсионного характера малы или полностью отсутствуют, наступает устойчивая сухая погода, характеризующаяся развитыми температурными инверсиями, то средний уровень фона по каналам урана (радия) и интегральному в дневное время суток постепенно (в течение нескольких дней) увеличивается. И наоборот, при изменении от сухой теплой или жаркой погоды к более холодной, с сильными ветрами и дождями, уровень фона уменьшается. При АГСМ-съемке в одном из семиаридных районов зафиксировано плавное изменение уровня «дневного» фона по урану (радию) на $1 \cdot 10^{-4}\%$ за 7—10 дней (рис. III.3).

Погрешности, связанные со сменой погодных условий, можно уменьшить путем систематических повторных измерений на контрольном маршруте, проводимых во второй половине дня, когда минимально сказывается прямое влияние температурных инверсий. Поправки вводятся путем сдвига нуля палетки.

Помехи, возникающие при выпадении дождя, также связаны с продуктами распада атмосферного радона. Эти продукты, находящиеся в атмосфере в виде аэрозолей, захватываются дождевыми каплями и осаждаются на землю. Образование поверхностного активного слоя приводит к увеличению интенсивности гамма-излучения в области фотопика 1,76 МэВ, которое фиксируется по урановому и интегральному каналам. Наблюдения показывают, что помехи во время дождя зависят от интенсивности осадков.

После дождя начинается медленный спад фона, связанный с распадом RaC , и через 2—2,5 ч устанавливается уровень записи, близкий к исходному.

При прочих равных условиях увеличение уровня фона по урану (радио) пропорционально концентрации атмосферного радона, поэтому в условиях континентального климата уровень помех, связанных с дождем, существенно выше, чем для прибрежных частей материка. Такие данные, полученные при наземных измерениях с прибором АГС-3, показаны в табл. III.6.

ТАБЛИЦА III.6

Уровень помех по каналу урана (радия) в период дождя, $10^{-4}\%$

Характер дождя	Климат	
	континентальный	морской
Сильный	7—10	1—3
Умеренный	3—7	0,5—1,0
Слабый	1—3	0,2—0,5
Очень слабый (изморось)	1	0,2

Как показывают расчеты, в условиях воздушной съемки на малых высотах (20—30 м) «дождевые» помехи в 3—5 раз ниже, чем при наземных измерениях, а при съемке на высотах 40—60 м эти помехи пренебрежимо малы. На высотах 70—80 м и более помехи снова возрастают, но имеют отрицательный знак.

Приведенные данные показывают, что на территориях с континентальным климатом нецелесообразно проводить воздушную съемку в период сильных и умеренных дождей. Возобновлять съемочные работы можно лишь через 2—2,5 ч после дождя.

Экранирующее действие лесного покрова

Поглощающая способность леса зависит от бонитета (показателя качества). Расчетные коэффициенты ослабления лесным покровом (J/J_0) гамма-излучения горных пород приведены ниже.

Название деревьев	Бонитет		
	Лучший	Средний	Худший
Береза	0,87	0,93	1,00
Лиственница	0,74	0,80	0,87

Экранирующее влияние лесного покрова желательно учитывать при интерпретации АГСМ-данных путем выделения на существующих картах лесного покрова участков с лучшими, средними и худшими бонитетами и введением коэффициентов.

Влажность почв

Сезонные вариации влажности почв оказывают заметное влияние на точность воздушных измерений. Суточные вариации влажности, наблюдаемые в районах многолетней мерзлоты, и изменения, связанные с ливневыми дождями, имеют более ограниченное значение.

Сезонные изменения влажности почвы связаны с изменением погодных условий, в течение года характеризуются равномерным изменением ее по глубине и приводят к вариациям интенсивности гамма-излучения почвенного слоя. Для районов с континентальным климатом изменение влажности почвы от июня до сентября в среднем составляет 10—15%. Абсолютная систематическая погрешность измерений

$$\Delta q_j = -\Delta\omega q_j,$$

где $\Delta\omega$ — разность по влажности между полигонными участками и съемочной площадью.

Концентрация радиоактивных элементов рассчитывается по формуле

$$q_{j \text{ ист}} = (1 + \Delta\omega) q_{j \text{ изм}},$$

где $q_{j \text{ ист}}$ — истинное значение концентрации; $q_{j \text{ изм}}$ — измеренное.

Формула, справедливая для тория и калия, применима для введения поправок по каналу урана (радия) только при малых значениях коэффициента эманирования по радону (не выше 30%). При больших значениях коэффициента эманирования зависимость результатов измерений по каналу урана (радия) от влажности имеет иной характер. Различия во влажности градуировочных моделей и полигонных участков автоматически учитываются при определении эквивалентных концентраций рудных моделей на полигонных участках.

При неоднократных залетах полигонных участков в течение полевого сезона, если их влажность соответствует влажности съемочных площадей, величиной сезонных колебаний влажности можно пренебречь. Поправки на изменившуюся влажность можно ввести, не перезалетывая полигонные участки. При изменении влажности почв по сравнению с первоначальной на $\Delta\omega$ исправленное значение эквивалентной концентрации

$$q_{2э} = (1 + \Delta\omega) q_{1э},$$

где $q_{1э}$ — эквивалентная концентрация, вычисленная для первоначального значения влажности.

Интенсивные дожди 3—4 суточной продолжительности могут снижать измеряемую гамма-спектрометром концентрацию тория и калия на 20—25%. Поэтому необходимо учитывать сроки

восстановления нормальной интенсивности гамма-поля после дождей, которые зависят от продолжительности осадков. После длительных дождей возобновить съемку можно через сутки.

Эманирование горных пород

Существенное влияние на результаты измерений по каналу урана (радия) оказывает эманирование рыхлых отложений по району. Относительная погрешность измерения δq_U в первом приближении пропорциональна коэффициенту эманирования $\delta q_U \approx \approx -K_{эм}$.

Для монолитных коренных пород $K_{эм} = 1 \div 2\%$. Для почв различных типов $K_{эм} = 20 \div 90\%$ и составляет в среднем около 40%. Так, например, коэффициент эманирования суглинистых дерново-подзольных почв для одного из северо-западных районов около 50, песчаных 20, светло-каштановых суглинистых почв в одном из аридных районов 40%. Вследствие этого при воздушных измерениях над рыхлыми отложениями может занижаться концентрация урана (радия) относительно истинных значений в 1,5—2 раза.

В настоящее время в большинстве случаев невозможно внести поправки на вариации коэффициента эманирования. Поэтому для градуировки спектрометра необходимо выбирать полигонные участки, сложенные отложениями, которые наиболее характерны для района съемки (имеют средний коэффициент эманирования). При интерпретации результатов таких измерений надо помнить, что в определении урана (радия) возможны ошибки противоположного знака, достигающие 20—25%.

III.3. ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ АЭРОГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Первичные материалы съемки и их оформление

Основными материалами АГСМ-съемки являются: ленты записи информации по каналам спектрометра, журналы регистрации лент записи, аппаратурный журнал, штурманские бортовые журналы, полетные (штурманские) и камеральные топографические карты с нанесенными маршрутами съемки, штурманские кроки аномалий, аэрофильмы фотопривязки, аэрофотоснимки ориентиров, фото-схемы каркасов, журналы регистрации аэронегативов и отчетков.

Каждая лента записи должна иметь паспорт, заполняемый чернилами, с четкими записями, характеризующими съемку. Ленты записи проверяются начальником летного отряда или лицом, ответственным за обработку материалов съемки, и регистрируются в журнале регистрации.

Ленты записи должны содержать все сведения, необходимые для их обработки. Эти сведения наносятся на ленту как в процессе съемочного полета, так и в камеральных условиях. К числу

сведений, наносимых бортоператором в процессе съемочного полета, относятся: номера и надписи начала и конца съемочных маршрутов, номера промежуточных ориентиров, отмеченных штурманом, номера снимков аэрофотопривязки, аэровизуальные наблюдения и прочие отметки, характеризующие ход съемки (перерывы в выполнении съемки, детализация аномалий, повторные измерения и т. д.) и особенности работы аппаратуры (калибровки, переключения шкалы масштаба записи, измерения контрольного изотопа и рудных моделей и т. д.). Четкими записями сопровождаются все измерения рудных моделей и эталонов, компенсация остаточного фона, проверка работы системы АПВ, измерения на полигонном участке или радиометрическом контрольном маршруте и прочие измерения, предшествующие съемке или выполняемые после нее.

В камеральных условиях на ленту записи дополнительно наносятся сведения, необходимые для их обработки: разбивка шкал, указания о введении поправок, пояснения к обработке того или иного маршрута или участка съемки и т. д. Все записи на ленте наносятся простым карандашом. Категорически запрещается стирать и исправлять записи, сделанные бортоператором в процессе съемочного полета. Неразборчивые записи, сделанные в полете, четко дублируются в камеральных условиях бортоператором.

Штурманские бортовые журналы заполняются по существующим формам. В бортовой журнал обязательно записываются курс каждого маршрута и расстояния между ориентирами с указанием времени полета между ними. Записи выполняются простым карандашом, четко, без помарок. Бортовой журнал подписывают командир летательного аппарата, штурман и бортоператор.

Полетные (штурманские) топографические карты после съемочного полета представляются штурманом начальнику летного отряда или лицу, ответственному за обработку материалов съемки. На полетной карте должны быть нанесены тушью (черной или цветной) данные штурманской прокладки маршрутов: линия маршрута с указанием направления полета и номера маршрута, начало и конец маршрута, промежуточные ориентиры со всеми номерами, круги набора высоты, участки детализации.

Цветным карандашом на полетной карте наносятся по данным, сообщаемым бортоператором в полете, аномалии и аномальные повышения, зарегистрированные в процессе съемки. Аэрофильмы, содержащие снимки фотопривязки, сопровождаются журналом регистрации аэро негативов и отпечатков.

Этапы обработки

Материалы обрабатываются в два последовательных этапа: предварительный и окончательный. Предварительный этап включает полевую обработку лент записи спектрометра и построение

первичных карт содержаний радиоактивных элементов и гамма-поля. Тесно примыкает к этому этапу предварительная интерпретация АГСМ-данных: выделение аномалий по лентам записи и составление карт аномалий, а также предварительных интерпретационных карт.

При использовании бортовых устройств карты параметра, фиксируемого устройством, также строятся на этом этапе.

Окончательно материалы обрабатываются в камеральный период: строятся увязанные по маршрутам, вылетам и участкам съемок окончательные карты содержаний радиоактивных элементов и гамма-поля; по ним проводится окончательная интерпретация.

Предварительная обработка

Обработка лент записи включает в себя:

— оформление лент записи бортоператором, при этом дублируются все неразборчивые записи на ленте и составляется ее паспорт;

— послеполетный разбор вылета, в результате которого устанавливается соответствие проведенного вылета заданию и оценивается качество съемки. Для этого бортоператор предъявляет начальнику летного отряда или техническому руководителю ленты записи, боржурнал и штурманскую полетную карту. Специалисты партии анализируют качество работы аппаратуры, оценивают пригодность материалов к обработке и определяют необходимость введения поправок;

— определение начала отсчета каналов содержаний и общего счета. Начало отсчета определяется по уровню компенсации остаточного фона*. Сползание уровня компенсации остаточного фона от начала до конца вылета необходимо учитывать с максимальной точностью, вводя помаршрутные поправки в нули отсчета пропорционально времени от начала вылета;

— разбивка шкал каналов содержаний и общего счета (а также радиовысотомера и параметров бортовых устройств). Она проводится по градуировке каналов содержаний по рудным моделям и эталонировке канала общего счета. Определяются масштабы записи по каналам, в соответствии с которыми от начала отсчета разбиваются шкалы по дугам, соответствующим отпискам гальванометра;

— сглаживание записи каналов содержаний. Эта операция обработки лент требует квалифицированного исполнения. Основным критерием подчеркивания (или сглаживания) первичной аномалии записи является наличие (или отсутствие) приращения

* В случае интенсивных температурных инверсий нулевые линии каналов урана и общего счета следует определять по данным залетов радиометрического контрольного маршрута.

в канале общего счета. Для спектрометра АСГ-48М2 дополнительным признаком флюктуации служит заметная на глаз обратная корреляция приращения в урановом канале с приращением в калиевом и ториевом. Для спектрометра ГСА-70 эта связь гораздо слабее.

Большое значение для качественного выполнения операции сглаживания имеет опыт исполнителя. Минимальный размах флюктуаций, подлежащих сглаживанию (если его специально не изучали), можно приблизительно оценить по записи на уровне компенсации остаточного фона.

Последующие операции предварительной обработки выполняются после проявления аэрофильма и опознавания снимков сопровождения. Опознанные кадры привязываются к топографической основе; номера ориентиров (с указанием расстояния от предыдущего ориентира) выносятся на ленту записи к отметкам фотоснимков сопровождения.

После этого выполняют следующие операции:

— строят схемы маршрутов на базе штурманской и фотопривязки, записи радиовысотомера, а также профилографа и курсографа, если они используются при съемке;

— разбивают «километраж» между ориентирами на ленте записи. Эту операцию удобно выполнять с использованием прямоугольных треугольников. Продольный (по отношению к ленте) катет представляет собой межориентирное расстояние в масштабе записи ленты; его начало отмечается по поперечной прорези стандартной палетки при установке дуговых шкал на отписки начального ориентира. Поперечный катет представляет собой межориентирное расстояние в масштабе $1 : 25\,000$ — $1 : 50\,000$. Он проводится по той же поперечной прорези палетки при совмещении дуговых шкал с отписками конечного ориентира. Пересечение гипотенузой получившегося треугольника шкалы «километража», разбитой по поперечной прорези палетки в масштабе $1 : 25\,000$ — $1 : 50\,000$, дает истинное расстояние от начального ориентира;

— производят считывание записи каналов содержаний, общего счета и параметров бортовых устройств (БУК-4, МДУ) и разноску значений на подготовленные схемы маршрутов. В процессе считывания на ленте записи выделяются и отмечаются на схемах маршрутов участки некондиционной съемки по шкале радиовысотомера в градациях 75—100 м и более.

Значения считываемых параметров берутся во всех характерных точках сглаженной записи, но не реже, чем через 250 (масштаб $1 : 25\,000$) или 500 м (масштаб $1 : 50\,000$). Во всех считываемых точках отсчитываются значения по всем каналам содержаний, каналу общего счета и записи бортовых устройств. Все считываемые параметры вместе с расстоянием от ориентиров следует записывать в специальный журнал, чтобы использовать их для последующих расчетов интерпретационных параметров.

Операция считывания и разности является наиболее трудоемкой из всех. Поэтому заслуживает особого внимания все попытки ее автоматизации, снижающие трудоемкость без потери и искажения первичной информации.

Построение предварительных карт. На этой стадии по цифрам, вынесенным на схемы маршрутов, проводятся изолинии содержания урана, тория и калия, гамма-поля и значений интерпретационных параметров. Карты изолиний затем приводятся к удобному для использования виду: оформляются и раскрашиваются.

Интервалы проведения изолиний выбираются исходя из полевой точности съемки. Общепринятыми для спектрометра АСГ-48М2 являются интервалы изолиний урана $2 \cdot 10^{-4}\%$, тория $4 \cdot 10^{-4}\%$ (иногда $3 \cdot 10^{-4}\%$), калия 1%, гамма-поля 2 мкР/ч. Для спектрометра ГСА-70 выбираются иные интервалы; уран $1 \cdot 10^{-4}\%$, торий $2 \cdot 10^{-4}\%$, калий 0,5%, гамма-поле 1 мкР/ч.

Изолинии на участках некондиционной съемки можно проводить до высоты, на которой нарушается работоспособность системы АПВ (как правило, около 100 м).

На этой же стадии осуществляются еще две операции обработки. Первая — расчет параметров локальных гамма-аномалий и построение карты аномалий. Для характеристики аномалии рассчитываются приращения элементов в аномальной точке над фоном, отношения приращений (обычно $\Delta q_{Th}/\Delta q_U$) и параметр локальности — ширина аномалии на половине максимума интенсивности гамма-излучения. Эти данные в соответствующих условных обозначениях (см. приложение) переносятся с ленты записи на схему маршрутов, которая и представляет собой карту локальных аномалий.

Вторая операция — расчет по журналу записи считанных значений содержаний интерпретационных параметров (например, $q_U q_K/q_{Th}$) или выделение по степени перспективности участков с определенными сочетаниями радиоактивных элементов. Эти параметры также разносятся на схемы маршрутов, после чего строятся интерпретационные карты.

На последней стадии предварительной обработки (после съемки всей площади) по повторным маршрутам рассчитывается полевая точность съемки по формуле

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{ij} - X'_{ij})^2}{2n}}$$

где σ_j — полевая точность определения содержания j -го элемента или гамма-поля; X_{ij} — первично измеренное содержание j -го элемента или гамма-поля в i -й точке; X'_{ij} — содержание j -го элемента или гамма-поля в i -й точке повторного маршрута; n — количество точек с двукратным измерением.

Для расчетов принимаются участки маршрутов, где линии первичного и повторного залета по данным фотопривязки отстоят друг от друга не далее 50—100 м.

Кроме того, подсчитывается процент некондиционной съемки по журналу записи считанных параметров либо с помощью планиметра по картам в интервалах высот 75—100 м и более.

Окончательная обработка

Основная часть этого этапа обработки состоит в увязке АГСМ-измерений (т. е. приведении к одному уровню записи) по маршрутам, вылетам и разобленным участкам съемки. Поправки вносятся в значения содержаний элементов и гамма-поля, считанные с лент на предварительном этапе. По исправленным оцифрованным схемам маршрутов строятся уточненные карты. Карты увязываются по повторным, секущим и контрольным маршрутам.

1. Увязка по повторным маршрутам обеспечивает приведение измерений к одному (обычно начальному) уровню записи, который и принимается за истинный. Достоверность такого способа увязки невысока, и его недостатки особенно сказываются при попытке сопоставить результаты съемок разных лет и разных организаций. Предполагается, что на точность воспроизведения распределения радиоактивных элементов и гамма-поля по повторному маршруту влияет в первую очередь изменение параметров аппаратуры. Это далеко не так. Неточное повторное прохождение съемочного маршрута и изменение метеоусловий могут свести к нулю достоверность вносимых поправок и даже ухудшить качество окончательных карт. Повторные измерения проводятся прежде всего для оценки полевой точности.

2. Увязка по секущим маршрутам позволяет достаточно уверенно уравнивать уровни записи по вылетам и маршрутам, однако страдает тем же недостатком: все данные приводятся к уровню секущих маршрутов. Этого можно избежать, если одновременно с прохождением секущих маршрутов выполнить измерения на контрольных участках с известными содержаниями радиоактивных элементов.

Невязка определяется обычно путем сравнения среднего содержания по секущему маршруту со средним содержанием по съемочным маршрутам. Невязка $\pm \Delta q_j$ вводится в виде поправки в измерения по съемочным маршрутам.

Секущие маршруты выполняются после работ на участке в спокойных полях средней интенсивности.

3. Наиболее достоверно (особенно в случае значительных температурных инверсий) увязка проводится по РКМ, проходимым ежедневно в начале и в конце вылета. Многократное прохождение контрольного маршрута позволяет построить частотное распределение измеряемых величин. Модальное значение этих распределений принимается за истинную концентрацию радиоактивных

элементов и уровень гамма-поля на контрольном маршруте. К этим значениям приводятся уровни записи на РКМ в начале и конце каждого вылета. Таким образом определяются нулевые линии каждого канала гамма-спектрометра. «Сползание нуля» за вылет разбрасывается обычным способом (рис. III.4).

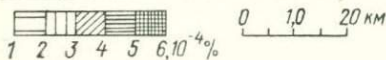
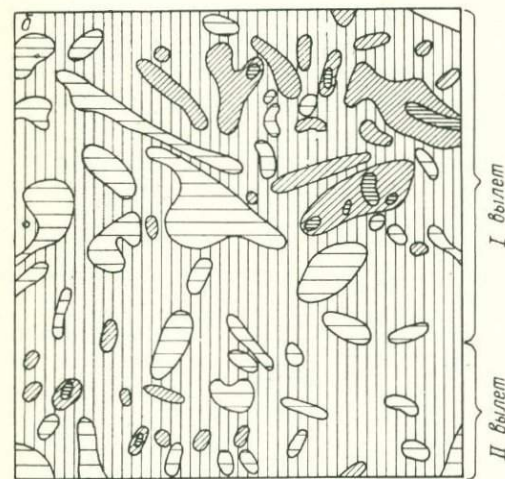
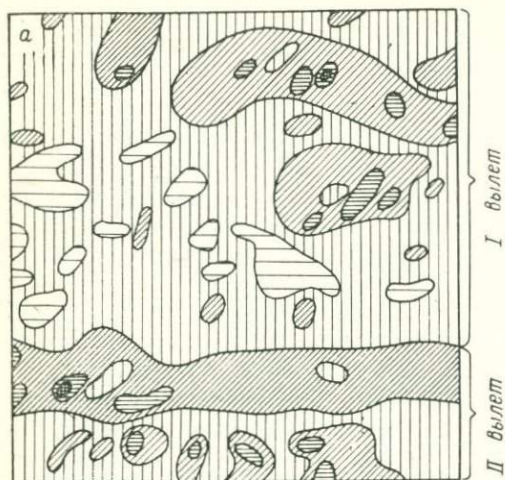


Рис. III.4. Карты содержания урана в аридном районе, построенные с определением нуля записи по уровню компенсации остаточного фона (а) и среднему приращению на РКМ (б).

Достоверность вводимых поправок повышается при использовании для увязок контрольного маршрута с распределением радиоэлементов и гамма-поля ступенчатого вида с максимальным размахом концентрации радиоактивных элементов. При этом в пределах каждой «ступени» радиоактивные элементы должны быть относительно равномерно распределены (легко осредняются прямой линией). Удобно рассчитывать помаршрутные и повывлетные поправки с помощью корреляционных графиков для каждого элемента.

По оси абсцисс откладываются истинные (модельные) значения средних концентраций по характерным площадкам на РКМ; по оси ординат — значения концентраций по тем же площадкам РКМ для увязываемого вылета. По точкам графика проводится линия регрессии (обычно на глаз).

Поправка для увязываемого вылета равна взятому со знаком минус значению концентрации, отсекаемому линией регрессии на оси ординат. Котангенс угла наклона линии регрессии к оси абсцисс является коэффициентом пропорциональности, на

который умножаются значения содержаний увязываемого вылета. По увязанным картам оцифровок исправляются ранее проведенные изолинии концентраций радиоактивных элементов и гамма-поля. Эти карты являются окончательными.

При съемке больших площадей (около 1000 км² и более) на окончательном этапе обработки составляются также обзорные карты содержаний радиоактивных элементов, гамма-поля и интерпретационных параметров масштаба 1 : 200 000. Эти карты необходимы для анализа региональных закономерностей распределения радиоэлементов и гамма-поля в связи с особенностями геологического строения территории и ее металлогении.

III.4. ОПЫТНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РАБОТЫ НА РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Опытно-методические работы на рудных месторождениях, включающие в себя АГСМ-съемку и специализированные наземные исследования, предшествуют производственной съемке и проводятся аэрогеофизическими партиями с целью:

- выяснения возможности выделения однотипного оруденения по аэрогеофизическим данным;
- определения геологической природы АГСМ-аномалий;
- изучения пространственного соотношения радиоактивных и рудных концентраций;
- получения критериев для качественной и количественной интерпретации комплексных АГСМ-данных на поисковых площадях;
- выбора комплекса геолого-геофизических методов для наземной проверки перспективных участков, выделенных по комплексным аэрогеофизическим данным.

Такие работы должны проводиться на месторождениях ведущих промышленных типов минерального сырья. Месторождения для изучения выбираются на основе сбора и обобщения данных по проявлениям радиоактивной минерализации в пределах рудных полей, в результате чего выделяются рудные формации, для которых характерен парагенезис рудной и радиоактивной минерализации. Для повышения достоверности выводов желательно изучение нескольких (не менее трех) наиболее крупных максимально обнаженных месторождений каждой из выделенных формаций. В случае отсутствия каких-либо данных по радиогеохимии рудных месторождений объектами опытно-методических работ выбираются наиболее крупные хорошо обнаженные месторождения региона, типичные для планируемых площадей аэрогеофизической съемки.

При определении границ площади АГСМ-съемки на том или ином месторождении необходимо учитывать, что с воздуха обычно выделяются не отдельные рудные тела или рудные зоны, а рудное поле в целом, т. е. участок, на котором проявлены процессы

рудообразования (метасоматически измененные породы, образования до-, син- и пострудных стадий минерализации, ореолы рассеяния). Поэтому изученная площадь включает в себя все рудное поле месторождения, а также неизмененные породы в его обрамлении, которые должны занимать не менее 60—70% площади. По опыту работ размеры отдельных участков колеблются от 70 до 250 км² в зависимости от размеров месторождения, геологического строения территории, обнаженности и др.

На площадь съемки подготавливается геологическая карта масштаба 1 : 25 000—1 : 50 000, построенная с использованием результатов всех более крупномасштабных съемок. На карту дополнительно выносятся рудные тела и проявления рудной и радиоактивной минерализации, контуры крупных горных выработок и отвалов, ореолы рассеяния, участки метасоматически измененных пород (разделенные по типам метасоматов), радиометрические аномалии. С учетом этих данных оконтуривается рудное поле месторождения (или несколько рудных полей в пределах рудного узла).

Масштаб аэрогеофизической съемки 1 : 10 000—1 : 25 000 выбирается исходя из размеров рудного поля так, чтобы месторождение пересекалось не менее чем 4 аэрогеофизическими маршрутами. По карте определяется и направление маршрутов, с тем чтобы они проходили под возможно большим углом к геологическим границам и рудоконтролирующим структурам.

По району месторождения необходимо проанализировать результаты детальных магнито- и электроразведочных работ для выявления пространственной связи геофизических аномалий с рудоконтролирующими структурами и рудными телами. Имеющиеся закономерности используются при интерпретации аэрогеофизических данных.

Результаты АГСМ-съемки представляются в виде карт содержания радиоактивных элементов и гамма-поля. Кроме того, на геологической основе строится интерпретационная карта с использованием качественных и количественных методов обработки материалов. Путем обобщения данных по отдельным месторождениям для каждой рудной формации определяются качественные и количественные аэрогеофизические поисковые признаки. С учетом результатов аэрогеофизической съемки выбираются профили для наземного геолого-геофизического изучения. Каждый профиль должен пересекать рудные зоны и участки аномального содержания радиоактивных элементов.

По профилю проводятся детальные геолого-минералогические наблюдения и гамма-спектрометрические измерения, а в случае необходимости и другие виды геофизических работ. Если на месторождении не выполнена металлометрическая съемка, то в точках наблюдений отбираются металлометрические пробы для выяснения пространственного соотношения рудных и радиоактивных аномалий. На каждом месторождении проходят обычно 2—3 про-

филя, пересекающие все рудное поле с выходом в неизменные породы. Шаг измерений может меняться от 10 до 100 м со сгущением в рудных зонах и на аномальных участках и разрежением в неизменных породах. В 10% точек должны отбираться радиохимические пробы для заверки гамма-спектрометрических данных. Желательно, чтобы в наземных работах на типовых месторождениях принимали участие все геологи аэрогеофизической партии. Их ознакомление с геологией и радиохимией рудных месторождений района повышает качество наземной оценки АГСМ-аномалий.

Результаты наземных работ, а также имеющиеся материалы детальных геофизических и геохимических съемок месторождения служат основой для выбора рационального комплекса методов наземной проверки перспективных участков на поисковых площадях.

Все данные опытно-методических работ на месторождениях (помимо отчетов) целесообразно систематизировать в «Каталоге аэрогеофизических карт рудных месторождений». «Каталог» должен подразделяться по видам полезных ископаемых, а в их пределах — по рудным формациям. По каждому месторождению приводятся необходимый минимум геологических сведений (рудная формация, форма и размеры рудных тел, состав руд, стадии минерализации, зональность, тип околорудных изменений), полная радиохимическая характеристика, геологическая карта, все аэрогеофизические карты, выкопировки из лент записи и наземные геолого-геофизические профили.

В виде выводов приводятся количественные и качественные аэрогеофизические поисковые признаки и рациональный комплекс геолого-геофизических методов наземной проверки аномальных участков.

IV. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ ЭВМ М-222

Комплексные аэрогеофизические исследования, проводимые с многоканальными станциями АСГ-48М2 и АГС-71, дают огромный объем информации. Применяемые в настоящее время методы обработки и интерпретации этих материалов, основанные преимущественно на ручных методах вычислений, требуют значительных затрат труда. Эффективность использования этих данных можно существенно повысить за счет использования прогрессивных методов обработки и интерпретации данных как отдельных методов, так и их комплекса. Применение этих методов, требующих большого объема вычислительных операций, практически невозможно без широкого использования ЭВМ.

Однако до последнего времени ЭВМ по многим причинам находили довольно ограниченное применение в аэрогамма-спектрометрии и использовались в основном для решения отдельных частных вопросов обработки информации.

Разработка цифровых регистраторов на магнитную ленту (в частности, регистратора РЦАГ-16 для комплексных многоканальных аэрогеофизических станций), устройств ввода информации, получаемой в полете, с магнитных лент в ЭВМ, развитие принципов системного программирования [11] поставили на повестку дня вопрос о создании автоматизированных систем обработки данных, позволяющих создать единый технологический цикл обработки и интерпретации. В ряде научно-исследовательских и производственных организаций начаты работы по созданию подобного рода систем [33, 39, 55].

Ведущими принципами при создании математического обеспечения автоматизированных систем обработки являются следующие.

1. Высокий уровень автоматизации. В случаях качественных исходных данных и стандартного режима обработки технологический процесс обработки аэроданных протекает непрерывно. В других случаях вмешательство оператора сведено к минимуму стандартных действий. Оператор и интерпретатор освобождаются от решения вопросов распределения памяти ЭВМ.

2. Универсальность. Служебная часть системы позволяет включать в нее программы обработки результатов измерений по любому геофизическому методу и независимо от способа регистрации

измерений. Преимущества системы получаются наибольшими в случаях многоэтапной обработки больших числовых массивов.

3. Гибкость. Система позволяет с минимальными затратами труда на программирование заменять отдельные программы или группы другими при необходимости изменить алгоритм на определенном этапе обработки. Без специальных затрат времени можно менять режимы или последовательность обработки, если соответствующие варианты программы включены в систему. Стандарты (правила) составления программ для включения в систему практически не накладывают ограничений на длину программ. Закрепление стандартных адресов нахождения программ в памяти ЭВМ во время работы несущественно для программиста, если программа составляется для работы в системе.

4. Минимальные ограничения на объем обрабатываемой исходной информации, что достигается максимальным использованием технических возможностей ЭВМ средствами системного программирования на входном языке.

V.1. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ «АЭРОКОМПЛЕКС»

В основу математического обеспечения системы «Аэрокомплекс» были положены следующие технические требования:

- 1) преимущественно автоматический режим работы;
- 2) автоматическое распределение памяти ЭВМ для хранения числового материала;
- 3) четкое разделение программ на служебные и осуществляющие содержательную обработку исходных данных (обрабатывающие) (служебные программы выполняют максимальное количество действий, общих для всех видов обработки);
- 4) возможность включения новых программ ввода в ЭВМ цифровой информации с любых специализированных устройств, подключаемых к вводным каналам ЭВМ;
- 5) возможность замены любой программы или группы другой программой или группой без изменения остальных частей системы;
- 6) использование в качестве единицы хранящейся в памяти ЭВМ информации числового массива, стандартного по организации внутренней структуры (числовая информация между обрабатываемыми программами обменивается только стандартными числовыми массивами);
- 7) надежность в работе, в частности автоматическое использование дубликатов программ, а также периодическое запоминание во внешней памяти ЭВМ состояния регистров в оперативной памяти для возможности продолжения счета после сбоев в работе ЭВМ без существенных потерь времени;
- 8) экономичность, т. е. обеспечение минимальных затрат машинного времени на единицу обрабатываемой информации при определенном уровне детальности обработки.

Базовой частью системы «Аэрокомплекс» является совокупность служебных программ, стандартов составления служебных и обрабатывающих программ и стандартов хранения в памяти ЭВМ всех программ и числовой информации. Для достижения удовлетворительной скорости обработки программы «Аэрокомплекс» написаны на входном языке М-222 [42]. Обрабатывающие программы (тип О) выполняют содержательную обработку исходных или промежуточных числовых данных, например вводят поправки в измеренные физические поля, сглаживают поля, выделяют аномалии и т. п. Служебные программы (тип С) организуют и поддерживают автоматический режим работы и распределения памяти ЭВМ, а также выполняют вспомогательные действия общего характера: обмен между различными видами памяти ЭВМ, стандартными массивами числовой информации, специализированные действия над числами, печать каталогов хранящейся в памяти ЭВМ информации, сортировку (перекомпоновку) стандартных числовых массивов, контроль сохранности программ системы и т. п.

Система «Аэрокомплекс» использует в своей работе 3 или 4 магнитофона. На одном устанавливается магнитная лента (МЛ) с программами «Аэрокомплекс» и используемой частью математического обеспечения М-222, в частности диспетчером ДМ-222 и системой ИС-2. Одну или две МЛ занимает библиотека стандартных числовых массивов (БЧМ). На одну МЛ записывается исходная нестандартная числовая и служебная информации с РЦАГ-16. Память накопителя на магнитном барабане (НМБ) наполовину используется служебными программами, наполовину предназначена для обрабатывающих программ. В оперативной памяти предполагается наличие трех оперативных запоминающих устройств (ОЗУ) по 4096 машинных слов в каждом. В одном ОЗУ располагаются работающие в данный момент блоки служебных и обрабатывающих программ, два других используются в качестве рабочих полей.

Программы системы «Аэрокомплекс» подразделяются на работающие автономно (тип А) и в автоматическом режиме (тип Р). Автономные служебные программы помещают математическое обеспечение «Аэрокомплекс» в память ЭВМ. Автономная программа «Формирование» создает МЛ с математическим обеспечением «Аэрокомплекс». Автономные программы «Расстановка» и «Подготовка БЧМ» вводят систему в автоматический режим работы. Автономная программа «Резидент», постоянно находясь в ОЗУ, непосредственно организует автоматическую последовательную или параллельную работу обрабатывающих и служебных программ типа Р.

В оперативной памяти и на НМБ для программ типа Р выделены два непересекающихся участка: рабочие места № 1 и 2, порождающие типы 1-й и 2-й программ и определяющие их допустимую длину. Рабочее место № 1 занимает 1934 машинных

слова в ОЗУ-0 (4 основные зоны) и практически неограниченный (до 49 152 машинных слов) участок на НМБ начиная с фиксированного адреса (дополнительные зоны). Рабочее место № 2 занимает 320 машинных слов в ОЗУ. При работе в автоматическом режиме программы типов P1 и P2 составляют библиотеку программ резидента (БПР) и по мере необходимости вызываются резидентом на соответствующие рабочие места, где получают управление в определенной ячейке ОЗУ данного рабочего места, общей для всех программ. Блоки программ типа P1, находящиеся в дополнительных зонах, вызываются по мере необходимости для работы в ОЗУ частями программы, расположенными в ОЗУ-0. Местом работы блока, вызываемого из дополнительной зоны, может быть участок рабочего места № 1.

Последовательность работы программ типа P1 и их выбор определяются «заданием на обработку» — перечнем шифров этих программ. Согласно заданию на обработку резидент вызывает программы типа P1 из БПР на рабочее место № 1 и дает им управление. По окончании работы программа возвращает управление резиденту по стандартному адресу, после чего вызывается следующая программа типа P1 и т. д. Программы типа P2 не указываются в задании на обработку, а вызываются резидентом на рабочее место № 2 по обращению программы типа P1. После работы программа типа P2 возвращает управление обратившейся к ней программе типа P1.

Разделение программ на типы, имеющие непересекающиеся рабочие места, и использование ИС-2 позволяет организовать совместную работу в автоматическом режиме двух или трех программ: типов P1, P2 и стандартной программы из библиотеки ИС-2. В форме программ типа P2 составляется большая часть служебных программ, а также общие блоки обрабатываемых программ, что экономит время на программирование этих блоков.

Во время работы в автоматическом режиме БПР со своим каталогом находится во внешней памяти ЭВМ в 4 экземплярах: 2 полных экземпляра хранятся на МЛ, 2 неполных, содержащих только программы типа P2, располагаются на магнитном барабане. Программы типа P2 резидент начинает читать в ОЗУ из основного экземпляра БПР на НМБ, а программы типа P1 — из основного экземпляра на НМЛ. В случаях несохранности требуемой программы в этих экземплярах БПР резидент автоматически перебирает все остальные экземпляры. Принцип работы автономных служебных программ «Формирование» и «Расстановка» и принципы построения каталога БПР позволяют расширить БПР практически неограниченно. При соблюдении небольшого количества условий могут перерабатываться и усовершенствоваться все автономные программы.

Единицей хранения числовой информации во внешней памяти ЭВМ и одновременно единицей обмена промежуточной числовой информацией между программами является числовой массив

(ЧМ). Система может работать с ЧМ различных типов, каждый из которых формируется по стандартным правилам, принятым в системе «Аэрокомплекс». Все ЧМ, хранящиеся в памяти ЭВМ, составляют библиотеку ЧМ со стандартным каталогом, который может включать в себя до 289 ЧМ практически произвольной длины. Служебные программы позволяют оперативно расширять или сокращать библиотеку ЧМ для любой программы системы.

Стандартный ЧМ состоит из *паспорта* и *тела* массива. Паспорт включает в себя копию строки каталога для этого ЧМ, *историю* его происхождения и общие сведения о содержании, объеме и структуре тела ЧМ. Тело ЧМ составляет основной числовой материал массива, например координаты ориентиров местности, использованные во время съемочного вылета. Паспорт этого ЧМ кроме копии строки каталога содержит сведения о количестве маршрутов в вылете, числе ориентиров на каждом маршруте и т. п. Историей ЧМ называется перечень обрабатывающих программ системы, в результате работы которых с начала обработки получен данный ЧМ.

Особенностью библиотеки ЧМ является содержательность каталога, в котором кроме адреса хранения и номера типа ЧМ могут быть помещены 90 двоичных единиц информации о каждом ЧМ, т. е. подробная характеристика по различным признакам. При выборке ЧМ из библиотеки по заказу обрабатывающей программы служебная программа использует прием «поисковой маски», с помощью которого автоматически выделяет ЧМ заданного типа, имеющие указанные в заказе значения признаков из числа отмеченных в маске. Например, можно в автоматическом режиме выбрать по заказу обрабатывающей программы все ЧМ, содержащие исправленные результаты измерений U, Th, K, полученные при рядовой съемке на определенном участке. Результаты измерений должны быть осреднены с заданным радиусом и их первоначальный объем сокращен вдвое. Служебная программа игнорирует все ЧМ, не удовлетворяющие хотя бы одному из перечисленных признаков, а затребованные ЧМ помещает в оперативную память ЭВМ последовательно и доступными для обработки частями.

При выборке из библиотеки одного конкретного ЧМ заказ обрабатывающей программы содержит необходимые значения всех признаков. В маске в этом случае отмечаются также все признаки.

Структура информации в строке каталога для различных по своему происхождению и назначению типов ЧМ может быть различной и приспособленной для решения конкретных задач обработки. Благодаря использованию приема «поисковая маска» различие в структуре «неадресных» частей строки каталога для ЧМ различных типов не препятствует использованию программ, обслуживающих библиотеку ЧМ. Содержательность каталога ЧМ и прием «поисковая маска» позволяют автоматически искать

нужные ЧМ и группы ЧМ по признакам, отражающим существо содержания ЧМ, без использования условной нумерации с последующей расшифровкой и без вызова ЧМ из библиотеки для анализа. Это существенно экономит время исполнителей и машинное время.

Другая особенность библиотеки ЧМ заключается в автоматическом (без участия человека или обрабатываемой программы) учете и распределении памяти ЭВМ для хранения ЧМ, что сокращает затраты времени и труда на ведение регистрационных журналов и принятие решений о распределении памяти, а также уменьшает количество ошибок.

Основной формой исходных данных для программ «Аэрокомплекс» является ЧМ, заказанный из библиотеки, а основной формой результатов счета — ЧМ, включаемый в библиотеку. Специализированные каталоги (например, ориентиров, маршрутов и др.) включаются в БЧМ в виде стандартных ЧМ и поэтому также не имеют жестких адресов в памяти ЭВМ. Исключение составляют нестандартные числовые исходные данные, поступающие в ЭВМ извне, и результаты счета, выводимые из ЭВМ через ее внешние устройства.

Поступающими извне исходными данными для работы программ «Аэрокомплекс» являются числовая информация, подготовленная на перфокартах, и результаты цифровой регистрации геофизических измерений на магнитной или перфоленте, вводимые в память ЭВМ с помощью специализированных устройств. В разработанной версии системы «Аэрокомплекс» для этого используется как указывалось выше, цифровая запись на МЛ регистратором РЦАГ-16 данных АГСМ-съемки со станцией АСГ-48М2 и устройство ввода в ЭВМ М-222. На перфокарты наносится числовой материал, характеризующий параметры измерительной аппаратуры, последовательность и содержание измерений, их топографическую привязку к местности и т. п.

Форма и структура поступающих извне числовых исходных данных разработаны исходя из требований простоты и оперативности их подготовки в полевых партиях. В частности, везде используется десятичная система счисления, при необходимости допускаются буквенные обозначения, перфорация производится в алфавитно-цифровом режиме, что позволило отказаться от представления чисел в нормализованном виде. Автономная обрабатывающая программа «Ввод» вводит данные цифровой регистрации и преобразует их в форму, близкую к стандартному ЧМ. Программа типа ОР1 «Стандартизация исходных данных», работающая в автоматическом режиме, обработав этот материал совместно с исходными данными, подготовленными на перфокартах, получает результаты счета в виде стандартных ЧМ. С помощью служебной программы эти ЧМ включаются в библиотеку ЧМ, так как с позиций полной обработки они являются промежуточными результатами, т. е. исходными данными для других программ.

Окончательные численные результаты счета по программам системы «Аэрокомплекс» выводятся через внешние устройства ЭВМ: АЦПУ (алфавитно-цифровая печать строками из 128 позиций) и графопостроитель «Атлас». Промежуточные результаты, которые целесообразно хранить в течение относительно долгого срока, выводятся на перфокарту или перфоленту.

Реализованная в системе «Аэрокомплекс» организация хранения промежуточных результатов позволяет создавать любое количество вариантов отдельных этапов обработки или заменять несовершенные программы более совершенными, не затрагивая системы обработки в целом. Для этого достаточно составить новую обрабатываемую программу, реализующую данный этап обработки, исходными данными для которой являются те же, что и раньше, ЧМ с промежуточными результатами, полученными на предыдущем этапе. Результаты счета по новой программе должны иметь форму стандартных ЧМ, у которых структура неадресной части строки каталога, паспорта и тела отвечают требованиям следующего этапа обработки, т. е. такая же, как на выходе заменяемой программы.

IV.2. ОБРАБАТЫВАЮЩИЕ ПРОГРАММЫ СИСТЕМЫ «АЭРОКОМПЛЕКС»

Описываемый вариант системы «Аэрокомплекс» реализует следующие этапы обработки АГСМ-измерений.

1. Обработка настроечных данных и расчет поправок.
2. Введение поправок в результаты измерений.
3. Сглаживание флюктуационных помех (осреднение).
4. Выделение локальных аномалий.
5. Построение карт изолиний по отдельным вылетам с использованием АЦПУ.

Ниже приводится краткое описание алгоритмов и программ, выполняющих перечисленные этапы обработки.

Обработка настроечных данных и расчет поправок

Программа ведет подготовительную работу для программ введения поправок. Ее основной задачей, как это видно из названия, является обработка контрольных измерений и на основе полученных данных расчет поправок. Обработка ведется по вылетам, поправки рассчитываются для каждого маршрута. Во время одного настроечного маршрута можно выполнить различного рода настроечные операции. Для каждой такой операции рассчитываются среднее значение по всем каналам (ОС, U, Th, K) и дисперсии по каналам ОС и U. Сравнивая полученные величины для каждой настроечной операции с заданными константами, классифицируют настроечные операции и относят к одной из следующих разновидностей контрольных измерений.

1. Нуль шкалы при калибровке.
2. Полная шкала при калибровке.
3. Половина шкалы при калибровке.
4. Контроль схемы АПВ.
5. Нуль шкалы.
6. Половина шкалы.
7. Измерения с ^{60}Co .
8. Скомпенсированный остаточный фон (ОФ с АПВ).
9. Нескомпенсированный остаточный фон (ОФ без АПВ).
10. Модель урановая.
11. Модель ториевая.
12. Модель калиевая.

Все измерения в кодовых единицах, записанные на РЦАГ-16, отсчитываются от условного нуля, не соответствующего нулю шкалы при калибровке. Поэтому после классификации настроек все контрольные измерения приводятся к нулю шкалы и определяются как приращения над нулем шкалы. Для этого находится ближайшее измерение нуля шкалы, предшествующее рассматриваемой настроечной операции, и из среднего значения, соответствующего рассматриваемой настройке, вычитается среднее значение, соответствующее нулю шкалы. При контроле работы схемы АПВ и стабильности работы спектрометра станции АСГ-48 по источнику ^{60}Co важна степень отклонения измеренных значений от стандартного — половины шкалы. Поэтому в качестве контролируемых параметров принимается отношение средних значений, полученных при контрольных измерениях с ^{60}Co или при проверке схемы АПВ, к среднему, найденному при ближайшем предшествующем измерении половины шкалы. Для рудных моделей следует знать приращение над фоном. В связи с этим определяется разность средних значений, полученных при измерениях с рудными моделями, и ближайшего предшествующего измерения фона без АПВ. При измерениях скомпенсированного остаточного фона необходимо знать его отклонение от нуля шкалы, эта величина и определяется при работе программы.

На основе величин, полученных в результате перечисленных выше действий: приращение от рудных моделей над фоном, отношение приращения при измерении ^{60}Co или проверке АПВ к приращению, соответствующему половине шкалы, отклонение скомпенсированного остаточного фона от нуля шкалы, приращение, соответствующее полной шкале калибровки над нулем шкалы, определяются поправки.

В связи с тем что различные контрольные измерения выполняются с разной частотой (нуль и калибровка проверяются почти на каждом развороте, компенсация остаточного фона — лишь в начале и конце вылета), все рабочие маршруты разбиваются на группы в зависимости от того, какие настроечные параметры контролировались. Группы составляют ненастроечные маршруты, выполненные между двумя соседними однотипными настроечными

операциями. Таким образом, по измерениям скомпенсированного остаточного фона в группу может входить весь вылет, а для нуля шкалы или калибровки отдельные группы могут состоять из одного маршрута. Считается, что в пределах каждой группы контролируемый параметр меняется линейно. Поправка для данного условного маршрута NMT определяется следующим образом:

$$\text{DELTA}(NMT) = \frac{AK - AN}{N + 1} n + AN,$$

где AN — значение контролируемого параметра при измерениях непосредственно до начала данной группы маршрутов; AK — та же величина, полученная непосредственно после окончания данной группы; N — количество ненастроенных маршрутов в группе; n — порядковый номер маршрута NMT в группе.

В том случае, когда $AK - AN < A_{\min}$, поправка принимается равной AN для всех маршрутов данной группы.

В результате работы программы получается числовой массив поправок по вылету, в котором приводится номер маршрута NMT и для каждого маршрута следующие виды поправок.

1. Изменение положения нуля шкалы по каждому из 5 каналов — $AO(NMT, j)$.

2. Изменение скомпенсированного остаточного фона по каналам общего счета U, Th, K — $\text{DELTA}(NMT, j)$.

3. Отклонение режима работы гамма-спектрометра от номинального — $KRR(NMT)$.

4. Изменение масштаба шкалы по каналу $OC - P_{OC}(NMT)$.

Полученный числовой массив поправок хранится на МЛ ЭВМ и входит в библиотеку числовых массивов системы, он используется следующей программой системы.

Исходными данными для работы программы системы являются ЧМ из библиотеки системы и дополнительные данные, вводимые с перфокарт в виде информационного массива программы. В информационный массив программы входят сведения о том, какой вылет должен обрабатываться и каковы допустимые отклонения A_{\min} для изменения уровня нуля шкалы по каналам, уровни скомпенсированного остаточного фона, KRR и P_{OC} .

Введение поправок

Программа вводит перечисленные поправки в результаты АГСМ-измерений и переводит результаты измерения из кодовых в единицы измерения.

Работа программы начинается с учета положения нуля шкалы для каждого из зарегистрированных каналов путем вычитания из отсчетов по рассматриваемому маршруту NMT значения $AO(NMT, j)$. После этого результаты измерения из кодовых единиц переводятся в единицы измерения и вводится поправка, учитывающая изменение уровня компенсации остаточного фона.

Затем учитываются отклонения режима работы гамма-спектрометра от номинального для гамма-спектрометров станции АСГ-48. Для гамма-спектрометров ГСА-70 такая поправка не вводится. Последней вводится поправка за изменение масштаба шкалы по каналу ОС.

При введении поправок за отклонение режима работы гамма-спектрометра от номинального учитывается взаимное влияние всех каналов:

$$q_{\text{исп}}(U) = q_{\text{изм}}(U) P(U, U) + q_{\text{изм}}(\text{Th}) P(U, \text{Th}) + q_{\text{изм}}(\text{K}) P(U, \text{K});$$

$$q_{\text{исп}}(\text{Th}) = q_{\text{изм}}(U) P(\text{Th}, U) + q_{\text{изм}}(\text{Th}) P(\text{Th}, \text{Th}) + \\ + q_{\text{изм}}(\text{K}) P(\text{Th}, \text{K});$$

$$q_{\text{исп}}(\text{K}) = q_{\text{изм}}(U) P(\text{K}, U) + q_{\text{изм}}(\text{Th}) P(\text{K}, \text{Th}) + \\ + q_{\text{изм}}(\text{K}) P(\text{K}, \text{K}),$$

где $q_{\text{изм}}$ — измеренное содержание соответствующего элемента; $q_{\text{исп}}$ — содержание этого элемента после введения поправки за отклонение от номинального режима работы; $P(U, U)$, . . . , $P(K, K)$ — коэффициенты, определяемые на основании значения коэффициента отклонения KRR режима работы от номинального, получаемого на основе измерений с ^{60}Co .

Если коэффициент KRR не отличается от $1,0 \pm 0,05$, то соответствующая поправка в измерения по маршруту не вводится. Значения коэффициентов K определены заранее на основе специальных измерений и хранятся на МЛ.

Результатом работы программы является ЧМ АГСМ-измерений по маршруту, переведенных в единицы измерения с введенными поправками. Числовой массив записывается на МЛ ЭВМ в формате, принятом в системе, и включается в библиотеку ЧМ системы.

Исходными данными для работы программы являются ЧМ, вызываемые из библиотеки системы, и дополнительные данные, введенные с перфокарт в виде информационного массива программы. Информационный массив программы включает в себя сведения: материал какого вылета должен обрабатываться и каков порядок обработки материала — все маршруты обрабатывать или только отдельные. Если обрабатывается не весь материал, то в информационном массиве приводится перечень обрабатываемых маршрутов.

Среднение

Программа предназначена для сглаживания флюктуационных помех, осложняющих записи по каналам содержаний радиоактивных элементов. Амплитуда флюктуации по этим каналам может достигать 20—25% от амплитуды измеряемой величины (станция АСГ-48М2). Естественно, что такие флюктуации в значительной

степени искажают измеряемые величины, и их необходимо сглаживать. При разработке алгоритма сглаживания эта задача рассматривалась как задача восстановления непрерывного сигнала, осложненного помехой, причем считалось, что форма сигнала в точности не известна, известны лишь вероятностные характеристики его и помехи [26]. Запись по каналам содержаний в значительной степени искажена флюктуационными помехами, поэтому мы не знаем его точную форму. В то же время в пределах неизмененных горных пород соотношения между радиоактивными элементами остаются относительно постоянными, и характер их изменения в целом относительно близок к характеру изменения интенсивности гамма-поля, регистрируемой каналом ОС. Канал ОС практически не осложнен флюктуациями, и его можно использовать для получения оценок вероятности характеристик полезного сигнала.

В качестве вероятностных характеристик сигнала и помехи в программе «Осреднение» используются автокорреляционные функции. Для решения задачи использован метод оптимальной (с точки зрения среднего квадратического отклонения) фильтрации [81]. При расчете весовой функции фильтра в качестве автокорреляционной функции сигнала использовалась автокорреляционная функция, определенная по каналу ОС. Функция автокорреляции помехи определяется постоянной времени по каналам содержаний.

Исходную информацию $X(t)$, получаемую при АГСМ-съемке, можно рассматривать как сумму полезного сигнала $S(t)$ и флюктуационной помехи $\xi(t)$:

$$X(t) = S(t) + \xi(t).$$

Сглаженный входной сигнал после фильтра $f(t)$ для дискретных измерений определяется следующим образом:

$$f(t) = \sum_{\tau=-\tau_r}^{\tau_r} X(t-\tau) h(\tau) \Delta\tau,$$

где $\Delta\tau$ — шаг дискретных измерений; $h(\tau)$ — весовая функция фильтра; τ_r — граничное значение τ , определяемое из соотношения

$$2 \int_{\tau_r}^{\infty} h(\tau) d\tau = 0,01.$$

Весовая функция фильтра может быть определена через его частотную характеристику с помощью преобразования Фурье. Частотная характеристика фильтра $S_\Phi(\omega)$ в рассматриваемом случае связана с спектральными плотностями помехи $S_\xi(\omega)$ и сигнала $S_S(\omega)$ соотношением

$$S_\Phi(\omega) = S_S(\omega) / [S_S(\omega) + S_\xi(\omega)].$$

При обработке АГСМ-измерений можно считать, что функции автокорреляции помехи $R_{\xi}(\tau)$ и сигнала $R_S(\tau)$ удовлетворительно описываются экспонентами:

$$R_S(\tau) = D_S e^{-\alpha_S |\tau|};$$

$$R_{\xi}(\tau) = D_{\xi} e^{-\alpha_{\xi} |\tau|},$$

где D_{ξ} и D_S — дисперсии помехи и сигнала; α_{ξ} и α_S — постоянные коэффициенты.

Учитывая, что функция автокорреляции однозначно связана со спектральной плотностью преобразованием Фурье, и опуская промежуточные выкладки, можно записать окончательное выражение для сглаженного сигнала:

$$f(t) = B_1 X(t) + \sum_{\tau=-\tau_r}^{\tau_r} B_2 e^{-B|\tau|} X(t-\tau) \Delta\tau,$$

где $B_1 = B^2/\alpha_{\xi}^2$; $B_2 = (B/2)(1-B_1)$;

$$B = \left(\frac{\alpha_S^2 \alpha_{\xi} D_{\xi} + \alpha_S \alpha_S^2 D_S}{\alpha_S D_S + \alpha_{\xi} D_{\xi}} \right)^{1/2}.$$

В связи с тем что характер регистрируемых полей на протяжении одного маршрута может весьма существенно меняться, параметры фильтра рассчитываются не для всего маршрута, а по его отдельным участкам, длина которых задается перед началом обработки материалов съемки.

Последовательность работы программы следующая. Вначале по отрезку маршрута длиной R рассчитывается функция автокорреляции и на основании ее значений определяется по методу наименьших квадратов коэффициент α_S . Затем для центральной части отрезка длиной $R/2$ (от $R/4$ до $3R/4$) рассчитываются D_S , D_{ξ} и α_{ξ} .

На основании полученных α_S , α_{ξ} , D_S , D_{ξ} определяется весовая функция фильтра, с помощью которой сглаживаются измерения на отрезке D . Следующий участок маршрута, для которого вычисляются функция автокорреляции и параметры фильтра и сглаживаются значения, сдвинут относительно предыдущего на $R/2$. Таким образом, помехи фильтруются для всего маршрута. Некоторые особенности имеет сглаживание в начале и в конце маршрута, так как суммирование при расчете $f(t)$ здесь ведется не для симметричного относительно t интервала $[-\tau_r, \tau_r]$, а для участка, где одна из границ меньше τ_r . Это учитывается с помощью введения коэффициентов.

Значение R задается в зависимости от характера полей, но оно должно быть одним для всего маршрута. Как правило, его значение может быть задано в пределах 6—10 км. В спокойных полях R увеличивается, в дифференцированных уменьшается.

Опыт работы показывает, что для описания поля по маршруту (без учета локальных аномалий) вполне достаточной является частота отсчетов через 200—250 м. Поэтому для ускорения работы программы в ней предусмотрено сглаживание по разреженной сети отсчетов, степень разрежения задается параметром A , показывающим, насколько реже по сравнению с исходными следуют осредненные точки. Обычно $A = 5 \div 12$, т. е. осредненные точки будут следовать через 75—150 м, и как при выборе R , A увеличивается для спокойных полей и уменьшается для дифференцированных. Как правило, R и A задаются единичными для обработки одного вылета. Хотя обработка ведется по вылетам, предусмотрена возможность обработки отдельных маршрутов или маршрутов отдельных типов (например, только повторных).

Результатом работы программы является ЧМ осредненных значений содержаний радиоактивных элементов по отдельным маршрутам. Эти данные записываются на МЛ ЭВМ в формате, принятом в системе, включаются в библиотеку ЧМ и используются для работы других программ системы.

Исходными данными для работы программы служат ЧМ, получаемые из библиотеки системы, и дополнительная информация, вводимая с перфокарт в виде информационного массива программы. Последний включает сведения о том, какой вылет и в каком порядке должен обрабатываться (весь вылет, отдельные типы маршрутов или отдельные маршруты). Если обрабатывается не весь вылет, то приводятся перечень типов или номеров маршрутов, значения R и A .

Выделение локальных аномалий

Основной трудностью при анализе локальных аномалий является их выделение и определение амплитуд по каналам содержаний, измерения в которых в значительной степени искажены флюктуационными помехами. В программе «Выделение локальных аномалий» для решения этой задачи использован алгоритм вычисления функции взаимной корреляции $K(t)$ аномалии заданной формы $f(\tau)$ и зарегистрированного сигнала $q(t)$:

$$K(t) = \sum_{\tau=-n}^n q(t+\tau)f(\tau).$$

В качестве $f(\tau)$ используется реальная форма аномалии по каналу ОС. В связи с этим можно рассмотреть два этапа работы программы: 1) выделение аномалий по каналу ОС и 2) обработка результатов измерений по каналам содержаний и расчет параметров аномалий.

Поиск аномалий по каналу ОС ведется с помощью расчета градиентов. Основным критерием выделения аномалии является признак локальности аномалии. Аномалия определяется в такой

последовательности. Для всех точек измерения по каналу ОС вычисляется разность

$$\Delta(t) = X(t + b/2) - X(t - b/2),$$

являющаяся оценкой градиента, где b — шаг градиента, задается близким к минимальной ширине выделяемых аномалий, т. е. около 100 м. Затем проверяется условие

$$|\Delta(t)| \geq \text{grad}_{\min},$$

где grad_{\min} — минимальный градиент аномалии, его значение, как правило, принимается равным $1/2$ амплитуды минимальной аномалии, представляющей поисковый интерес.

При соблюдении последнего условия определяется ближайшая последующая точка, где $\Delta(t)$ принимает максимальное значение (точка t_1), затем находится ближайшая точка, где $\Delta(t)$ достигает минимума в области отрицательных значений (t_3). Если $t_3 - t_1 < T_{\max}$, где T_{\max} — максимальная ширина локальной аномалии, то считается, что на этом участке имеется локальная аномалия.

Между точками t_1 и t_3 находится максимум аномалии (точка максимума t_2). Границами аномалии являются точки t_n (начало) и t_k (конец аномалии):

$$t_n = t_2 - AK_1(t_2 - t_1);$$

$$t_k = t_2 + AK_1(t_3 - t_2),$$

где AK_1 — постоянный коэффициент, задаваемый заказчиком (как правило, он близок к 1,0).

Для выделения чисто аномальной составляющей необходимо определить фон в пределах аномалии. Для этого на участках маршрута, непосредственно прилегающих к границам аномалии, исходная кривая, соответствующая фону, аппроксимируется полиномом 2-го порядка и затем интерполируется в пределах аномалии:

$$X_{\phi}(t) = at^2 + bt + c.$$

Коэффициенты a , b , c определяются по методу наименьших квадратов с использованием наблюдаемых значений по каналу ОС $X(t)$, лежащих на участках маршрута $[t_n - AK_2(t_3 - t_1), t_n]$ и $[t, t_k + AK_2(t_3 - t_2)]$. Коэффициент AK_2 определяет ширину участка, который считается фоном для аномалий. Этот коэффициент задается заказчиком (как правило, он равен 0,5—1,0). После нахождения коэффициентов a , b , c рассчитывается фон в пределах аномалии и определяются аномальные значения на интервале маршрута $[t_n, t_k]$:

$$X_a(t) = X(t) - X_{\phi}(t).$$

В связи с тем что постоянные времени по каналам ОС и содержания существенно различаются, пересчитывается форма аномалии, зарегистрированной по каналу ОС, в форму, которая должна быть при постоянной времени, соответствующей постоянной

времени по каналам содержаний. Пересчитанная форма аномалии в дальнейшем используется при расчете функции взаимной корреляции в качестве сигнала заданной формы $f(\tau)$. Для расчета функции взаимной корреляции необходимо выделить по каналам содержаний аномальную составляющую. Для этого по каждому из каналов содержаний на участках маршрутов, выделенных в качестве фоновых по каналу ОС, аппроксимируется фон полиномом 2-го порядка. Коэффициенты полинома определяются, как и для канала ОС, по методу наименьших квадратов. После интерполяции фона в пределах аномалии рассчитывается аномальная составляющая по всем каналам $q_a(t)$. Для каждого из каналов по всем точкам, входящим в пределы аномалии, рассчитываются функции взаимной корреляции:

$$K(t) = \sum_{\tau=t_H-t_2}^{t_K-t_2} A_2 f(\tau) q_a(t-\tau); \quad t \in [t_H, t_K].$$

Среди вычисленных значений $K(t)$ находится максимальное для каждого из каналов содержаний. Координаты максимумов по отдельным каналам могут не совпадать в связи с возможностью пространственного разделения максимумов для отдельных радиоактивных элементов. При правильном выборе коэффициента A_2 и близости формы аномалии по каналам содержаний и общего счета $K(t)$ наилучшим образом выделит аномалию по каналам содержаний и наиболее близко к истинному аномальному значению, так как $f(\tau)$ является наилучшей весовой функцией для выделения сигнала известной формы (форма известна по каналу ОС) [81]. Коэффициент A_2 определяется из условия

$$A_2 = \frac{X_a(t_2)}{\sum_{t=t_H}^{t_K} X_a^2(t)}.$$

Максимальное значение $K(t) = \Delta q$ и соответствует аномальным приращениям по каналам содержаний.

Результатом работы программы является ЧМ аномалий по вылету. Для каждой аномалии определяются следующие величины: аномальные приращения, фоновые значения и полные аномальные значения по всем каналам (ОС, U, Th, K), высота полета в точке максимума, ширина аномалии, координаты максимумов по каждому каналу и различные индикаторные отношения ($\Delta Th/\Delta U$, Th/U , Th_ϕ/U_ϕ , $\Delta U/\Delta K$, U_ϕ/K_ϕ , U/K , U_γ , Th_γ , K_γ , UK/Th).

Этот ЧМ хранится на МЛ ЭВМ, включается в состав библиотеки ЧМ и может быть использован в качестве исходного материала для работы других программ системы. Все эти данные в виде таблицы печатаются на АЦПУ. Исходными для работы программы являются ЧМ, хранящиеся в библиотеке системы, и дополнительная информация, вводимая с перфокарт в виде информационного

массива программы. В информационный массив включены сведения о том, какой вылет необходимо обработать, порядок обработки маршрутов (все маршруты, определенный тип или отдельный маршрут), перечень типов или номеров обрабатываемых маршрутов, если не весь материал вылета обрабатывается, шаг градиента b , минимальный градиент аномалии grad_{min} , максимальная ширина аномалии T_{max} , коэффициенты AK_1, AK_2 .

Построение карт с использованием АЦПУ

Программа предназначена для построения карт измеренных величин или их функций на АЦПУ по материалам одного вылета.

При аэрогеофизической съемке сеть наблюдений (точек измерения), как правило, является нерегулярной из-за неточности прохождения маршрутов и колебаний скорости летательного аппарата. В то же время на АЦПУ местá печати символов имеют жесткие позиции. В связи с этим измеренные величины интерполируются в узлы прямоугольной сети, соответствующей минимальному расстоянию между строками АЦПУ и символами в строке ($4,1 \times 2,6$ мм, что соответствует сети 205×130 м в масштабе $1 : 50\,000$). После интерполяции исследуется, в какой интервал поля попадает полученное значение. В строке и позиции строки АЦПУ, соответствующих рассматриваемой точке (узлу сети), печатается символ того интервала изолиний, в который попало значение поля. Затем печатается карта символов, соответствующих заданным интервалам изолиний. На печать выводится также таблица соответствия символов и интервалов значений рассматриваемой величины. Интерполированные значения поля в узлах прямоугольной сети образуют ЧМ, который записывается на МЛ ЭВМ и включается в библиотеку. В дальнейшем эти ЧМ удобно использовать в качестве исходного материала для работы программ построения карт изолиний на графопостроителях, комплексной интерпретации и т. д.

Исходные данные для работы программы извлекаются из библиотеки ЧМ и с перфокарт в виде информационного массива программы, который включает в себя следующие сведения: материал какого вылета должен обрабатываться, карта какой величины должна строиться, интервалы проведения изолиний и масштаб построения карты.

В заключение нужно остановиться на некоторых вопросах подготовки данных для системы «Аэрокомплекс». Исходными сведениями для нее являются результаты аэрогеофизических измерений, служебные отметки, зафиксированные в полете на МЛ с помощью регистратора РЦАГ-16, и числовой материал на перфокартах для ввода в универсальную ЭВМ. Данные с МЛ вводятся в ЭВМ с помощью специализированного устройства ввода, массивы чисел — через перфокарточный ввод. АГСМ-данные подготавливаются и обрабатываются повывлетно. ЧМ, необходимый для

работы системы, подразделяется на информационные массивы четырех видов: аэрогеофизической станции (ИМС), эталонирования и градуировки (ИМГ), вылета (ИМВ) и маршрутов (ИММ). ИМС и ИМГ — общие для нескольких вылетов.

Основным содержанием ИМС являются сведения об используемых каналах измерений, порядке их регистрации на МЛ РЦАГ-16 и постоянных времени. Основное содержание ИМГ составляют результаты эталонирования, последнего перед обрабатываемым вылетом: коэффициенты перевода кодовых в единицы измерений, гамма-эквиваленты U, Th, K эквивалентные содержания U, Th, K в рудных моделях, скорости счета в дифференциальных каналах от рудных моделей.

В ИМВ помещаются общие сведения о времени и месте вылета, информация о количестве материала на МЛ РЦАГ-16. В ИММ для каждого маршрута указываются вид измерений (съемка, настройка и т. д.), использовавшиеся каналы и шкалы измерений (при необходимости) и данные о топографической привязке маршрутов.

ИМС и ИМГ составляется по паспортным данным аэрогеофизической станции и результатам эталонирования. При удовлетворительном качестве магнитной записи и точном выполнении инструкции по работе с бортовым устройством РЦАГ-16 для составления ИМВ и ИММ достаточно документации штурмана и бортоператора и результатов просмотра МЛ на устройстве контроля магнитной записи (УКМЗ). При плохом качестве магнитной записи окончательно составить ИМВ и ИММ можно с привлечением наземного устройства ввода МЛ РЦАГ-16 в ЭВМ.

Вторая очередь автоматизированной системы, которая в настоящее время разрабатывается, будет включать в себя программы увязывания вылетов между собой, построения карт изолиний на графопостроителе «Атлас» по нескольким увязанным вылетам, статистической обработки, комплексной интерпретации с использованием методов распознавания образов.

У. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ АЭРОГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ПРИ ПОИСКАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

У.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Задачей интерпретации материалов АГСМ-съемки при поисковых работах является оптимальное выделение перспективных на оруденение участков на основе данных о распределении радиоактивных элементов в горных породах. Оптимальность при этом состоит в обеспечении минимума ошибок первого и второго рода, т. е. в том, чтобы среди выделенных участков было как можно меньше неперспективных при высокой вероятности выделения потенциально рудоносных объектов.

Оптимальность выделения перспективных участков и аномалий определяется полнотой имеющейся информации об условиях фиксации известных месторождений и эффективностью применяемых методов интерпретации. Информацию об условиях фиксации известных месторождений можно получить в результате опытно-методических работ на них (гл. III.4), и во всех случаях необходимо стремиться к максимальному накоплению фактического материала в этом направлении.

Методика интерпретации должна в наибольшей степени учитывать особенности распределения радиоактивных элементов на месторождениях, позволяющие отличать аномалии «рудного» типа от аномалий, вызванных другими причинами. В настоящее время многие особенности можно учесть лишь приблизительно, качественным образом, но главнейшую из них — уровень содержания радиоактивных элементов в исследуемой точке — можно оценить по степени перспективности с применением количественных методов [15, 23]. Пространственные же закономерности распределения радиоактивных элементов, которые могут служить отражением гидротермально-метасоматической зональности месторождений или их приуроченности к рудоконтролирующим структурам (интрузиям, разломам и др.), еще требуют разработки методов их количественного описания и оценки.

Интерпретацию материалов следует проводить силами партии по мере получения данных. Последовательность и приемы интерпретации применительно к поисковым задачам приведены ниже.

К интерпретации подготавливаются перед началом съемки, чтобы обеспечить необходимую оперативность и качество выделения

перспективных участков в полевой период. Подготовка включает в себя следующие работы.

1. Составление геологической основы в масштабе полетных карт, на которую должны быть вынесены все известные месторождения, рудопроявления, ореолы рассеяния, радиометрические аномалии. Месторождения наносятся в виде контуров рудных тел или области их распространения, контуров зон измененных пород с детальных геологических карт. Эта геологическая основа используется для учета геологической обстановки в районе аномалий при их выделении и наземной проверке. На нее выносятся также проектные линии маршрутов (не реже каждого пятого).

2. Составление мелкомасштабной геологической основы (обычно в масштабе 1 : 200 000) с той же геологической нагрузкой и проектными линиями маршрутов. Эта карта используется для оперативного планирования работ по проверке аномалий (при работе на крупных по площади участках — более 1500—2000 км²).

3. Составление таблицы перспективных сочетаний интервалов содержащий радиоактивных элементов для тех типов оруденения, по которым имеются АГСМ-данные по результатам ранее проведенных работ. Таблица составляется на основе количественной оценки степени перспективности сочетаний, которая проводится одним из указанных ниже (см. гл. V.4) способов. Она служит для составления полевой интерпретационной карты, а при наличии устройства БУК-4 — для его настройки (коммутации выделяемых им сочетаний).

4. Проверку и настройку бортовых интерпретационных устройств.

5. Уточнение контуров участков опытно-методических работ и составление по ним геологической основы в масштабе полетных карт по дегальным геологическим материалам.

6. Ознакомление бортоператорского состава с геологическими задачами работ, геологическими, геофизическими, геоморфологическими признаками аномалий рудного типа, которые следует использовать при выделении аномалий в процессе полета.

В.2. ПОЛЕВАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Этап полевой интерпретации, т. е. выделение перспективных аномалий и участков в полевой период АГСМ-съемки, требует от исполнителей, с одной стороны, достаточно тщательного и глубокого анализа материалов съемки, а с другой — большой оперативности в работе. Следствием этого является необходимость соблюдения четкой последовательности выполнения отдельных стадий и операций.

На первой стадии интерпретация производится по первичным материалам съемки: лентам записи, полетным картам, штурманским крокам, аэровизуальным наблюдениям и др. Общая задача

интерпретации на этой стадии: оперативное выделение наиболее ярко выраженных перспективных аномалий и получение максимальной информации по другим аномалиям для их разбраковки. Эта работа выполняется в процессе съемочного полета бортоператором, а после его окончания — старшими специалистами летного отряда (партии) и бортоператором. В процессе съемочного полета бортоператор непрерывно анализирует результаты измерений, обращая особое внимание на аномальные участки, с тем чтобы получить возможно более полную информацию об их местоположении, аэрогеофизических параметрах и геоморфологической обстановке. Для этого все резкие повышения интенсивности гамма-излучения, максимумы записи интерпретационных устройств, отвечающие высшей степени перспективности, а при отсутствии устройств — визуально определенные аномалии содержания, характерные для искомого типа оруденения, по сигналу бортоператора отмечаются штурманом на карте. На ленте записи в местах подачи сигнала штурману делается отметка и записываются данные аэровизуальных наблюдений. Если перспективная аномалия своевременно не отмечена штурманом на карте или по ней не зафиксированы аэровизуальные наблюдения, то участок маршрута, на котором зафиксирована аномалия, повторяется от предшествующего ориентира.

Аномалии, требующие повышенной точности привязки или уточнения аэрогеофизических параметров, детализируются. К таковым в процессе полета могут быть отнесены:

а) локальные гамма-аномалии весьма высокой интенсивности (ширина на половине максимума $T \leq 300$ м, приращение над фоном $\Delta J \geq 8 \div 10$ мкР/ч);

б) локальные гамма-аномалии ($T \leq 300$ м) урановой или существенно урановой природы радиоактивности ($\Delta q_{\text{Th}}/\Delta q_{\text{U}} \approx 1$) * средней и высокой интенсивности ($\Delta J > 3 \div 4$ мкР/ч);

в) локальные ($T \leq 300$ м) аномалии, природа радиоактивности которых соответствует поисковым признакам на тот или иной тип оруденения, интенсивность достаточно высока для уверенной качественной оценки природы радиоактивности. Например, при поисках эпitherмального золотого оруденения такими аномалиями могут служить повышение содержания калия более 1 — 1,5%, не сопровождающееся повышением содержания тория; при поисках мезотермальных руд золота, молибдена, вольфрама и др. — повышение содержания калия и урана, если отсутствует или незначительно повышено содержание тория; при поисках бокситов — гамма-аномалии преимущественно ториевой природы, когда содержание калия неизменно или даже понижается, и т. д.;

* Гамма-аномалии чисто урановой природы радиоактивности могут не детализироваться в том случае, если по аэровизуальным данным надежно устанавливается их связь с характерными для района работ вторичными аккумуляциями урана.

г) весьма локальные гамма-аномалии ($T \leq 100 \div 150$ м) малой и средней интенсивности, природа радиоактивности которых не устанавливается достаточно определенно по результатам однократного залета ($\Delta J < 3 \div 4$ мкР/ч для АСГ-48М2, $\Delta J < 2 \div 3$ мкР/ч для ГСА-70).

При благоприятных результатах аэровизуальных наблюдений (цвет и характер обломков, приуроченность к характерным формам рельефа) детализируются также аномалии, менее перспективные по своим геофизическим параметрам. После съемочного полета материалы анализируются старшими специалистами партии (летного отряда) совместно с экипажем. При этом наряду с оценкой качества измерений рассматриваются также поисковые результаты вылета.

1. Оценивается качество работы бортоператора по выделению аномалий и разрабатываются мероприятия по их дальнейшему аэрогеофизическому изучению. Качество полетной интерпретации оценивается по выполнению вышеизложенных требований.

Более глубокий анализ материалов при послеполетной интерпретации (за счет отсутствия жестких ограничений по времени, более полного использования геологических данных, корреляции аномалий по маршрутам и др.) позволяет наметить для дополнительного аэрогеофизического изучения те аномалии, которые не выделены в процессе полета.

2. Оперативно выбираются из числа зарегистрированных аномалий наиболее перспективные, подлежащие первоочередной наземной проверке. В качестве таковых (при отсутствии иного геологического объяснения) выделяются локальные аномалии, перспективность которых установлена по результатам детализации (см. выше), а также ясно выраженные не локальные аномалии, по степени перспективности близкие или превосходящие аномалии на известных месторождениях. Наиболее просто эта операция осуществляется при использовании бортовых интерпретационных устройств по величине зарегистрированных ими аномалий параметров перспективности (рис. V.1; V.2). При этом следует иметь в виду, что достоверность показаний интерпретационных устройств зависит от стабильности показаний каналов содержаний, особенно от изменений уровня отсчета (сползания нуля, уровня компенсации ОФ), возможность их использования ограничиваются теми вылетами, где нестабильности спектрометра не достигают существенных значений (изменение уровня отсчета по каналу урана до $1 \cdot 10^{-4}\%$, тория до $2 \cdot 10^{-4}\%$, калия до 0,5%). Выделенным под первоочередную проверку аномалиям присваивается порядковый номер, они передаются в группу обработки для подготовки материалов для отряда наземной проверки.

3. Анализируются локальные аномальные записи, отбраковываются те, которые по аэровизуальным наблюдениям связаны с неравномерностью обнаженности территории. Остальные аномальные записи отмечаются на ленте и выносятся на карту локальных

аномальных записей с вычислением по ним количественных параметров (интенсивности, ширины, поправки за локальность, торий-уранового отношения и др.).

Вторая стадия полевой интерпретации заключается в построении интерпретационных карт, их анализе совместно с другими

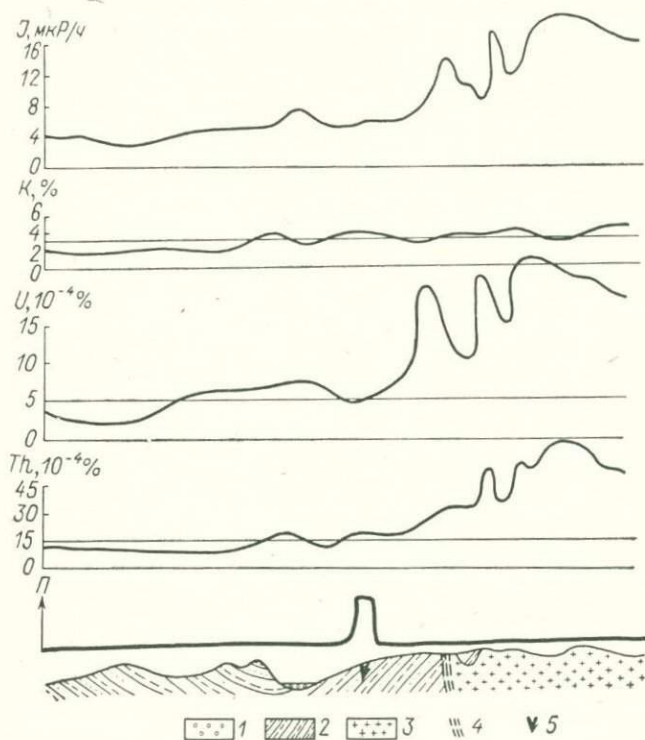


Рис. V.1. Регистрация оловянного оруденения касситерит-силикатной формации АГСМ-съемкой (ГСА-70) с бортовым устройством классификации БУК-4.

1 — аллювиальные четвертичные отложения; 2 — песчано-сланцевая толща; 3 — биотитовые граниты, гранодиориты, 4 — разрывные нарушения; 5 — зоны с оловянной минерализацией.

П — сигнал перспективности БУК-4.

материалами (геофизическими, геологическими, геоморфологическими и др.) и возможно более полным выделении на этой основе перспективных в поисковом отношении аномалий и участков.

На интерпретационных картах АГСМ-информация представляется так, чтобы наиболее наглядно выступали различия в степени перспективности разных частей территории.

В зависимости от характера концентрации радиоактивных элементов в объекте поисков интерпретационные полевые карты различаются по своему содержанию.

Если радиоактивные элементы на месторождениях искомого типа образуют значительные по площади ореолы аномальных концентраций (многие сотни метров в поперечнике)*, то интерпретация проводится по абсолютным значениям содержаний радиоактивных элементов, построение интерпретационных карт базируется на оценке перспективности комбинаций абсолютных содержаний с помощью того или иного интерпретационного

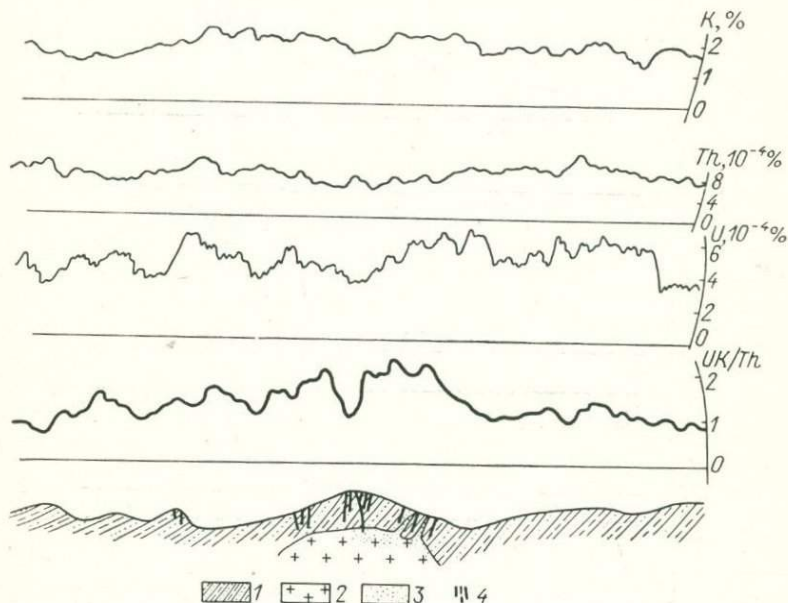


Рис. V.2. Выделение слабопроявленного оруденения АГСМ-съёмкой с блоком МДУ (выкопировка с ленты записи ГСА-70).

1 — песчано-сланцевая толща; 2 — биотитовые граниты; 3 — грейзенизация; 4 — кварцевые жилы с вольфрамовой минерализацией.

параметра. Степень перспективности комбинаций содержаний оценивается либо методами распознавания образов (см. раздел V.4), либо с помощью индикаторных отношений. Тот или иной метод или параметр выбирается в зависимости от радиогеохимических особенностей объекта поисков и объема статистических данных по месторождениям искомого типа (табл. V.4).

Параметр $F = q_U q_K / q_{Th}$ вычисляется непосредственно по зарегистрированным содержаниям радиоактивных элементов. Эту операцию можно выполнить автоматически в процессе полета

* Такие ореолы характерны для месторождений штокверкового типа, минерализованных и жильных зон, сопровождающихся обширными полями метасоматически измененных пород с аномальными концентрациями радиоактивных элементов, а также для руд с повышенной радиоактивностью, слагающих субгоризонтальные пластообразные залежи (бокситы, фосфориты и т. п.).

ТАБЛИЦА V.1

Основные интерпретационные параметры для выделения перспективных участков и площадей

Интерпретационный параметр	Способ вычисления	Условия применения	Примечания
Эмпирическое отношение правдоподобия l	$l_i = \frac{(P_1)_i}{(P_2)_i}$	Месторождения с различной радиогеохимической характеристикой при достаточно большом объеме эталонных выборок (не менее 3—4 эталонных месторождений, более 200 элементарных объектов)	$(P_1)_i$ и $(P_2)_i$ — частоты встречи i -й комбинации интервалов содержаний радиоактивных элементов в «рудной» и «безрудной» эталонных выборках
Квадратичная дискриминантная функция (количество информации) J	$J = Aq_U^2 + Bq_{Th}^2 + Cq_K^2 + Dq_U q_{Th} + Eq_U q_K + Fq_{Th} q_K + Gq_U + Hq_{Th} + Lq_K + M$	То же, при ограниченном объеме эталонных выборок (2—3 эталонных месторождения)	A, B, C, \dots, L, M — коэффициенты, определяемые из условия оптимального выделения объекта поисков (эталонных месторождений)
Индикаторное отношение F	$F = \frac{q_U q_K}{q_{Th}}$	Многие эндогенные месторождения (Ta, Sn, W, Cu, Mo, Au), для которых характерны процессы калиевого метасоматоза с накоплением урана относительно тория	

с помощью бортового устройства (МДУ). Если нет МДУ, то можно вычислить параметр вручную в процессе полевой обработки материалов.

Для этого одновременно с разнесением на карты маршрутов цифр содержаний параметр заносит в специальный журнал с указанием расстояний по маршруту. После введения поправок за увязку измерений по этим цифрам вычисляется F в каждой точке. Параметр не вычисляется (вследствие недостаточной точности его определения) для низких содержаний радиоактивных элементов. К такой «области неопределенности» относятся участки, где содержание всех радиоактивных элементов не превосходит одновременно верхней границы второго интервала изолиний (5—6 средних квадратических погрешностей). На интерпретационной карте такие участки показываются специальным знаком (штриховкой). Этот параметр в неизменных породах меняется от сотых и первых десятых долей в ультраосновных, основных породах и известняках до 1—1,2 в кислых и щелочных породах. Для многих постмагматических месторождений характерен привнос калия в околорудных метасоматитах и снижение торий-уранового отношения (относительное накопление урана) в гидротермальных образованиях разных стадий минерализации и некоторых фациях метасоматитов. Вследствие этого параметр F на этих месторождениях по АГСМ-данным достигает 5—6 и более*. Обычно перспективными участками являются те, где $F > 1,2 \div 1,5$, хотя эта граница, по-видимому, может несколько колебаться в зависимости от радиогеохимических особенностей региона.

Указанный параметр имеет преимущество перед отношением тория к урану за счет отсутствия аномалий над известняками и обогащенными органическим веществом черноземными и торфянистыми почвами, где низки торий-урановое отношение и содержание калия. Он также позволяет во многих случаях отличать перспективные зоны калиевого метасоматоза от щелочных пород с повышенным содержанием калия, обладающих обычно наиболее высоким торий-урановым отношением.

При благоприятных геологических условиях (малых пределах колебания отношения в неизменных породах) другие индикаторные отношения могут быть использованы для построения интерпретационных карт. По максимуму $q_{Тл}/q_{К}$ можно выделить бокситовые руды, карбонатиты, если отсутствуют в районе высоко-радиоактивные породы кислого состава. По минимуму этого

* В районе некоторых месторождений тантала, олова, вольфрама и других в непосредственной близости от рудных зон устанавливаются небольшие выходы гранитоидов, для которых характерны подобные цифры. Гранитоиды, макроскопически неизменные (хотя обычно содержат в виде примеси акцессорные рудные минералы: касситерит, молибденит и др.), при геологическом картировании рассматриваются как породы поздних фаз (или фаций) интрузии. Это надо учитывать при проверке аномалий, тщательно обследуя ближайшие окрестности массивов гранитоидов подобного типа.

отношения (максимуму q_K/q_{Th}) в относительно однородных разрезах осадочно-эффузивных толщ выделяются зоны калиевого метасоматоза, потенциально перспективные на золоторудную минерализацию. Эти отношения вычисляются автоматизированно с помощью МДУ. И также на картах этих параметров должна выделяться «зона неопределенности» при одновременно малых значениях числителя и знаменателя.

Методы распознавания образов (эмпирического отношения правдоподобия, квадратичной дискриминантной функции) для полевой интерпретации на данном уровне развития техники применяются только при условии, если степень перспективности различных сочетаний содержаний радиоактивных элементов определена по работам предшествующих лет (см. разделы V.1, V.4). В этом случае при полевой интерпретации каждому зарегистрированному сочетанию интервалов содержаний по заранее составленной таблице ставится в соответствие значение интерпретационного параметра (l или J), которое и выносится на схему фактического расположения маршрутов с последующим построением карты изолиний.

При использовании бортового устройства классификации («блока перспективности») БУК-4 полевая интерпретационная карта строится в интервалах его выходного сигнала. Для этого при настройке БУК-4 перспективные сочетания должны быть сгруппированы по значению интерпретационного параметра в 2—4 группы, каждой из которых соответствует определенная величина выходного сигнала. Карта, построенная по данным БУК-4, используется при полевой интерпретации. При окончательной интерпретации более точная карта строится с применением количественных расчетов по уточненным АГСМ-данным.

Под наземную проверку выделяются участки, в которых интерпретационные параметры (F , l или J) достигают значений, характерных для эталонных месторождений. Геологические материалы и другие данные привлекаются для установления последовательности проверки. При особо благоприятных геологических, геофизических и других данных под наземную проверку можно выделять участки с относительно слабым повышением интерпретационного параметра.

Если радиоактивные элементы накапливаются в самих рудах и последние слагают разные тела, обладающие малой горизонтальной мощностью (жилы, линзы, крутопадающие пласты и др.), основным АГСМ-признаком оруденения являются локальные аномалии содержаний радиоактивных элементов. Такие аномалии создаются рудами радиоактивных элементов, высокорadioактивными редкометалльно-редкоземельными рудами, крутопадающими пластами фосфоритов и т. п. Аномалии, вызванные локальными объектами, регистрируются при съемке со значительными искажениями, обусловленными инерционностью прибора и резким (обычно неизвестным) характером убывания интенсивности с вы-

сотой полета. Поэтому интерпретация АГСМ-данных для поисков оруденения в этом случае производится путем выделения локальных аномалий с использованием для их разбраковки относительных параметров: приращения над фоном, отношения Th/U и т. д. Интерпретационная карта, содержащая информацию о локальных аномалиях, строится непосредственно по лентам записи и называется картой аномальных записей.

При построении карты аномальных записей на схему маршрутов выносятся аномалии в виде кружков, размеры которых определяются интенсивностью аномалий, степень локальности — толщиной кружка, а природа радиоактивности — цветом закрашки знака и крапом (см. приложение). По мере детализации и проверочных работ на аномалиях на карту наносятся соответствующие сведения. Карта аномальных записей анализируется на основе имеющихся данных о признаках рудных аномалий совместно с геологической картой, картой обнаженности (с привлечением бортоператорских наблюдений), другими геофизическими материалами. Аномалии, которые не могут быть отбракованы по комплексу всех данных, нумеруются и классифицируются по очередности проверки. Все АГСМ-партии обязаны построить карты аномальных записей, так как задача поисков радиоактивных руд всегда решается параллельно с основной задачей работ.

Аномальные значения принятого интерпретационного параметра, а также локальные аномалии «непородного» типа выносятся по мере их получения на геологическую основу и анализируются совместно с геологическими и аэромагнитными данными для выделения участков под наземную проверку и определения последовательности работ. При этом наиболее важными геологическими факторами, свидетельствующими о повышенной перспективности той или иной АГСМ-аномалии (целесообразности отнесения ее к разряду первоочередных для наземной проверки), являются:

- расположение аномалии на флангах известного рудного поля или на продолжении рудоносной структуры;
- приуроченность аномалии к породам, наиболее благоприятным для размещения искомого оруденения;
- благоприятная структурная обстановка в районе аномалии (разрывные нарушения, узлы пересечения разломов, кольцевые тектонические структуры)*;
- пространственная ассоциация аномалий с породами рудоконтролирующего (материнского) магматического комплекса;
- наличие ореолов рассеяния рудных элементов или проявлений метасоматоза в пределах аномального участка или в непосредственной близости от него.

* При анализе тектонической обстановки и уточнении границ отдельных геологических комплексов полезная информация может быть получена по данным аэромагнитной съемки, проводимой обычно в комплексе с аэрогамма-спектрометрией.

Следует иметь в виду, однако, что известны случаи обнаружения по АГСМ-данным оруденения и при отсутствии особо благоприятных геологических предпосылок. Можно ожидать, что подобные ситуации не будут редкостью при соблюдении рациональной последовательности работ — опережающего проведения АГСМ-съемки относительно крупномасштабного геологического картирования, т. е. при отсутствии достаточно детальных геологических карт.

Выделенные под наземную проверку и расклассифицированные по степени очередности перспективные участки оконтуриваются (с учетом возможного некоторого пространственного разобщения аномалии и оруденения) и нумеруются. Основные геолого-геофизические данные приводятся в каталоге аномалий и отчете.

В.3. ОКОНЧАТЕЛЬНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Окончательная интерпретация выполняется в период камеральных работ. Она состоит в максимальном извлечении информации из АГСМ-данных относительно поисков различных полезных ископаемых и специализированного геологического картирования. И хотя изложенные выше принципы, используемые при полевой интерпретации, в значительной мере сохраняют свою силу и на этом этапе, данные о перспективах различных участков исследуемой территории уточняются и дополняются за счет следующих факторов.

1. Использование для интерпретации уточненных (увязанных и откорректированных) АГСМ-материалов.

2. Уточнение критериев оценки перспективности на основе анализа и обработки результатов работ на месторождениях.

3. Возможность использования для выделения и разбраковки аномалий результатов наземной проверки (включая данные лабораторных анализов), результатов интерпретации, проводящейся параллельно с магнитометрией, и данных по картированию элементов геологического строения по АГСМ-материалам.

4. Возможность более детального анализа геологических данных по участкам аномалий.

5. Использование для интерпретации количественных методов оценки перспективности с применением ЭВМ.

В результате окончательной интерпретации на всю площадь строятся окончательные интерпретационные карты. При работе на больших по площади участках (более 1000—1200 км²) они составляются в двух масштабах: в масштабе представления основных АГСМ-материалов (карт содержания) и в более мелком масштабе (обычно 1 : 200 000). При работе на малых площадях составляются только крупномасштабные карты.

На карту (карты) интерпретации выносят изолинии интерпретационных параметров, локальные аномалии, контуры выделенных под проверку участков с их номерами. При малой нагрузке

они совмещаются на одной карте или даже с интерпретационными схемами, составленными в помощь геокартированию.

Все аномалии и аномальные участки, рекомендуемые к проведению или продолжению наземных проверочных работ, заносятся в прилагаемый к отчету каталог с рекомендациями по выполнению этих работ.

В.4. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ

Количественная оценка перспективности территории сокращает элемент субъективизма в интерпретации и в классификации аномалий и участков по относительной перспективности. При поисках месторождений урана до последнего времени такими мерами являлись отношение тория к урану или относительная интенсивность урана U_γ [4]. Степень перспективности возрастала при уменьшении первого или увеличении второго параметра. Однако эти параметры, так же как и некоторые другие отношения $[U/K, Th/K, (Th + U)/K$ и др.], не учитывают одновременно в достаточной мере вариации содержаний всех трех радиоактивных элементов и ведут себя неустойчиво при малых содержаниях. Это заставило искать новые пути в решении проблемы и обратиться к методам распознавания образов [3, 5, 16, 70].

Одним из вариантов классической задачи распознавания образов является отнесение объектов к одному из двух классов по комплексу признаков, которую в общем виде можно сформулировать в следующем виде. Имеются две эталонные выборки объемом N_1 и N_2 объектов, относительно которых известно, что они принадлежат к двум разным классам. Имеется также N объектов. Необходимо определить принадлежность каждого к одному из двух указанных классов. Для каждого из объектов эталонных выборок первого и второго классов и для любого из распознаваемых объектов известны значения n признаков, и распознаваемый объект относится к тому или другому классу на основании сравнения значений признаков для данного объекта и для объектов эталонных выборок.

Непосредственно сравнить многомерные векторы значений признаков (при $n > 2$) очень трудно. В большинстве случаев эта задача решается путем построения некоторой функции (решающего правила) $\Psi(X)$, где $X = X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ — вектор значений n признаков. Функция $\Psi(X)$ строится так, чтобы ее значения при подстановке X для объектов первого класса максимально отличались от X для объектов второго класса. На основании сравнения этой функции, характерной для объектов первого и второго классов, и значений $\Psi(X)$ для рассматриваемого объекта он относится к тому или иному классу.

Соответствие этой задачи потребностям интерпретации АГСМ-материалов с целью поисков месторождений полезных ископаемых

становится достаточно очевидным, если иметь в виду, что по данным АГСМ-съемки точки исследуемой территории (объекты) охарактеризованы значениями трех признаков (содержаниями радиоактивных элементов), и по этим признакам их необходимо разделить на два класса: потенциально перспективные и неперспективные. Для принятия решения используется информация о распределении значений признаков (содержаний радиоактивных элементов) на рудоносных участках и в неизменных вмещающих породах.

Среди методов решения поставленной задачи можно выделить две основные группы, основанные на различных моделях распознавания: детерминированные и статистические [5, 15]. Детерминированные методы предполагают детерминированную, т. е. жестко обусловленную, связь между характеристиками распознаваемого объекта и решением, принимаемым в процессе распознавания. Это требование ограничивает область применения детерминированных методов теми случаями, когда разделяемые классы разобщены (не пересекаются) в пространстве признаков. В этом смысле статистические методы составляют более широкий класс методов, в который детерминированные методы входят как частный случай.

Статистические методы позволяют принимать решение даже при значительном пересечении классов в пространстве признаков. Они основаны на вычислении решающего правила исходя из распределения вероятностей значений признаков для объектов обоих классов.

Целесообразность применения статистических методов при интерпретации АГСМ-данных обусловлена статистической природой признаков и способов их измерения. Действительно, характеристики геологических объектов (в том числе и содержание радиоактивных элементов в горных породах) являются случайными величинами. Дополнительный элемент случайности и неопределенности при АГСМ-измерениях вносят неравномерность обнаженности и наложение разнонаправленных процессов при образовании месторождений. Некоторую случайную погрешность вносят и сами измерения (флуктуации записи, изменение режима работы аппаратуры, влияние метеоусловий и др.). Вследствие этого одни и те же сочетания значений признаков (значения вектора X) могут встречаться (с разной вероятностью) у объектов обоих классов, т. е. разделяемые классы пересекаются в пространстве признаков. Имеющийся опыт показывает, что 70—80% сочетаний значений содержаний, встречающихся на рудоносных участках, встречаются также и на безрудных площадях. Но статистический метод распознавания более предпочтителен. Статистические методы в своей основе восходят к методу Бейеса, заключающемуся в отыскании критерия, обеспечивающего наименьшие потери при классификации. Непосредственная реализация формулы апостериорных вероятностей Бейеса часто невозможна в связи

с незнанием априорных вероятностей появления объектов из разных классов*. В связи с этим в большинстве методов используется отношение правдоподобия:

$$l = P_1(X_i)/P_2(X_i),$$

где $P_1(X_i)$ и $P_2(X_i)$ — вероятности встречи i -го значения вектора признаков X с объектами 1-го и 2-го класса соответственно.

Величина l монотонно повышается с ростом вероятности того, что объект со значением вектора признаков X_i принадлежит 1-му классу.

В практических задачах вероятности $P_1(X_i)$ и $P_2(X_i)$, как правило, не известны, а известны лишь их эмпирические оценки (частоты) $P_1^*(X_i)$ и $P_2^*(X_i)$, получаемые по выборкам ограниченного объема. При увеличении объема выборок $P^*(X)$ стремится к $P(X)$, и поэтому наилучшей оценкой l является эмпирическая оценка по выборкам достаточно большого объема. Но этот путь не всегда возможен, к сожалению, хотя к увеличению объема выборок нужно стремиться во всех случаях.

Если объем выборок недостаточно велик, т. е. закон распределения $P(X)$ неизвестен с достаточной точностью, делаются некоторые предположения о виде этого закона на основании априорной информации с последующим вычислением параметров этого закона по эмпирическим частотам $P^*(X)$. Характер принимаемой модели распределения определяет различие разных методов (алгоритмов) распознавания.

Рассмотрим особенности АГСМ-признаков в получаемых выборках.

1. Объекты эталонных выборок и предъявляемые для классификации охарактеризованы тремя признаками: содержаниями урана, тория и калия ($X = q_U, q_{Th}, q_K$).

2. Количество объектов в эталонных выборках, предъявляемых для классификации, обычно весьма велико. В первом классе (класс рудных объектов) их количество достигает нескольких сотен, а во втором классе — нескольких тысяч. Для классификации можно предъявлять многие тысячи объектов.

Объектами являются точки территории, охарактеризованные содержаниями радиоактивных элементов. В класс рудных объектов относятся точки в пределах площадей, где установлено оруденение, т. е. в пределах месторождений, рудопроявлений. Эти точки должны характеризовать горные породы, затронутые процессами рудообразования.

Ко второму классу (классу нерудных объектов) относятся точки в пределах площадей, где наземными поисковыми работами не выявлены признаки оруденения. С некоторым допущением к этому классу можно отнести всю площадь, расположенную

* Эти вероятности неизвестны и в задаче поисков полезных ископаемых (априорно неизвестно, какую часть площади или исследуемого объема горных пород занимают открытые и не открытые еще месторождения).

вне контуров рудных объектов, особенно если эта площадь достаточно велика (многие сотни и тысячи квадратных километров). В пределах площади могут находиться не известные к настоящему времени рудные объекты, но, учитывая, что их площадь невелика по сравнению со всей площадью исследования, это не меняет существенно распределение признаков для класса нерудных объектов.

Оптимальная сеть точек (густота объектов на площади) определяется масштабом съемки, скоростью полета и постоянной времени прибора. По линии маршрутов расстояние между точками в среднем равно расстоянию, проходимому летательным аппаратом за время $(2 \div 3)\tau$ (200—300 м при $\tau \approx 2$ с и скорости полета 50 м/с), а в поперечном направлении равно междумаршрутному расстоянию. Соответственно, при съемке масштаба 1 : 25 000 на 1000 км² приходится 10—20 тыс. точек.

3. Исследуемые классы имеют распределения вероятностей значений признаков, близкие к многомерному нормальному и логнормальному, или же состоят из подмножеств, описываемых этими распределениями [16].

4. Признаки (содержания радиоактивных элементов) в обоих классах связаны обычно корреляционными зависимостями. Значимые парные коэффициенты корреляции для содержаний радиоактивных элементов получены при изучении рудных полей и неизмененных горных пород во всех исследованных районах: в золото-молибденовом поясе Забайкалья, оловорудных районах Дальнего Востока и в областях распространения эпitherмального золотого оруденения на Северо-Востоке СССР. При этом характер корреляционной зависимости в классах рудных и нерудных объектов существенно различный, что объясняется разным поведением радиоактивных элементов в процессах рудообразования и в процессах формирования неизмененных горных пород. Различаются в обоих классах величины (а иногда и знаки) парных коэффициентов корреляции и дисперсии содержаний радиоактивных элементов, т. е. матрицы ковариации распределений.

Из перечисленных особенностей следует, что наиболее приемлемой моделью для законов распределения вероятностей значений признаков в обоих классах является многомерное (трехмерное) нормальное или логнормальное распределение, причем матрицы ковариаций для разных классов различны. Из них следует также, что благодаря большим площадям, исследуемым при АГСМ-съемке, распределение вероятностей значений признаков в классе нерудных объектов практически всегда достаточно хорошо охарактеризовано эмпирическими данными. И если опытно-методические работы на известных месторождениях проведены в достаточно большом объеме, то можно использовать для интерпретации метод эмпирического отношения правдоподобия [16]:

$$l = P_1^*(X_i)/P_2^*(X_i),$$

который в этом случае даст наилучшие результаты при интерпретации.

Имеющийся опыт показывает, что можно оценить перспективность с помощью эмпирического отношения правдоподобия l , если количество объектов в эталонной выборке класса рудных объектов порядка 200 или более (обычно не менее 3—4 месторождений искомого типа). Количество объектов в эталонной выборке класса нерудных объектов должно быть не менее 1500—2000, причем их следует равномерно распределить по большей площади.

Если объем эталонных выборок недостаточно велик, то в качестве модели распределения вероятностей значений признаков принимается многомерное нормальное распределение

$$P(X_i) = \frac{1}{(2\pi)^{P/2} |W|^{1/2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} [(X_i - \mu)' W^{-1} (X_i - \mu)] \right\},$$

где X_i — вектор значений признаков; μ — вектор математических ожиданий значений признаков; $(X_i - \mu)$ — вектор-столбец; $(X_i - \mu)'$ — вектор-строка; W — матрица ковариации; W^{-1} — матрица, обратная матрице ковариации; P — размерность вектора X (равная 3 при анализе АГСМ-данных).

При этом вместо отношения правдоподобия $P_1(X_i)/P_2(X_i)$ целесообразно использовать его натуральный логарифм, что значительно облегчает вычисления, не меняя сути дела. Более того, этот логарифм равен количеству информации в значении признака X_i об объектах 1-го класса по отношению к объектам 2-го класса:

$$J = \ln \frac{P_1(X_i)}{P_2(X_i)} = \frac{1}{2} \{ (X_i - \mu_2)' W_2^{-1} (X_i - \mu_2) - (X_i - \mu_1)' W_1^{-1} (X_i - \mu_1) \} + \ln \frac{|W_2|^{1/2}}{|W_1|^{1/2}}.$$

Выражение в правой части представляет собой квадратичную дискриминантную функцию, которая при анализе содержаний радиоактивных элементов (q_U, q_{Th}, q_K) имеет вид

$$J = R_2 = Aq_U^2 + Bq_{Th}^2 + Cq_K^2 + Dq_Uq_{Th} + E q_Uq_K + Fq_{Th}q_K + Gq_U + Hq_{Th} + Lq_K + M$$

и представляет собой гиперповерхность 2-го порядка, оптимальным образом разграничивающую классы в пространстве АГСМ-признаков.

В случае равенства матриц ковариации для 1-го и 2-го классов это выражение упрощается и переходит в уравнение гиперплоскости (линейную дискриминантную функцию):

$$R_1 = A_1q_U + B_1q_{Th} + C_1q_K.$$

Однако, как указывалось выше, корреляционные связи элементов на месторождениях существенно отличаются от таковых в неизменных породах, что приводит к различию ковариационных матриц и соответственно к существенному ухудшению результатов интерпретации при использовании линейной дискриминантной функции по сравнению с квадратичной. Еще менее приемлемо представление вероятности встречи того или иного значения многомерного вектора X_i в виде произведения оценок вероятностей значений его составляющих (19):

$$P(X) = P^*(X_1) P^*(X_2) \dots P^*(X_n).$$

Это, по сути дела, равносильно допущению о том, что отдельные признаки (в нашем случае — содержания радиоактивных элементов) независимы между собой. Таким образом, эта модель не соответствует реальному положению вещей, малоперспективно ее использование при интерпретации АГСМ-данных, так же как и других методов, в основе которых лежит предположение о независимости отдельных признаков.

Суммируя изложенное, можно сделать вывод, что из методов распознавания образов в настоящее время можно рекомендовать, как наиболее соответствующие характеру задачи интерпретации АГСМ-материалов, два метода: эмпирического отношения правдоподобия («отношение вероятностей») и квадратичной дискриминантной функции (количества информации).

Основой для построения решающих правил обоими методами являются эталонные выборки из классов рудных и нерудных объектов. При наличии первичного материала (схем маршрутов с разнесенными на них цифрами содержаний) в выборки включаются точки, в которых считывались содержания. При этом, естественно, в каждой точке должны быть известны все три значения содержания. Если интерпретация производится по картам изолиний, точки выбираются по сети, ячейка которой имеет размер по направлению полетов 200—300 м, в поперечном направлении равна междумаршрутному расстоянию. Дополнительно учитываются экстремальные значения в локальных максимумах.

Каждая точка (объект) характеризуется трехмерным вектором X_i значений содержаний радиоактивных элементов. В связи с наличием случайных погрешностей измерений целесообразно (для упрощения дальнейших вычислений) все значения, попавшие в один интервал изолиний, считать одинаковыми и равными середине интервала. Подразумевается при этом, что сечение изолиний соответствует, как обычно, 2,5—3 средним квадратическим погрешностям измерений. Затем для каждого сочетания значений содержаний урана, тория и калия (т. е. для каждого i -го значения вектора X_i) подсчитываются частоты n_{1i} и n_{2i} в каждой из двух

выборки и оценивается значимость различия между эталонными выборками по критерию χ^2 :

$$\chi^2 = \frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2} \left(\sum_{i=1}^k \frac{n_{1i}}{n_{1i} + n_{2i}} - \frac{n_1^2}{n_1 + n_2} \right),$$

где k — количество различных значений вектора X_i ; n_1 и n_2 — объемы выборок из 1-го и 2-го классов.

Если вычисленное значение $\chi^2 \leq \chi_{0,05}^2$ при числе степеней свободы $f = k - 1$, то различия выборок считаются незначительными и считается, что данный тип оруденения не выделяется АГСМ-съемкой*. Дальнейшие операции имеют смысл, если $\chi^2 > \chi_{0,05}^2$. В зависимости от объема выборок принимается один из рекомендуемых методов: при $n_1 > 200$ и $n_2 > 2000$ используется метод эмпирического отношения правдоподобия, при меньшем объеме выборок — метод квадратичной дискриминантной функции (количества информации).

Эмпирическое отношение правдоподобия для каждого значения вектора X_i рассчитывается по формуле

$$l(X_i) = n_{1i} n_2 / (n_{2i} n_1).$$

Каждой точке исследуемой территории, характеризуемой трехмерным вектором X_i , приписывается вычисленное по этой формуле значение $l(X_i)$ и строится карта l . Начальная изоляция проводится по $l = 1$. Точки со значением X_i , присутствующим только в выборке класса рудных объектов ($n_{2i} = 0$), как наиболее перспективные, отмечаются на карте специальной штриховкой.

Коэффициенты квадратичной дискриминантной функции рассчитываются в такой последовательности:

а) вычисляются средние значения содержаний отдельно по классам рудных и нерудных объектов (векторы средних значений μ_1 и μ_2);

б) определяются элементы матрицы ковариаций по выборкам класса рудных W_1 и нерудных W_2 объектов

$$W = \begin{vmatrix} \sigma_U^2 & \sigma_{UTh} & \sigma_{UK} \\ \sigma_{UTh} & \sigma_{Th}^2 & \sigma_{ThK} \\ \sigma_{UK} & \sigma_{ThK} & \sigma_K^2 \end{vmatrix},$$

$$\sigma_{mj} = \frac{\sum_{i=1}^n (q_m^{(i)} - \bar{q}_m)(q_j^{(i)} - \bar{q}_j)}{n};$$

* Возможность разделения двух классов может быть увеличена вовлечением в распознавание геологических данных: центрированием содержаний радиоактивных элементов по фоновому содержанию $q_j \phi$ и нормированием по стандартному отклонению ($\sigma_j \phi$) для каждого типа пород. В этом случае q_j заменяется $q_{рас} = (q_j - q_j \phi) / \sigma_j \phi$. Для применения этого способа необходимы достаточно подробные геологические карты.

в) рассчитываются парные коэффициенты корреляции содержаний отдельно по выборкам обоих классов $r_{mj} = \sigma_{mj}/(\sigma_m\sigma_j)$, и оценивается их значимость при $r_{mj} \sqrt{n-2}/\sqrt{1-r_{mj}^2} < t_{0.05}$, $v = n-2$ (коэффициент r_{mj} и соответствующая ковариация принимаются равными нулю);

г) вычисляются обратные матрицы W_1^{-1} и W_2^{-1} ковариации

$$W_1^{-1} = \begin{vmatrix} a_{11}^{(1)} & a_{12}^{(1)} & a_{13}^{(1)} \\ a_{12}^{(1)} & a_{22}^{(1)} & a_{23}^{(1)} \\ a_{13}^{(1)} & a_{23}^{(1)} & a_{33}^{(1)} \end{vmatrix}; \quad W_2^{-1} = \begin{vmatrix} a_{11}^{(2)} & a_{12}^{(2)} & a_{13}^{(2)} \\ a_{12}^{(2)} & a_{22}^{(2)} & a_{23}^{(2)} \\ a_{13}^{(2)} & a_{23}^{(2)} & a_{33}^{(2)} \end{vmatrix};$$

д) определяются коэффициенты квадратичной дискриминантной функции

$$\begin{aligned} A &= (a_{11}^{(2)} - a_{11}^{(1)})/2; & D &= a_{12}^{(2)} - a_{12}^{(1)}; \\ B &= (a_{22}^{(2)} - a_{22}^{(1)})/2; & E &= a_{13}^{(2)} - a_{13}^{(1)}; \\ C &= (a_{33}^{(2)} - a_{33}^{(1)})/2; & F &= a_{23}^{(2)} - a_{23}^{(1)}; \\ G &= a_{11}^{(1)}\bar{q}_U^{(1)} - a_{11}^{(2)}\bar{q}_U^{(2)} + a_{12}^{(1)}\bar{q}_{Th}^{(1)} - a_{12}^{(2)}\bar{q}_{Th}^{(2)} + \\ &\quad + a_{13}^{(1)}\bar{q}_K^{(1)} - a_{13}^{(2)}\bar{q}_K^{(2)}; \\ H &= a_{22}^{(1)}\bar{q}_{Th}^{(1)} - a_{22}^{(2)}\bar{q}_{Th}^{(2)} + a_{12}^{(1)}\bar{q}_U^{(1)} - a_{12}^{(2)}\bar{q}_U^{(2)} + \\ &\quad + a_{23}^{(1)}\bar{q}_K^{(1)} - a_{23}^{(2)}\bar{q}_K^{(2)}; \\ L &= a_{33}^{(1)}\bar{q}_K^{(1)} - a_{33}^{(2)}\bar{q}_K^{(2)} + a_{13}^{(1)}\bar{q}_U^{(1)} - a_{13}^{(2)}\bar{q}_U^{(2)} + \\ &\quad + a_{23}^{(1)}\bar{q}_{Th}^{(1)} - a_{23}^{(2)}\bar{q}_{Th}^{(2)}; \\ M &= \frac{1}{2} [a_{11}^{(2)}(\bar{q}_U^{(2)})^2 - a_{11}^{(1)}(\bar{q}_U^{(1)})^2 + a_{22}^{(2)}(\bar{q}_{Th}^{(2)})^2 - \\ &\quad - a_{22}^{(1)}(\bar{q}_{Th}^{(1)})^2 + a_{33}^{(2)}(\bar{q}_K^{(2)})^2 - a_{33}^{(1)}(\bar{q}_K^{(1)})^2] + a_{12}^{(2)}\bar{q}_{Th}^{(2)}\bar{q}_U^{(2)} - \\ &\quad - a_{12}^{(1)}\bar{q}_{Th}^{(1)}\bar{q}_U^{(1)} + a_{13}^{(2)}\bar{q}_U^{(2)}\bar{q}_K^{(2)} - a_{13}^{(1)}\bar{q}_U^{(1)}\bar{q}_K^{(1)} + \\ &\quad + a_{23}^{(2)}\bar{q}_{Th}^{(2)}\bar{q}_K^{(2)} - a_{23}^{(1)}\bar{q}_{Th}^{(1)}\bar{q}_K^{(1)} + \ln \frac{|W_2|^{1/2}}{|W_1|^{1/2}}. \end{aligned}$$

Значения квадратичной дискриминантной функции в каждой точке вычисляются по характеризующим ее содержаниям радиоактивных элементов q_U, q_{Th}, q_K :

$$\begin{aligned} J &= Aq_U^2 + Bq_{Th}^2 + Cq_K^2 + Dq_Uq_{Th} + Eq_Uq_K + \\ &\quad + Fq_{Th}q_K + Gq_U + Hq_{Th} + Lq_K + M. \end{aligned}$$

Значения J выносятся на карту маршрутов и по ним проводятся изолинии от $J = 0$ через 0,5. Перспективные участки по картам J и l выделяются как зоны максимумов со значениями, близкими к значениям J или l на известных месторождениях или преобладающими их. Если метасоматиты или гидротермальные образования, которые фиксируются АГСМ-съемкой, могут быть удалены от рудных тел вследствие горизонтальной зональности оруденения, размеры выделяемых участков должны быть больше размеров максимума J или l на величину возможного удаления.

У.5. ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ БЕЗЭТАЛОННОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ДЛЯ ИНТЕРПРЕТАЦИИ

Постановка задачи безэталонной классификации формулируется следующим образом. Пусть имеется некоторая совокупность геологических объектов, для которых известен (измерен, наблюден) ряд признаков, например элементарные участки территории, где проводились геофизические съемки, геофизические аномалии с известными параметрами и т. п. Пусть также есть основания предполагать, что объекты совокупности принадлежат к нескольким классам, отличающимся друг от друга по указанным признакам, и что это отличие распространяется и на некоторые другие признаки, неизвестные в настоящее время. Тогда классификация объектов по набору известных признаков будет одновременно классификацией по признаку, значения которого неизвестны.

Существо безэталонной классификации состоит в том, что геологический объект (аномалия, элементарный участок и т. п.) представляется в виде точки в n -мерном пространстве признаков. Координатами точки являются значения наблюдаемых признаков (содержания радиоактивных элементов, величина магнитного поля и т. д.). Тогда совокупности объектов, предназначенных для классификации, соответствует совокупность точек в признаковом пространстве. Очевидно, что чем ближе друг к другу расположены точки, тем больше сходства между соответствующими объектами по рассматриваемому комплексу признаков. Компактные сгущения точек, если они имеются, представляют собой классы объектов с большим уровнем сходства между собой. В классе при переходе от одного объекта (точки) к другому постепенно и незначительно меняются признаки, хотя крайние объекты могут различаться значительно. Отдельные объекты могут остаться вне классов, обладая «уникальными» сочетаниями значений признаков.

При таком подходе сходство объектов измеряется расстоянием между ними в признаковом пространстве. Правила вычисления расстояния могут быть различными. В алгоритмах распознавания

образов используется несколько их видов. Приведем для примера расчет эвклидова расстояния:

$$r(X_i, X_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (X_i^{(k)} - X_j^{(k)})^2},$$

где X_i — точка, соответствующая i -му объекту с координатами $X_i^{(1)}, X_i^{(2)}, X_i^{(3)}, \dots, X_i^{(n)}$ в признаковом пространстве; n — количество рассматриваемых признаков.

Эвклидово расстояние можно вычислить только для так называемых «количественных» признаков, со значениями которых можно выполнять арифметические действия, например процентные содержания элементов. Однако среди признаков могут быть «качественные», например литология образований, для которых можно только утверждать, совпадают их значения у двух объектов или нет. В этом случае иногда используется расстояние:

$$r(X_i, X_j) = \sum_{k=1}^n \delta_k r_k(X_i, X_j),$$

для количественных признаков

$$r_k(X_i, X_j) = |X_i^{(k)} - X_j^{(k)}| / \Delta X_k,$$

для качественных признаков

$$r_k(X_i, X_j) = \begin{cases} 0, & \text{если } X_i^{(k)} = X_j^{(k)}; \\ 1, & \text{если } X_i^{(k)} \neq X_j^{(k)}, \end{cases}$$

где ΔX — ширина размаха значений k -го признака; δ_k — вес k -го признака, отражающий его ценность для классификации (чем значимее признак, тем больший вес ему присписывается).

Правило расчета расстояния определяет вариант получаемой классификации и поэтому выбирается с учетом имеющегося геолого-геофизического материала.

Классификация основывается на различных принципах, среди которых выделяются два основных. Первый заключается в предварительном расчете попарных расстояний между всеми объектами исходной совокупности — матрицы расстояний. Сгущения (классы) объектов выделяются простым перебором элементов матрицы расстояний. Иногда при этом задается максимально допустимое расстояние между соседними объектами в классе. Второй принцип классификации состоит в перемещении гиперболы заданного радиуса в признаковом пространстве. Для каждого положения сферы вычисляется плотность попавших в нее объектов. В один класс объединяются объекты, попадающие в сферу при достижении максимумов плотности. Критерии оценки качества классификации строятся на сравнении средних расстоя-

ний между объектами внутри классов и расстояний между классами. Из-за громоздкости вычислений практически все алгоритмы безэталонной классификации требуют для своей реализации применения ЭВМ.

Сопоставление результатов безэталонной классификации геологических объектов по косвенным признакам с распределением и свойствами известных рудных образований может привести к установлению таких закономерностей в их связях, выявление которых другими методами затруднительно ввиду большого количества косвенных признаков и сложности распределения их значений. Перспективно применять методы безэталонной классификации для выделения крупных потенциально рудоносных площадей по АГСМ-данным. Методы целесообразно опробовать в известных рудных районах с детально изученным распределением оруденения и его поисковыми признаками.

VI. НАЗЕМНАЯ ПРОВЕРКА АЭРОГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ

VI.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Наземная оценка АГСМ-аномалий, перспективных на полезные ископаемые, является обязательной составной частью АГСМ-работ. Перспективные аномалии выделяются и проверяются независимо от основного целевого назначения аэрогеофизических работ.

Наземная проверка аномалий выполняется в тот же полевой сезон, когда проводится АГСМ-съемка. Параллельное выполнение аэро- и наземных работ обуславливает максимально быстрое внедрение результатов АГСМ-съемки в геологоразведочную практику. Упрощается и организация наземных работ, поскольку наземные отряды размещаются на базе аэропартии и могут транспортироваться на поисковые участки вертолетами партии.

Следует иметь в виду еще одно обстоятельство. Районы работ аэрогеофизической партии часто удалены друг от друга на сотни километров, поэтому сложно организовать работы мелких наземных отрядов (особенно в труднодоступной горно-таежной местности) на площадях, где уже закончена аэрогеофизическая съемка. Опыт показывает: в этом случае большая часть АГСМ-аномалий остается непроверенной, что отрицательно сказывается на эффективности аэропоисков.

Наземная оценка аномалий проводится силами аэрогеофизической партии. Инженерно-технический персонал партии обладает специальными знаниями по радиогеохимии рудных месторождений, особенностям выделения их по АГСМ-данным, а также опытом работ на аномалиях, что облегчает оценку перспектив рудоносности аномального участка. Для наземных работ в аэрогеофизической партии организуются 1—2 отряда предварительной проверки и 2 отряда детальной проверки аномалии. Наземные отряды комплектуются необходимым снаряжением и оборудованием, а также обеспечиваются средствами транспортировки (автомобилями или вертолетами), оснащаются портативной и высокопроизводительной радиометрической, магнито- и электро-разведочной аппаратурой.

Краткая техническая характеристика поисковой радиометрической аппаратуры приведена в табл. VI.1. Магниторазведочные исследования выполняются с магнитометрами М-18, М-23, М-27

Техническая характеристика поисковой радиометрической аппаратуры

Тип, название и марка радиометра	Измеряемые величины, единицы измерений, зоны измерений	Способы регистрации	Постоянная времени τ , с, и экспозиция	Способы определения содержания радиоактивных элементов	Способы контроля усиления	Масса комплекта, длина кабеля	Комплект питания и время его работы	Блок детектирования
Сцинтиляционный поисковый радиометр СРП-2 «Кристалл»	Мощность экспозиционной дозы, $\mu\text{A}/\text{кг}$ (мкр/ч) Шкалы: I 0—3,59 (0—50) II 0—1,29 (0—250) III 0—89,60 (0—1250) Возможно расширение до 179,3 (2500)	Визуальный по микроамперметру и слуховой на телефон	$\tau = 2; 5$	—	Периодический контроль изотопом кобальт-60	3,2 кг (без упаковки)	2 батареи 11,5-ПМЦГ-2-1,3 72 ч при 7-часовом рабочем дне	Кристаллы NaI(Tl) 25 × 25 мм ФЭУ-35
Сцинтиляционный геологоразведочный прибор СРП-68-01 (поисковый)	Мощность экспозиционной дозы, средние скорости счета, имп/с Шкалы: I 0—100 II 0—300 III 0—1000 IV 0—3000 V 0—10 000	То же	$\tau = 2,6; 5$	—	То же	3,5 кг (без упаковки)	9 сухих элементов типа 343 (ГОСТ 12333—74). Свыше 120 ч при 7-часовом рабочем дне	Кристалл NaI(Tl) 30 × 25 мм ФЭУ-85
СРП-68-02 (каротажный вариант)	То же	»	$\tau = 2,6; 5$	—	»	5,3 кг 25 м	То же	Кристалл NaI(Tl) 18 × 30 мм
СРП-68-03 (каротажный)	»	»	$\tau = 2,6; 5$	—	»	4,3 кг (без кабеля) 25 м (возможно применение кабеля КРТ-3 до 170 м)	»	Кристалл NaI(Tl) 10 × 40 мм
Переносной сцинтиляционный одноканальный гамма-спектрометр СП-3М	Скорость счета импульсов в 3-х дифференциальных каналах: I 216—248 фДж (1,35—1,55 МэВ) II 264—296 фДж (1,65—1,85 МэВ) III 400—432 фДж (2,5—2,7 МэВ) и в интегральном канале в диапазоне энергий от 30 до 480 фДж (0,25—3 МэВ)	По ЭМС и стрелочному индикатору	$\tau = 4; 12$ Экспозиция 1—3 мин (в зависимости от содержания радиоактивных элементов) на каждом канале с контролем по секундомеру	По измеренным скоростям счета в рабочих каналах с помощью формул либо номограмм и специальных линеек	Периодический контроль усиления по изотопу цинк-65	9,4 кг (без упаковки)	6 батарей 11,5-ПМЦГ-У-1,3 1 батарея 48-ПМЦГ, 56 ч при 7-часовом рабочем дне	Кристалл NaI(Tl) ФЭУ-56

Тип, название и марка радиометра	Измеряемые величины, единицы измерений, зоны измерений	Способы регистрации	Постоянная времени τ , с, и экспозиция
Автомобильный гамма-радиометр, сцинтилляционный АГС-3М (АГС-4)	Содержание урана (по радио), тория, калия, мощность экспозиционной дозы в диапазоне энергий от 40 до 400 фДж (0,25—3,0 МэВ), скорость счета импульсов в трех дифференциальных каналах, фДж (МэВ): I 216—248 (1,35—1,55) II 264—296 (1,65—1,85) III 400—448 (2,5—2,8)	Аналоговая запись на перописующем регистраторе или счет импульсов в рабочих каналах по ЭМС	$\tau = 5; 10$ Экспозиция 50; 100 с

Способы определения содержания радиоактивных элементов	Способы контроля усиления	Масса комплекта, длина кабеля	Комплект питания и время его работы	Блок детектирования
Автоматический, с счетно-решающим устройством	Автоматическая регулировка усиления по реперному источнику (^{137}CsI — ^{239}Pu) и контроль усиления по изотопу кобальт-60		Аккумулятор автомобиля ГАЗ-69 12,6 В \pm 10% при токе не более 5 А	Кристалл NaI(Tl) 150 \times 100 мм ФЭУ-49. Каротажный блок детектирования в АГС-4: кристалл NaI(Tl) 30 \times 70 мм ФУЭ-85 или ФЭУ-35

Из методов электроразведки целесообразно применять электропрофилирование на постоянном токе с прибором типа ЭСК и на переменном токе с измерителями кажущегося сопротивления ИКС-1, ИКС-50, ИКС-600 или комплектом аппаратуры АНЧ-1, а также метод переменного естественного электрического поля с прибором МСЗ-1 [12, 30, 31, 77].

Если на площади АГСМ-съемки проводятся геологосъемочные или геологоразведочные работы, то допускается наземная проверка АГСМ-аномалий на всей площади или на ее части силами геологических партий. Организация, проводящая наземную проверку, должна быть указана в проекте аэропартии и утверждена решением НТС экспедиции (управления). Геологическая партия выполняет проверочные работы, результаты работ представляет в аэрогеофизическую партию.

Краткая характеристика всех АГСМ-аномалий с результатами их наземной проверки приводится в каталоге аномалий, который прилагается к отчету аэрогеофизической партии.

VI.2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПРОВЕРКИ АНОМАЛИЙ

В зависимости от степени перспективности аномалии, геолого-геофизической изученности района работ и результатов предшествующих исследований наземная оценка может проводиться в один или два этапа. Этапы включают в себя предварительную и детальную проверку.

Предварительная наземная проверка выполняется наиболее квалифицированными ИТР аэрогеофизической партии. Она предусматривает нахождение АГСМ-аномалии, определение ее размеров, гамма-спектрометрических параметров и геологической природы аномалии, наличия или отсутствия признаков рудной минерализации и необходимости ее дальнейшего изучения.

На площадях, кондиционно опосредованных в масштабе 1 : 50 000 и крупнее, а также в геологических структурах с установленной рудоносностью предварительная проверка аномалий может не проводиться; в этом случае на перспективных аномалиях выполняются сразу детальные работы. Целесообразно также детальная наземная проверка без предварительных работ на АГСМ-аномалиях с высокими значениями параметра перспективности (особенно в тех случаях, когда отряды могут транспортироваться только вертолетом).

Детальная наземная проверка предполагает окончательную оценку перспектив рудоносности аномального участка на основании всестороннего изучения его поверхности. В результате аномалия либо окончательно отбраковывается как не представляющая практического интереса, либо передается по акту территориальной экспедиции для дальнейших геологоразведочных работ.

Наземный отряд выполняет работы в соответствии с заданием, составленным руководством аэрогеофизической партии. Задание должно включать в себя сведения о местоположении аномалии

и ее параметрах, контур участка наземных работ, а также все имеющиеся геологические и аэрогеофизические материалы по перспективному участку. В задании указываются виды и объемы геолого-геофизических работ и регламентируются условия их проведения (масштаб, направление профилей и др.).

VI.3. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПРОВЕРКА АНОМАЛИЙ

Предварительной наземной проверке подвергаются все АГСМ-аномалии, выделенные в качестве перспективных на полезные ископаемые, за исключением случаев, предусмотренных в разделе VI.2.

ТАБЛИЦА VI.2

Виды и объемы работ на этапе предварительной проверки аномалий

Виды работ	Ориентировочный объем
Геологические маршруты, км	4—6
Измерения, ф. т.:	
радиометрические	200
гамма-спектрометрические	20—40
Опробование, проба:	
литогеохимическое	20—30
металлометрическое	200

Виды и ориентировочные объемы работ предварительной проверки аномалий приведены в табл. VI.2. В состав отряда предварительной проверки входят:

Нач. отряда (ст. геолог или инженер-геолог)	1
Ст. техник-геофизик	1
Техник	2
Рабочий	2

Средняя продолжительность работ на аномалии — 2—3 раб. дня (без учета времени на транспортировку и отыскание аномального участка).

Работы проводятся на топооснове наиболее крупного из имеющихся масштабов (1 : 25 000) с глазомерной привязкой результатов наблюдений. Для уточнения плановой привязки и характера обнаженности желательно использовать материалы аэрофотоъемки (фотосхемы), а также фотоснимки аномального участка, сделанные при регистрации аномалии и ее детализации.

На топооснову накладываются контуры АГСМ-аномалии или группы сближенных аномалий, при этом помимо аномалий параметра перспективности на карту следует нанести участки с аномально высоким содержанием радиоактивных элементов, так как именно эти последние будут регистрироваться радиометрическими на-

блюдениями. На рабочую топоснову наносятся также геологические границы с крупномасштабной геологической карты, зоны гидротермально измененных пород и ореолы рассеяния.

Геологопоисковые маршруты прокладываются так, чтобы обеспечить неоднократное пересечение площади АГСМ-аномалии через ее максимум с выходом в нормальный фон в обе стороны от нее.

Геологические наблюдения ведутся по маршруту непрерывно, следует осматривать и обнажения, находящиеся в стороне от маршрута. Коренные выходы горных пород чаще всего располагаются в водораздельной части горных отрогов и у уреза воды — близ осевой линии отрицательных форм рельефа. Следует осмотреть обломки горных пород в руслах мелких ручьев, на дне распадков, не рекомендуется делать маршруты по глыбовым осышам (курумам), так как последние могут нацело перекрывать рудоносные зоны. При геологической документации особое внимание уделяется проявлениям рудной минерализации и признакам гидротермального изменения горных пород: окварцеванию, турмалинизации, отбеливанию, хлоритизации, флюоритизации, грейзенизации, калишпатизации и др. В описании следует отмечать интенсивность эпигенетических изменений (сильная, средняя, слабая), характер их проявления (равномерный, приуроченный к отдельным компонентам породы, прожилковый и т. п.), рудные минералы (их визуальное определение или описание внешнего вида) и формы их выделения (вкрапленность, гнезда, прожилки, жила). Из гидротермально измененных пород, кварцевых жил, прожилковых зон и пород с вкрапленной минерализацией, встреченных как в коренном залегании, так и в свалах, отбираются сколковые или штупные пробы.

Потенциально рудоносные зоны прослеживаются и опробуются по простиранию с произвольным шагом наблюдений, который определяется главным образом обнаженностью площади. Образцы (пробы) отбираются также из всех разновидностей горных пород, встреченных на маршруте.

Вдоль маршрута из рыхлых отложений отбираются металлометрические пробы с шагом примерно 25—50 м. Металлометрическое опробование следует провести также по руслам двух-трех распадков, пересекающих центральную часть аномального участка. Пробы отбираются из представительного горизонта, глубина залегания которого и внешние признаки выясняются заранее по литературным источникам и путем консультаций со специалистами.

Радиометрические наблюдения выполняются одновременно с прокладкой геологического маршрута через 20—30 м с непрерывным прослушиванием интервалов между точками измерения. Точки наблюдения сгущаются на обнаженных участках, в полях гидротермально измененных пород и зонах аномальной радиоактивности. Радиометрические наблюдения привязываются к точкам

геологических наблюдений, которые геолог наносит на топографическую карту.

Гамма-спектрометрические измерения проводятся по одному из маршрутов, а кроме того, выборочно на коренных выходах горных пород или грубообломочных эллювиально-делювиальных отложениях, а также в эпицентрах радиометрических аномалий. Содержания радиоактивных элементов определяются в основных типах неизменных горных пород и во всех разновидностях гидротермально измененных пород, встреченных на участке. Результаты геофизических измерений сообщаются геологу, прокладывающему маршрут, чтобы он мог внести в него необходимые коррективы.

Сопоставляя результаты геологических и геофизических наблюдений, геолог должен выяснить, чем отличается участок АГСМ-аномалии от окружающих его пород, и определить тем самым геологическую природу аномалии. Он оценивает также значимость радиогеохимических аномальных пород (зон) как поискового признака полезных ископаемых.

Составляя заключение и рекомендации по результатам предварительных работ, необходимо исходить из следующих критериев.

Аномалия подлежит детальной проверке, если на ней установлены:

- 1) признаки рудной минерализации;
- 2) зоны гидротермально измененных пород, кварцевые жилы;
- 3) другие признаки полезного ископаемого (рудноносные фации осадочных пород, граниты рудного комплекса и т. д.).

Детальную проверку следует проводить также во всех случаях, когда геологическая природа АГСМ-аномалии не определена на этапе предварительной проверки и перспективы аномалии неясны.

Аномалия отбраковывается:

- 1) если доказано, что она является породной;
 - а) приурочена к определенной петрографической разновидности неизменных горных пород;
 - б) приурочена к участку обнаженных пород среди поля рыхлых отложений; при этом в породах отсутствуют признаки метасоматических изменений;

2) если она обусловлена гипергенными аккумуляциями урана (такры, солонцы, торфяники и др.).

Независимо от заключения должны быть сделаны спектральные анализы проб, отобранных на аномальном участке.

Задание на предварительную проверку, результаты работ и заключение начальника наземного отряда, утвержденные руководством аэрогеофизической партии, заносятся в паспорт аномалии. Материалы представляются в следующем виде:

— схематическая геологическая карта участка с элементами топопривязки, на которой показано местоположение АГСМ-аномалии, геолого-радиометрические маршруты, металлометри-

ческие профили, точки гамма-спектрометрических наблюдений и отбора проб (на карту наносятся радиометрические аномалии, прослеженное и предполагаемое положение рудоносных зон);

— геологические профили по маршрутам с данными о проявлениях полезного ископаемого и метасоматическом изменении горных пород, результатами геофизических измерений и точками отбора проб;

— таблица результатов спектральных, химических и других анализов.

VI.4. ДЕТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА АНОМАЛИЙ

Под детальную наземную проверку выделяются аномалии по результатам предварительной проверки либо непосредственно после их выявления. Контур участка определяется по АГСМ-данным с учетом:

— влияния обнаженности площади на конфигурацию аномалии;

— сведений предварительной проверки о размерах и простирании потенциально рудоносных зон;

— известных геологических закономерностей размещения ожидаемого оруденения;

— возможной горизонтальной зональности рудного поля, приводящей к пространственной разобщенности рудных тел и зон максимальной концентрации радиоактивных элементов, выделяемых с воздуха (это требует опоискования ближайших окрестностей аномалии);

— материалов других аэрогеофизических методов.

Следует стремиться включать в участок детальной проверки несколько пространственно сближенных аномалий, так как они могут быть объединены общей рудоносной структурой и фиксировать отдельные части единого рудного поля. Площадь участка детальной проверки составляет обычно от 1—2 до 5—6 км², но в отдельных случаях может быть значительно больше. Так, золоторудная зона, выявленная по АГСМ-данным, зарегистрирована при аэрогеофизической съемке калиевой аномалией размерами 2 × 7 км. Примеры выделения участков I—III детальных наземных работ приведены на рис. VI.1. Начальник наземного отряда может изменить площадь работ, если это необходимо для выявления и оконтуривания рудоносных зон.

Виды и ориентировочные объемы работ при детальной проверке аномалий приведены в табл. VI.3.

Начальник отряда (инженер-геолог)	1
Инженер-геофизик	1
Ст. техник-геолог	1
Ст. техники-геофизики	2
Техники	2—3
Рабочие	2—6

Если планируется применение методов общей геофизики (кроме магниторазведки), состав отряда должен быть соответственно увеличен.

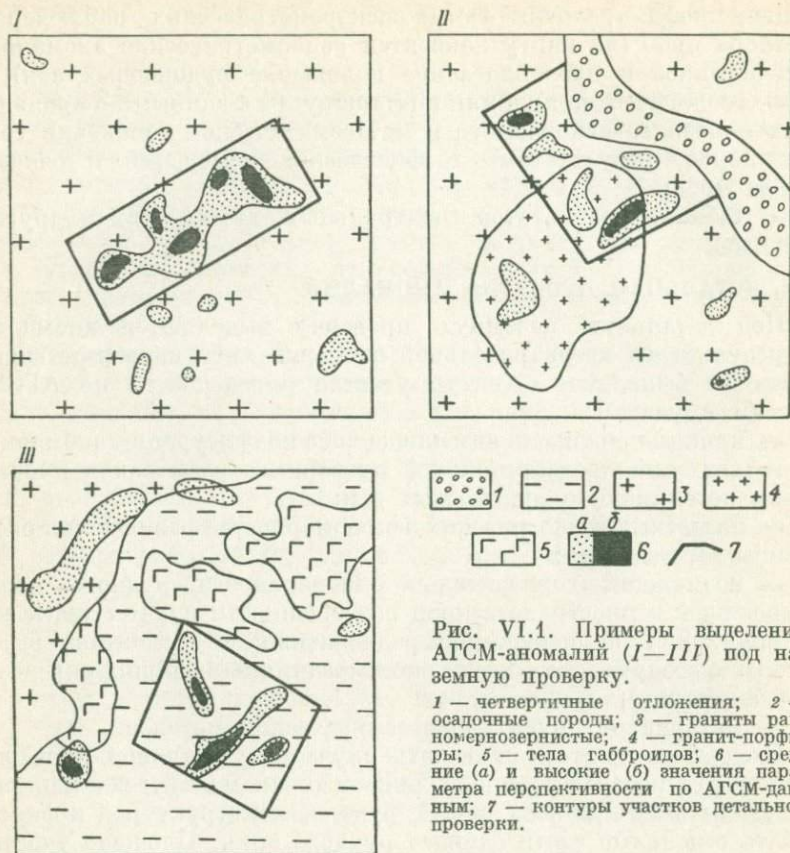


Рис. VI.1. Примеры выделения АГСМ-аномалий (I—III) под наземную проверку.

1 — четвертичные отложения; 2 — осадочные породы; 3 — граниты равномернозернистые; 4 — гранит-порфиры; 5 — тела габброидов; 6 — средние (а) и высокие (б) значения параметра перспективности по АГСМ-данным; 7 — контуры участков детальной проверки.

ТАБЛИЦА VI.3

Виды и объемы работ на этапе детальной проверки аномалий

Виды работ	Ориентировочный объем
Геологические маршруты, км	20
Радиометрические измерения, ф. т.	1000—1200
Гамма-спектрометрические измерения, ф. т.	200
Магнито-, электроразведочные, фторометрические и другие работы *, ф. т.	По 1000—1200
Опробование, проба:	
металлометрическое	1000—1200
бороздвое	40—60
Капавные работы, м ³	50
Рубна просек *, км	5—7

* Данный вид работ не обязателен.

Средняя продолжительность работ на участке детальной проверки составляет 15—20 раб. дней. Если в процессе детальной проверки установлена бесперспективность аномалии, то работы на участке прекращаются, а освободившиеся объемы перераспределяются по усмотрению руководства партии.

Детальная наземная проверка осуществляется путем геолого-геофизической съемки выделенного участка. Рекомендуемый масштаб съемки — 1 : 10 000 при размерах участка до 2 км² и 1 : 10 000—1 : 25 000 на участках бóльших размеров. Профили ориентируются вкрест предполагаемому простиранию рудных зон, а при отсутствии соответствующих данных — перпендикулярно к длинной оси АГСМ-аномалии. Если работы ведутся в масштабе 1 : 25 000, то в пределах потенциально рудоносных зон и их ближайшего обрамления шаг наблюдений сокращается до значения, обеспечивающего эффективную локализацию оруденения. Выявленные рудные зоны прослеживаются по простиранию короткими геолого-геофизическими профилями. В том случае, когда рудоносные зоны тянутся за пределы заданной площади участка, они должны быть прослежены до полного исчезновения признаков рудоносности или «ныряния» под толщу рыхлых отложений.

Работы проводятся по крупномасштабной топооснове (1 : 25 000) с инструментальной или полуинструментальной привязкой результатов наблюдений. Для этого в лесистой местности предусматривается необходимый объем порубочных работ. Допустима инструментальная привязка магистралей с глазомерной привязкой точек наблюдения по профилям между магистральями.

При геологическом картировании основное внимание уделяется элементам геологического строения, которые могут иметь рудо-контролирующее значение (рис. VI.2). Для постмагматических плутогенных месторождений такими факторами будут разрывные нарушения, типы гидротермально измененных пород, зональность метасоматитов, состав интрузивных пород, конфигурация и характер их контактов и др. Для вулканогенных месторождений наряду с перечисленными факторами значительную роль в локализации оруденения играют жерловые и субвулканические фации магматических пород, для выделения которых необходимы тщательные наблюдения за структурой и текстурой вулканитов, а также формами их залегания.

Для стратифицированного оруденения необходимо определить его положение в разрезе, закартировать структуры участка и фациальные изменения рудоносных пластов по простиранию и т. д. С особой детальностью следует изучать поверхностные выходы пород с рудной минерализацией: предварительно определить минералогию рудных тел, их размеры и элементы залегания.

Геологические наблюдения ежедневно выносятся на план участка, с тем чтобы геологическая карта была построена на месте полевых работ. Это позволит в случае необходимости провести

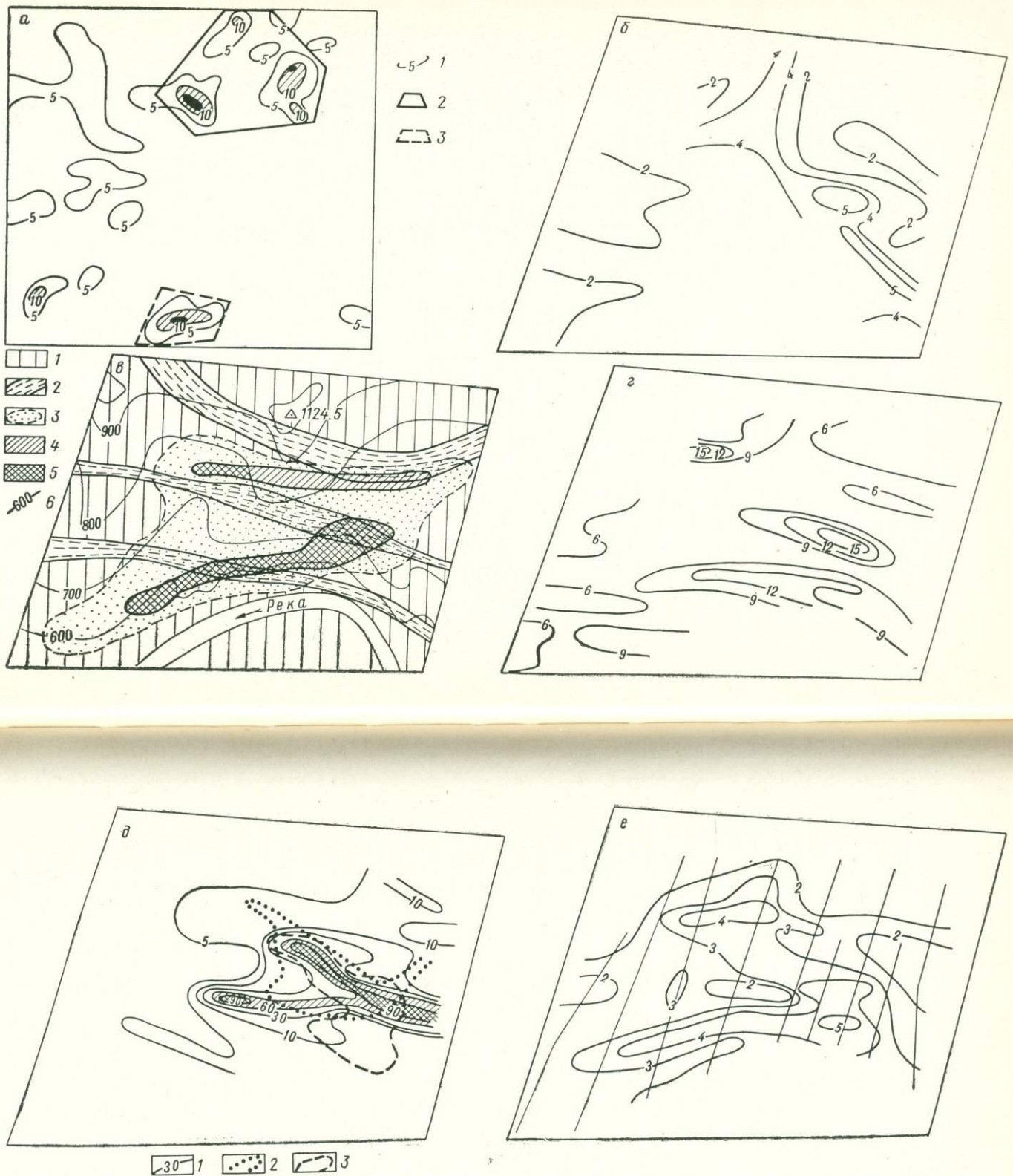


Рис. VI.2. Результаты детальной проверки АГСМ-аномалии, перспективной на олово-полиметаллическую минерализацию.
 а — карта перспективности района по АГСМ-данным. 1 — изолинии параметра перспективности (по методу отношения вероятностей P_1/P_2);
 2 — контур рудного поля касситерит-сульфидного месторождения; 3 — контур участка детальной проверки.
 Результаты детальной проверки выделенного участка: б — карта содержаний урана, $10^{-4}\%$; в — схематическая геологическая карта
 (1 — песчаники; 2 — сланцы; 3 — пропилитизированные породы; 4 — зоны с прожилковой сульфидной минерализацией; 5 — зоны с про-
 жилковой касситерит-сульфидной минерализацией; 6 — изогипсы); г — карта содержаний тория, $10^{-4}\%$; д — карта результатов металло-
 метрического опробования (1 — изолинии содержания олова, $10^{-3}\%$; 2 — ореолы рассеяния цинка $> 0,06\%$; 3 — ореол рассеяния свинца
 $0,1\%$); е — карта содержаний калия (%) с линиями геолого-геофизических профилей.

дополнительные наблюдения в местах с неясным геологическим строением. На карту следует наносить всю геологическую информацию; опыт показывает, что материал, не отраженный на карте, в дальнейшем выпадает из поля зрения исследователя.

Геофизическая и металлометрическая съемки выполняются в соответствии с существующими требованиями для каждого вида работ. Все виды съемки проводятся по единой сети.

Радиометрическая съемка проводится для оконтуривания аномального участка и локализации наиболее перспективных площадей в его пределах. Следует отметить, что обычно аномальные поля радиоактивности на рудных месторождениях слабоинтенсивны, превышение над фоном может составлять всего 3—10 мкР/ч. Минимальные приращения радиоактивности отмечаются в моноэлементных калиевых аномалиях, которые иногда вообще невозможно выделить по общей радиоактивности. Тем не менее в пределах аномальных радиогеохимических полей всегда имеются локальные участки, резко обогащенные радиоактивными элементами, которые фиксируются радиометрической съемкой.

Гамма-спектрометрические измерения проводятся по 2—3 профилям для подтверждения радиогеохимической природы АГСМ-аномалии и уточнения ее геологической привязки. Если участок детальной проверки включает в себя несколько АГСМ-аномалий, то гамма-спектрометрические профили должны пересекать каждую из них. Гамма-спектрометрические измерения выполняются также во всех зонах аномальной радиоактивности для определения их радиогеохимической природы. В тех случаях, когда гамма-спектрометрическая съемка позволяет эффективно локализовать рудные зоны, а по радиометрическим данным этого сделать невозможно, следует проводить гамма-спектрометрические наблюдения по всей площади поискового участка. Это заметно удлиняет сроки работ, так как серийная гамма-спектрометрическая аппаратура (СП-3М) отличается низкой производительностью (25—30 точек в день).

Магнито- и электроразведочные работы входят в комплекс методов наземной проверки, если АГСМ-аномалии сопровождаются соответствующими аэрогеофизическими аномалиями или имеются геолого-геофизические предпосылки локализации рудноосных структур методами общей геофизики. При магнито- и электроразведочных работах необходимо отбирать образцы для определения физических свойств из всех разновидностей неизменных горных пород, метасоматитов, рудных жил и др. Если руда или околорудные метасоматиты обогащены фтором (бериллием), то при детальной проверке аномалий можно применять фторометрическую (бериллометрическую) съемку для трассирования рудных зон.

Выявленные рудные зоны подвергаются бороздovому опробованию, для чего проходят расчистки и канавы. Основные результаты детальной проверки кратко отмечаются в паспорте

и каталоге аномалий. Все материалы детальной проверки представляются в отчете аэрогеофизической партии.

Обязательными отчетными материалами наземных работ являются:

- карта фактического материала;
- специализированная геологическая карта, на которую дополнительно наносятся результаты бороздового и штурфного опробования;
- карта гамма-поля с данными гамма-спектрометрических определений в аномальных зонах;
- геологические профили с графиками содержаний радиоактивных элементов по гамма-спектрометрическим данным (или карты содержаний урана, тория и калия);
- металлометрическая карта (или несколько поэлементных карт);
- таблицы анализов бороздовых и штурфных проб.

Результаты других видов геофизических работ представляются в виде карт или графиков в зависимости от объема выполненных исследований.

По аномальному участку дается оценка выявленной минерализации и рекомендации по дальнейшим поисково-разведочным работам.

VII. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЭРОГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ПРИ ПОИСКАХ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

VII.1. РЕДКОМЕТАЛЬНЫЕ КАРБОНАТИТОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Высокая радиоактивность редкометальных карбонатитов давно используется для их выявления и оконтуривания радиометрическими методами. Дальнейшими исследованиями [7] установлено дифференцированное распределение по площади урана и тория в зависимости от вещественного состава руд. Зоны с гатчеттолитовой минерализацией обогащены ураном, который коррелируется с танталом, при пирохлоровой и редкоземельной минерализации в рудных телах преимущественно концентрируется торий.

Возможности метода показаны на примере одного из карбонатитовых массивов Карело-Кольского региона, АГСМ-съемка которого выполнена со станцией АСГ-48М2 на самолете (Г. В. Стариков, Д. С. Парижер и другие).

Значительная часть массива располагается на равнине, покрытой моренными и флювиогляциальными отложениями. Обнажения находятся в основном у восточной части массива, на возвышенностях, где сосредоточены породы рудного комплекса и карбонатиты (рис. VII.1). Общая площадь массива 19,5 км². Он имеет форму неправильного эллипса, вытянутого в широтном направлении. Массив залегает в толще архейских гнейсо-гранитов, имеющих в целом северо-восточное простирание. Весь массив представляет собой сплошное интрузивное тело зонально-концентрического строения (рис. VII.1). Центральную часть массива слагают пироксениты и оливин-пироксеновые породы, которые часто обогащены перовскит-титаномagnetитовыми рудами в виде гнезд (размером 0,5—1,0 м), шпиров и секущих жилородных тел. С поверхности до глубины 5—7 м пироксениты дезинтегрированы и превращены в дресву и мелкозем.

Периферическую зону массива слагают породы ийолит-мельтейгитовой серии. Она окаймляет ультраосновное ядро интрузии в виде полосы шириной до 700 м, естественных выходов на поверхность не имеет. Вмещающие массив гнейсо-граниты интенсивно фенитизированы: превращены в эгирин-альбитовые и нефелиновые метасоматические породы. Мощность зоны фенитизации оценивается первыми сотнями метров; в тектонически переработанных участках она прослеживается на расстояние до 3 км

и более от массива. На поверхности граниты выходят только на одном из участков.

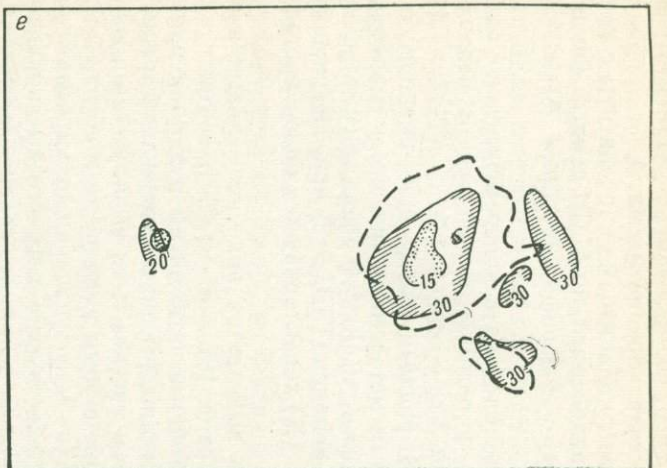
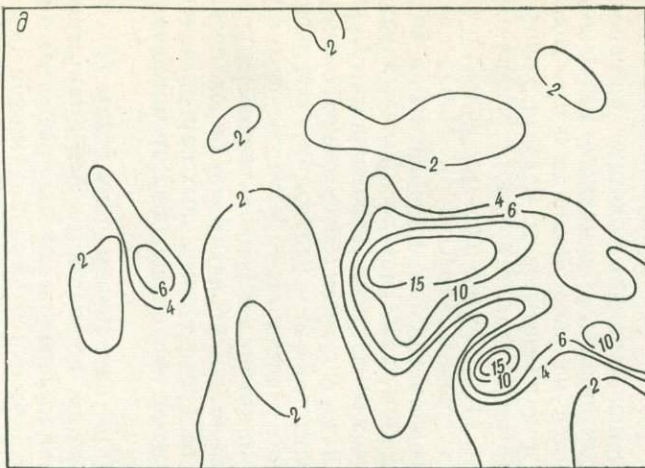
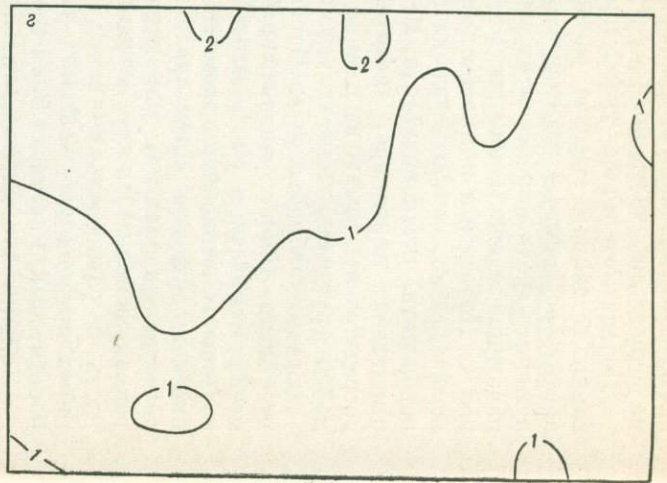
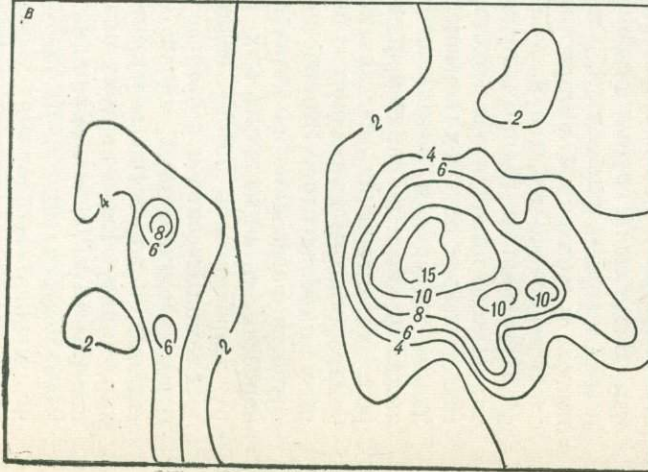
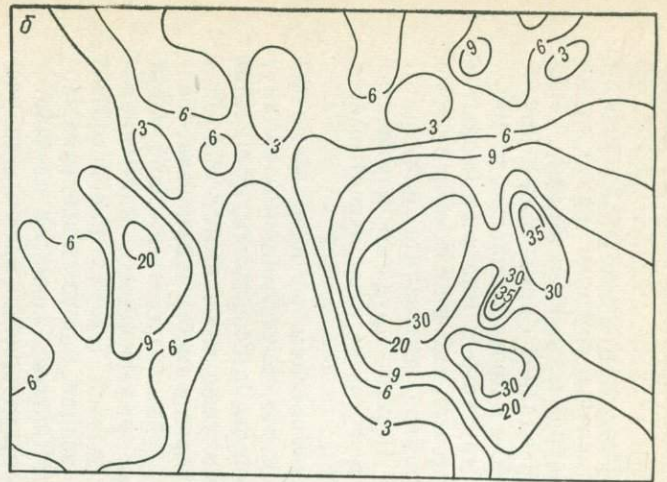
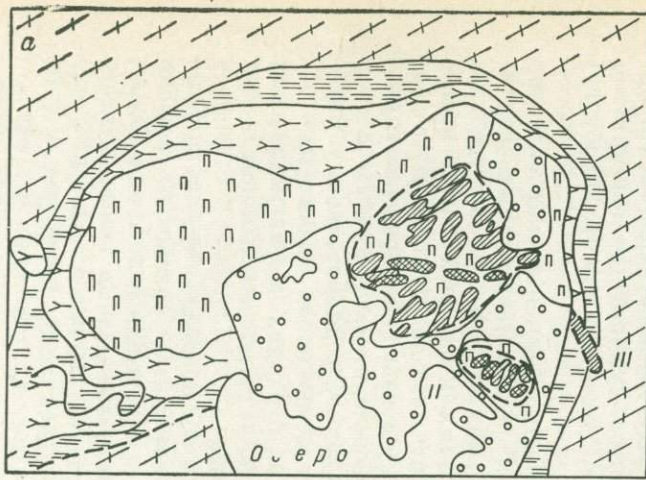
Постмагматические гидротермально-метасоматические образования в данном массиве представлены «рудным комплексом» апатит-форстерит-магнетитовых пород и карбонатами, образующими среди пироксенитов неправильной формы тела и крутопадающие залежи мощностью 10—40 м и протяженностью до 100—250 м. Полезными компонентами «рудного комплекса» являются железо, титан, элементы редкоземельные, ниобий и фосфор в форме перовскита, титаномагнетита, магнетита, дизаналита, ильменита, циркелита, пирохлора, апатита. Породы «рудного комплекса» сосредоточены преимущественно на участке, где насчитывается до 50 крупных и мелких тел.

Среди карбонатов в Карело-Кольском регионе выделены несколько типов, различающихся по вещественному составу, металлогеническим и геохимическим особенностям [32]. Они обогащены цирконием, элементами редкоземельными, танталом, ниобием в форме акцессорной вкрапленности циркелита, бадделейта, дизаналита, пирохлора, гатчеттолита и карбонатов редких земель. Пространственная разобщенность или зональность в распределении гатчеттолитовой (тантало-ниобиевой) и пирохлоровой (ниобиевой) минерализации, как установлено на карбонатитовых массивах Восточной Сибири, здесь не изучена.

Кальцитовые карбонаты преимущественно развиты на участке, где роль апатит-форстерит-магнетитовых пород подчиненная. Следующая группа карбонатов: существенно доломитовые и доломито-анкеритовые (III и IV стадии по А. И. Гинзбургу) имеют ограниченное распространение.

Основное количество радиоактивных элементов карбонатов сосредоточено в главных рудных редкометалльных минералах: перовските, циркелите, пирохлоре, гатчеттолите. За исключением гатчеттолита, во всех перечисленных минералах торий преобладает над ураном. Следует отметить, что по абсолютному содержанию урана и по торий-урановому отношению перовскит (минерал, характерный для апатит-форстерит-магнетитовых пород) близко стоит к пирохлору — основному редкометалльному минералу карбонатов. Это обстоятельство может значительно затруднить разделение магматических и ранних постмагматических перовскит-титан-магнетитовых руд и редкоземельно-ниобиевых руд карбонатитов по АГСМ-данным.

Съемка массива и его окрестностей показала, что силикатные породы (пироксениты, ийолит-мельтейгиты, архейские гранито-гнейсы), повсеместно перекрытые четвертичными отложениями, характеризуются с воздуха низкими значениями гамма-активности (2—6 мкР/ч) и содержания радиоактивных элементов: около $2 \cdot 10^{-4}\%$ урана, $(6 \div 9) \cdot 10^{-4}\%$ тория и около 1% калия (рис. VII.4), что хорошо согласуется с данными, полученными по результатам наземного опробования. На низком радиоактивном уровне



1
 2
 3
 4
 5
 6
 7
 8
 9
 10

Рис. VII.1. Характер регистрации карбонатитового редкометалльного месторождения.

Карты: а — геологическая (по Г. А. Ильинскому, 1962 г.), б — содержания тория, $10^{-4}\%$, в — содержания урана, $10^{-4}\%$, г — содержания калия, %, д — гамма-поля, мкР/ч, е — интерпретационная.
 1 — четвертичные отложения; 2 — карбонаты; 3 — апатит-форстерит-магнетитовые породы; 4 — пироксениты; 5 — ийолиты и мельтейгиты; 6 — фенитизированные гнейсы; 7 — гранито-гнейсы; 8 — контуры месторождения; участки с максимальным содержанием: 9 — урана, $10^{-4}\%$, 10 — тория, $10^{-4}\%$.

выделяются три аномальные зоны, совпадающие с участками развития пород рудного комплекса и карбонатами.

Участок *I*, где сосредоточены кальцитовые карбонаты с рассеянной редкометальной минерализацией, по АГСМ-данным фиксируется высоким гамма-полем с содержанием тория $30 \cdot 10^{-4}\%$ и урана $15 \cdot 10^{-4}\%$; $\text{Th}/\text{U} = 2$.

Участок *II*, где кальцитовые карбонаты перемежаются с апатит-форстерит-магнетитовыми породами, отмечается с воздуха содержанием тория $30 \cdot 10^{-4}\%$ и урана $8 \cdot 10^{-4}\%$ ($\text{Th}/\text{U} = 4$). Примерно такие же параметры радиоактивного поля имеет и участок *III* с альбит-эгириновыми метасоматитами среди карбонатов и фенитов ($35 \cdot 10^{-4}\%$ тория, $10 \cdot 10^{-4}\%$ урана). Существенно ториевой природой гамма-активности ($\text{Th}/\text{U} = 6$ при содержании тория $35 \cdot 10^{-4}\%$ и урана $6 \cdot 10^{-4}\%$) характеризуется поле к востоку от участка *I*.

В западной части массива выделяется поле аномальных значений тория ($25 \cdot 10^{-4}\%$) и урана [$(6 \div 8) \cdot 10^{-4}\%$], соответствующее участку с перовскит-титаномагнетитовыми рудами в пироксенитах. Несовпадение изолиний высоких содержаний радиоактивных элементов с контуром массива и их вытянутость в юго-восточном направлении с закономерным уменьшением абсолютных концентраций урана и тория (по мере удаления от карбонатов в коренном залегании) свидетельствует о переносе высокоактивного обломочного материала ледником далеко за пределы массива.

По АГСМ-данным существенное влияние обломков из карбонатитового массива на радиоактивность обломочного материала архейского субстрата сказывается на расстоянии до 5 км. Поля содержаний урана и тория в карбонатитовом массиве хорошо отражают действительную картину взаимоотношения различных типов оруденения. На участке *II* по всему рудному полю торий значительно преобладает над ураном ($\text{Th}/\text{U} = 4$). Перовскит-титаномагнетитовые руды и редкометальные карбонаты с бадделейтом, циркелитом, пирохлором, как отмечалось выше, характеризуются близкими радиогеохимическими параметрами. Судя по соотношению урана и тория, на участке *II* отсутствуют значительные скопления гатчеттолитовой минерализации. Зафиксированное с воздуха гамма-поле участка *II* — результат суммарного влияния пород рудного комплекса с радиоактивным перовскитом и пирохлором, кальцитовых карбонатов с пирохлором, циркелитом и гатчеттолитом, сидерито-доломитовых карбонатов с редкоземельной минерализацией при слабой дифференцированности этих типов минерализации.

На участке *I* $\text{Th}/\text{U} \approx 2$ (при одинаковом с участком *II* содержании тория), что объясняется, по-видимому, более широким развитием здесь гатчеттолитовой минерализации и сокращением доли пород «рудного комплекса» с перовскитовой радиоактивной минерализацией. Участок, находящийся к юго-востоку от участка *I*,

где $\text{Th}/\text{U} = 6$ при высоком содержании тория по АГСМ-данным, можно интерпретировать как существенно пирохлоровый. Следует отметить, что по лентам записи урана и тория на массиве *I* отмечаются единичные аномальные точки, в которых $\text{Th}/\text{U} \approx 1^*$. Наземной проверкой на таких точках установлено локальное развитие гатчеттолитовой минерализации. Просуммировав данные по радиогеохимии карбонатитов и результаты АГСМ-съемки, можно предварительно сделать следующие выводы о возможности АГСМ-метода при поисках различных типов оруденения, генетически и пространственно связанного с массивами ультраосновных щелочных пород и карбонатитов.

1. При пространственной разделенности (первые сотни метров) карбонатитов различного вещественного состава тантал-ниобиевое оруденение фиксируется с воздуха аномально высокими концентрациями урана и тория и снижением торий-уранового отношения.

2. Для ниобиевого оруденения в форме пирохлора, связанного с карбонатитами средних стадий метасоматического процесса, характерно более низкое гамма-поле с ториевой природой. Редкоземельные карбонатиты поздних стадий регистрируются с воздуха ториевыми полями, и трудно отличить их от полей второго (ниобиевого) типа.

3. В случае относительной пространственной совмещенности карбонатитов различного вещественного состава возможности АГСМ-метода ограничиваются установлением суммарного влияния радиоактивных элементов, складывающегося от карбонатитов различных стадий и различного типа оруденения.

VII.2. РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫЕ АЛЬБИТИТОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Редкометалльные щелочные метасоматиты

Месторождения этого типа выявлены и изучены в основном лишь в 60—70-х годах [65]. Сведения об условиях фиксации подобных месторождений АГСМ-съемкой ограничены одним случаем, подробно описанным в статье А. В. Ефимова, Г. А. Ерема и Н. В. Сачунова [24]. Геологическое строение месторождения, его минералого-геохимические особенности, а также содержания радиоактивных элементов в редкометалльных и редкоземельных минералах освещены в работах В. В. Архангельской и М. И. Тулохонова [65]. По данным этих авторов и приводятся краткое геологическое описание месторождения и результаты АГСМ-работ.

Месторождение приурочено к зоне сочленения архейских и раннепротерозойских структур, фиксируемой крупными разрывными нарушениями субширотного простирания (рис. VII.2).

* На картах содержаний они не показаны.

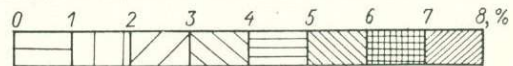
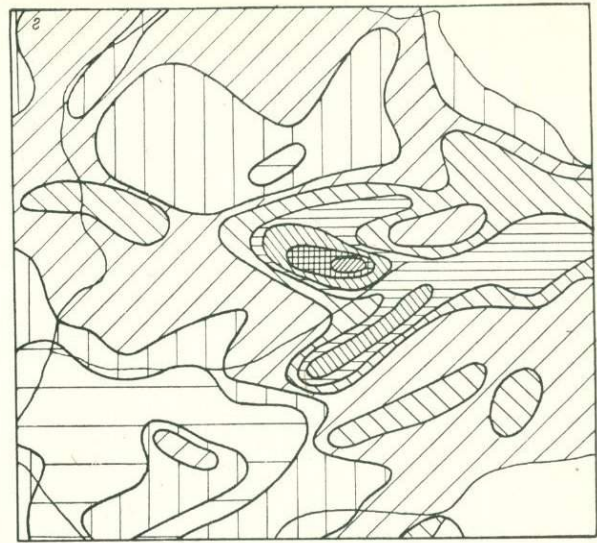
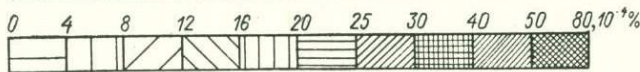
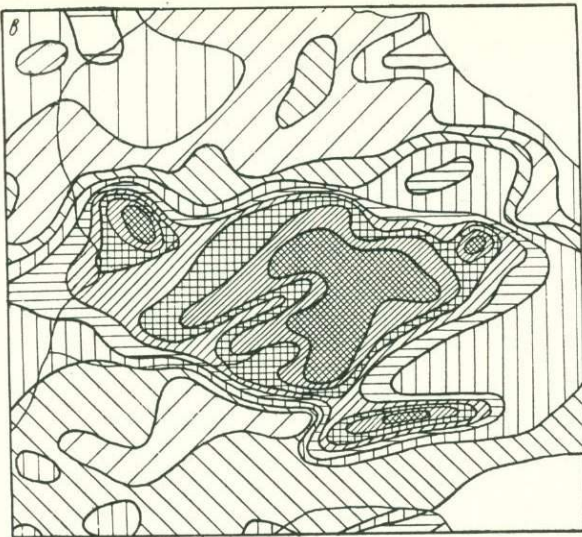
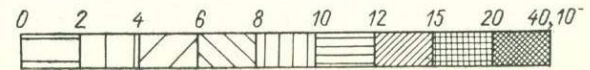
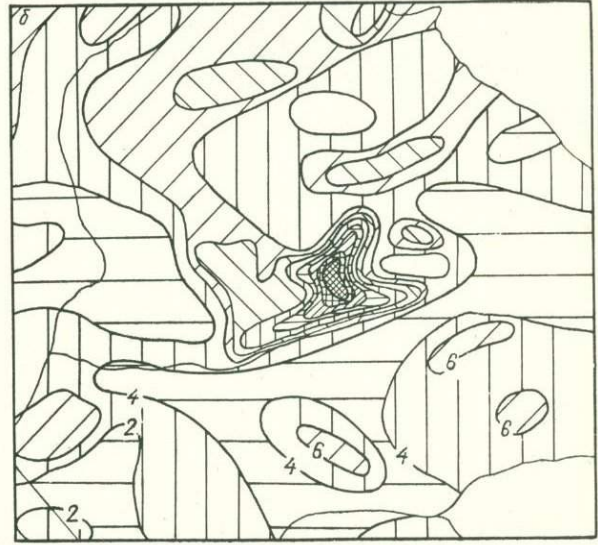
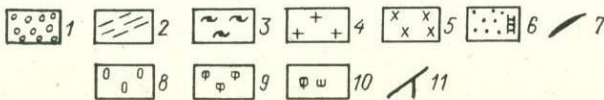
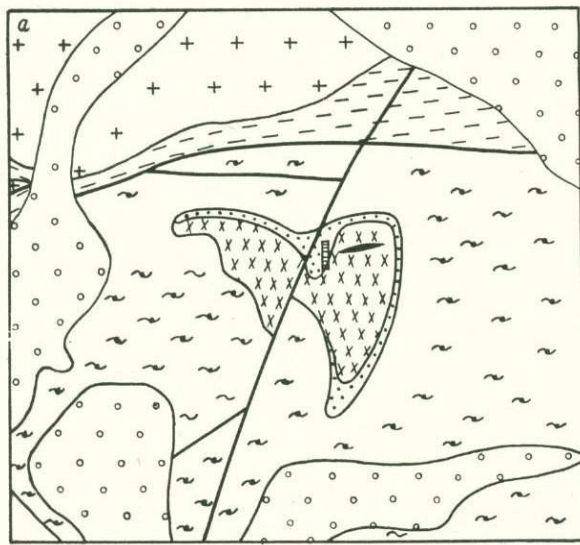


Рис. VII.2. Результаты съемки в районе месторождения редкометальных щелочных метасоматитов.

a — геологическая карта; карты содержаний: *b* — урана, $10^{-4}\%$, *в* — тория, $10^{-4}\%$, *г* — калия, %.
1 — четвертичные отложения (аллювиальные и ледниковые); *2* — метаморфизованные песчаники, алевролиты (нижний протерозой); *3* — архейские (?) кристаллические сланцы и гнейсы; *4* — раннепротерозойские граниты и гранодиориты; *5* — щелочные метасоматиты состава биотитовых, биотит-амфиболовых гранитов, граносиенитов; *6* — щелочные метасоматиты состава амфиболовых и эгирин-амфиболовых гранитов, граносиенитов; *7* — дайки диоритовых порфиров; *8* — окварцевание; *9* — флюоритизация; *10* — фельдшпатизация; *11* — разрывные нарушения.

Архейские породы, слагающие район месторождения, представлены, главным образом, кристаллическими сланцами, а также кварцитами и гнейсами. Нижнепротерозойские образования метаморфизованы слабее, в фации зеленых сланцев (метапесчаники, метаалевролиты).

Интрузивные породы (биотитовые, биотит-амфиболовые граниты, гранодиориты), формирование которых датируется ранним протерозоем, слагают крупный массив к северу от месторождения. На площади месторождения известны лишь редкие дайки амфиболовых порфиритов, гранит-аплитов, фельзит-порфиров и др. Рудоносные метасоматические породы, по составу отвечающие субщелочным и щелочным гранитам, граносиенитам, сформировались в конце раннего протерозоя в результате воздействия щелочных глубинных эманаций на архейские метаморфические породы. Они картируются в виде отдельных выходов среди метаморфических пород и перекрывающих ледниковых отложений. Тела метасоматитов окружены мощной зоной (сотни метров) измененных пород: фельдшпатизированных, окварцованных, флюоритизированных. В метасоматитах повсеместно отмечается вкрапленность тантало-ниобатов, а на отдельных участках резко возрастает интенсивность минерализации.

На рис. VII.2 изображено наиболее богатое (Восточное) тело метасоматитов. Оно имеет в плане серповидную форму и расчленено на два блока крупным тектоническим нарушением северо-северо-восточного направления (Озерный разлом). В строении тела метасоматитов наблюдается отчетливая зональность, выражающаяся в смене эгириновых и амфибол-эгириновых метасоматитов эндоконтакта тела амфибол-биотитовыми и биотитовыми метасоматитами его центральных частей.

Химический состав метасоматитов характеризуется высокими содержаниями кремнезема и щелочей, обычно с некоторым преобладанием натрия над калием, однако в некоторых типах метасоматитов содержание K_2O достигает 9%. Отчетливый привнос калия отмечается и в фельдшпатизированных разновидностях измененных пород внешней зоны вокруг тела метасоматитов.

Рудоносные метасоматиты и измененные породы вокруг них содержат большое количество разнообразных аксессуарных и второстепенных минералов. Всего на месторождении известно около 100 минералов. При этом в эгириновых и амфибол-эгириновых метасоматитах развиты главным образом пироксиды, циркон, комплексные алюмофториды, ильменит. Для биотитовых и биотит-амфиболовых метасоматитов характерны магнетит, гагаринит, редкоземельный флюорит, торит, малакон, колумбитизированный пироксид, фергусонит. Непосредственно в эндоконтакте тел метасоматитов развиты слюдиты с цирконом, пироксидом, гадолинитом, флюоритом и кварц-полевошпатовые жилы с астрофиллитом, бериллом, сульфидами. Для фельдшпатизиро-

ванных, окварцованных и флюоритизированных гнейсов и кристаллических сланцев характерны апатит, ферриторит, иттроортит, циркон, флюорит и минералы, содержащие в значительных количествах редкоземельные элементы.

Основные рудные тела с максимальным содержанием главного рудного минерала — пирохлора — представлены эгириин-амфиболовыми, амфиболовыми и эгириновыми метасоматитами и располагаются узкой полосой вдоль контакта с вмещающими породами. Однако наиболее мощный выход рудных тел на поверхность наблюдается в клиновидном блоке, примыкающем с востока к разлому. Здесь же выявлены жиллообразные тела кварц-полевошпатовых метасоматитов, содержащие в зальбандах анхимономинеральные скопления пирохлора, объемом до нескольких кубических метров. Содержание пирохлора в этих скоплениях достигает 70—98%. Многие из аксессуарных и второстепенных минералов содержат в повышенных количествах уран и торий. В большинстве из них торий значительно преобладает над ураном, особенно в минералах внешних ореолов метасоматитов. И лишь в пирохлоре и несравненно менее распространенных фергусоните и самарските уран преобладает над торием. Содержание урана в пирохлоре составляет 1—2% при отношении тория к урану 0,3—1,0.

Съемкой масштаба 1 : 25 000 со станцией АСГ-48М на самолете АН-2 зафиксированы интенсивные аномалии над рудами и околорудноизмененными породами. Аномалия содержания тория (до $100 \cdot 10^{-4}\%$) установлена во внешнем ореоле фельдшпатизированных, флюоритизированных и окварцованных пород одного из тел метасоматитов (рис. VII.3). Характерно, что содержание урана в этих породах почти не повышается. Это соответствует имеющимся геологическим данным о преимущественном развитии ториевых и торийсодержащих минералов в зонах измененных пород вокруг тел метасоматитов.

Участки с аномальным содержанием калия в районе месторождения имеют линейные очертания, что, по-видимому, свидетельствует о наиболее интенсивной миграции калия вдоль зон тектонических нарушений. Наиболее интенсивный максимум (до 6—7% на фоне 2—3%) приурочен к северной части тела, второй, имеющий четкое северо-восточное простирание, пересекает южную часть тела и выходит за его пределы. Южнее параллельно ему располагается третий, менее интенсивный (до 4%) максимум содержания калия. Эти максимумы, очевидно, соответствуют участкам наиболее интенсивно проявленной микроклинизации пород, которая наряду с альбитизацией является одним из ведущих процессов метасоматического преобразования вмещающих толщ.

Если повышенные содержания тория и калия характерны для различных типов метасоматических пород, то по повышенным содержаниям урана среди метасоматических пород выявляются

наиболее крупные рудные тела с богатым пирохлоровым оруденением. Урановая аномалия, зафиксированная в пределах тела метасоматитов, имеет сложное строение и состоит из нескольких линейных. Наиболее интенсивная (до $36 \cdot 10^{-4}\%$) аномалия содержания урана протягивается в северо-северо-восточном направлении, непосредственно примыкая с востока к раздому, где известен наиболее крупный выход богатых руд месторождения и

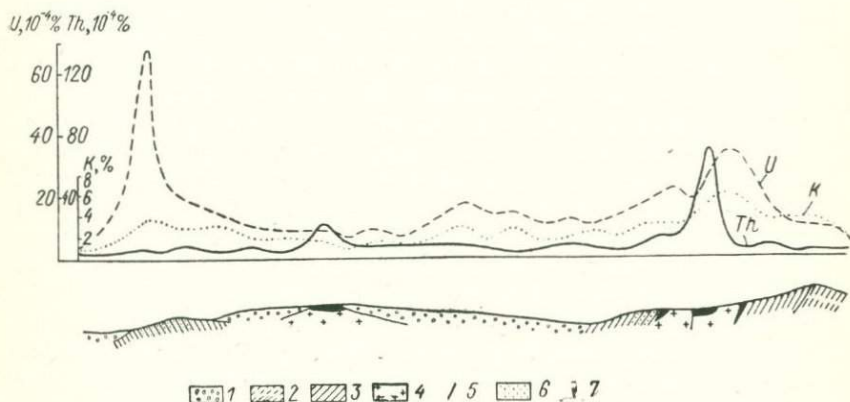


Рис. VII.3. Геологический разрез через рудное поле с графиками содержаний радиоактивных элементов по АГСМ-данным.

1 — четвертичные отложения (ледниковые и аллювиальные); 2 — метаморфизованные песчаники и алевролиты (нижний протерозой); 3 — кристаллические сланцы и гнейсы (архей?); 4 — щелочные метасоматиты; 5 — разрывные нарушения; 6 — окварцованные, фельдшпатизированные, флюоритизированные породы с редкоземельной минерализацией; 7 — рудные тела.

гигантские анхимономинеральные пирохлоровые скопления. Отношения тория к урану здесь снижается до 1,8—2,5, в то время как во внешних ореолах метасоматитов оно повышается до 10—25. Над рудными телами вдоль контакта метасоматитов зафиксированы лишь отдельные локальные аномалии небольшой интенсивности, что, вероятно, объясняется их малой мощностью.

Наиболее протяженная ветвь урановой аномалии прослеживается в северо-восточном направлении, пересекает тело метасоматитов. Имеющиеся сведения о геологическом строении месторождения не дают объяснения этой аномалии. Весьма вероятно, что она представляет интерес на поиски богатого пирохлорового оруденения.

Таким образом, весьма интенсивные и контрастные содержания радиоактивных элементов в рудах и околорудноизмененных породах создают благоприятные предпосылки для поисков редкометалльных щелочных метасоматитов АГСМ-методом. Перспективными на подобное оруденение являются аномалии высокой интен-

сивности, причем характерна пространственная сопряженность участков, резко обогащенных торием ($\text{Th}/\text{U} \approx 10 \div 25$), с участками, обогащенными ураном ($\text{Th}/\text{U} \approx 1 \div 2$ и менее).

Редкометалльные граниты

Месторождения данного генетического типа являются в настоящее время наиболее перспективным источником получения тантала. Они представлены интенсивно метасоматически измененными альбитизированными, грейзенизированными, микроклинизированными гранитами, содержащими рассеянную вкрапленность тантал-ниобиевых минералов.

Применение АГСМ-метода для поисков подобных месторождений иллюстрируется двумя примерами месторождений Восточной Сибири. Эти месторождения являются классическими для данного типа и детально изучались А. А. Беусом, А. А. Ситниным, Э. А. Северовым, Н. Е. Залашковой, А. М. Гребенниковым, Ю. И. Темниковым и другими [2, 47, 75]. Закономерности распределения радиоактивных элементов на этих месторождениях и результаты АГСМ-работ приведены в статьях [14, 24].

Месторождение 1. Массив танталоносных апогранитов является куполовидным выступом гранитной интрузии позднеюрского возраста, располагающейся в активизированной области стабильной палеозойской глыбы. К востоку от этого куполовидного выступа расположен более крупный выход на поверхность гранитов интрузии. Вмещающие интрузию слабометаморфизованные вулканогенно-осадочные породы палеозойского возраста на значительной площади вокруг интрузии ороговикованы, местами окварцованы.

Постмагматические преобразования гранитов проявлены в их микроклинизации, мусковитизации, окварцевании, грейзенизации, альбитизации, амазонитизации. Граниты главного штока значительно слабее изменены, в них проявлены лишь ранние фазы метасоматического процесса: микроклинизация и мусковитизация. Редкометалльные минералы представлены здесь монацитом, фергусонитом, циртолитом и колумбитом, содержащими в повышенных количествах уран и торий.

Наиболее сильно постмагматические изменения проявлены в куполовидном выступе. В современном срезе верхняя часть купола эродирована, и танталоносные апограниты слагают узкую полосу шириной 20—150 м вдоль эндоконтакта. Центральная часть выхода на поверхность, а также более глубокие горизонты купола сложены мусковитовыми и двуслюдяными порфирированными гранитами.

Среди апогранитов по соотношению альбита, амазонита, мусковита и литиевых слюд выделяется несколько разновидностей, характеризующихся также переменным соотношением минералов-концентраторов тантала и ниобия: танталит-колумбита,

микролита, стрюверита. Эти минералы в переменных количествах содержат уран, наибольшая концентрация его (до 4%) отмечена в микролите.

АГСМ-съемкой масштаба 1:25 000 со станцией АСГ-48М в районе месторождения зафиксированы лишь малоинтенсивные локальные гамма-аномалии урановой природы, которые слабо проявлены на картах содержаний, но отчетливо выделяются

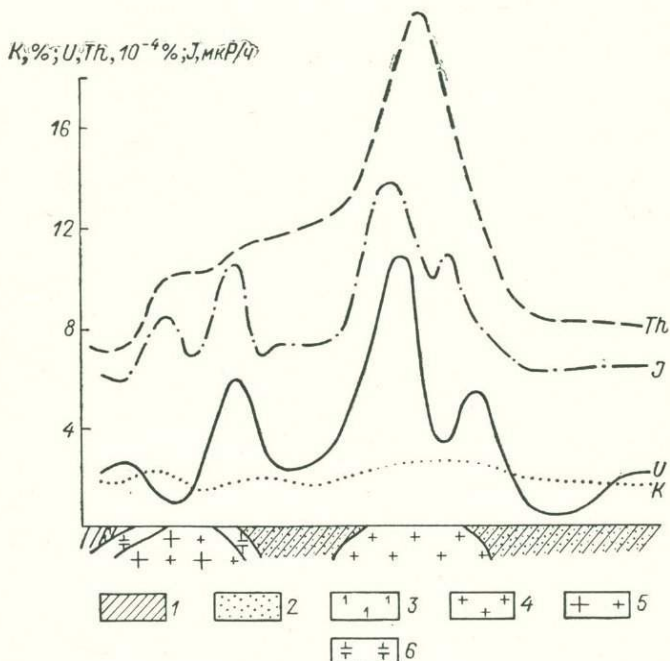


Рис. VII.4. Графики содержаний радиоактивных элементов и интенсивности гамма-излучения по профилю через месторождение тантала в апогранитах.

1 — песчано-сланцевая толща; 2 — ороговикование; 3 — диабазовые порфириды; 4 — двуслюдяные и мусковитовые граниты; 5 — порфирировидные мусковитовые граниты; 6 — амазонит-альбитовые апограниты.

на ленте записи (рис. VII.4). Эти аномалии приурочены к эндоконтактной части гранитного купола, т. е. к зоне развития рудоносных апогранитов, их локальность и малая интенсивность связаны с малой мощностью рудоносной эндоконтактной зоны.

Наземные гамма-спектрометрические работы на западном эндоконтакте массива апогранитов позволили установить приуроченность аномалии содержания урана (до $23 \cdot 10^{-4}\%$) к танталосодержащим амазонитовым гранитам. Отношение тория к урану в этих породах снижается до единицы, а содержание калия, несмотря на широкое развитие альбита, сохраняется достаточно высоким или даже повышается в обогащенных амазонитом разностях.

В южном эндоконтакте главного штока, где известны небольшие проявления редкометальной минерализации, интенсивность гамма-излучения по аэроданным более высокая.

Месторождение 2 во многом аналогично вышеописанному. Небольшой массив танталоносных апогранитов (1,5 км²) прорывает песчано-сланцевую толщу юрского возраста и приурочен к своду антиклинальной складки. Основная часть вскрытой поверхности массива сложена литионит-амазонит-альбититовыми апогранитами порфиробластовой структуры. Среди них выделяются криофиллитовые разности с колумбитом и лепидолитовые разности с пироклор-микролитом и танталит-колумбитом. Последняя разновидность представляет собой наиболее ценные танталовые руды, слагающие эндоконтактные и апикальные участки массива. Кроме того, богаты танталом мелкозернистые разности апогранитов, развитые в зонах повышенной трещиноватости. Основным минералом — концентратором тантала является пироклор-микролит, в меньшей степени — колумбит. По данным В. В. Матиаса, пироклор-микролит содержит также наибольшее количество урана (более 8%). Из других акцессорных минералов в апогранитах наиболее широко представлен касситерит, в меньших количествах содержатся циркон, вольфрамит, монацит и др.

В экзоконтакте массива развиты жилы топазово-слюдисто-кварцевых грейзенов с касситеритом, реже станнином, а также кварц-вольфрамитовые жилы, сопровождающиеся грейзенизацией вмещающих осадочных пород. В касситеритсодержащих жилах установлен торит и другие торийсодержащие минералы.

АГСМ-съемкой покрыта лишь северная часть месторождения, где расположены участки с оловянной минерализацией, массив апогранитов пересечен лишь одним профилем, который проходит по его северному эндоконтакту. На этом профиле установлено повышение интенсивности гамма-излучения чисто урановой породы радиоактивности [до $(7 \div 8) \cdot 10^{-4}$ на фоне $(2 \div 3) \cdot 10^{-4}$], соответствующее выходу амазонитовых апогранитов. Участок с оловянной минерализацией зафиксирован аномалией тория (до $20 \cdot 10^{-4}\%$) и калия (до 3,5% на фоне 2%). Наземными гамма-спектрометрическими измерениями по профилю через массив апогранитов и его экзоконтактные части подтверждена приуроченность существенно урановых аномалий к апогранитам, ториевых аномалий — к участкам развития оловянной и вольфрамовой минерализации в эндоконтакте рудоносного гранитного массива (рис. VII.5).

Распределение радиоактивных элементов на этом месторождении обнаруживает яркое сходство с закономерностями, отмеченными выше на месторождении редкометальных щелочных метасоматитов: в танталовых зонах концентрируется уран, давая аномалии с низким торий-урановым отношением, а во внешних частях месторождения локализуется существенно ториевая

минерализация. По-видимому, это характерная особенность танталовых концентраций, и ее следует учитывать при поисках месторождений тантала АГСМ-методом.

При АГСМ-работах выявлено несколько тантал-ниобиевых рудопроявлений. Одно из них обнаружено при проверке весьма интенсивной локальной ториевой аномалии (около $100 \cdot 10^{-4} \%$

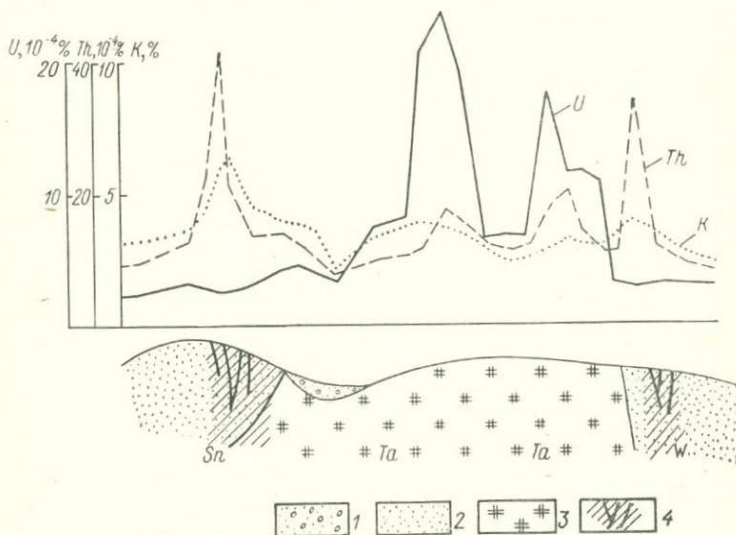


Рис. VII.5. Распределение радиоактивных элементов по профилю через массив редкометальных амазонитовых гранитов.

1 — аллювиальные четвертичные отложения; 2 — песчано-сланцевая толща; 3 — апограниты с ниобий-танталовой минерализацией; 4 — кварцеворудные жилы в грейзенизированных вмещающих породах.

с воздуха), остальные зафиксированы локальными гамма-аномалиями средней интенсивности с существенно урановой природой радиоактивности.

VII.3. ГРЕЙЗЕНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ОЛОВА, ВОЛЬФРАМА И МОЛИБДЕНА

Грейзеновые месторождения подразделяются на две рудные формации: олово-вольфрамовую и вольфрам-молибденовую, которые обычно располагаются в разных металлогенических провинциях. Из других полезных ископаемых практический интерес в грейзеновых рудах может представлять висмут. Однако независимо от вида полезного ископаемого состав грейзенов остается сходным, а их радиогеохимическая специализация — тождественной, что заставляет рассматривать их совместно. Следует отметить, что к классу грейзеновых месторождений мы

относим и кварцевожильные руды, для которых грейзенизация вмещающих пород является ведущим типом окolorудных изменений.

Изучение разновозрастных грейзеновых месторождений в Центральном Казахстане, Восточном Забайкалье, Приморье и на Северо-Востоке СССР показало, что во всех случаях они выделяются однотипными аномалиями; некоторые различия существуют лишь между месторождениями, залегающими в материнских гранитах (эндогрейзены) и в надвпнрузивной зоне (экзогрейзены).

Выше отмечалось (см. гл. I.2), что рудные поля грейзеновых месторождений наследуют радиогеохимические черты вмещающих пород. Эта особенность ярко проявлена в месторождениях Казахстана, которые считаются классическими представителями грейзенового оруденения. Наиболее характерные месторождения района изучены АГСМ-методом. Съемка выполнена с макетом высокоточного спектрометра ГСА-70 на самолете Ан-2, в масштабе 1 : 25 000, по системе прямолнейных маршрутов с фотопривязкой (месторождение X, Байназар) или привязкой по подвижным ориентирам (Коунрад).

Молибдено-вольфрамовое месторождение X приурочено к массиву лейкократовых гранитов и его экзоконтактовой зоне (рис. VII.6). Район месторождения сложен песчано-сланцевой толщей силура, перекрытой в западной половине площади сложенно-строеными вулканогенными образованиями каменноугольного возраста. Эти образования разграничены крупным тектоническим нарушением. Вулканические породы являются нестрыми по составу, но преобладающим распространением пользуются липарито-дациты, их туфы и игнимбрнты.

Интрузивные образования относятся к двум комплексам: топарскому, представленному массивом адамеллитов (C_{2-3}), и рудоносному акчатаускому (P_2).

Обнаженная часть рудоносного массива является относительно небольшим купольным выступом крупного лакколитообразного плутона лейкократовых гранитов [86]. Массив сформировался в течение трех последовательных фаз внедрения, причем контакты между разновозрастными гранитами эруптивные, граниты каждой фазы имеют контактовые фации и зоны закалки. I фаза представлена крупнозернистыми биотитовыми гранитами и резко порфиоровидными гранитами с мелкозернистой основной массой — в совокупности они слагают ббльшую часть массива. Граниты II фазы являются среднезернистыми аляскитами; мелкозернистые граниты III фазы слагают мелкие пластообразные тела и штоки, тяготеющие к контакту пород I и II фаз. Автометасоматические процессы выражаются в слабой и равномерно проявленной по площади калишпатизации и альбитизации.

Постмагматические изменения начинаются с образования полевошпатовых метасоматитов, за которыми следует грейзенизация,

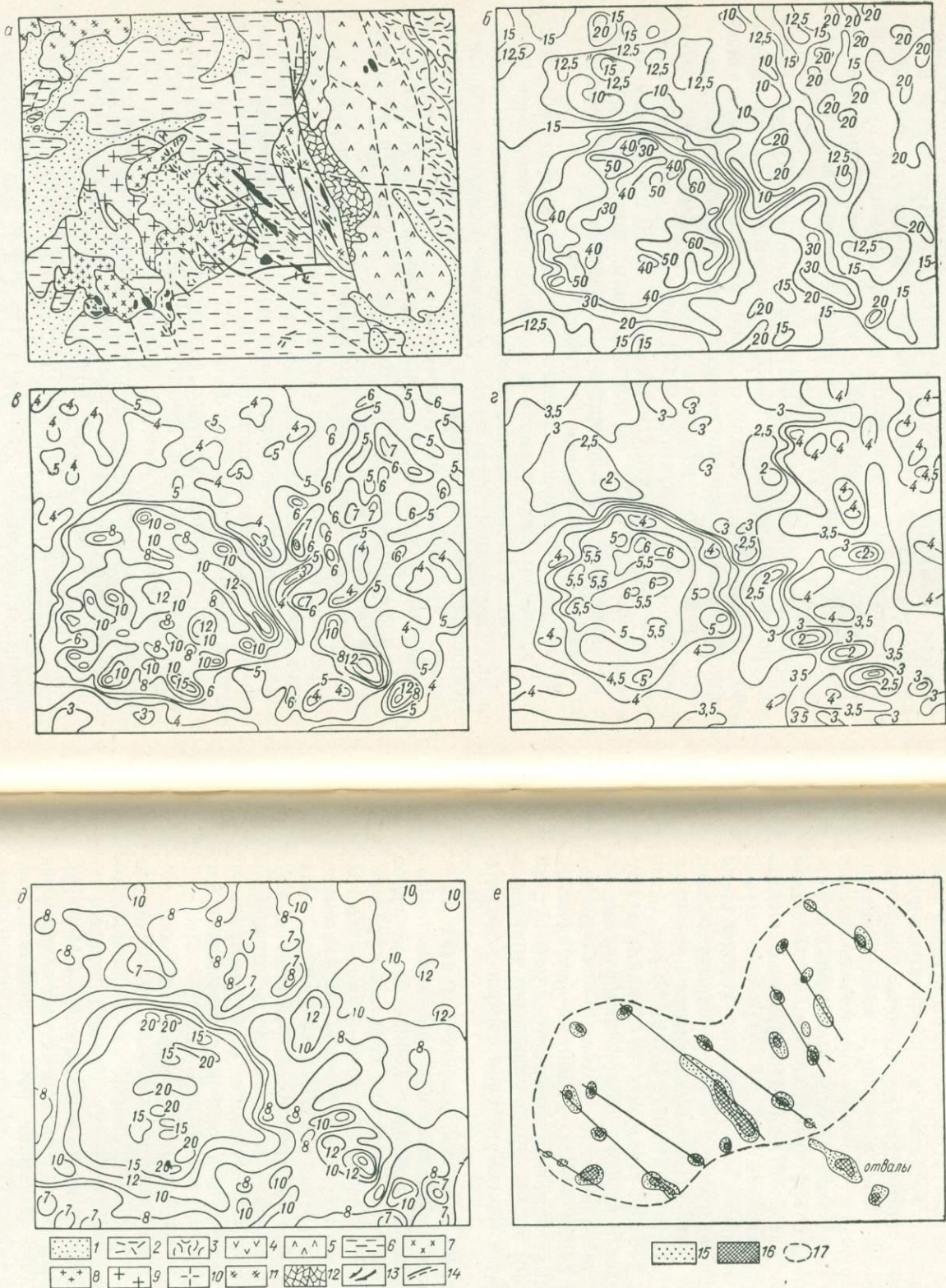


Рис. VII.6. Результаты АГСМ-съемки (ГСА-70) в районе месторождения X.

Карты: а — геологическая (по В. И. Серых, 1971 г.), б — содержания тория, $10^{-4}\%$, в — содержания урана, $10^{-4}\%$, г — содержания калия, %, д — гамма-поля, мкР/ч, е — перспективности по АГСМ-данным. 1 — четвертичные отложения; 2 — туфы липаритового состава (C_{2-3}); 3 — липарито-дацитовые игнимбриты и фельзит-порфиры (C_{2-3}); 4 — андезит-дацитовые порфириты (C_2); 5 — липарит-дациты и их туфы (C_1); 6 — песчаники, сланцы (S_1); акчатауский комплекс (P_2): 7 — мелкозернистые граниты III фазы; 8 — среднезернистые граниты II фазы; 9 — мелкозернистые порфировидные граниты (дополнительная интрузия I фазы); 10 — крупнозернистые граниты I фазы; 11 — адамеллиты (C_{2-3}); 12 — вторичные кварциты; 13 — рудоносные грейзены; 14 — тектонические нарушения, установленные и предполагаемые. Превышение над фоном, $10^{-4}\%$ урана: 15 — < 2 ; 16 — > 2 ; 17 — контур рудного поля.

отложение рудного вещества и новая стадия калий-натрового метасоматоза. Более поздние изменения проявлены слабо и на локальных участках.

Интенсивная грейзенизация как в самом массиве, так и за его пределами приурочена к системе субпараллельных разрывных нарушений. Основными типами грейзенов являются кварц-топазовые и кварц-мусковитовые, причем первые тяготеют к внутренней, а вторые — к внешней зоне метасоматической колонки. Собственно грейзены окружены ореолом грейзенизированных пород. Состав грейзенов не зависит от типа вмещающих пород: гранитов, адамеллитов, кислых эффузивов и сланцев. Основная масса рудных минералов сосредоточена в кварцевых жилах, приуроченных к ядрам грейзеновых тел.

Съемка показала, что в районе месторождения породы резко различаются по общей радиоактивности и фоновому содержанию радиоактивных элементов (рис. VII.6). Наименьшие концентрации урана $[(3 \div 5) \cdot 10^{-4} \%$], тория $[(10 \div 15) \cdot 10^{-4} \%$] и калия (2—3%) характерны для песчано-сланцевых отложений; в вулканоплутоническом комплексе карбона содержание радиоактивных элементов заметно увеличивается: урана $(5 \div 6) \cdot 10^{-4} \%$, тория $(15 \div 20) \cdot 10^{-4} \%$ и калия 3—4%. Высокими аномальными полями всех радиоактивных элементов выделяется Акчатауский гранитный массив $[(8 \div 10) \cdot 10^{-4} \%$ урана, $(40 \div 65) \cdot 10^{-4} \%$ тория, 4—6,5% калия], причем максимум тория содержат граниты II фазы.

Зоны рудоносных грейзенов в акчатауских гранитах выделяются линейно-вытянутыми аномалиями или цепочками локальных аномалий чисто урановой природы: концентрация урана в грейзенах достигает $12 \cdot 10^{-4} \%$, вследствие чего торий-урановое отношение в грейзеновых зонах снижается до 3—4 (с 6—8 в гранитах). Эти данные хорошо согласуются с результатами наземных гамма-спектрометрических измерений [29]. Отмечаемое Э. И. Ивановой снижение торий-уранового отношения в грейзенах на глубоких горизонтах месторождения обусловлено не привнесением тория в грейзены, а снижением фонового содержания тория в гранитах по мере удаления от контакта в глубь массива (см. ниже месторождения Восточного Коунрада).

Своеобразно распределение калия по площади массива: содержание элемента максимально в его центральной части, где грейзенизация проявлена слабо, и снижается в апикальных наиболее грейзенизированных участках. Среднее содержание K_2O в гранитах акчатауского комплекса составляет 4,11% [18, 86], в то время как большая часть гранитов изученного массива содержит свыше 5% калия. Наземные работы показали, что аномально высокое содержание калия обусловлено интенсивным развитием гидротермальной догрейзеновой калишпатизации, которая может быть сопоставлена с калишпатизацией II, выделяемой Г. Н. Щербой [86], но проявлена в несравненно больших

масштабах, чем отмечается этим исследователем. Поскольку гидротермальная калишпатизация является первой стадией рудного процесса, наличие площадных калиевых аномалий в массивах акчатауского комплекса является важным признаком их рудоносности.

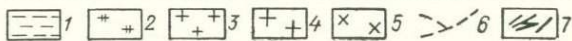
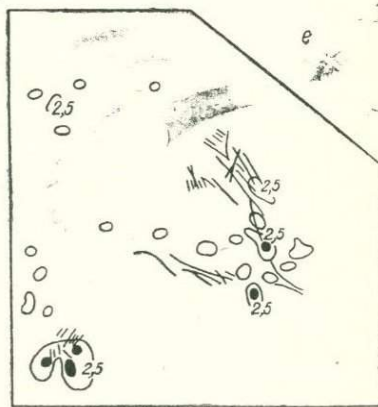
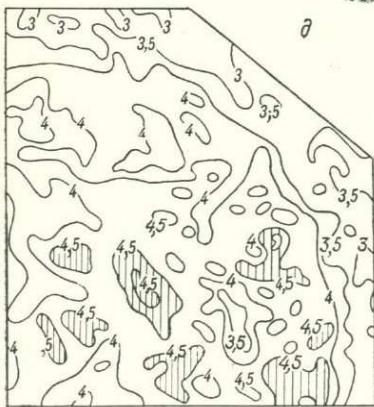
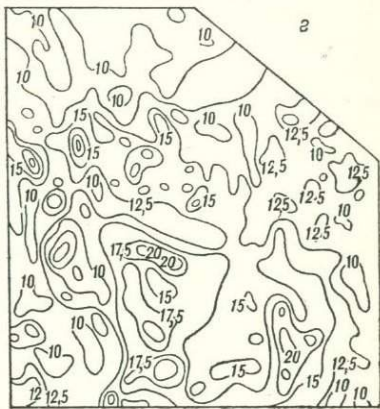
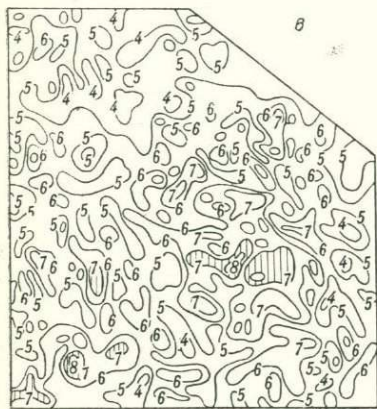
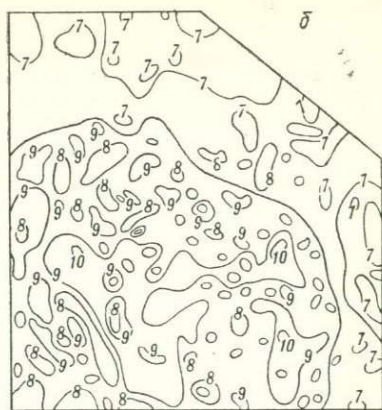
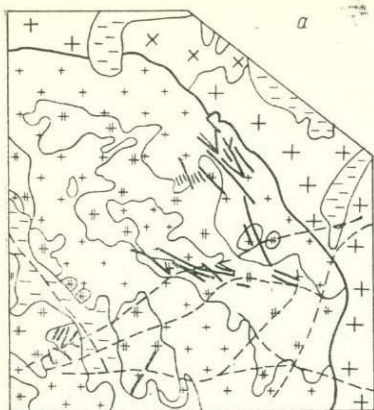
Грейзеновые тела в надынтрузивной зоне также фиксируются урановыми аномалиями, но гораздо меньшей интенсивности, чем эндогрейзеновые участки. Приращение содержания урана над фоном составляет $(1 \div 3) \cdot 10^{-4}\%$.

Интерпретация результатов АГСМ-съемки показала, что рудные участки месторождения можно выделить статистическими методами распознавания образов и по максимальным значениям параметра UK/Th . (В последнем случае контрастной аномалией выделяется также поле вторичных кварцитов, расположенное восточнее адамеллитового массива). Однако простейшим способом локализации оруденения оказалось выделение локальных урановых аномалий, не сопровождаемых повышением других радиоактивных элементов. По интенсивности аномалии были разделены на две градации: перспективные — ΔU до $2 \cdot 10^{-4}\%$ и весьма перспективные — $\Delta U > 2 \cdot 10^{-4}\%$ (рис. VII.6). Соединив аномалии линиями в соответствии с их естественной группировкой и известным простиранием рудных тел, выделили практически все известные рудоносные зоны месторождения и наметили новые участки, перспективные на молибдено-вольфрамовое оруденение.

К гранитному массиву акчатауского комплекса приурочено и Восточно-Коунрадское рудное поле, объединяющее несколько сближенных месторождений: Восточный и Северный Коунрад, Вольфрамовые сопки и ряд рудопроявлений (рис. VII.7). Все они относятся к грейзеновой молибдено-вольфрамовой формации и залегают в пределах материнского интрузива; экзогрейзенов в связи с Коунрадским массивом не установлено.

По составу, строению и последовательности образования пород Коунрадский массив схож с вышеописанным массивом. Здесь также выделяются три фазы внедрения лейкократовых гранитов, представленных крупно-, средне- и мелкозернистыми разновидностями. Большая часть массива сложена гранитами I и II фаз, они показаны на карте (рис. VII.7) единым полем. Особенностью массива является широкое распространение мелкозернистых гранитов III фазы, образующих обычно крупные пластообразные тела.

Автометасоматические и пневматолито-гидротермальные преобразования гранитов укладываются в схему, описанную на месторождении X. Молибденовые и вольфрамовые месторождения Восточно-Коунрадского рудного поля представляют собой системы линейных и концентрических кварцевых жил, окруженных зонами грейзенов и грейзенизированных пород. Основным минеральным типом грейзенов является кварцево-слюдистые метасоматиты [84].



Съемка показала, что граниты Коунрадского массива резко отличаются от гранитов месторождения X по фоновым концентрациям урана и особенно тория (рис. VII.7). Очевидно, это связано с более глубоким уровнем эрозионного среза Коунрадского plutона. Среднее содержание урана в гранитах находится в пределах $(4 \div 6) \cdot 10^{-4}\%$, тория $(12,5 \div 17,5) \cdot 10^{-4}\%$. Как и на акчатауском массиве X, в районе рудных участков (но не в их пределах) отмечаются калиевые аномальные поля с содержанием элемента 4,5—6%, обусловленные догрейзеновой калишпатизацией пород. К грейзеновым зонам приурочены локальные и нелокальные урановые аномалии, в которых содержание элемента составляет $(7 \div 10) \cdot 10^{-4}\%$. Следует отметить, что почти вся площадь Восточного и Северного Коунрада перекрыта рыхлыми отложениями мощностью 1 м и более. Тем не менее эти месторождения, как и хорошо обнаженные Вольфрамовые сопки, выделяются по АГСМ-данным вследствие присущей им специфической комбинации содержаний радиоактивных элементов. На рис. VII.7 показано выделение грейзеновых зон по максимальным значениям параметра $UK/Th = 2,5 \div 4$.

Сходная радиогеохимическая картина установлена и на Чаантальском олово-вольфрамовом месторождении Чукотки (рис. VII.8). Месторождение расположено в южной приконтактной части Иультинского массива, захватив как зону эндоконтакта, так и вмещающие песчано-сланцевые отложения [46]. Иультинский массив сложен среднезернистыми равномернозернистыми биотитовыми гранитами, среди которых залегают дополнительные интрузии гранит-порфиров. В пределах Чаантальского рудного поля, состоящего из нескольких участков, биотитовые граниты грейзенизированы и замещены телами грейзенов, к которым и приурочена касситеритовая и вольфрамитовая минерализация. Рудные минералы локализованы либо в кварцевых жилах, либо в мелких кварцевых прожилках, густой сетью пронизывающих грейзеновые зоны. Сами грейзены содержат вкрапленную рудную минерализацию. Мощность околосильных грейзенов составляет первые метры, мощность грейзеновых тел достигает нескольких десятков метров. По данным С. Ф. Лугова [46], Чаантальское месторождение глубоко эродировано и представляет собой корневые части рудных тел.

Рис. VII.7. Результаты АГСМ-съемки (ГСА-70) (Восточный Коунрад). Карты: а — геологическая (по Н. И. Большакову, 1969 г.), б — гамма-поля, мкР/ч, в — содержания урана, $10^{-4}\%$, г — содержания тория, $10^{-4}\%$, д — содержания калия, %, е — перспективности на грейзеновое оруденение по АГСМ-данным (значение параметра $QUQK/QTb$).

1 — четвертичные отложения; 2—3 — Коунрадский массив акчатауского комплекса (2 — мелкозернистые граниты III фазы; 3 — крупно- и среднезернистые граниты I и II фазы); 4 — гранодиориты и кварцевые диориты (С); 5 — граниты (С); 6 — разрывные нарушения; 7 — рудоносные грейзены.

В районе месторождения АГСМ-съемка выполнена на вертолете Ми-4 со станцией АСГ-48М2 в масштабе 1 : 25 000 (Г. И. Кузьмин и другие). По содержанию радиоактивных элементов Иультинский

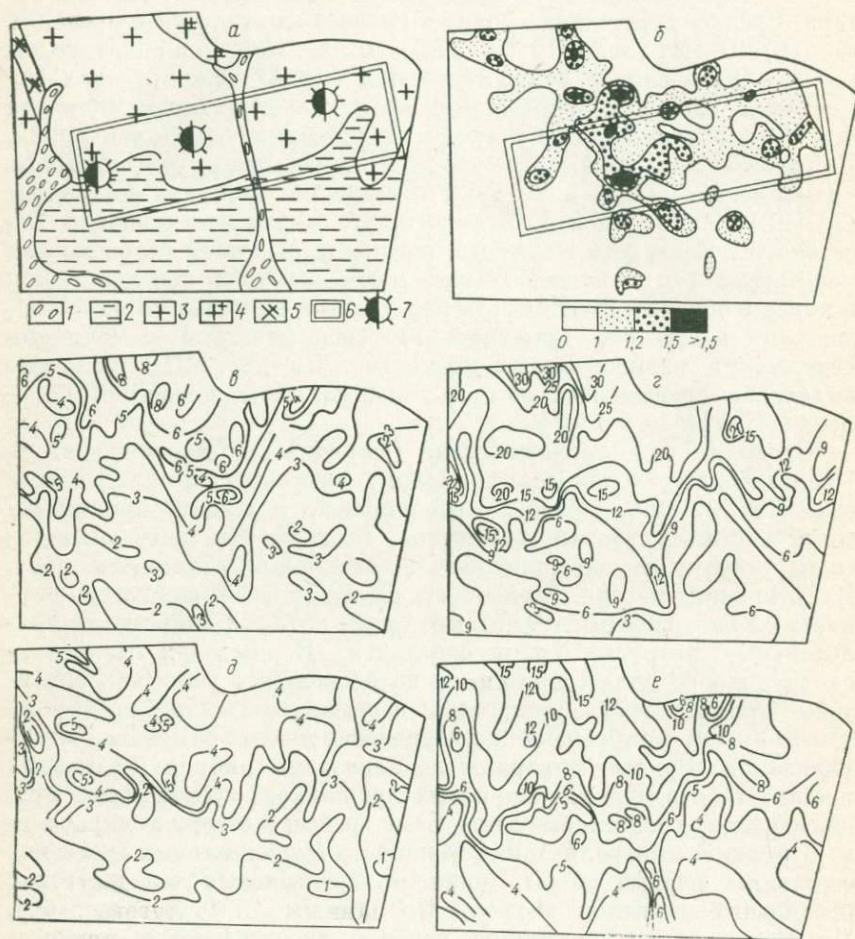


Рис. VII.8. Выделение Чаанталского олово-вольфрамового рудного поля (Чукотка).

Карты: а — геологическая (по Е. Г. Бордюгову и другим, 1965 г.), б — перспективности на рудоносные грейзены по АГСМ-данным (значение параметра q_{UqK}/q_{Th}), в — е — АГСМ-данные (по Г. И. Кузьмину и др., 1973 г.): в — содержания урана, $10^{-4}\%$, г — содержания тория, $10^{-4}\%$, д — содержания калия, %, е — гамма-поля, мкР/ч. 1 — четвертичные отложения; 2 — песчаники и сланцы пермо-триаса; 3 — равномерно-зернистые биотитовые граниты; 4 — гранит-порфиры; 5 — порфировидные граниты; 6 — предполагаемый контур рудного поля; 7 — рудоносные участки.

массив близок к Коунрадскому, лишь в гранит-порфирах содержание урана, тория и калия несколько возрастает. Среднее содержание радиоактивных элементов в среднезернистых гранитах

составляет: урана $(4 \pm 0,5) \cdot 10^{-4}\%$, тория $(16 \pm 3) \cdot 10^{-4}\%$, калия $3,4 \pm 0,7\%$. В рудном поле Чаанталского месторождения содержание урана слабо возрастает, достигая на отдельных участках $7 \cdot 10^{-4}\%$, калия увеличивается, а содержание тория остается в пределах фона. Вследствие этого месторождение четко выделяется повышенным параметром UK/Th (рис. VII.8).

Грейзеновые месторождения надынтрузивной зоны отличаются от эндогрейзенов строением метасоматической колонки. Собственно грейзены слагают ее внутреннюю относительно мало-мощную часть, в то время как внешние зоны выполнены более низкотемпературными метасоматитами: обычно кварцевыми серицитолитами. Рассмотрим радиогеохимические особенности экзогрейзенов на примере двух месторождений: Байназарского (Казахстан) и Иультинского (Чукотка).

Район молибдено-вольфрамового месторождения Байназар имеет двухъярусное строение: нижний ярус представлен песчано-сланцевыми отложениями девона, верхний, залегающий несогласно, сложен кварцевыми порфирами и их туфами (рис. VII.9) карбонового возраста. Породы прорываются гранитами и гранодиоритами средне-позднекарбонового возраста, а также многочисленными дайками кислого и щелочного состава. Рудоконтролирующим является Байназарский массив лейкократовых гранитов акчатауского комплекса, не вскрытый на современной поверхности. Купольная часть массива подсечена буровыми скважинами на глубине 300—400 м под месторождением. Слюдяно-топазо-кварцевые грейзены образуют три зоны северо-западного простирания. Они окружены полем светлых кварц-серицитовых метасоматитов, которые далее сменяются хлоритизированными породами, постепенно переходящими в окружающие роговики и эффузивы. Месторождение Байназар относится к штокверковому типу. Рудные минералы приурочены к кварцевым и кварц-мусковитовым прожилкам, пронизывающим грейзеновые тела.

По АГСМ-данным фоновые содержания радиоактивных элементов в песчано-сланцевой и вулканогенной толщах весьма близки к аналогичным величинам в районе месторождения X (рис. VII.6, VII.9). В пределах Байназарского рудного поля установлены две слабоинтенсивные урановые аномалии, линейно вытянутые в северо-западном направлении в соответствии с простиранием рудоносных зон. Третья урановая аномалия расположена восточнее месторождения (рис. VII.9). Содержание калия также повышается в пределах рудного поля, а торий остается фоновым. Такие же содержания урана (больше $5 \cdot 10^{-4}\%$) и калия (3,5—5%) встречаются в вулcano-плутонических породах, но там они сопровождаются повышенными содержаниями тория [больше $(12,5 \div 15) \cdot 10^{-4}\%$]. Комбинации содержаний радиоактивных элементов в пределах рудного поля месторождения Байназар резко отличны от обычных, породных, что позволяет выделить

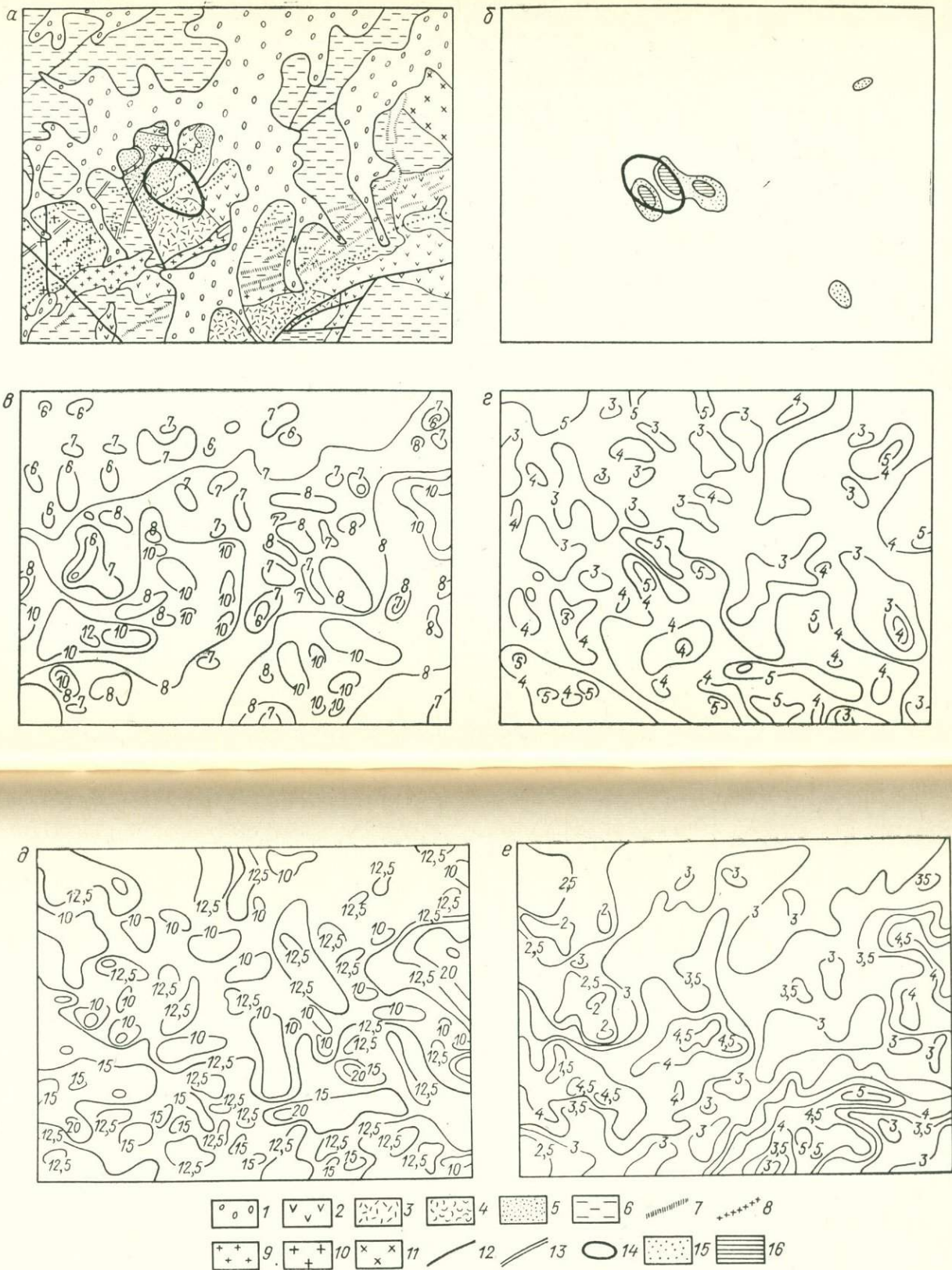


Рис. VII.9. Месторождение Байназар.

Карты: а — геологическая (по Ю. П. Ненашеву, М. И. Литваку и другим, 1971 г.), б — перспективности на грейзеновое оруденение по АГСМ-данным (метод отношения правдоподобия), в — гамма-поля, мкР/ч, г — содержания урана, $10^{-4}\%$, д — содержания тория, $10^{-4}\%$, е — содержания калия, %.

рудное поле путем статистической обработки АГСМ-данных (рис. VII.9).

К экзогрейзеновому типу относится олововольфрамовое месторождение Чукотки (Иультин), расположенное в юго-восточном экзоконтакте Иультинского гранитного массива. Рудное поле месторождения и прилегающая площадь сложены алевролитами и глинистыми сланцами перми и триаса, в различной степени ороговикованными, среди которых отмечаются дайки и мелкие тела гранитоидов. Крупный штوك материнских гранитпорфириров вскрыт на глубине 400 м под месторождением [46]. На площади месторождения выделяются два основных типа рудных тел: жилы и минерализованные зоны. Основные запасы месторождения связаны с кварцевыми жилами разнообразного, но преимущественно северо-восточного простирания. Жилы окружены зоной грейзенизированных пород, в зальбандах отмечаются слюдистые грейзеновые оторочки. Штокверковая минерализация приурочена к зонам грейзенизации в дайках и осадочных породах. Рудоносные грейзены тяготеют к юго-западной части рудного поля. Гораздо шире грейзенизации распространяется зона окварцованных и серицитизированных пород.

Съемка Иультинского месторождения выполнена с макетом высокоточного спектрометра ГСА-70, на вертолете Ми-4 в масштабе 1 : 25 000 (Г. И. Кузьмин и другие). По аэрогеофизическим данным высокими содержаниями всех радиоактивных элементов характеризуются прилегающие к месторождению части Иультинского гранитного массива (рис. VII.10). В песчано-сланцевой толще фоновое содержание урана составляет $(3 \div 4) \cdot 10^{-4}\%$, тория $(9 \div 12) \cdot 10^{-4}\%$, калия 1—2%. В пределах Иультинского рудного поля отмечаются аномалии урана [до $(6 \div 7) \cdot 10^{-4}\%$], калия (до 3,5%), обусловленные развитием околорудных метасоматитов. Интерпретация АГСМ-данных по методу распознавания образов позволила контрастно выделить юго-западную половину Иультинского рудного поля и другие рудные участки (рис. VII.10).

На рис. VII.11 приведена карта перспективности на олововольфрамовое оруденение восточной половины Иультинского рудного района по АГСМ-данным, полученным со станцией АСГ-48М2 (Г. И. Кузьмин и другие). Из карты видно, что удалось локализовать почти все известное оруденение и наметить новые поисковые участки.

Итак, поисковыми признаками на грейзеновое оруденение являются локальные и нелокальные урановые аномалии, интенсивность которых зависит от фоновых содержаний урана (см. рис. I.1). При этом материнские граниты, контролирующие молибдено-вольфрамовое оруденение, отличаются повышенными полями содержаний калия, к которым тяготеют рудные зоны. Экзогрейзеновые рудные поля обладают повышенными содержа-

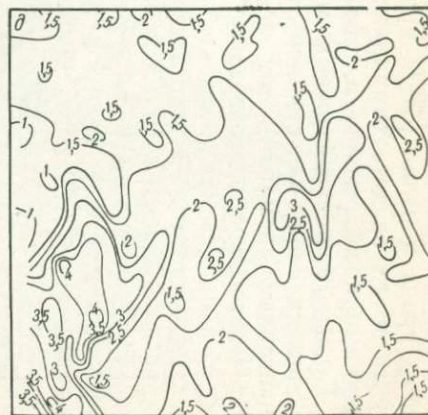
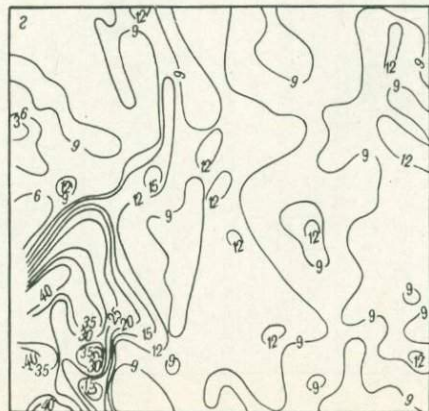
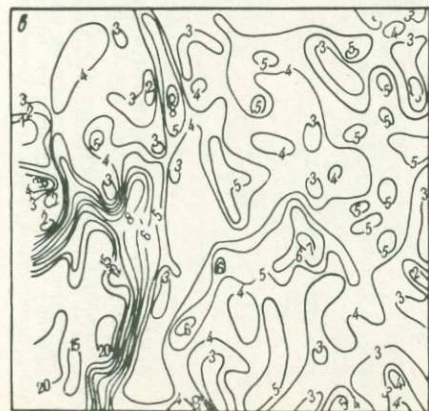
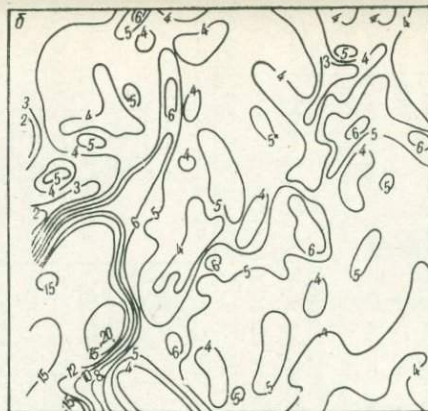
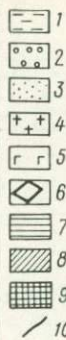
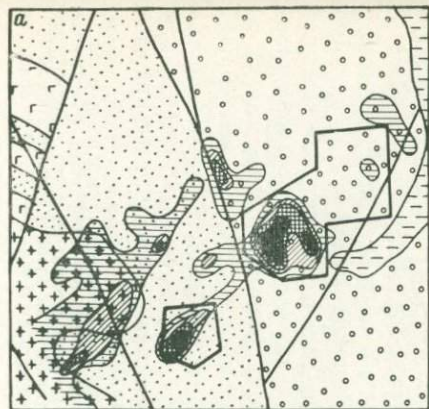


Рис. VII.10. Месторождение Иультин (Чукотка) (ГСА-70).

Карты: а — геологическая (по Е. Г. Бордюгову, 1965 г.), б — гамма-поля, мкР/ч, в — содержания урана, усл. ед., г — содержание тория, $10^{-4}\%$, д — содержание калия, %.

1 — четвертичные отложения; песчано-сланцевые отложения: 2 — триаса; 3 — перми; 4 — граниты; 5 — габброиды; 6 — контуры рудных полей; 7—9 — перспективность на грейзеновое оруденение по АГСМ-данным, рассчитанная по методу отношения правдоподобия: 7 — $5 \div 10$, 8 — $10 \div 20$, 9 — более 20; 10 — тектонические нарушения.

ниями урана и калия (более протяженными), что позволяет говорить об их радиогеохимическом сходстве с рудными месторождениями мезотермального типа.

Рудные поля грейзеновых месторождений могут быть выявлены как при качественной интерпретации (в случае ярко выраженных аномалий), так и при использовании параметра UK/Th и методов распознавания образов.

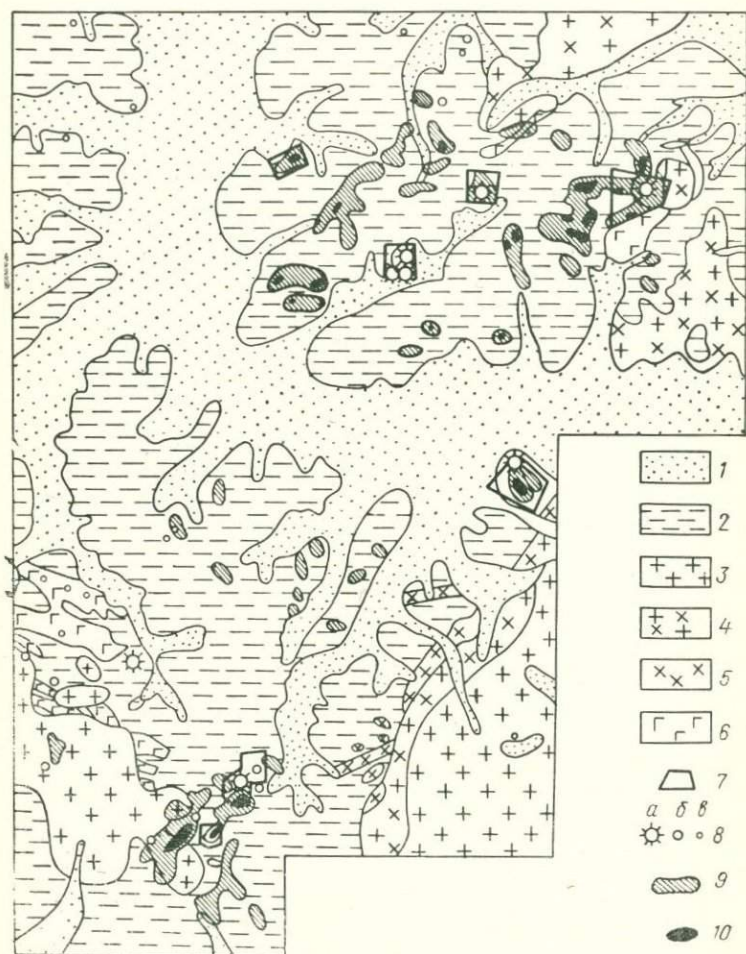


Рис. VII.11. Карта перспективности Иультинского района (Чукотка) на олово-вольфрамовое оруденение по АГСМ-данным.

1 — четвертичные отложения; 2 — песчано-сланцевые отложения триаса и перми; 3 — граниты; 4 — гранодиориты; 5 — диоритовые порфириты; 6 — габброиды; 7 — рудные поля месторождений; 8 — месторождения (а) и рудопроявления (б) олова и вольфрама, точки золоторудной минерализации (в); перспективность на олово и вольфрам по АГСМ-данным, рассчитанная по методу отношения правдоподобия: 9 — $5 \div 20$, 10 — более 20.

VII.4. МЕЗОТЕРМАЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА И МОЛИБДЕНА

В мезотермальном классе рудных месторождений широко представлены месторождения золота, молибдена, меди, полиметаллов и некоторые другие. Наиболее устойчивый парагенезис с радиоактивными элементами выявлен для руд золота и молибдена.

Изучение свинцово-цинковых месторождений, залегающих в карбонатных породах, показало, что нет привноса или перераспределения радиоактивных элементов при образовании этих руд. Имеется небольшое количество сведений о распределении радиоактивных элементов, а также некоторые общегеологические данные по месторождениям свинца и цинка в алюмосиликатных породах кислого и среднего состава (типа Новоширокоского, Забайкалье), свидетельствующие о принципиальной возможности поисков подобных месторождений гамма-спектрометрическим методом. Однако промышленная значимость таких месторождений невелика.

Месторождения меди по многим признакам близки к описанным ниже молибденовым месторождениям, что находит отражение, в частности, в образовании комплексных медно-молибденовых руд. Поэтому целесообразно изучить радиогеохимические особенности гидротермальных месторождений меди и выяснить характер аномалий в их пределах. Отметим, что для выделения перспективных на медь участков полезно использовать параметр

$$F = q_U q_K / q_{Tb}.$$

Молибденовые мезотермальные месторождения, по которым приводятся результаты АГСМ-работ [14], относятся к числу типовых, классических месторождений, особенности минералогии, геохимии, стадийности минералообразования которых рассмотрены во многих сводных работах по молибдену [60, 61]. Здесь много сходных черт в закономерностях размещения, последовательности минералообразования, поведения радиоактивных элементов.

1. Месторождения локализуются преимущественно среди интрузивных пород умеренно кислого и среднего состава, обнаруживая в то же время парагенетическую связь с более поздними малыми интрузиями более кислого состава, часто имеющими субвулканический характер.

2. Для месторождений молибдена характерно широкое проявление в околорудных породах процессов калиевого метасоматоза, который предшествует оруденению или близок по времени к нему. При этом более ранние метасоматиты имеют полевошпатовый или кварц-полевошпатовый состав, а более поздние — кварц-серицитовый. С низкотемпературными стадиями рудного процесса связывается аргиллизация вмещающих пород, имеющая обычно более локальное распространение. Количественные

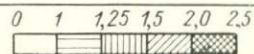
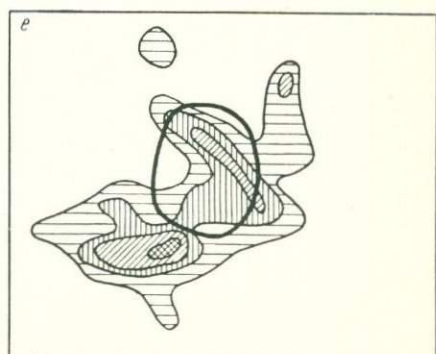
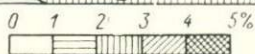
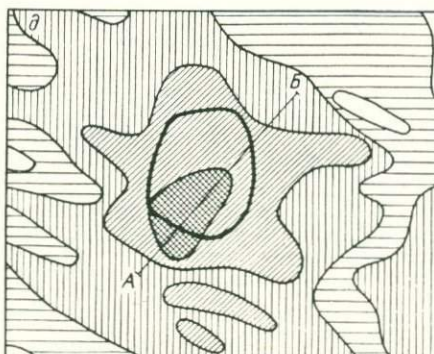
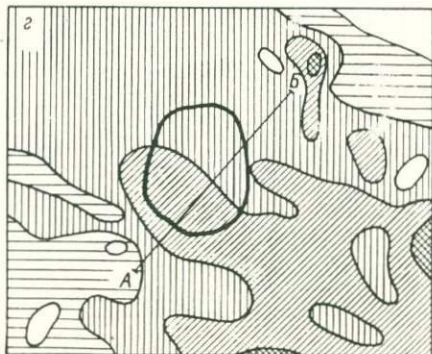
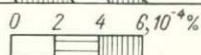
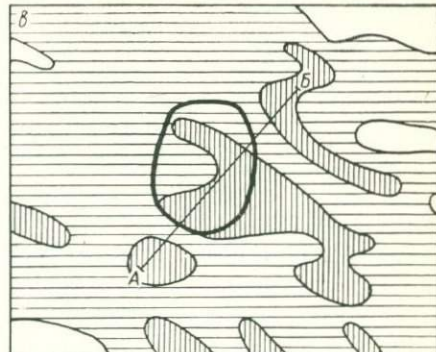
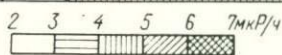
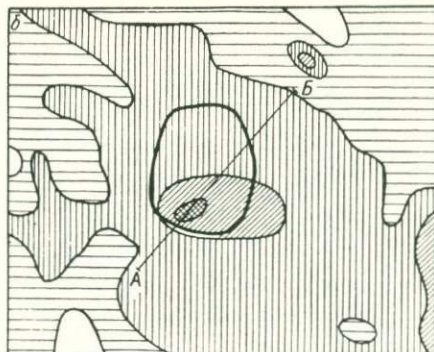
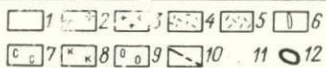
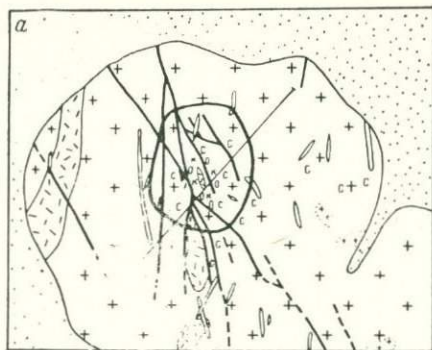


Рис. VII.12. Регистрация штокверкового молибденового месторождения Бугдай АГСМ-съемкой.

Карты: а — геологическая, б — гамма-поля, в — содержания урана, г — содержания тория, д — содержания калия, е — параметра $F = \frac{Qu}{qK/qTh}$.
 1 — четвертичные отложения; 2 — биогитовые, биогит-амфиболовые граниты, гранодиориты; 3 — мелкозернистые биогитовые граниты; 4 — кварцевые порфиры и фельзит-порфиры (F); 5 — туфы кислого состава; 6 — лапы гранит-порфира; 7 — серицитизация; 8 — калишпатизация; 9 — окварцевание; 10 — разрывные нарушения; 11 — границы фациальных разновидностей; 12 — контур штокверковых руд.

соотношения метасоматических пород разного состава могут значительно варьировать на разных месторождениях. Образование кварц-полевошпатовых и кварц-серицитовых метасоматитов приводит к повышению содержания калия в породе. Кварц-полевошпатовые метасоматиты могут также несколько обогащаться ураном и торием, причем обогащение обычно неравномерно по площади и закономерности распределения урана и тория в кварц-полевошпатовых метасоматитах еще не совсем ясны. Для кварц-серицитовых образований общим правилом является понижение отношения тория к урану, т. е. относительное накопление урана.

3. Рудные минералы в гидротермальных образованиях также отлагаются в довольно устойчивой последовательности. Вначале выделяются магнетит, шеллит, вольфрамит, некоторое количество молибденита и пирита. В основную рудную стадию выделяется молибденит с пиритом, халькопиритом, небольшим количеством других сульфидов, основная масса которых отлагается несколько позже. Заканчивается рудный процесс образованием жил халцедоновидного кварца, кварц-карбонатных, кварц-флюоритовых жил. Хотя намеченная последовательность выдерживается достаточно устойчиво, количество тех или иных минералов на разных месторождениях колеблется в широких пределах.

Из радиоактивных элементов в жилах иногда накапливается лишь уран, причем акцессорная урановая минерализация приурочена к наиболее поздним, пострудным жилам.

Указанные закономерности четко проявлены на обоих рассматриваемых месторождениях, относящихся к штокверковому типу, который в настоящее время рассматривается как наиболее перспективный и концентрирующий в себе подавляющую часть запасов молибдена как в СССР, так и за рубежом.

На Бугдаинском месторождении (Забайкалье) (рис. VII.12), характеризующемся интенсивным проявлением калиевого метасоматоза в предрудную и рудную стадии (при весьма ограниченном распространении образований поздних стадий рудного процесса) непосредственно в рудном штокверке и его периферии фиксируется повышение содержания калия на 1,5—2,5%. Наземные исследования (рис. VII.13) показали, что это повышение связано с калишпатизированными, окварцованными, серицитизированными гранитоидами и кварц-серицитовыми метасоматитами, вмещающими оруденение. Слабое повышение содержания урана [до $(5 \div 6) \times 10^{-4}\%$ на фоне $3 \cdot 10^{-4}\%$] в пределах

месторождения соответствует восточной половине кольцевого штокверка и выходит за его пределы. Однако за пределами месторождения повышение содержания урана сопровождается повышением содержания тория, т. е. чет относительного накопления урана.

На месторождении Жирекен (Забайкалье), где наряду с калишпатизацией и серицитизацией гранитоидов интенсивно проявлены окварцевание и аргиллизация, а также пострудные образования (кварцевые, кварц-карбонатные жилы и прожилки, содержащие акцессорную урановую минерализацию), четкой калиевой аномалии не зафиксировано, по периферии месторождения отмечена кольцевая аномалия содержания урана (рис. VII.14).

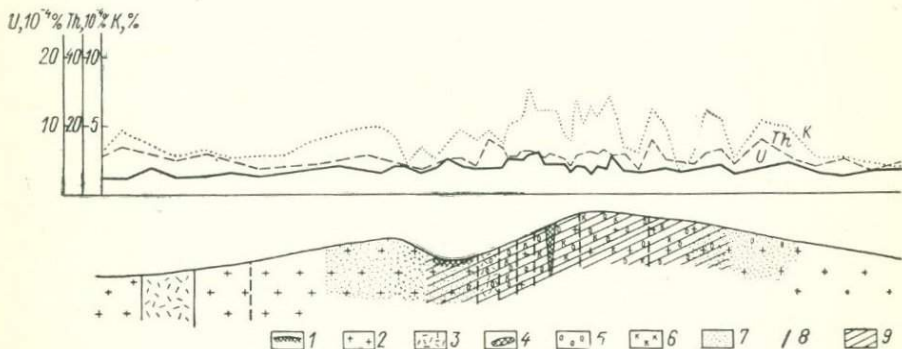


Рис. VII.13. Распределение радиоактивных элементов по профилю через молибденовое месторождение Бугдая по гамма-спектрометрическим данным. 1 — рыхлые четвертичные отложения; 2 — биотитовые, биотит-амфиболовые граниты, гранодиориты; 3 — кварцевые порфиры, гранит-порфиры; 4 — вторичные кварциты; 5 — окварцевание; 6 — калишпатизация; 7 — серицитизация; 8 — разрывные нарушения; 9 — зона развития рудных жил и прожилков.

Вместе с картами содержаний радиоактивных элементов по обоим месторождениям приведены карты распределения интерпретационных параметров, помогающие выделить оруденение.

Эмпирическое отношение правдоподобия l в районе месторождения Жирекен (рис. VII.14) достигает 12—15, аномальные значения распространены несколько шире контура развития молибденовой минерализации за счет горизонтальной зональности месторождения.

Анализ перспективных сочетаний (обладающих большими значениями l), определенных для обоих месторождений, показал: большинство из них характеризуется повышенными содержаниями калия и пониженным отношением тория к урану, что вполне логично с точки зрения радиогеохимических особенностей месторождений. Поэтому месторождения выделяются и более простым способом: по величине $F = q_U q_K / q_{Th}$ (рис. VII.12). На рис. VII.15 приведен пример интерпретационной карты, построенной в изолиниях параметра l на довольно большой площади, включающей

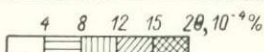
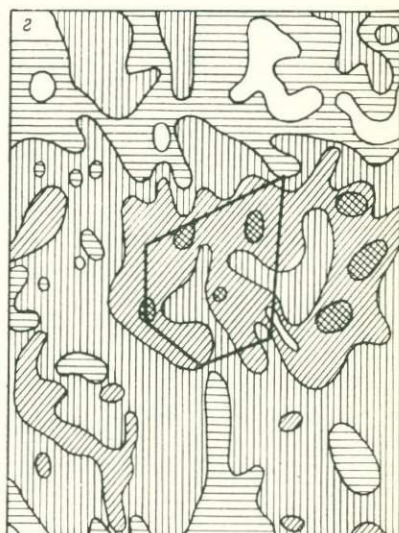
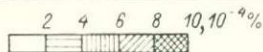
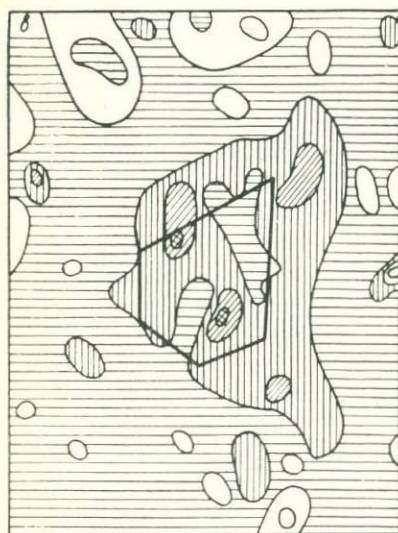
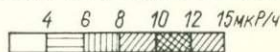
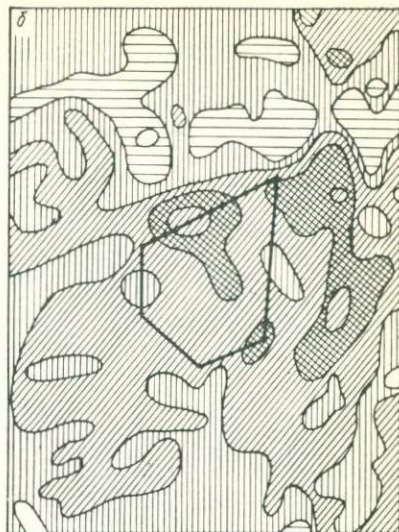
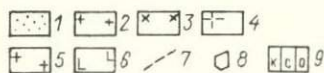
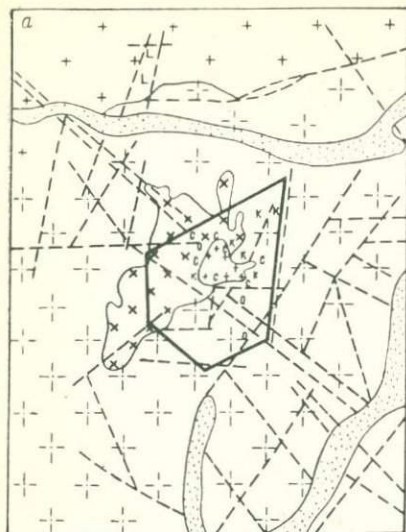


Рис. VII.14. а—г (продолжение см. на с. 160).

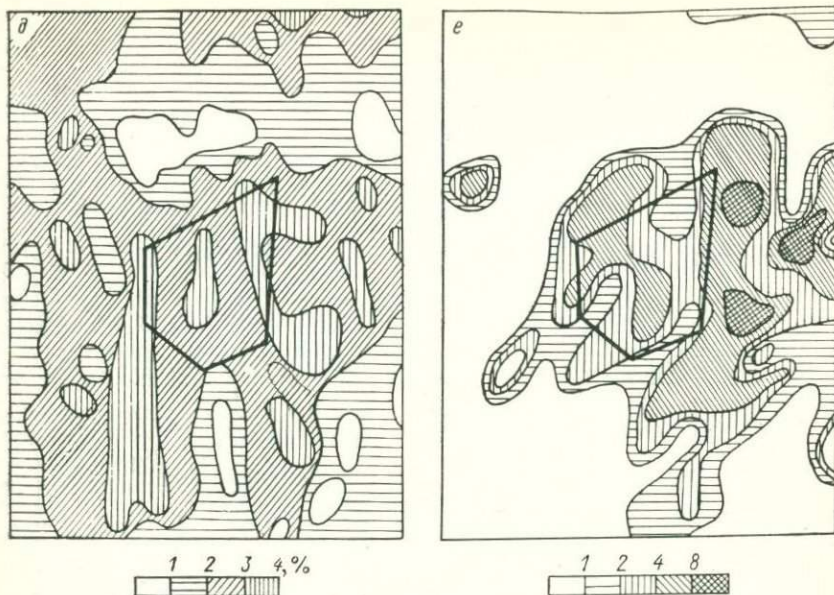


Рис. VII.14. Результаты АГСМ-работ в районе штокверкового молибденового месторождения Жирекен (Забайкалье).

Карты: *a* — геологическая, *б* — гамма-поля, *в* — содержания урана, *г* — содержания тория, *д* — содержания калия, *е* — параметра *l*.
 1 — аллювиальные четвертичные отложения; 2 — гранит-порфиры, кварцевые порфиры ($\gamma_1 J_2$); 3 — мелкозернистые биотитовые, биотит-роговообманковые порфировидные граниты ($\gamma_2 MZ$); 4 — граниты, гранодиориты [$(\gamma - \gamma_2) MZ$]; 5 — среднезернистые биотитовые граниты (γPZ); 6 — габбро, габбро-диориты [$(\delta - \gamma_2) PZ$]; 7 — разрывные нарушения; 8 — контур распространения оруденения; 9 — околорудные изменения пород.

два месторождения молибдена. При проверке АГСМ-аномалий на этой площади в зонах максимумов *l* выявлены два вольфрамомолибденовых рудопроявления.

Среди золоторудных месторождений объекты мезотермального (среднеглубинного) класса наиболее широко распространены. По сравнению с молибденовыми месторождениями они отличаются большим разнообразием по типу вмещающих пород, характеру их изменения и встречающихся в них минеральных ассоциациям. Даже в пределах одной рудной формации * на разных месторождениях можно наблюдать резкие различия в интенсивности развития таких характерных минералов, как турмалин, полевые шпаты, серицит, хлорит и др. Эти обстоятельства усложняют радиогеохимические особенности месторождений, для создания более или менее законченной картины в настоящее время мало данных. Иногда ** нет аномалий содержаний радиоактивных элементов

* Наиболее распространена формационная классификация, основанная на роли сульфидов в рудах, в соответствии с которой выделяется золото-кварцевая, золото-кварц-сульфидная, золото-сульфидная формации.

** Эти случаи относятся к месторождениям золото-кварцевой формации.

в пределах месторождений. Поэтому приводимые ниже примеры следует рассматривать как предварительные данные, свидетельствующие о возможности выявления мезотермальных руд золота АГСМ-методом. Во всех районах, перспективных на золоторудную минерализацию подобного типа, необходимы дальнейшие исследования по изучению условий фиксации оруденения АГСМ-съемкой.

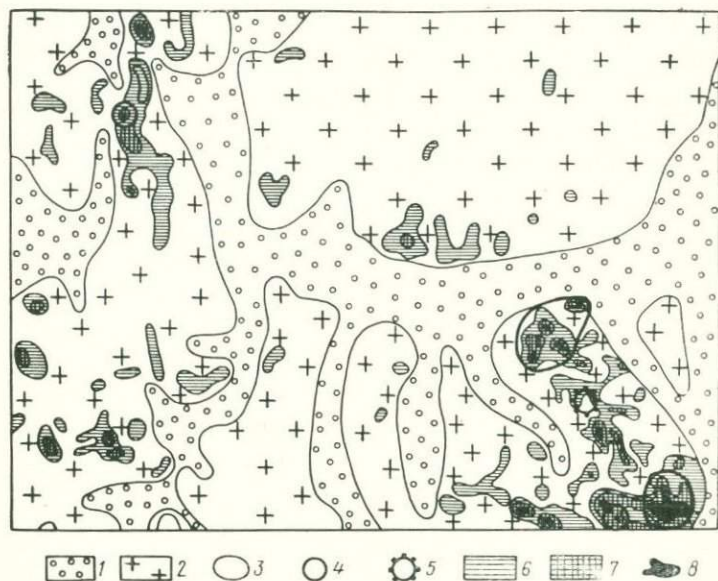


Рис. VII.15. Результаты интерпретации АГСМ-материалов методом эмпирического отношения правдоподобия 1 в области развития молибденового оруденения (район месторождений Бугдая — Кудикан, Забайкалье):

1 — четвертичные отложения; 2 — гранитоиды; 3 — месторождения молибдена; 4 — молибденовые и вольфрам-молибденовые рудопоявления, выявленные при проверке АГСМ-аномалий; 5 — рудопоявление полиметаллов; значения 1: 6 — $2 \div 4$; 7 — $4 \div 8$; 8 — более 8.

Ключевское месторождение (Забайкалье) (рис. VII.16) локализовано в трещинной интрузии биотитовых и биотит-амфиболовых гранитов раннемезозойского возраста, прорывающей гнейсовидные граниты раннепротерозойского возраста с многочисленными малыми интрузиями порфировых пород, формирование которых датируется поздней юрой. Раннемезозойские гранитоиды и позднюрские малые интрузии (гранодиорит-порфиры, кварцевые порфиры, диоритовые порфириты, «гибридные» порфиры) внедрялись по длительно развивающейся зоне разрывных нарушений северо-восточного направления.

Породы на значительной площади, в несколько раз превышающей площадь развития рудных тел, интенсивно и неравномерно изменены гидротермальными процессами (серицитизация, турмалинизация, менее хлоритизация). Эти процессы, по данным

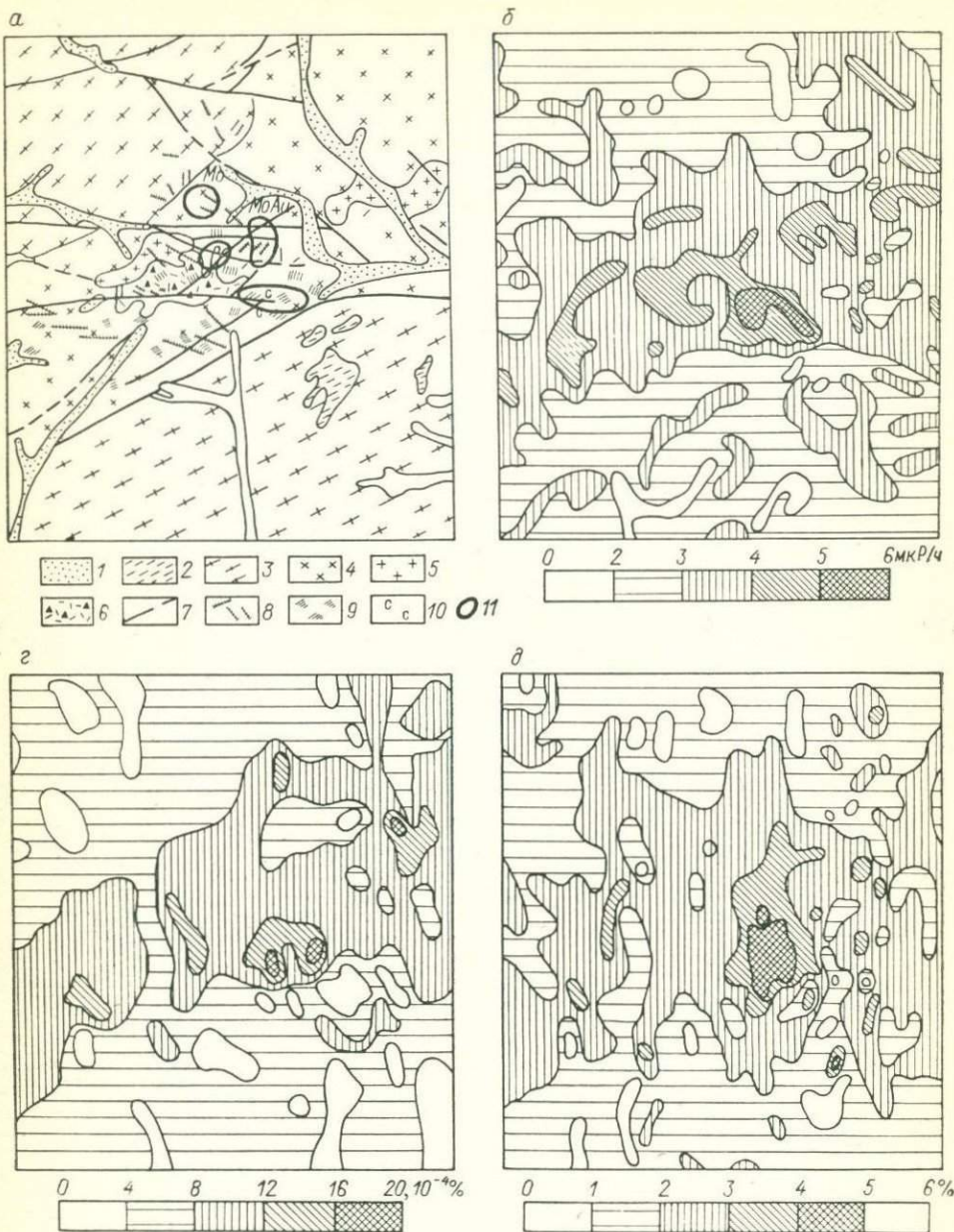
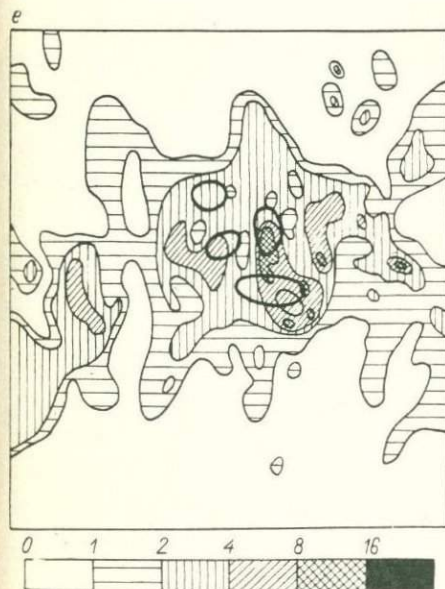
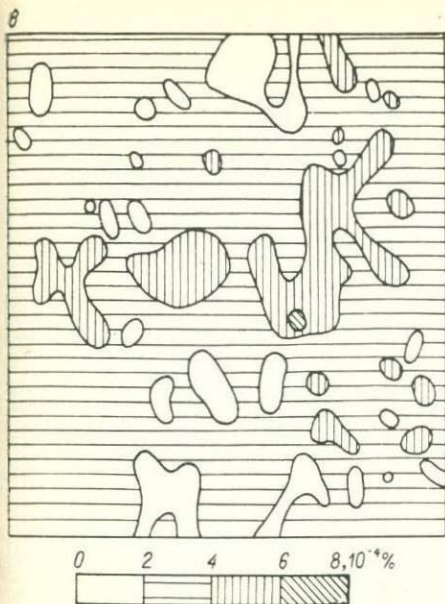


Рис. VII.16. Результаты АГСМ-съёмки в районе Ключевского месторождения дененем.

Карты: а — геологическая, б — гамма-поля, в — содержания урана, г — содержания тора по построенной по методу эмпирического отношения правдоподобия. 1 — четвертичные отложения; 2 — ксенолиты гнейсов и кристаллических сланцев; 3 — 4 — биотитовые порфиroidные граниты, гранодиориты (ранний мезозой); 5 — гранодиоритовые нарушения, достоверные и предполагаемые; 6 — дайки порфировых пород; рудные участки месторождения.



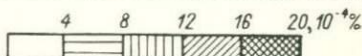
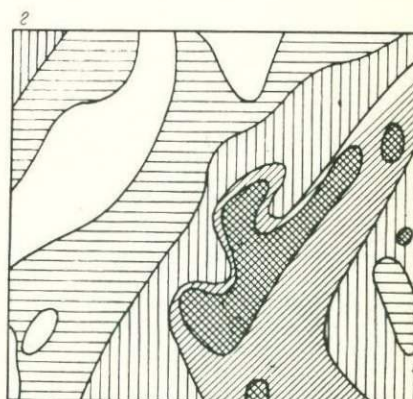
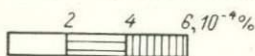
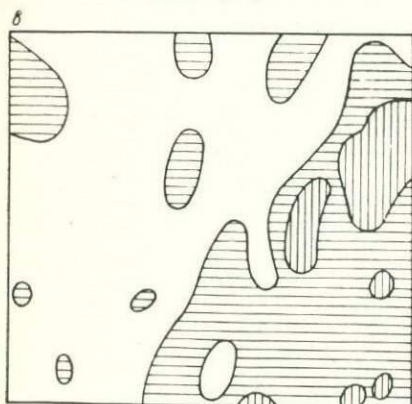
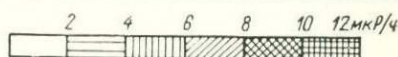
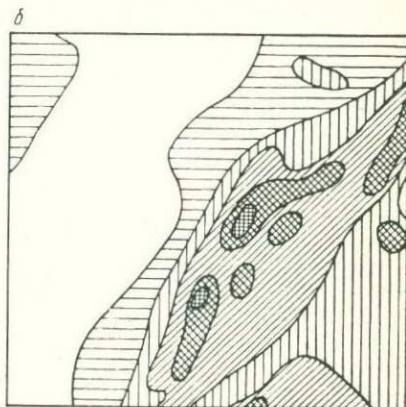
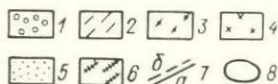
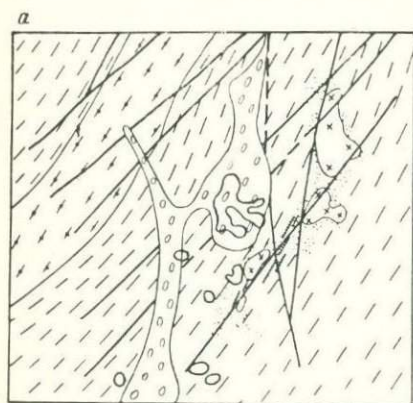
(Забайкалье) с молибденово-золотым ору-

рия, *д* — содержания калия, *е* — перспективности, гнейсовидные граниты (ранний протерозой); рит-порфиры; 6 — эруптивные брекчии; 7 — раз- 9 — турмалинизация; 10 — серицитизация; 11 —

Н. В. Петровской и Н. Г. Андреевой [57, 58], предшествовали оруденению, причем рудные минералы выделялись в три стадии: кварц-пиритовую, кварц-сульфидную и карбонатную, с сульфидами и халцедоновидным кварцем. Золото сосредоточено в образованиях первых двух стадий (особенно во второй). Образования последней стадии содержат неравномерно распределенную акцессорную урановую минерализацию. В северной части месторождения в рудных жилах увеличивается роль молибденита. Наибольшую практическую ценность имеют штокверковые руды золота в юго-восточной части месторождения.

В пределах месторождения АГСМ-съемкой зафиксировано на большой площади повышение содержания калия на 1—1,5%, увеличивающееся к югу и юго-востоку до 2—2,5, в отдельных точках до 3%. Это повышение связано с серицитизацией вмещающих пород. В пределах участка с повышенным содержанием калия местами увеличивается содержание тория, наблюдается также слабое повышение содержания урана, которое достигает $7 \cdot 10^{-4}\%$ [на фоне $(2 \div 3) \times 10^{-4}\%$] в юго-восточной части месторождения, где развиты основные руды золота. Характерно, что максимумы урана и тория не совпадают между собой. Таким образом, в пределах месторождения устанавливается

достаточно сложная картина распределения радиоактивных элементов, свидетельствующая о нарушении корреляционных связей между ними, характерных для неизменных пород. Статистический анализ различных сочетаний содержаний радиоактивных элементов



методом эмпирического отношения правдоподобия (см. V.4) * позволил выявить в пределах месторождения участки, где эти сочетания характерны для месторождений и не характерны для вмещающих пород. Среди «перспективных» сочетаний оказались

* Вследствие близости радиогеохимической характеристики этого месторождения с молибденовыми месторождениями района, а также наличия молибденовой минерализации в его пределах, в выборку класса рудных объектов данное месторождение включено вместе с тремя молибденовыми месторождениями.

и такие, которые встречаются только на месторождениях и отсутствуют в неизменных вмещающих породах, хотя объем выборки по вмещающим породам достаточно велик (2000 точек). Эти сочетания выделены на карте значений в отдельную группу.

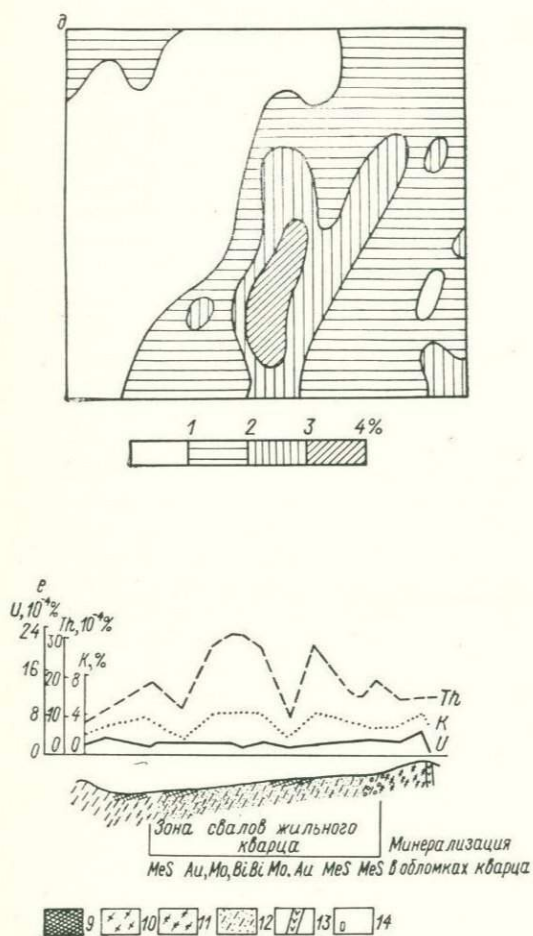


Рис. VII.17. Результаты АГСМ-работ на золоторудном месторождении золото-кварцевого типа.

Карты: а — геологическая (Г. С. Власов, 1965 г.), б — интенсивности гамма-излучения, в — содержания урана, г — содержания тория, д — содержания калия, % е — гамма-спектрометрический профиль через месторождение.

1 — четвертичные отложения; 2 — кварц-биотитовые кристаллические сланцы; 3 — кварц-амфиболовые сланцы; 4 — диориты, кварцевые диориты; 5 — загрязненные породы; 6 — рудносные кварцевые жилы; 7 — разрывные нарушения, достоверные (а) и предполагаемые (б); 8 — вторичные ореолы рассеяния золота; 9 — интенсивно задренованные участки; сланцы: 10 — интрузивные кварц-полевошпатовый материал, 11 — фельшпатизированные, хлоритизированные и окварцованные, 12 — интенсивно осветленные, фельшпатизированные; 13 — дайки мелкозернистых диоритов, диоритовых порфиритов; 14 — зоны окварцевания.

На этой карте месторождение отчетливо выделяется максимумами значений параметра l . Очевидно, что для выделения аномалий, связанных с подобными месторождениями, можно применить индикаторное отношение F .

Месторождение (рис. VII.17), изученное и описанное Г. С. Власовым [13], относится к золото-кварцевому типу. Оно локализовано в верхнепротерозойских кристаллических сланцах и прорывающих их мелких штоках диоритов, кварцевых диоритов, гранодиоритов позднеюрского возраста. Внедрение этих интрузий,

с которыми парагенетически связывается оруденение, происходило по разрывным нарушениям северо-восточного простирания и сопровождалось мигматизацией вмещающих пород. Оруденение представлено золотоносными кварцевыми жилами с очень небольшим количеством сульфидов. Интрузии приурочены к нарушениям северо-восточного простирания. Околорудные изменения проявлены в окварцевании вмещающих пород на небольшом удалении от жил. Наряду с этим Г. С. Власовым отмечалось наличие метасоматических пород, которые образовались путем замещения темноцветных минералов сланцев полевыми шпатами и хлоритом. В крайней степени метасоматического преобразования (осветления) порода приобретает облик лейкократового гнейса. При АГСМ-съемке месторождение четко зафиксировано аномалией содержания тория, почти повторяющей контур месторождения. Заметно повышен здесь и калий (до 3,5% на фоне 1,5—2%), слабое повышение урана (до $5 \cdot 10^{-4}$ на фоне $3 \cdot 10^{-4}$ %) отмечено лишь на северо-восточном фланге месторождения. Наземные исследования показали, что эта аномалия вызвана метасоматическими породами кварц-полевошпатового и кварц-полевошпат-хлоритового состава, развивающимися по кристаллическим сланцам и предшествовавшим оруденению, так как на них накладывается околорудное окварцевание.

Однако выделение подобного оруденения по АГСМ-данным вовсе не является легкой задачей и возможно лишь при благоприятных условиях: при отсутствии в районе интрузий кислого состава, которые могут дать аналогичные аномалии.

VII.5. МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАССИТЕРИТ-СИЛИКАТНО-СУЛЬФИДНОЙ ГРУППЫ ФОРМАЦИЙ

Месторождения силикатно-сульфидной группы являются ведущим промышленным типом оловорудного сырья в южной половине советского сектора Тихоокеанского рудного пояса. Их размещение контролируют особые структуры материков — структуры активизации. К ним относятся наложенные на домезозойский фундамент прогибы и синеклизы, а также приразломные грабены и грабен-синклинали, выполненные обычно флишеидными осадками и часто эффузивами полного ряда.

Этап прогибания и накопления осадков завершается инверсией структуры. Постинверсионный этап характеризуется внедрением гранитоидных интрузий, излиянием эффузивов и образованием месторождений.

Связь оруденения с магматизмом в региональном плане неоспорима. Однако установить непосредственный контроль рудных концентраций отдельными интрузивными телами или дайковыми сериями в большинстве случаев невозможно.

Совокупность месторождений, рассматриваемых в этом разделе, включает в себя почти все послегрейзеновые оловянные руды

(кроме незначительно развитых силикатно-карбонатных и др.). Установлено, что радиогеохимическая специфика месторождения определяется главным образом его минерально-формационной принадлежностью. Естественно, распределение радиоактивных элементов в рудном поле пестрое, что определяется разнообразием проявленных минеральных ассоциаций метасоматитов. Однако при использовании формационной классификации [80] удается выделить небольшое количество групп месторождений, обладающих сходными радиогеохимическими чертами. Эти группы примерно соответствуют минеральным типам оловорудных формаций (табл. VII.1).

Наиболее устойчивым радиогеохимическим признаком силикатно-сульфидных месторождений являются аномальные концентрации калия в околорудных метасоматитах. В разных масштабах они фиксируются с помощью АГСМ-съемки в рудных полях подавляющего большинства месторождений. От высоко- к средне- и низкотемпературным минеральным ассоциациям закономерно меняются масштаб калиевого метасоматоза, локализация метасоматитов в пространстве, взаимоотношения рудных и калиевых концентраций и частично минеральная форма калия.

Основная масса калия связывается в сериците. Кварц-серицитовые метасоматиты иногда развиты на значительных площадях, до 10 км². Весьма небольшую роль в общем балансе калия играют участки проявления высоко- (мусковитовых и микроклиновых) или низкотемпературных (адуляровых) метасоматических образований.

По поведению урана и тория в рудных полях месторождения силикатно-сульфидной группы формации разбиваются на две подгруппы. Первая объединяет месторождения собственно касситерит-силикатной и касситерит-сульфидной формаций, которые в основном развиты в Приамурье и Приморье. Во вторую подгруппу включены месторождения, условно относимые нами к переходному от грейзенового к силикатному формационному типу. Такими являются крупнейшие оловорудные месторождения Чукочки и Забайкалья. Принципиальное радиогеохимическое различие между ними в том, что в околорудных метасоматитах месторождений первой совокупности фиксируются аномальные концентрации тория при фоновых в среднем по группе содержаниях урана. В рудных полях месторождений переходного типа различаются аномальные концентрации урана при фоновых или слабо повышенных содержаниях тория.

Месторождения касситерит-силикатной формации наиболее ярко проявлены на Дальнем Востоке. Их отличительная черта — тесная парагенетическая связь касситерита с магнетитом-железистыми алюмосиликатами при переманной роли сульфидов [38, 48, 80]. Турмалиновый тип характеризует оруденение Комсомольского, а хлоритовый — Хингано-Олонойского оловорудных районов.

ТАБЛИЦА VII.1

Гамма-спектрометрическая характеристика типовых оловорудных месторождений силикатно-сульфидной группы

Формация	Тип	Регион	Рудные узлы или месторождения	Характерные минеральные ассоциации околорудных метасоматитов	Фоновые концентрации			Приращении над фоном		
					U, 10 ⁻⁴ %	Th, 10 ⁻⁴ %	K, %	Δ U, 10 ⁻⁴ %	Δ Th, 10 ⁻⁴ %	Δ K, %
Переходная	Переходный	Чукотка	Пыркакайский	Кварц-серицит-турмалин-флюорит-мусковит-топаз	2	6	1,5	2—4	0—2	1—2,5
		Забайкалье	Шерловогорское, Хапчаганское	Кварц-серицит-турмалин-сидерофиллит-хлорит	8 3	10—25 6	3 2,5	— 6	0—2 0	0—1 0—1
Касситерит-силикатная и касситерит-сульфидная	Переходный	Примамурье, Приморье	Олово, Карадуб, Лучистое	Кварц-турмалин-серицит-(сидерофиллит)-мусковит-топаз	2,5	10 6	3	3—6	6—8	1—2,5
	Турмалиновый		Комсомольский, Кавалеровский	Кварц-серицит-турмалин-(хлорит) Кварц-серицит-турмалин-хлорит	3	8	2,5	0—2	4—10	2—4
	Хлоритовый		Хинганское, Арму-Иманский	Кварц-серицит-хлорит-флюорит-адуляр Кварц-серицит-хлорит-пирротин-анкерит	3,5	10 6	2	1—3	6—10	2—3
	Сульфидный		Монаусский	Кварц-серицит-хлорит-пирротин	3	4	1,5	2—6	2—6	1—2,5

Касситерит-сульфидная формация отличается гораздо большей ролью сульфидов в составе руд. Часть олова в рудах образует сульфидные формы соединений.

Породы, вмещающие оруденение, в пределах рудных полей подвергнуты интенсивным гидротермально-метасоматическим преобразованиям, причем размеры зон изменений и их минералогический состав в известной мере зависят от состава вмещающих пород [35]. Наиболее мощные зоны окологрудного метасоматоза развиваются по магматическим породам кислого состава и флишоидам. Их мощности достигают 1 км и более. Преобладают метасоматиты кварц-серицитового состава, иногда с турмалином или хлоритом; подчиненную роль играют существенно кварцевые фации, каолинизированные породы и др.

В эффузивных породах среднего состава в результате воздействия гидротермальных растворов развиваются новообразования пропилитового комплекса. В составе метасоматитов преобладают хлорит и кварц, в переменных количествах обычно присутствует и серицит. Мощность зон изменения в этих породах резко сокращается.

Характерной особенностью процессов рудообразования и окологрудного метасоматоза на рассматриваемых месторождениях является очень слабый привнос урана. Содержание этого элемента по гамма-спектрометрическим данным в метасоматических образованиях и в рудах отличается от содержаний в неизмененных породах в среднем по формации на $(1 \div 2) \cdot 10^{-4}\%$, наиболее типичные (и в то же время наиболее крупные) для формации месторождения характеризуются минимальным привносом урана. Торий мигрирует довольно интенсивно, так же как и калий. В центральных частях рудных зон (кварцевых турмалинитах, кварц-сульфидных жилах) содержание калия и тория снижается почти до нуля, а в окологрудных метасоматитах кварц-серицитового состава возрастает по сравнению с неизмененными породами в среднем в 2 раза (см. табл. VII.1). Максимальные содержания этих элементов устанавливаются обычно в непосредственной близости от рудоносных зон. Содержания тория достигают $(20 \div 25) \cdot 10^{-4}\%$, калия — 8%.

В пропилитах также наблюдается привнос калия и тория, но проявляется он менее интенсивно и неравномерно, коррелируясь с содержаниями серицита.

Интенсивное развитие метасоматитов в надрудных зонах создает предпосылки для выявления нескрытого оруденения по аномалиям радиоактивных элементов. На рис. VII.18 приведены карты содержаний радиоактивных элементов, показывающие выделение оловорудного поля при АГСМ-съемке. Месторождение Дальнетаежное относится к арсенопирит-пирротин-галенит-сфалеритовому типу касситерит-сульфидной формации. Рудные тела залегают в крутопадающих песчаниках и алевритовых и представляют собой жилы сплошного сульфидного

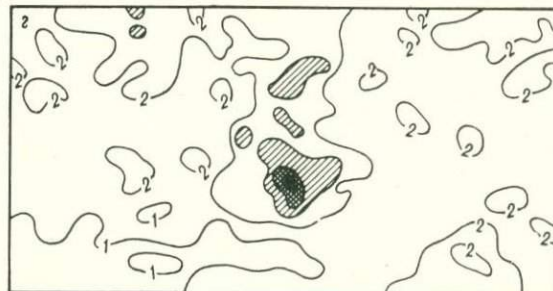
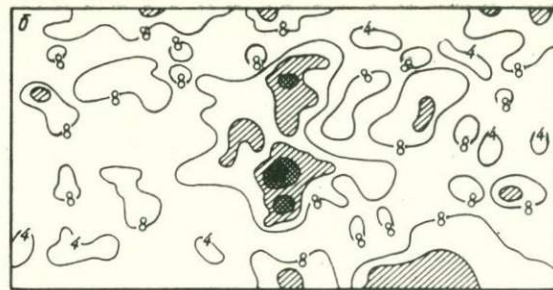
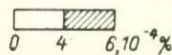
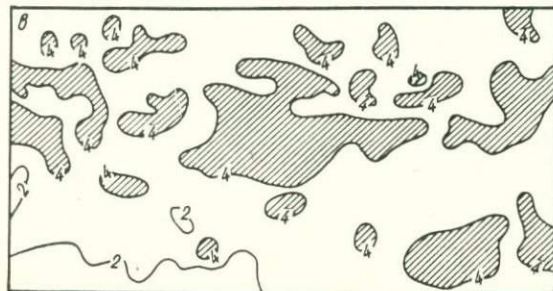
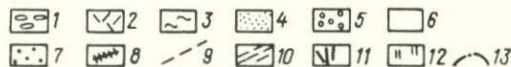
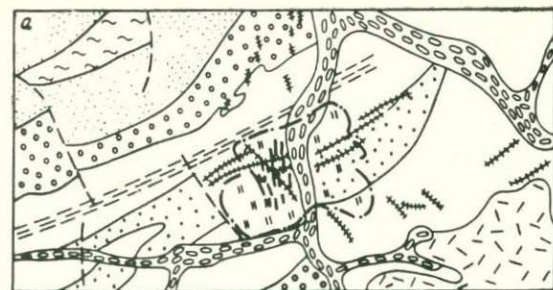


Рис. VII.18. Характер регистрации месторождения хлоритового типа касситерит-силикатной формации по АГСМ-данным (В. и Т. Карпушкин и другие, 1972 г.) на примере Дальнеэтажного месторождения (Приморье).

Карты: а — геологическая (по А. Б. Павловскому, 1959 г.), б — содержания тория, в — содержания урана, г — содержания калия.
 1 — четвертичные отложения; 2 — кислые эффузивы; 3 — сланцы, алевролиты (К); 4 — песчаники (К); 5 — гравелиты, конгломераты; 6 — сланцы, алевролиты (J); 7 — песчаники (J); 8 — дайны гранит-порфиров; 9 — тектонические нарушения; 10 — зоны дробления; 11 — рудные зоны; 12 — пропилитизированные породы; 13 — контур рудного поля.

выполнения и кварц-серицитовые зоны с наложенной касситеритовой и сульфидной минерализацией [27, 48]. Рудное поле месторождения выделяется интенсивной локальной аномалией калий-ториевой природы, причем максимум аномалии приурочен к собственно рудоносной центральной части поля. Концентрация урана практически фоновая в пределах всего рудного поля.

Два других примера иллюстрируют локализацию месторождений в полях содержания радиоактивных элементов в пределах крупных рудных узлов.

В Хингано-Олонойской депрессии, выполненной эффузивными породами кислого состава, широко развита оловянная минерализация касситерит-силикатной формации (рис. VII.19). Преобладает малосульфидный хлоритовый тип руд. Олово концентрируется в различных по составу метасоматических образованиях: жилах и штокверках, находящихся среди поля кварц-серицит-хлоритовых метасоматитов. В рудных полях месторождений распространен адуляр.

При АГСМ-съемке месторождения зафиксированы участками аномальных концентраций калия и тория, причем максимумы элементов приурочены не к рудным телам, а к околорудным метасоматитам. Отмечается более контрастный характер распределения тория по сравнению с калием. В целом поведение тория и калия по аэро- и наземным данным практически тождественно; коэффициент корреляции по наземным данным составляет около 0,8. Для площади в целом характерен повышенный урановый фон. Локальные концентрации урана в рудных полях практически отсутствуют или слишком слабы для фиксации их с воздуха. Локальные аномалии урана в северной периферии рудного поля Хинганского месторождения находятся в неясных взаимоотношениях с рудой. С помощью вероятностно-статистических методов месторождения хорошо локализируются в полях содержаний радиоэлементов.

Месторождения Монаусского рудного узла (рис. VII.20) относятся к хлорит-арсенопирит-пирротиновому типу касситерит-сульфидной формации. На низком радиогеохимическом фоне аномальные концентрации калия хорошо локализируют все известные месторождения. Локальные аномалии тория очень слабой интенсивности находятся в пределах калиевых полей (в их центральной части) и на месторождениях Руднинском и Таусинском наиболее тесно пространственно связаны с рудными концентрациями.

В околорудных метасоматитах месторождений Монаусского узла фиксируются локальные аномальные концентрации урана. Они находятся в пределах калиевых повышений.

В связи с этим следует несколько подробнее остановиться на осложнениях радиогеохимической характеристики месторождений. Наиболее частыми и важными с точки зрения аэропоисков являются появления аномальных концентраций урана

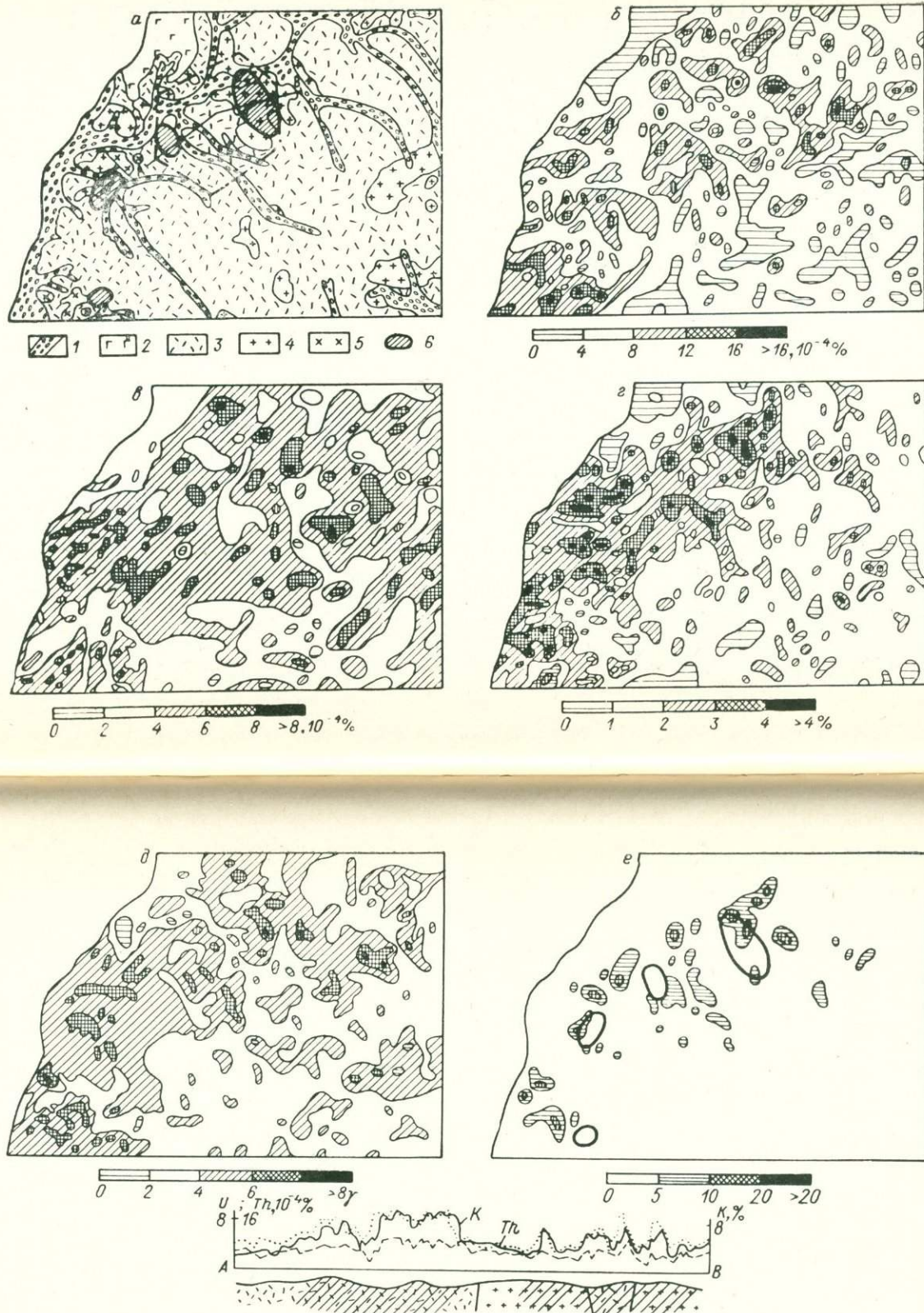


Рис. VII.19. Характер регистрации оруденения хлоритового типа касситерит-силикатной формации по АГСМ-данным (Н. К. Ждан и другие, 1972 г.) в пределах Хингано-Олонойского рудного района. Карты: а — схематическая геологическая (по В. И. Бурда, 1966 г.), б — содержания тория, в — содержания урана, г — содержания калия, д — гамма-поля, е — интерпретации по методике квадратичной дискриминантной функции; ж — геолого-геофизический разрез по АВ. 1 — четвертичные отложения; 2 — неогеновые базальты; 3 — липариты, их туфы и лавы; граниты: 4 — хинганские, поздние, 5 — кимканские, ранние; 6 — месторождения и рудопроявления.

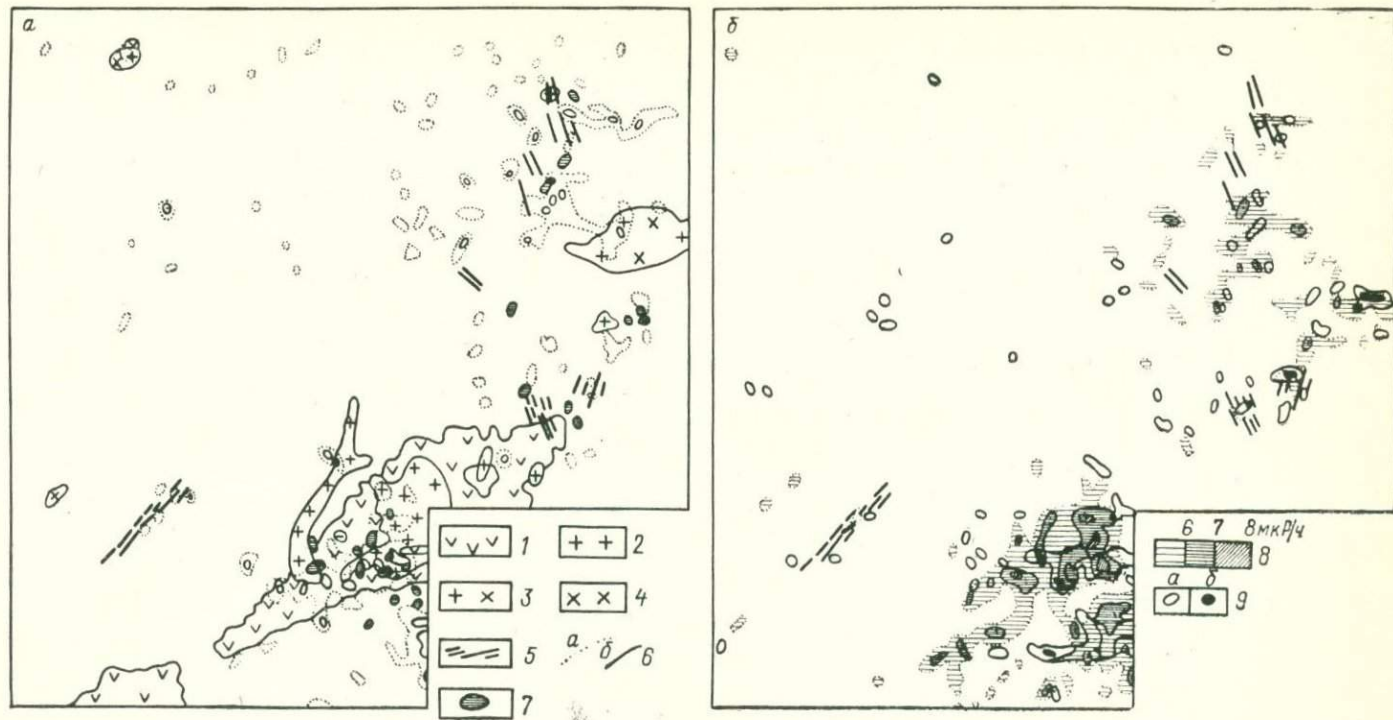


Рис. VII.20. Характер регистрации оруденения касситерит-сульфидного типа (Н. К. Ждан и другие, 1972 г.) в пределах Мопанского рудного узла.

Карты: а — схематическая геологическая (по С. Л. Штейнбергу, 1967 г.), б — аномальных значений содержаний урана и гамма-поля. 1 — андезиты, дациты; 2 — гранит-порфиры; 3 — гранодиориты; 4 — диориты, кварцевые диориты; 5 — рудные зоны; 6 — изолинии содержания калия, 3 (а), 4% (б); 7 — изолинии содержания тория, $8 \cdot 10^{-4}\%$; 8 — изолинии интенсивности гамма-излучения; 9 — изолинии содержания урана $6 \cdot 10^{-4}\%$ (а), $8 \cdot 10^{-4}\%$ (б).

в рудных полях. Очевидно, урановые концентрации могут появляться в связи с высоко- или низкотемпературными (по отношению к касситеритовой) минеральными ассоциациями. В околорудных метасоматитах месторождений Монаусского узла высокотемпературные (грейзеновые) минеральные ассоциации вообще не проявлены, зато значительно развиты низкотемпературные; поэтому урановые концентрации связываются предположительно с последними.

При наличии в рудных полях калиевых аномалий, обычно отражающих предрудную стадию гидротермального процесса, и урановых концентраций, фиксирующих пострудную стадию, можно говорить о многостадийности рудообразующего процесса и весьма вероятном проявлении собственно оловорудной стадии.

В месторождениях силикатной формации трудно определить природу урановых концентраций. Предположительно примером образования высокотемпературных концентраций урана являются месторождения Олоно и Карадуб в Хинганском рудном узле (рис. VII.21). В рудных полях этих месторождений широко проявлены топаз-мусковит-сидерофиллитовая и серицит-турмалиновая минеральные ассоциации, расположенные зонально относительно гранитной интрузии. Месторождения локализируются в полях содержания радиоэлементов небольшими аномалиями смешанной природы радиоактивности.

Таким образом, поисковым АГСМ-признаком на касситерит-силикатное и касситерит-сульфидное оруденение является наличие аномалий калий-ториевой природы с фоновым либо слабо повышенным содержанием урана на локальных участках в аномальной зоне. Максимумы аномалий калия и тория обычно совмещены между собой и разобщены от урановых. При этом калиевый метасоматоз проявлен гораздо шире оруденения. По наземным гамма-спектрометрическим данным есть предпосылки разбраковки калий-ториевых аномалий на более и менее перспективные по наличию или отсутствию в их пределах локальных и малоинтенсивных (практически точечных) аномалий урана на общем низком урановом фоне.

Отклонения от чистого минерально-формационного типа месторождений, отражающиеся в их радиогеохимической характеристике, снижают вероятность обнаружения оруденения.

Для наглядности удобно разместить изученные месторождения в схеме по убыванию интенсивности и масштаба проявления ториевых концентраций в околорудных метасоматитах (рис. VII.22). Это примерно соответствует изменению взаимоотношений высоко- и низкотемпературных минеральных ассоциаций в рудных полях. В центральную часть графика попадают все крупные месторождения, левая и правая ветви объединяют непромышленные или мелкие месторождения.

Помимо месторождений рассмотренных формаций в изученных регионах (Чукотка и Забайкалье) известны месторождения,

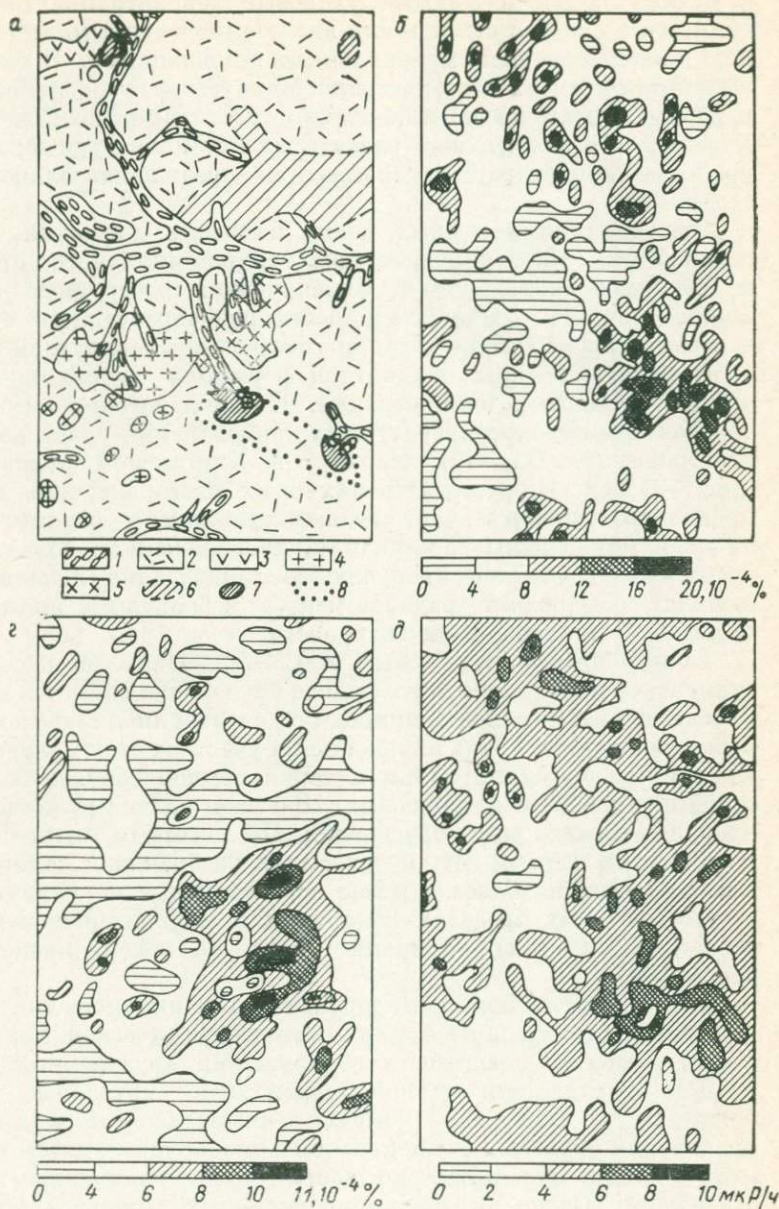
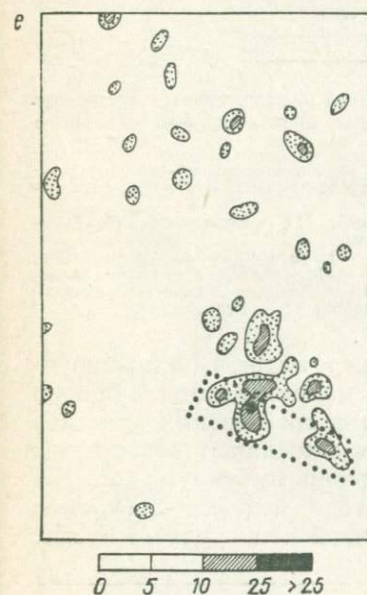
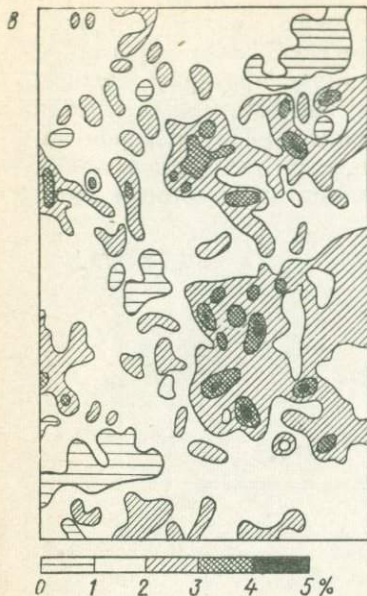


Рис. VII.21. Характер регистрации оруденения касситерит-силикатной форма и другие, 1972 г.) в пределах Хингано-Олонойского рудного района.

Карты: а — схематическая геологическая (по Б. И. Бурдэ, 1966 г.), б — содержания урана, в — гамма-поля, г — интерпретации по методике квадратичной ди 1 — четвертичные отложения; 2 — кварцевые порфиры, их туфы; 3 — липариты; граниты; скне, равние; б — зона площадной пропилитизации; 7 — месторождения и рудопоявления



ции (переходный тип) (Н. К. Ждан

тория, ϵ — содержание калия, δ — скриминантной функции. 4 — хинганские, поздние; 5 — кимкан-олова; 8 — рудное поле.

сочетающие в себе признаки касситерит-кварцевых и силикатно-сульфидных. Для них характерны магматический контроль оруденения (локализация в эндо- и экзоконтактах гранитных куполов), заметное проявление «грейзеновых» парагенетических ассоциаций в рудных полях и развитие серицит- и хлоритсодержащих метасоматитов, обильная сульфидная минерализация.

Такой переходный характер этих месторождений обуславливает их специфическую радиогеохимическую характеристику. Для них, так же как для касситерит-кварцевых месторождений, характерен привнос урана (без тория или с торием, но при господствующей роли урана) на ранних стадиях рудного процесса, а кроме того, выделение урана в поздних гидротермальных образованиях, близких по времени к сульфидной стадии. При существенном развитии серицитсодержащих метасоматитов наблюдается и повышение калия в метасоматитах.

Аномалии уран-калиевой природы характерны, например, для месторождений Пыркакайского рудного узла (рис. VII.23). Месторождения представляют собой штокверки с широко развитыми кварцевыми прожилками, иногда с топазом, флюоритом и мусковитом, несущими касситеритовое оруденение; прожилки сосредоточены в поле кварц-серицитовых метасоматитов, образовавшихся по песчано-сланцевым породам. В рудах месторождения широко развиты сульфиды.

Поля серицитовых метасоматитов фиксируются площадными аномалиями калия и урана, причем урановые аномалии обычно локальные калиевых. В пределах месторождений содержание тория остается на уровне фоновом или слабо повышается, причем его

повышенные концентрации не обнаруживают связи с какой-либо фацией. С такой радиогеохимической характеристикой месторождений при поисках под наземную проверку должны выделяться участки с максимальными значениями параметра $q_U q_K / q_{Th}$. К подобного типа месторождениям относятся, вероятно, Хапчерангинское и другие в Забайкалье. В их рудных полях развиты характерные для касситерит-силикатных месторождений

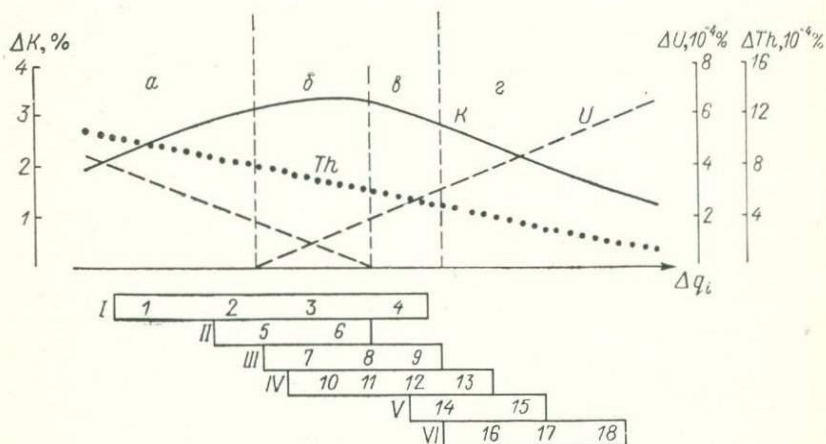


Рис. VII.22. Изменение аномальных концентраций радиоактивных элементов Δq_i в пределах силикатно-сульфидной группы месторождений Дальнего Востока.

Характерные минеральные ассоциации околорудных метасоматитов: *a* — кварц-турмалин-серицит-топаз-мусковитовая, *b* — кварц-серицит-турмалиновая, *e* — кварц-серицит-хлоритовая, *z* — кварц-хлорит-серицит-сульфидная.

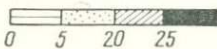
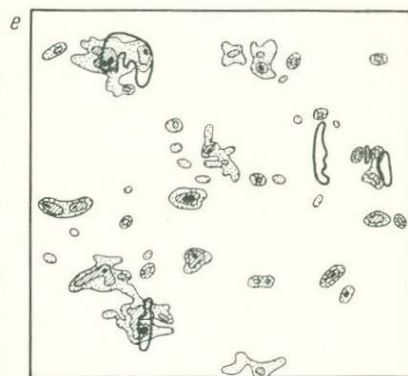
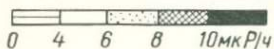
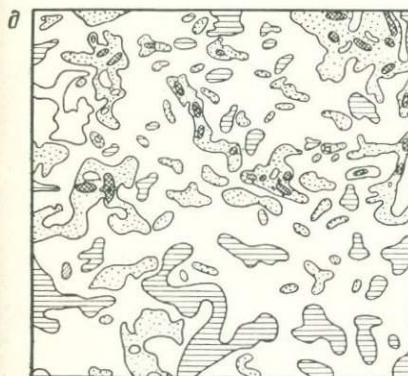
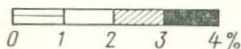
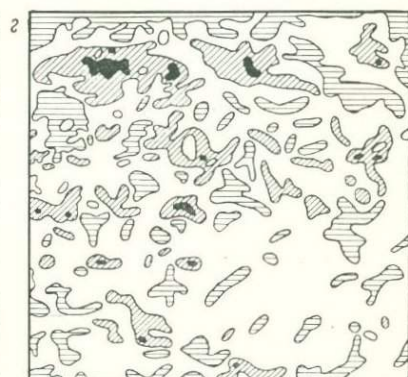
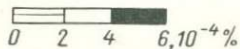
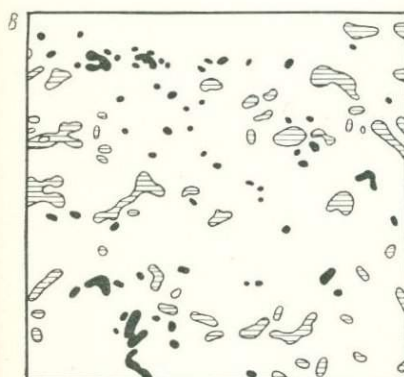
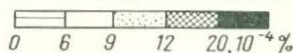
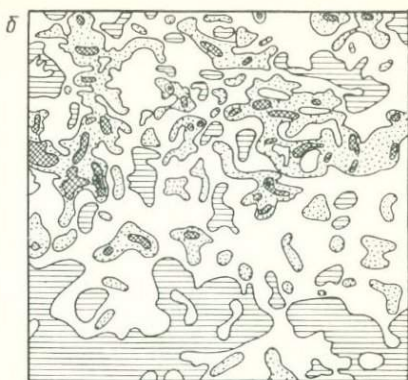
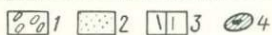
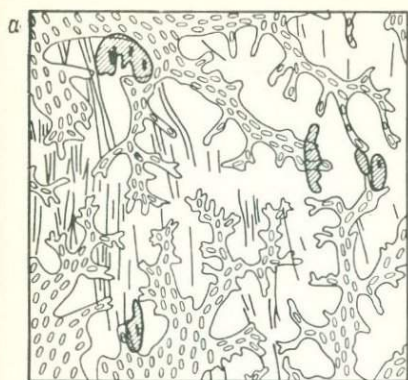
Рудные районы: I — Хинганский, II — Фурмановский, III — Комсомольский, IV — Кавалеровский, V — Арму-Иманский, VI — Монауский.
Месторождения: 1 — Олонойское, 2 — Карадуб, 3 — Березовское, 4 — Хинганское, 5 — Лучистое, 6 — Нижнее, 7 — Фестивальное, 8 — Солнечное, 9 — Перевальное, 10 — Рудное, 11 — Хрустальное, 12 — Силинское, 13 — Левицкое, 14 — Дальнетаежное, 15 — Тернистое, 16 — Пионерское, 17 — Таусинское, 18 — Руднинское.

ассоциации: кварц-серицит-турмалиновая и кварц-серицит-хлоритовая. Широко развита сульфидная минерализация. Однако четкий интрузивный контроль и наличие грейзеновых участков в зонально построенных рудных полях заставляют отнести эти месторождения к переходному формационному типу.

Их радиогеохимическая характеристика подобна описанным характеристикам месторождения Пыркакайского рудного узла.

Рис. VII.23. Характер выделения оловянного оруденения переходного формационного типа (Г. И. Кузьмин и другие, 1973 г.) в пределах Пыркакайского рудного узла, Чукотка.

Карты: *a* — схематическая геологическая (по В. С. Прудниченко, 1970 г.), *b* — содержание тория, *e* — содержание урана, *z* — содержание калия, *g* — гамма-полю, *e* — интерпретации по методике эмпирического отношения правдоподобия.
1 — четвертичные отложения; 2 — песчано-сланцевая толща; 3 — дайки лампрофиров; 4 — оловянные штокерки.



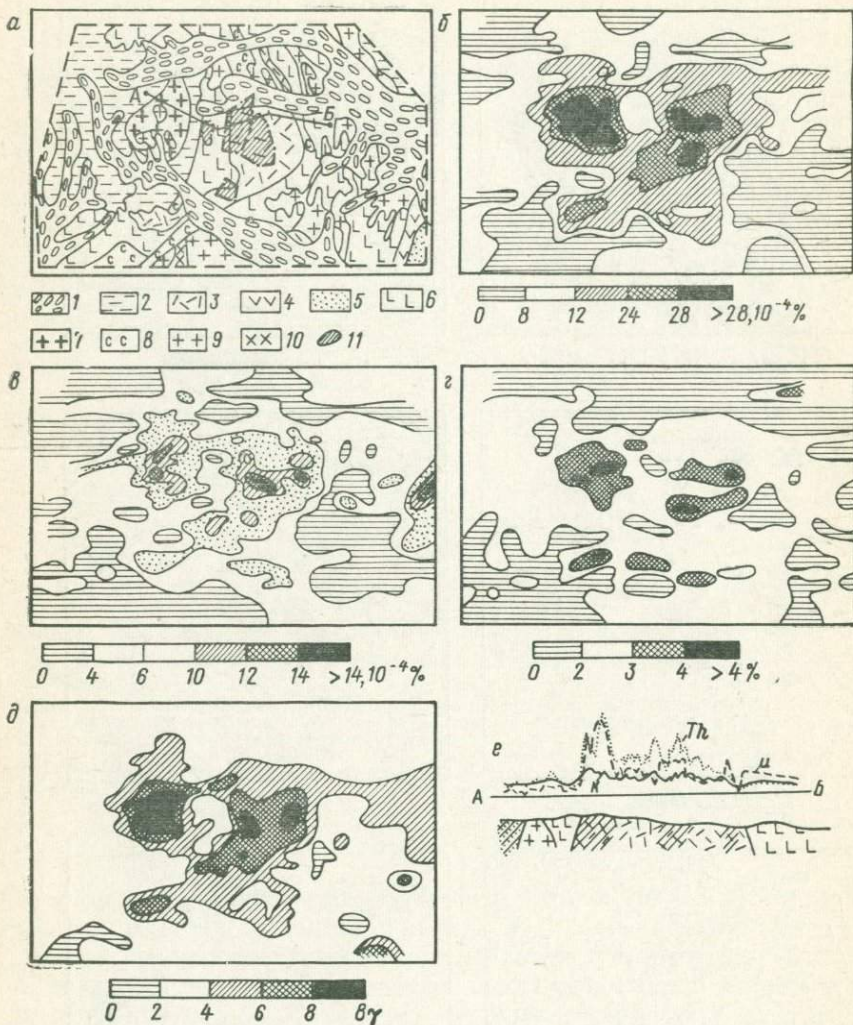


Рис. VII.24. Характер регистрации оловянно-полиметаллического оруденения переходного формационного типа по АГСМ-данным (АСГ-48) на примере одного из забайкальских месторождений.

Карты: а — геологическая (по В. В. Гушину, 1963 г.), б — содержания тория, в — содержания урана, г — содержания калия, д — гамма-поля; е — наземный гамма-спектрометрический профиль через рудное поле.

1 — четвертичные отложения; 2 — песчано-сланцевые отложения; 3 — липариты; 4 — дациты, андезиты; 5 — туфы и конгломераты; 6 — габбро-диориты, диориты; 7 — граниты аплитовидные; 8 — серицитониты; 9 — граниты, плагιοграниты; 10 — диориты второй фазы; 11 — оруденелые участки.

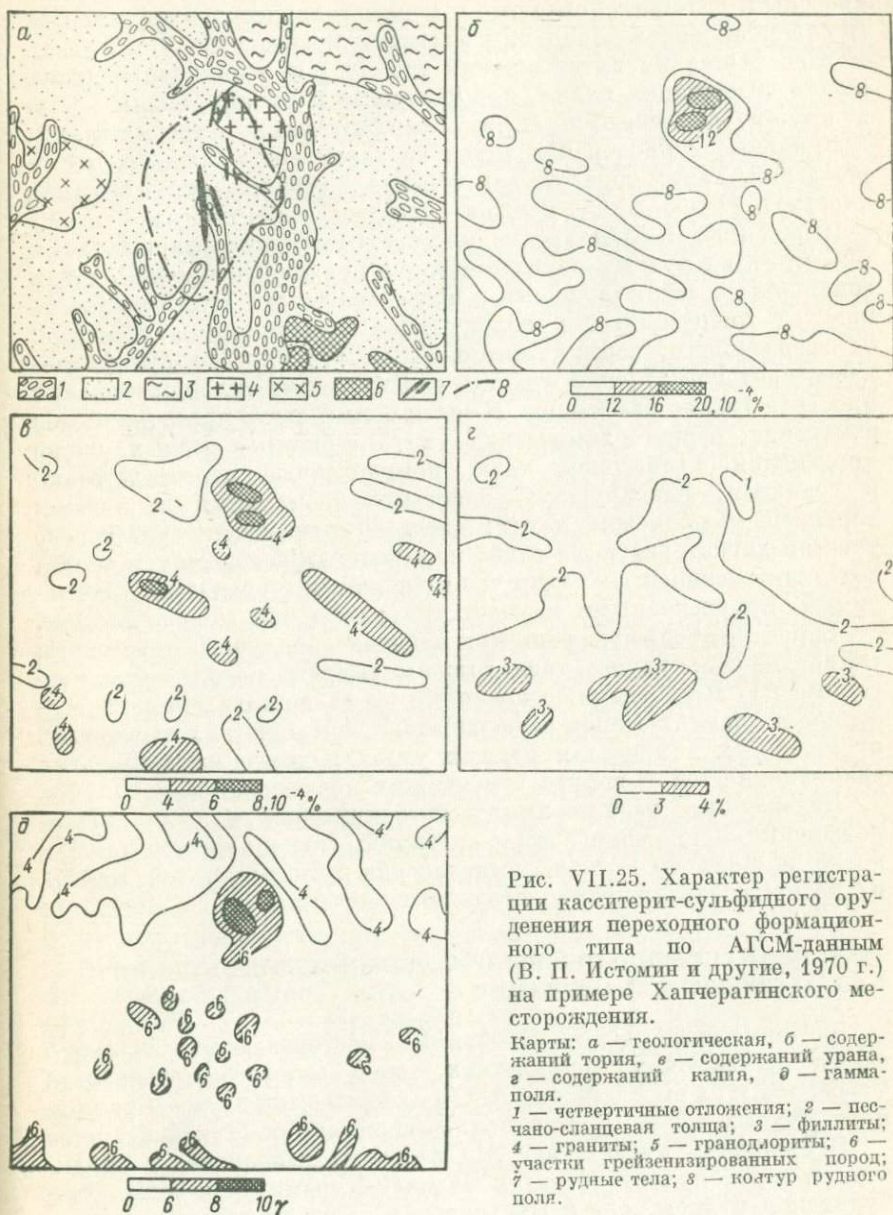


Рис. VII.25. Характер регистрации касситерит-сульфидного оруденения переходного формационного типа по АГСМ-данным (В. П. Истомин и другие, 1970 г.) на примере Хапчерагинского месторождения.

Карты: а — геологическая, б — содержания тория, в — содержания урана, г — содержания калия, д — гамма-поля.
 1 — четвертичные отложения; 2 — песчано-сланцевая толща; 3 — филлиты; 4 — граниты; 5 — гранодiorиты; 6 — участки грейзенизированных пород; 7 — рудные тела; 8 — колытур рудного поля.

Главную роль в локализации оруденения с воздуха играет уран. Его аномальные концентрации по АГСМ-данным достигают на одном из месторождений $16 \cdot 10^{-4}\%$ (рис. VII.24, VII.25) и приурочены к границе оловянного и полиметаллического оруденения. По времени образования они близки к последнему.

Небольшие по интенсивности (до 4%) и нелокальные повышения содержания калия, приуроченные к рудным полям месторождений, связываются нами с серицитовыми метасоматитами. Аномальные концентрации тория не характерны для этих месторождений. Таким образом, для поисков месторождений этого типа параметр $F = q_U q_K / q_{Th}$ должен оказаться эффективным.

Описанные забайкальские месторождения характерны также тем, что в их рудных полях отчетливо проявлена горизонтальная зональность, заключающаяся в последовательной смене по удалению от интрузивных куполов типов оловянного оруденения: от грейзенового, через касситерит-силикатное, и до сульфидно-касситеритового; причем участки развития этих типов оруденения пространственно разобщены. В связи с этим легко прослеживается изменение радиогеохимических характеристик — разных типов оруденения. Грейзеновые тела, приуроченные непосредственно к гранитам, фиксируются урановыми аномалиями в высоком ториевом и калиевом полях; касситерит-силикатно-сульфидные участки характеризуются слабо повышенным содержанием тория, более интенсивным — калия и интенсивными урановыми аномалиями, приуроченными к участкам сульфидной минерализации.

Вероятно, большую роль при поисках оловянного оруденения силикатно-сульфидного типа должны сыграть нелокальные косвенные АГСМ-признаки, основанные на радиогеохимических особенностях ранних этапов площадных метасоматических изменений, проявленных в пределах рудных узлов. Однако изучение этих закономерностей — вопрос дальнейших исследований.

Изложенные радиогеохимические критерии поисков месторождений силикатно-сульфидной группы использованы на Чукотке и Дальнем Востоке; выявлен ряд рудопроявлений, многие из которых заслуживают детального изучения.

VII.6. ВУЛКАНОГЕННЫЕ ЭПИТЕРМАЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОЙ ФОРМАЦИИ

Эпитермальные золото-серебряные месторождения являются одним из ведущих генетических типов золотого оруденения. Особенности их выделения по АГСМ-данным были изучены на примере рудных полей Восточного Узбекистана и Чукотки.

В Восточном Узбекистане АГСМ-съемка выполнена на характерных золоторудных объектах Чаткало-Кураминской зоны: Кочбулакском рудном поле и Центральном блоке Алмалыкского рудного узла. Съемка масштаба 1 : 10 000 проведена методом скатывания на вертолете Ми-4 с макетом высокоточного спектрометра ГСА-70.

При построении карт содержаний сечение изолиний составляло * для урана $0,5 \cdot 10^{-4}\%$, для тория $2,5 \cdot 10^{-4}\%$, для калия 0,5%. Высокая точность съемки способствовала выявлению тонких различий в распределении радиоактивных элементов на рудопроносных и безрудных площадях и оконтуривании участков со слабо проявленным оруденением.

Месторождение Кочбулак относится к вулканогенному кварцево-полисульфидному золоторудному типу. Район месторождения сложен вулканогенными образованиями карбона, подразделяемыми на две толщи: андезит-порфировую и андезит-дацитовую (рис. VII.26), причем в каждой толще выделяются покровные, субвулканические и жерловые фракции. Разрывные нарушения представлены зонами дробления и брекчирования, к которым приурочены дайковые и жильные образования [9].

Золото сосредоточено в кварцевых жилах и зонах окварцевания, контролируемых согласными межформационными разрывами и оперяющими их трещинами. Согласные золотоносные зоны приурочены к контакту порфиритов и их туфов. Содержание золота в них невелико. Секущие зоны представлены системой кварцевых жил и прожилков протяженностью до 1 км и мощностью первые сотни метров. Содержание золота в них резко возрастает; оруденение залегает в виде столбообразных тел весьма сложной конфигурации.

Гидротермально измененные породы слагают 4/5 рудного поля; отмечается, что метасоматиты в основном сформировались в дорудную стадию, но тесно связаны с рудой во времени и пространстве. Метасоматическая колонка имеет следующий вид: 1) центральная зона — мелкозернистый кварц (с золотом) и серицит; 2) внутренняя зона — интенсивно проилитизированные породы: серицит (65—85%), кварц, пирит; 3) промежуточная зона — умеренно проилитизированные породы с участками сильно проилитизированных (серицита 50%); 4) — внешняя зона — слабо измененные породы: хлорит, кальцит (преобладают), серицит, альбит, кварц [9]. В 2—3 зонах породы рыхлые, пористые, интенсивно отбеленные, в то время как во внешней зоне они более или менее отчетливо окрашены в зеленый цвет.

Используя стехиометрический состав серицита, легко показать, что содержание калия в промежуточной зоне составляет примерно 4—5, во внутренней 5—7%, что в 2—3 раза выше нормального содержания его в средних и умеренно кислых магматических породах, вмещающих золоторудные жилы. Распределение других радиоактивных элементов наземными работами изучено недостаточно. По данным немногих пересечений со спектрометром СП-3М в серицитолитах повышается содержание урана [на $(2 \div 6) \cdot 10^{-4}\%$]; мелкие участки с аномальными концентрациями урана [$(5 \div 9) \cdot 10^{-4}\%$] встречены в зеленоватых хлоритизиро-

* На рис. VII.26 карты содержаний радиоактивных элементов упрощены.

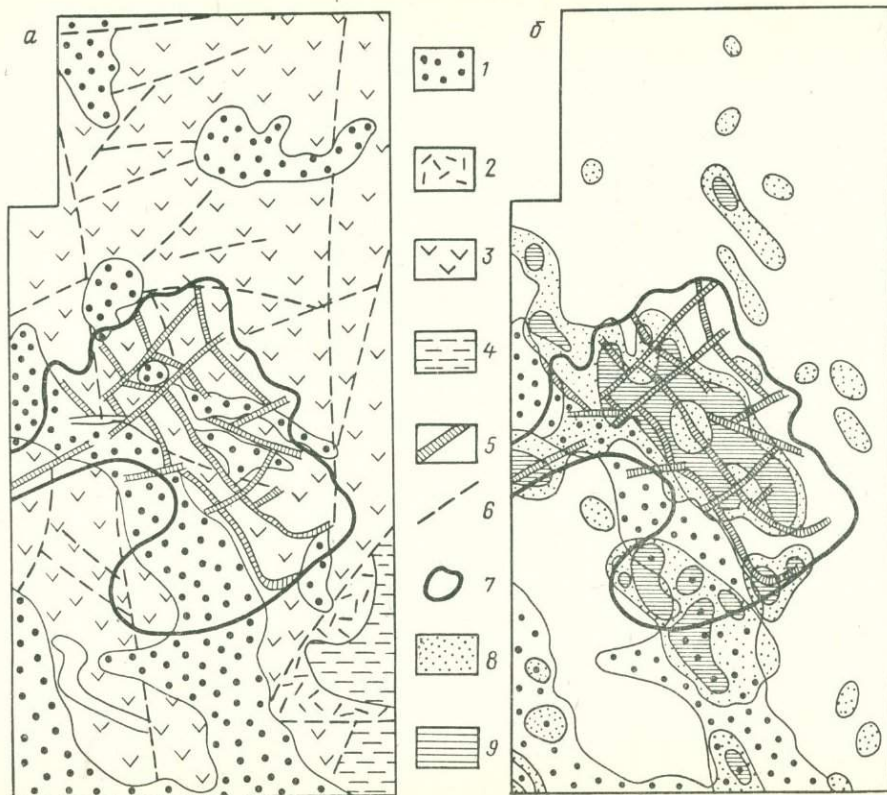
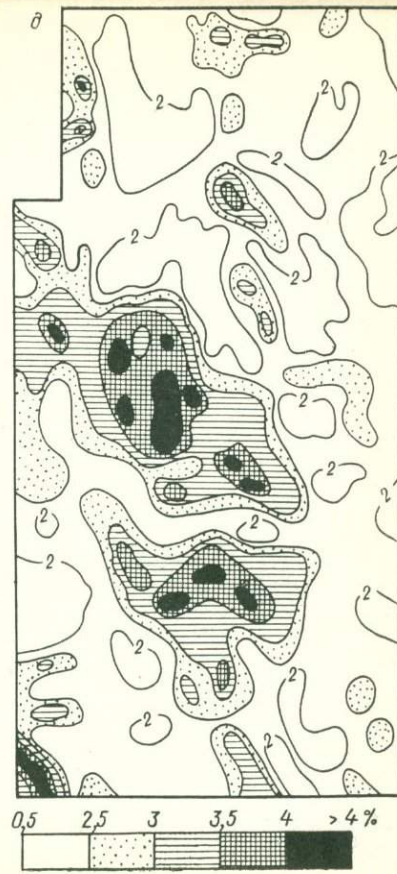
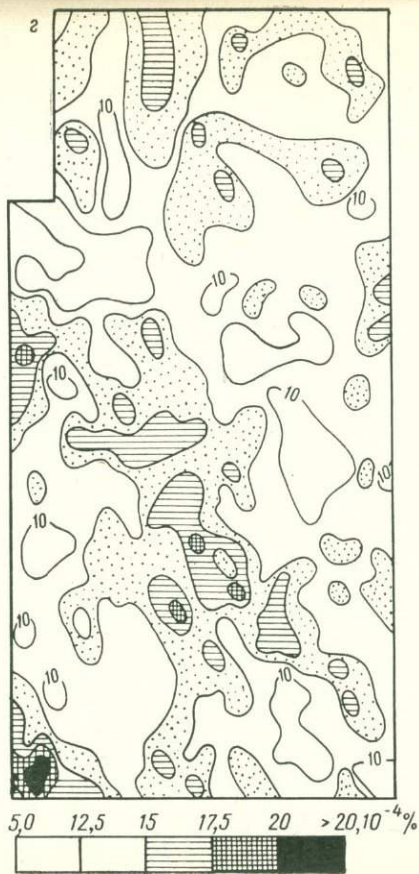
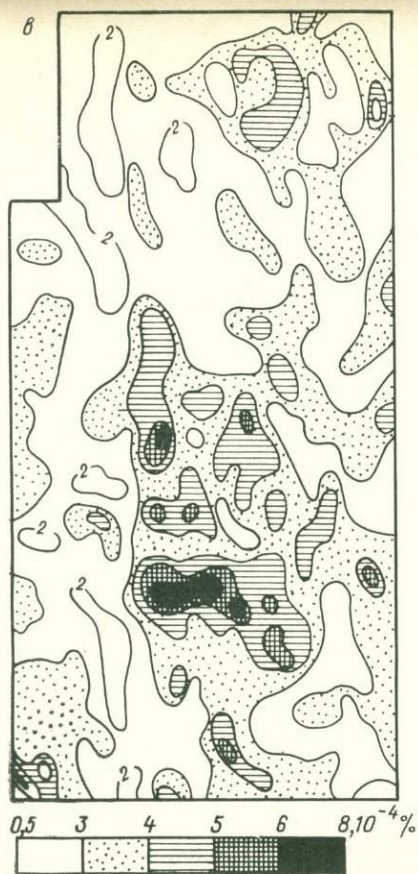


Рис. VII.26. Выделение Кочбулакского золоторудного поля по АГСМ-данным (ГСА-70).

Карты: *a* — схематическая геологическая, *б* — перспективности на золото, построенная по методу эмпирического отношения правдоподобия, *в* — содержания урана, *г* — содержания тория, *д* — содержания калия.
 1 — четвертичные отложения; 2 — андезит-дацитовые порфириды и их туфы (С); 3 — андезитовые порфириды и их туфы (С); 4 — песчаники, сланцы, известняки; 5 — рудоносные кварцевые жилы; 6 — разрывные нарушения; 7 — контур рудного поля; *l*: 8 — 5 ÷ 10; 9 — более 10.



ванных породах, где содержание калия близко к фоновому. Содержание тория в зоне гидротермально измененных пород заметно не меняется.

Съемка (рис. VII.26, *д*) выявила две изометрические калиевые аномалии, приуроченные к Кочбулакскому рудному полю. В неизмененных породах содержание калия колеблется от 1,0 до 2,5%, в рудоносных метасоматитах оно не допускается ниже 2,5%. Наиболее распространенное содержание калия в рудном поле 3,0—4,0% (соответствует внутренней метасоматической зоне). Вне контуров рудного поля локальные аномалии калия (до 4—5%) отмечаются на участках с известной золотоносностью и в четвертичных отложениях.

Площадь месторождения в целом характеризуется также повышенным содержанием урана [от $(3,5 \div 5,0) \cdot 10^{-4}$ до $(6 \div 7) \cdot 10^{-4}\%$]. Фоновая ураноносность эффузивов находится в пределах $(2,0 \div 4,0) \cdot 10^{-4}\%$.

Содержание тория в неизмененных породах близко к кларковому [$(10 \div 15) \cdot 10^{-4}\%$]. Кочбулакское месторождение приурочено к одной из протяженных зон со слабо повышенным содержанием элемента [$(12,5 \div 17,5) \cdot 10^{-4}\%$] и локальными аномалиями $(20 \div 25) \cdot 10^{-4}\%$.

Таким образом, распределение каждого из трех радиоактивных элементов неодинаково на золотоносных и безрудных площадях. Статистическая обработка АГСМ-данных по методу эмпирического отношения правдоподобия (рис. VII.26) позволила четко выделить Кочбулакское рудное поле (использованное в качестве «рудного» эталона). Отметим, что область высокой перспективности непосредственно выделяет зону сближенных рудных жил и вытянута вдоль зоны. Аномальные участки прослеживаются также по руслам саев, дренирующих месторождение, что обусловлено механическими ореолами рассеяния околорудных метасоматитов. Кроме того, вне контуров рудного поля выделяются два перспективных участка: первый на продолжении рудной зоны, второй параллельно ей. На обоих участках предшествующими работами установлена золоторудная минерализация.

Месторождения и рудопроявления золота Центрального блока Алмалыкского рудного района принадлежат к кварц-пирит-золоторудному типу [43]. Центральный блок представляет собой грабен-синклиналь, выполненную средними и умеренно-кислыми эффузивами и их туфами [46]. Мощность метасоматитов измеряется сотнями метров, по составу они тождественны гидротермально измененным породам Кочбулакского месторождения, но какие-либо данные по их зональности отсутствуют. В пределах изученной части Центрального блока золоторудная минерализация проявлена весьма экстенсивно: ореолы рассеяния золота занимают значительную площадь (рис. VII.27), сливаясь в единое рудное поле. В пределах этого поля установлено одно месторождение и несколько рудопроявлений золота.

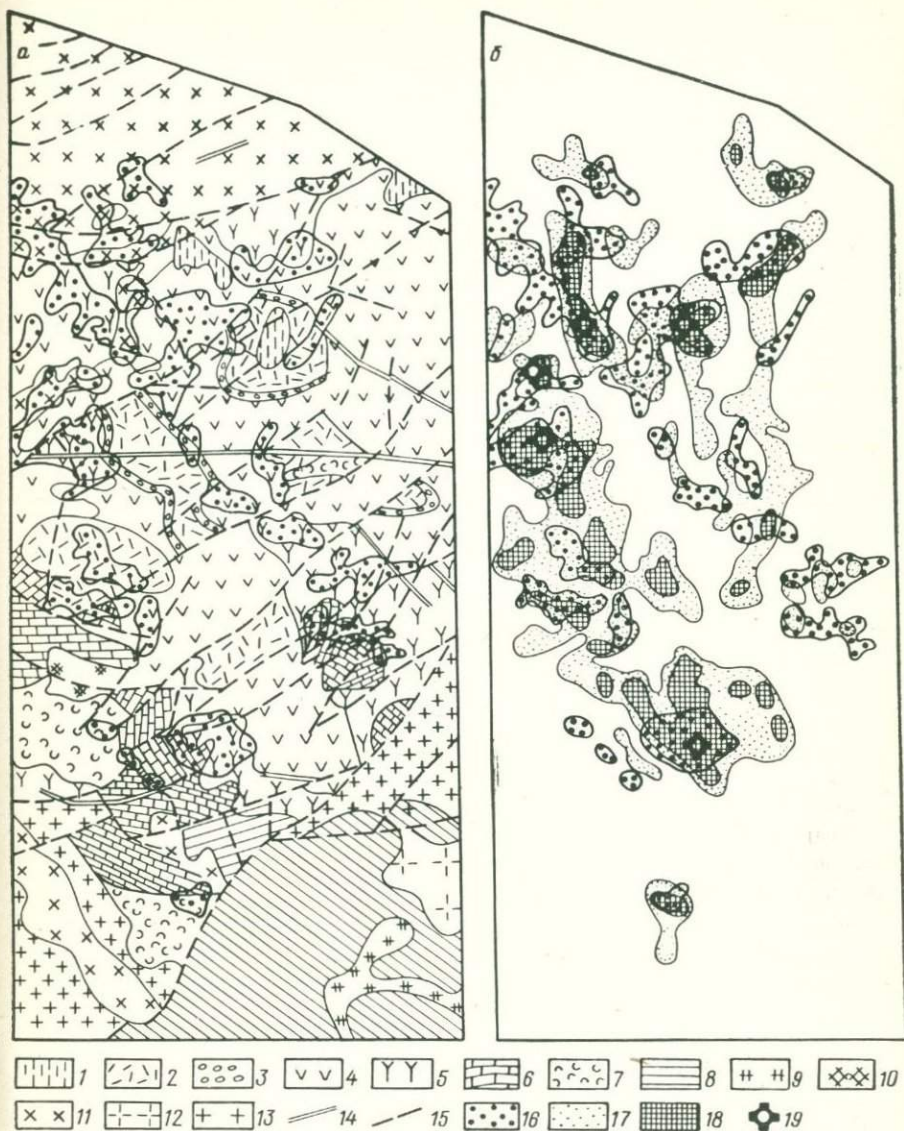


Рис. VII.27. Выделение золотоносных участков Алмалькского рудного узла по АГСМ-данным (ГСА-70).

Карты: а — геологическая (упрощено), б — перспективности на золото.
 1 — песчаники, конгломераты (P₂); 2 — дацитовые порфириды и их туфы (C₂); 3 — конгломераты (C₃); 4 — андезитово-дацитовые порфириды и их туфы (C₂); 5 — андезитовые порфириды и их туфы (C₂); 6 — известняки, доломиты (D₂₋₃); 7 — кислые аффузивы (D); 8 — метаморфические сланцы (O—S); 9 — сиениты (C₃); 10 — монцититы (C₃); 11 — сиенит-порфиры, кварцевые сиенит-диориты (C₃); 12 — гранодиориты (C₃); 13 — аляскииты (S—D₁); 14 — дайки гранодиоритов; 15 — разрывные нарушения; 16 — орсолы рассеяния золота; 17 — 5 ÷ 10; 18 — более 10; 19 — рудопроявления золота.

Высокими концентрациями всех радиоактивных элементов, особенно тория (до $30 \cdot 10^{-4}\%$) и урана [до $(10 \div 12) \cdot 10^{-4}\%$], отличаются сиенито-диориты; несколько меньшими кварцевые порфиры и аляскиты (рис. VII.21). Андезиты и андезито-дациты, слагающие большую часть площади и вмещающие золоторудные тела, по радиогеохимическим параметрам весьма близки к породам Кочбулакского участка. Рудопроявления золота отличаются от вмещающих эффузивов повышенным содержанием калия (3—5 на фоне 1,5—3%) и урана [до $5 \cdot 10^{-4}$ на фоне $(2 \div 3) \cdot 10^{-4}\%$] при фоновом содержании тория $(12,5 \div 17,5) \cdot 10^{-4}\%$. На некоторых рудопроявлениях (Высотное, Чилик) приращения концентраций радиоактивных элементов весьма слабые, их легко пропустить при качественном анализе соответствующих карт. Однако по соотношению радиоактивных элементов золотоносные площади отличаются от вмещающих эффузивов и от аномально радиоактивных интрузивных пород, эти различия легко улавливаются при математической обработке АГСМ-информации.

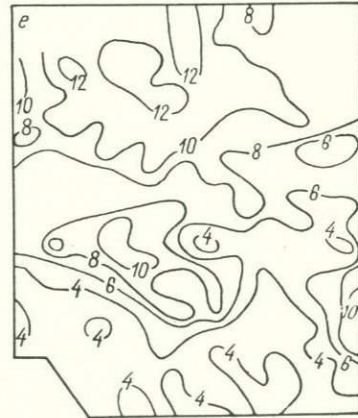
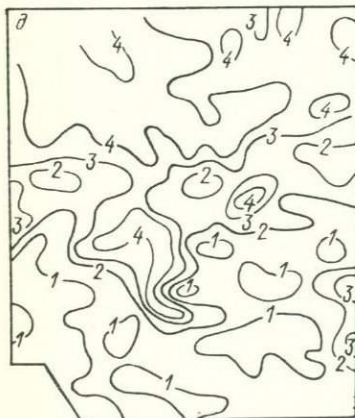
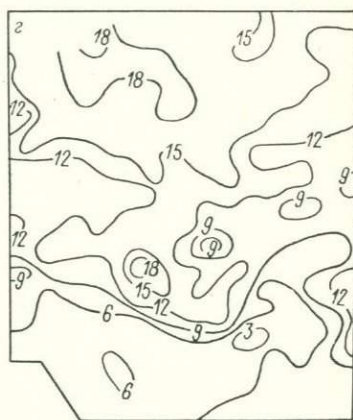
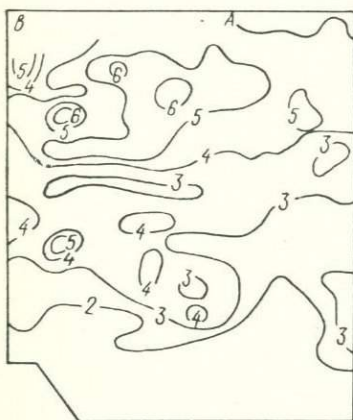
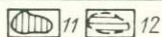
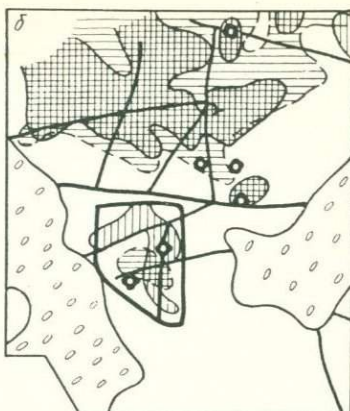
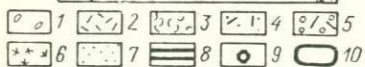
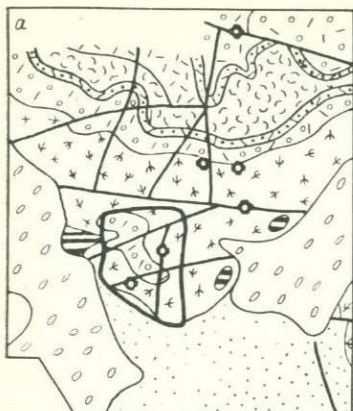
Для выявления золотоносных метасоматитов здесь также применен способ отношения вероятностей, причем в качестве рудных эталонов использованы площади ореолов рассеяния золота на рудопроявлениях Чилик, Катранги, Кенжа и Каульды. Поля, перспективные на золото по АГСМ-данным (рис. VII.27), хорошо совпадают с ореолами рассеяния золота, установленными при детальной литохимической съемке. Относительно слабо выделяется лишь рудопроявление Чилик-бобо, приуроченное к карбонатным породам, в которых метасоматические изменения выражены значительно слабее, чем в эффузивах.

Исследования свидетельствуют о том, что АГСМ-съемка (особенно в высокоточном варианте) позволяет выделить с воздуха слабо проявленные вулканогенные месторождения и рудопроявления золота и эффективно используется для локализации потенциально золотоносных участков на поисковых площадях.

Месторождение сопки Рудной расположено в краевой части Охотско-Чукотского вулканогенного пояса, в пределах которого распространена эпитермальная золото-серебряная минерализация. Район месторождения сложен триасовыми терригенными отложениями: сланцами, песчаниками, конгломератами и несогласно залегающими на них меловыми вулканитами (рис. VII.28). В разрезе нижнего мела преобладают туфогенные и

Рис. VII.28. Выделение золото-серебряного месторождения сопки Рудной (Чукотка) (Г. И. Кузьмин и другие, 1971 г.).

Карты: *a* — геологическая, *б* — интерпретационная схема, *в* — содержания урана, $10^{-4}\%$, *г* — содержания тория, $10^{-4}\%$, *д* — содержания калия, %, *е* — гамма-поля, мкР/ч.
1 — четвертичные отложения; *2* — крупновкрапленниковые липариты; *3* — липариты с перлитовой отдельностью; *4* — туфы и туфолавы липаритов, туфопесчаники; *5* — липариты вишневого цвета; *6* — туфолавы, туфоконгломераты, туфопесчаники; *7* — песчаники, сланцы, алевролиты, гравелиты; *8* — жерловые андезиты, андезито-дациты, андезито-базальты; *9* — месторождения и рудопроявления золото-серебряного типа; *10* — контур рудного поля; *11* — области с содержанием калия более 4%; *12* — тория более $15 \cdot 10^{-4}\%$.



вулканогенно-осадочные породы; в верхнем мелу формировались покровы витрофировых и крупновкрапленниковых липаритов с прослоями туфов и туфолав. Интрузивная деятельность проявлялась в образовании нижнемеловых секущих и субпластовых тел андезитового, андезито-дацитового и андезито-базальтового состава.

В районе интенсивно проявлена разрывная тектоника, причем наиболее мощной и выдержанной является система субширотных нарушений. Опережающими к ним являются разломы субмеридионального, северо-восточного и северо-западного направления. Вдоль разломов и зон дробления проявлены гидротермальные изменения пород пропилитового типа: окварцевание, хлоритизация, серицитизация, карбонатизация, каолинизация и др. Метасоматические изменения усиливаются в эффузивах и ослабляются в терригенных отложениях. Золотое оруденение тяготеет к зонам с наиболее интенсивно и разнообразно измененными породами.

Зональность рудного поля не изучена, но отмечается, что богатые золоторудные тела месторождения тесно ассоциируют с метасоматитами кварц-адулярового состава.

Помимо месторождения сопки Рудной однотипные рудопроявления известны в пределах двух участков к востоку от месторождения. Мелкие проявления золотой минерализации рассеяны на площади участка, локализованы в нижнемеловых пирокластических породах вдоль зон тектонических нарушений. Съемка в районе сопки Рудной выполнена на вертолете Ми-4 в масштабе 1 : 25 000 со станцией АСГ-48М (Г. И. Кузьмин, 1971 г.).

Низкие содержания всех радиоактивных элементов устанавливаются в терригенных отложениях триаса и рыхлых четвертичных образованиях. Радиоактивность вулканогенных пород более высокая, при этом верхнемеловые вулканы содержат в 1,3—1,5 раза больше урана, тория и калия по сравнению с нижнемеловыми.

Максимальные содержания тория (до $30 \cdot 10^{-4}\%$ и более) зафиксированы в некоторых субвулканических эффузивах среднего состава. Линейные слабоинтенсивные аномалии урана совпадают с выделенными тектоническими нарушениями.

В рудном поле месторождения сопки Рудной зафиксирована калиевая аномалия небольшой интенсивности (до 4,5%), протягивающаяся вдоль основной субмеридиональной рудоконтролирующей структуры и изгибающаяся при ее пересечении субширотным разломом к западу. Содержания тория и урана здесь низкие, равные соответственно $(9 \div 15) \cdot 10^{-4}\%$ и $(2 \div 4) \cdot 10^{-4}\%$. По этому признаку калиевая аномалия над месторождением отличается от аномальных полей, создаваемых верхнемеловыми кислыми вулканидами. В последних наряду с высоким содержанием калия (до 5%) устанавливаются высокие содержания тория $[(15 \div 25) \cdot 10^{-4}\%]$ и урана $[(4 \div 7) \cdot 10^{-4}\%]$. Аномалии, аналогичные аномалиям

на сопке Рудной, зафиксированы также на большинстве мелких золоторудных проявлений района.

Таким образом, вулканогенные эпитермальные (близповерхностные) месторождения золота выделяются АГСМ-съемкой по следующим признакам.

1. Наличие аномалий калиевой природы (ΔK до 4—5%), площадью до первых квадратных километров. Характерна линейно вытянутая форма аномалий, отвечающая линейности рудоконтролирующих структур. Содержание тория — фоновое, урана — фоновое или слабо повышенное [$\Delta U = (2 \div 3) \cdot 10^{-4}\%$].

2. Приуроченность аномалий к спокойным и относительно невысоким полям содержания радиоактивных элементов, обусловленных умеренно кислым и средним составом вмещающих вулканогенных образований.

Эффективность АГСМ-поисков эпитермального золото-серебряного оруденения доказана.

VII.7. БОКСИТОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

При изучении закономерностей распределения урана (радия), тория и калия на ряде бокситовых месторождений АГСМ-методом установлено, что площади развития бокситов и бокситоносных кор выветривания четко фиксируются на фоне вмещающих пород аномальными значениями торий-калиевого отношения при характерном распределении радиоактивных элементов: преобладания тория над ураном (радием) и низком содержании калия.

Для бокситов любых месторождений независимо от геолого-генетических позиций характерны содержания: калия — низкое и практически одинаковое (0,01—0,14%) [72]; урана — не превышает $(1 \div 2) \cdot 10^{-3}\%$, пределы его колебаний в бокситах и вмещающих породах одинаковы [79]; тория — резко варьирует в зависимости от материнских пород, являющихся поставщиком материала при образовании бокситов.

Пространственное распределение и формы нахождения урана и тория в бокситах изучались с помощью метода f -радиографии [52]. В результате исследований установлено, что торий в бокситах находится в основном в минеральной форме и связан с акцессорными минералами (циркон, монацит, перовскит и др.), в которых он преобладает над ураном. Уран присутствует в бокситах в сорбированном состоянии и незначительная его доля в минеральной форме в акцессориях.

Концентрация урана в бокситах в десятки раз ниже концентрации тория, что обусловлено в основном процессом образования бокситов, при котором преобладает вынос подвижных элементов, в том числе и урана, при разрушении материнских пород.

Ториевая природа радиоактивности бокситов, постоянное и низкое содержание калия в них, при изменчивости и близком к фоновому содержанию урана позволили установить в качестве

оценочного критерия на бокситы величину торий-калиевого отношения*.

В рыхлых образованиях, перекрывающих бокситы и бокситоносные коры выветривания, при гамма-спектрометрических съемках фиксируются ореолы рассеяния радиоактивных элементов. Они характеризуются низкими, ниже местного геохимического фона, содержаниями калия, сопоставимыми с фоном или несколько превышающими его содержаниями урана (радия) и резко изменчивыми повышенными содержаниями тория: от фоновых значений до превышающих фон в несколько раз. Однако и в этом случае залежки бокситов, перекрытые современными образованиями, четко фиксируются аномальным торий-калиевым отношением.

Рассмотрим результаты АГСМ-съемки на одном из месторождений бокситов в Сибири.

Месторождение расположено на площади поднятия — выступа древнего фундамента Сибирской платформы. Оно приурочено к сводовой части ядра брахиантиклинали, сложенной породами верхнего протерозоя (рис. VII.29) [72]. Ядро складки сложено карбонатными отложениями и окружено породами алевролитосланцевой толщи семеновской свиты, которые постепенно сменяются преимущественно карбонатными породами дольчиковской, чуктуконской и териновской свит. Периферическая часть брахиантиклинали сложена терригенными и карбонатными породами кембрия.

Наиболее распространены породы семеновской свиты, в составе которой преобладают глинисто-сланцевые сланцы с высоким содержанием глинозема (25—28%). Из аксессуарных минералов в сланцах отмечаются ильменит, сфен, циркон, рутил, турмалин.

Породы семеновской свиты вмещают дайки, штоки, жилы щелочных ультраосновных пород, частью минерального состава которых являются перовскит, апатит, сфен, циркон, бадделейт [83]. На алюмосиликатных терригенных породах и секущих их дайках щелочных ультраосновных пород широко развиты коры выветривания мощностью до 50—60 м, преимущественно каолинового состава.

К ядру брахиантиклинали приурочена глубокая депрессия, выполненная рыхлыми мезо-кайнозойскими отложениями. В верхней части отложений залегает бокситоносная толща, которая вмещает линзообразные и пластовые тела бокситов.

Материнскими породами при образовании бокситов послужили в основном песчано-глинистые сланцы с кларковыми содержаниями радиоактивных элементов и высокорadioактивные щелочные ультраосновные породы, содержащие в среднем до 0,001% урана, до 0,05% тория и до 0,07% калия. Бокситы представлены каменистыми, рыхлыми и глинистыми разностями. Содержание глинозема колеблется от 24 до 42%; аксессуарные минералы — апатит,

* Условно в тексте $\text{Th} \cdot 10^{-4}/\text{K}$, %, заменено Th/K , %.

сфен, бадделеит, циркон, перовскит [76]. Содержания радиоактивных элементов в среднем составляют для тория 0,044, для урана — 0,0014, для калия — 0,02%.

Глубина залегания залежей колеблется от 0,3 до 113 м. На трех участках рудные залежи бокситов выходят на поверхность; площадь выходов невелика (первые десятки квадратных метров). Площадь месторождения повсеместно перекрыта современными делювиальными образованиями, на которых хорошо развиты дерново-мерзлотные таежные почвы.

По данным АГСМ-съемки со станцией АСГ-48М2 на самолете Ан-2 в масштабе 1 : 25 000 площадь поднятия выделяется на общем фоне (4—5 мкР/ч) аномальной интенсивностью гамма-излучения (10—30 мкР/ч). Содержания урана на площади не превышают фон и варьируют в незначительных пределах [(2 ÷ 4) × 10⁻⁴%]. Аномальными содержаниями тория [(20 ÷ 42) · 10⁻⁴%] на фоне (8 ÷ 12) · 10⁻⁴% четко фиксируется центральная часть поднятия, сложенная породами нижней подсвиты семеновской свиты и бокситоносными мезо-кайнозойскими отложениями (рис. VII.29). Содержание калия на этой площади не превышает 1,0 и в основном составляет 0,5%.

Повышенные содержания тория [(12 ÷ 24) · 10⁻⁴%] и калия (1—5%) приурочены к отложениям средней и верхней подсвит семеновской свиты, опоясывающим сводовую часть брахиантиклинали.

Карбонатные породы кембрия характеризуются фоновыми и ниже фоновых содержаниями тория и калия.

С практической точки зрения интересно выделить бокситы и бокситоносные коры выветривания среди вмещающих рыхлых образований. Для этого нами были рассмотрены значения индикаторного торий-калиевого отношения и построена интерпретационная карта торий-калиевого отношения масштаба 1 : 25 000 (рис. VII.29).

Как видно на карте, аномальными величинами (Th/K > 30) выделяется водораздельная возвышенность, на которой расположено месторождение бокситов. На остальной части площади Th/K ≤ 30.

При детальном изучении распределения торий-калиевого отношения в пределах площади месторождения отмечается, что залежи бокситов и бокситоносные коры выветривания фиксируются более высокими значениями Th/K = 60 ÷ 140 (а иногда и более), чем коры выветривания терригенных пород.

Закономерности в распределении радиоактивных элементов и Th/K на площади месторождения, полученные при АГСМ-съемке, подтвердились наземными исследованиями, включающими определение урана (радия), тория и калия in situ с гамма-спектрометром СП-3М.

На рис. VII.30 представлены результаты измерений по профилю, пересекающему залежи бокситов, бокситоносные коры выветривания и коры выветривания вмещающих пород.

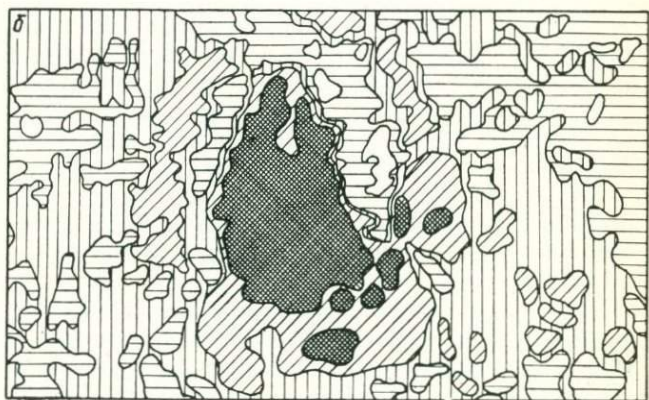
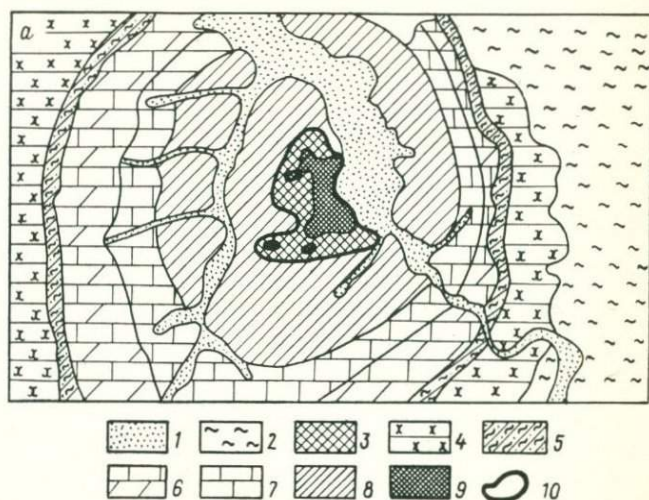
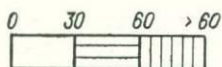
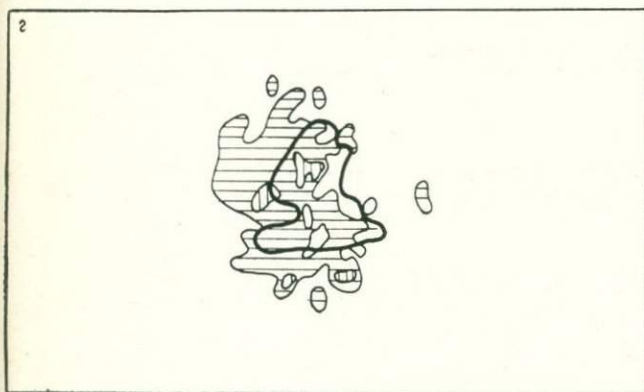
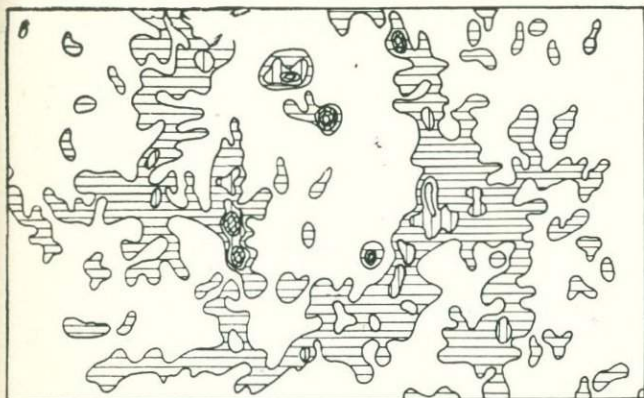


Рис. VII.29. Выделение залежей бокситов по АГСМ-данным
 Карты: а — геологическая (по Ю. А. Забирову, В. И. Стреляву, калцевого отношения.
 1 — аллювиальные пески, галечники; 2 — палеогеновая и неогено железняков и лигнитов; 4 — бруская свита, алевролитоглинистые сланцы; 6 — чуктуконская свита, доломиты, известняки; 7 — доль меновская свита, глинистые и алевролитоглинистые сланцы, алевро 10 — контур рудного поля.



(АСГ-48М).

1971 г.), б — содержания тория, в — содержания калия, г — торий-
 вая системы; 3 — бокситоносная толща: глины с прослоями бурых
 сланцы, алевролиты, песчаники, известняки; 5 — алевролитовые
 Чиковская свита, известняки, глинистые известняки, мергели; 8 — се-
 литы, песчаники, кварциты; 9 — бокситы, бокситоносные породы;

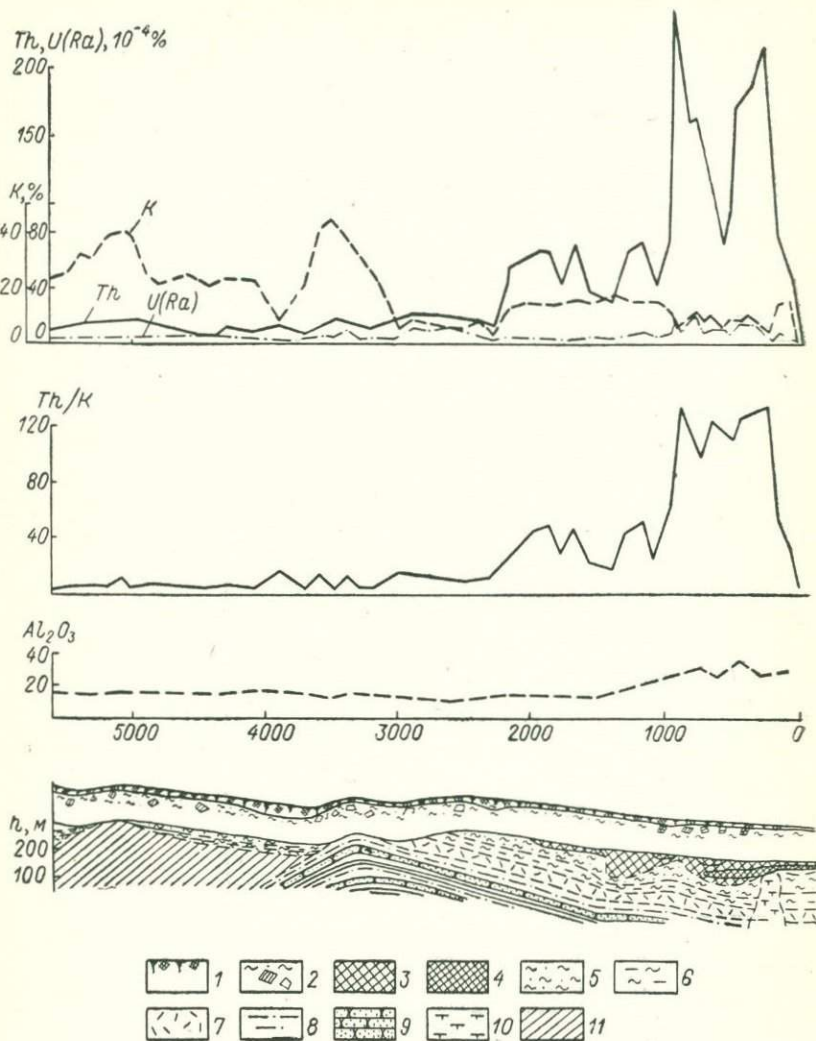


Рис. VII.30. Распределение радиоактивных элементов и Th/K на площади бокситового месторождения по наземной гамма-спектрометрии.

1 — перегнойно-растительные образования; 2 — обломки горных пород в почвенном суглинке; 3 — бокситоносная толща; 4 — глины с прослоями бурых железняков и лигнитов; 5 — глины и суглинки; 6 — гидрослюдистые глины; 7 — продукты дезинтеграции пород; 8 — алевриты; 9 — песчаники; 10 — выветрелые ультраосновные и щелочные породы; 11 — глинистые сланцы.

В поверхностных образованиях над бокситами и бокситоносными корами выветривания наблюдаются содержания тория аномально высокие ($> 84 \cdot 10^{-4}\%$), урана (радия) близкие к фоновым, калия низкие (в 1,5—2 раза ниже фона). Данный участок профиля отмечается аномальным торий-калиевым отношением (> 80). В химическом составе почв выявлены повышенные концентрации глинозема ($> 20,0\%$). Для поверхностных образований, перекрывающих коры выветривания терригенных пород, характерны фоновые содержания как радиоактивных элементов [торий $42 \cdot 10^{-4}\%$, уран (радий) $4,0 \cdot 10^{-4}\%$, калий 1,42%], так и торий-калиевого отношения (до 40), при среднем содержании глинозема, равном 15,64%.

В распределении радиоактивных элементов и торий-калиевого отношения по линии профиля прослеживается определенная закономерность: максимум содержания тория и значения Th/K над бокситами и снижение по мере удаления от них, минимум содержания калия над залежами бокситов и увеличение его по мере удаления от них.

Таким образом, результаты аэро- и наземных гамма-спектрометрических съемок позволяют отметить следующее:

- бокситы и бокситоносные коры выветривания изученного месторождения отчетливо выделяются повышенной радиоактивностью и аномальной величиной торий-калиевого отношения среди пород, слагающих месторождение, при низких содержаниях калия;
- природа радиоактивности бокситов ториевая и обусловлена минеральным составом бокситов, унаследованным от материнских пород.

Аналогичная картина в распределении радиоактивных элементов и торий-калиевого отношения наблюдается и на Порожнинском месторождении бокситов (рис. VII.31), расположенном в восточной части Иркинеевского выступа Енисейского кряжа [79].

Площадь месторождения сложена верхнепротерозойскими и нижнекембрийскими терригенными, терригенно-карбонатными и карбонатными породами, мел-палеогеновыми образованиями кор выветривания и четвертичными отложениями. Последние представлены в основном делювиальными суглинками и глинами, имеющими повсеместное распространение. Обнаженность района слабая.

Рудные тела бокситов приурочены к карстовым депрессиям, расположенным в области контактов терригенных пород с карбонатными, и к карстовым полостям среди карбонатных пород. Материнскими породами для бокситов Порожнинского месторождения служили коры выветривания хлоритоидных глинистых сланцев, минеральный состав и радиоактивность которых отличаются от минерального состава и радиоактивности материнских пород рассмотренного выше месторождения как ассоциацией аксессуарных минералов и их количеством, так и более низкими содержаниями тория (до 0,006%) и урана (радия) (до 0,0005%).

Бокситы представлены каменистыми, рыхло-каменистыми и глинистыми разностями с содержаниями глинозема от 38,82 до 52,20%.

Аэро- и наземные гамма-спектрометрические работы позволили установить следующие закономерности в распределении радиоактивных элементов и торий-калийевого отношения:

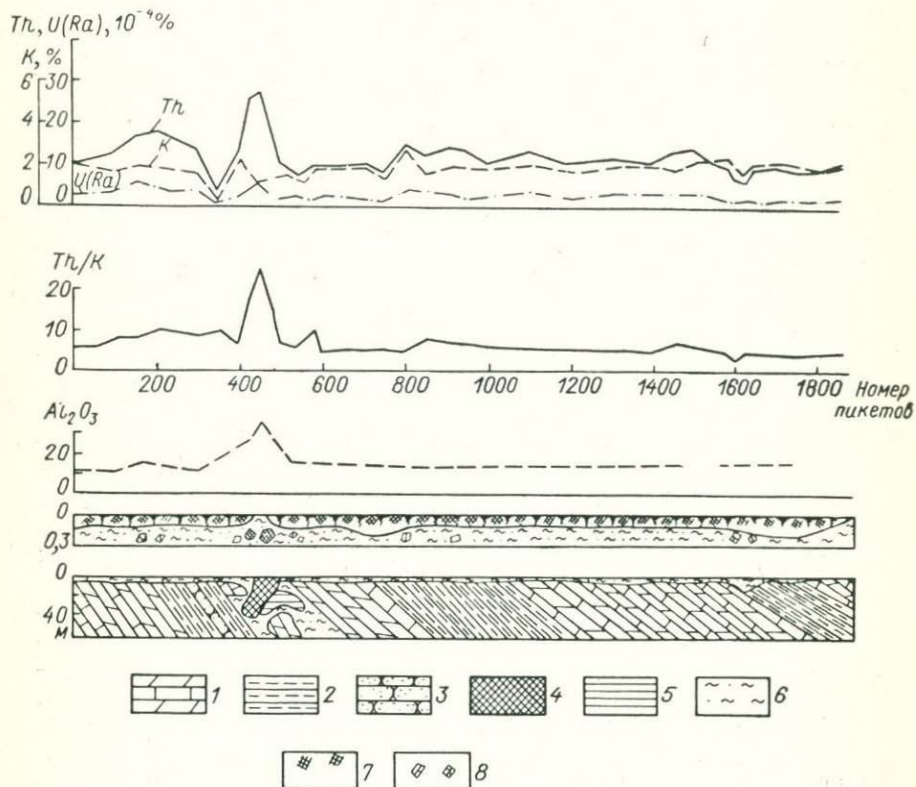


Рис. VII.31. Распределение радиоактивных элементов и Th/K на площади Порожнинского месторождения по данным наземной гамма-спектрометрии. 1 — доломиты, известняки; 2 — глинистые сланцы; 3 — песчаники и алевролиты; 4 — бокситы каменистые и рыхлые; 5 — бокситы глинистые; 6 — глины и суглинки; 7 — перигляционно-растительные образования; 8 — обломки горных пород в почвенном суглинке.

— радиоактивность бокситов обусловлена в основном повышенными содержаниями тория [(30 ÷ 50) · 10⁻⁴%], в 2—2,5 раза выше кларка глинистых сланцев и глин; торий связан с акцессорными минералами;

— содержание урана (радия) в бокситах повышено по отношению к кларку осадочных пород;

— для бокситов характерны низкие содержания калия (0,02 — 0,10%);

— радиоактивность пород месторождения соответствует кларку осадочных пород;

— в почвах и современных рыхлых образованиях содержания тория, урана (радия) и калия практически соответствуют содержаниям указанных элементов в материнских породах;

— залежи бокситов выделяются среди вмещающих пород и поверхностных образований аномальной величиной торий-калиевого отношения (рис. VII.29—VII.31).

Таким образом, установленные закономерности в распределении радиоактивных элементов и торий-калиевого отношения дают возможность выделять бокситы и бокситоносные коры выветривания АГСМ-методом.

VII.8. БИОХЕМОГЕННЫЕ ОСАДОЧНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ФОСФОРИТОВ)

Изучение радиогеохимии фосфоритов и вмещающих пород позволили выявить ряд характерных закономерностей, которые можно использовать для поисков.

Так, изучение распределения урана по следам осколков деления (трекам) [52] в фосфоритах различных разновидностей (натечные, яшмовидные, фарфоровидные, алюмофосфатный минерал вавеллит и др.) показало, что уран приурочен только к фосфату.

Установленная обусловленность повышенной радиоактивности фосфоритов исключительно ураном ($r \text{ U/P}_2\text{O}_5 = 0,80 \div 0,96$) дает возможность искать фосфориты по сопровождающим их ореолам рассеяния урана посредством изучения особенностей распределения естественного гамма-поля земной поверхности методами гамма-спектрометрии.

Для месторождений и фосфатопроявлений как первичных, так и вторичных фосфоритов установлено характерное распределение радиоэлементов; повышенное против кларка содержание урана (радия) и пониженное тория и калия [25].

Концентрация урана в фосфоритах различных месторождений колеблется в широких пределах в среднем от $(5 \div 7) \cdot 10^{-4}$ до $(50 \div 75) \cdot 10^{-4}\%$ и более, в то время как содержание тория практически постоянно и меняется в небольших пределах $(1 \div 3) \cdot 10^{-4}\%$. Это позволяет установить оценочные критерии — аномальное значение уран-ториевого отношения (>1), которое можно использовать при поисках фосфоритов, в том числе не выходящих на дневную поверхность. Содержание калия меняется мало вследствие обычно наблюдаемой задернованности рудных полей.

Рассмотрим результаты применения аэрогамма-спектрометрии для выделения фосфоритовых залежей.

Месторождение фосфоритов расположено в пределах грядово-сопочной возвышенности, господствующие вершины которой достигают высоты около 1000 м.

В геологическом строении месторождения (рис. VII.32) принимают участие карбонатные породы верхнего протерозоя, подразделяемые на две толщи: нижнюю — доломитовую слабофосфатную ($P_2O_5 \approx 0,6\%$) и верхнюю — фосфатоносную, известково-доломитовую ($P_2O_5 = 1,6\%$). Практическое значение месторождения определяется вторичными фосфоритами, выполняющими карстовые полости, расположенные на вершинах *Б* и *М*. Наиболее крупная карстовая залежь фосфоритов расположена на вершине *Б*. Она приурочена к тектонически ослабленной зоне и имеет размеры 260×190 м при глубине 140 м. Фосфатные залежи *Б* сложены рыхлыми фосфоритами с отдельными блоками каменистых; содержание P_2O_5 высокое: 20—30%.

Карстовая залежь *М* имеет размеры 300×200 м, при глубине 20—24 м. Фосфориты, слагающие залежь, отличаются песчанистым кремнисто-фосфатным составом; содержание P_2O_5 колеблется от 6 до 20—25%. В северной части месторождения в нижних, пологих частях склонов среди рыхлых отложений палеоген-неогеновой коры выветривания локализуются плащеобразные залежи вторичных фосфоритов, которые имеют размеры до 800×350 м при мощности до 30 м. Они выполнены преимущественно рыхлыми красно-бурыми глиноподобными алевритистыми фосфоритами; содержание P_2O_5 в них колеблется от 6,0 до 30%.

Залежи фосфоритов перекрыты четвертичными элювиально-делювиальными образованиями. На карстовых фосфоритах преобладает элюво-делювий мощностью 1—3 м, реже до 5 м, представленный щебнистыми суглинками, обломочная часть которых состоит из карбонатных пород и фосфоритов. В элюво-делювии, залегающем над карстами, хорошо развиты вторичные ореолы рассеяния фосфора, интенсивность которых достигает нескольких процентов P_2O_5 .

На плащеобразных залежах вторичных фосфоритов современные четвертичные образования представлены в основном аллохтонными делювиальными и пролювиально-делювиальными щебнисто-галечными суглинками. Их мощность от 1 до 50 м.

По данным самолетной АГСМ-съемки масштаба 1:25 000 гамма-поле района (рис. VII.32) характеризуется радиоактивностью 1—10 мкР/ч. Наиболее высокой радиоактивностью 8—10 мкР/ч фиксируются карстовые фосфатоносные воронки, а также ряд других участков, где фосфатопроявления отсутствуют.

Содержания урана (радия), тория и калия за пределами месторождения соответствуют кларку осадочных пород. На этом фоне повышенными концентрациями $U (Ra) = (4 \div 10) \cdot 10^{-4}\%$ отмечается фосфатоносная, известково-доломитовая толща, в пределах которой карсты соответственно характеризуются значениями $(6 \div 8) \cdot 10^{-4}$ и $(8 \div 20) \cdot 10^{-4}\%$ U (рис. VII.32). На площади распространения мартюхинской свиты участки *Б* и *М* отличаются наиболее низкими содержаниями тория $(1 \div 3) \cdot 10^{-4}\%$. За их

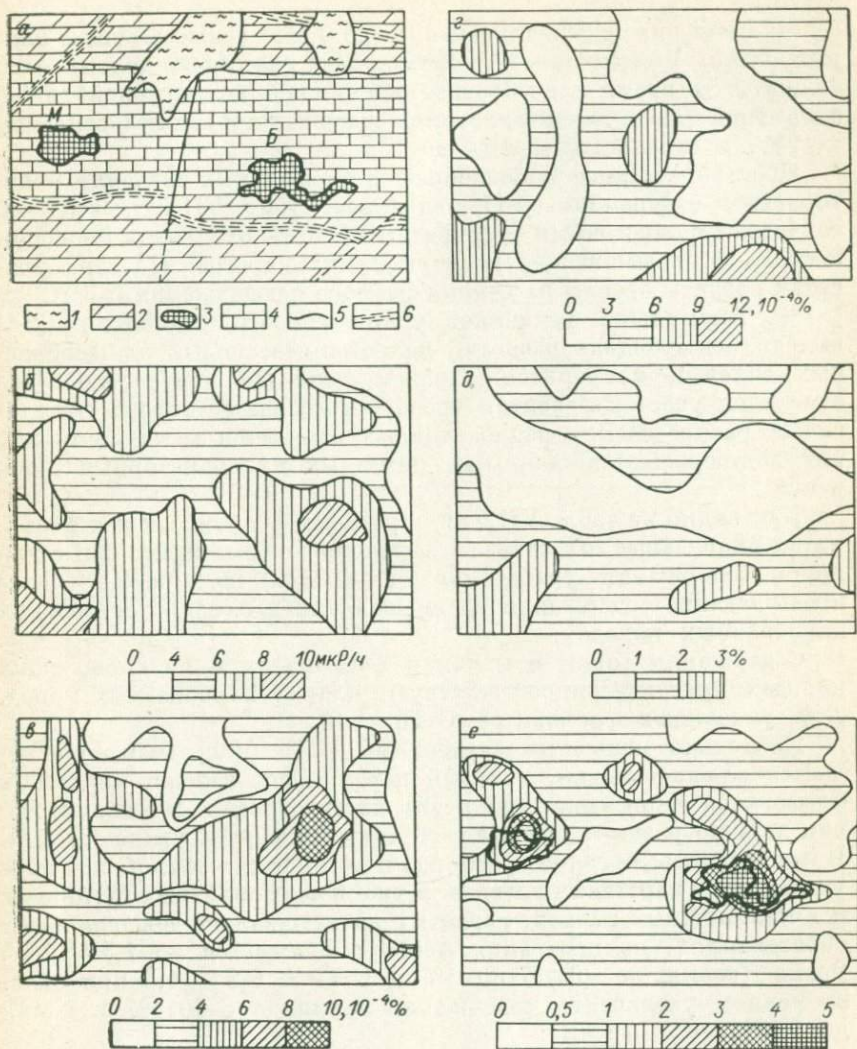


Рис. VII.32. Выделение залежей фосфоритов по комплексным АГСМ-данным (АСГ-48 м).

Карты: а — геологическая (по Г. М. Еханину, 1969 г.), б — гамма-поля, в — содержания урана (радия), г — содержания тория, д — содержания калия, е — уран (радий)-ториевых отношений.

1 — третичная кора выветривания: красно-бурые фосфатные глины и эпигенетические фосфориты; 2 — образования мезозойской коры выветривания; 3 — богатые эпигенетические фосфориты; 4 — известково-доломитовая пачка (белые и светло-серые известняки, известковистые доломиты); 5 — стратиграфические границы; 6 — зоны тектонических нарушений.

пределами концентрация тория возрастает, достигая $(9 \div 12) \times 10^{-4}\%$.

Наименьшие содержания калия (до 0,5%) также в общем виде приурочены к отложениям фосфатонесной известково-доломитовой толщи, в то время как образования нижней (доломитовой) слабо-фосфатной толщи характеризуются содержанием калия в основном 1—2%, в отдельных местах до 3%.

Пространственное размещение зон аномальных значений уран-ториевых отношений (>1) показывает (рис. VII.32), что они совпадают с карстовыми фосфоритами *Б* и *М*, охватывая площади, несколько превышающие размеры самих карстов. На этих участках развиты ореолы рассеяния фосфора с содержаниями $P_2O_5 > >1\%$. Аномальной величиной уран-ториевого отношения (>1) выделилась площадь развития палеоген-неогеновых плащеобразных залежей фосфоритов. Причем наиболее контрастно (>2) отмечился участок развития ореолов рассеяния фосфора. Аналогичное распределение радиоактивных элементов и их соотношений подтверждается данными наземных и лабораторных измерений.

Как видно из табл. VII.2, в карстовых фосфоритах и в фосфоритах плащеобразных залежей зафиксированы максимальные для пород содержания урана [до $(60-100) \cdot 10^{-4}\%$], в 2—10 раз превышающие содержания во вмещающих верхнепротерозойских карбонатных породах.

Содержания тория и калия в фосфоритах и во вмещающих породах практически соответствуют кларку карбонатных пород. Для указанных фосфоритов $U/Th > 10$.

Несколько меньшими значениями U/Th (в среднем 5) отмечается элюво-делювий, который перекрывает залежи карстовых фосфоритов и примыкающие к ним части склонов. В элюво-делювии хорошо развиты ореолы рассеяния фосфора и урана (радия). Интенсивность ореолов фосфора и урана снижается по мере удаления от карстовых залежей и уже в делювиальных суглинках и в маломощных почвах, развитых на элювиально-делювиальных образованиях, концентрация фосфора снижается до 1,3—1,8%, урана (радия) до $(6 \div 7) \cdot 10^{-4}\%$ и $U/Th = 0,9 \div 1,3$ при одновременном увеличении содержаний тория до $8 \cdot 10^{-4}\%$ и калия до 1,16%.

Наглядное представление о распределении радиоэлементов на площади месторождения дает профиль, пересекающий ядро синклинали, сложенное известково-доломитовой фосфатонесной толщей, и карстовую залежь *Б* (рис. VII.33). Породы толщи и карстовые фосфориты перекрыты четвертичными образованиями, мощность которых колеблется от 1—3 м (на склонах) до 6—8 м в пониженных частях рельефа. Для профиля в целом характерны высокие значения U/Th и пониженные содержания тория при высокой фосфатонесности поверхностных отложений. Наибольшими содержаниями урана (радия) от $(50 \div 120) \cdot 10^{-4}\%$ отме-

ТАБЛИЦА VII.2

Содержание радиоактивных элементов U(Ra)/Th и P₂O₅ в поверхностных образованиях месторождения фосфоритов

Порода	P ₂ O ₅ , %	U (Ra), 10 ⁻⁴ %	Th, 10 ⁻⁴ %	K, %	U/Th
Карстовые фосфориты	$\frac{12.45}{7.10-20.18}$ (17)	$\frac{52.5}{12.0-119.4}$ (17)	$\frac{2.1}{1.0-3.5}$ (17)	$\frac{0.33}{0.22-0.91}$ (17)	≥10
Элюво-делювий карстовых фосфоритов	$\frac{9.69}{2.9-20.5}$ (19)	$\frac{36.3}{13.2-100.0}$ (28)	$\frac{6.4}{1.4-11.4}$ (30)	$\frac{0.63}{0.10-1.36}$ (28)	$\frac{5.0}{2.0-9.1}$ (25)
Вторичные фосфориты плащеобразных залежей в корях выветривания	$\frac{15.87}{9.50-23.80}$ (12)	$\frac{34.0}{14.8-60.8}$ (12)	$\frac{2.0}{2.0-4.4}$ (12)	$\frac{0.24}{0.11-0.35}$ (11)	≥10
Делювиальные суглинки, перекрывающие фосфориты плащеобразных залежей	$\frac{1.06}{0.55-1.50}$ (15)	$\frac{6.6}{3.0-10.2}$ (10)	$\frac{4.8}{3.8-5.8}$ (10)	$\frac{0.67}{0.28-1.06}$ (11)	$\frac{1.2}{0.8-1.6}$ (10)
Почвы, развитые на элювиально-делювиальных образованиях слабобосфоритных доломитовых пород	$\frac{0.44}{\text{не обн.} - 0.90}$ (15)	$\frac{5.3}{2.5-8.1}$ (40)	$\frac{8.2}{5.8-10.6}$ (40)	$\frac{1.47}{1.14-1.80}$ (34)	$\frac{0.6}{0.2-1.0}$ (40)
Кларк карбонатных пород (по А. А. Смыслову, 1968 г.)	—	2.8	2.0	0.4	1.4

Примечание. В числителе среднее содержание; в знаменателе пределы колебаний содержаний; в скобках количество проб в выборке; содержания радиоактивных элементов приведены по данным лабораторных анализов ВИРГ и ВИМС; P₂O₅ определено в лаборатории Почвенного института АН СССР.

чаются карстовые фосфориты и примыкающие к ним участки ореолов рассеяния P_2O_5 (5—10%). Содержание тория в среднем составляет $4 \cdot 10^{-4}\%$ при колебаниях ($2 \div 10$) $\cdot 10^{-4}\%$, калия 0,3% при колебаниях 0,2—1,0%.

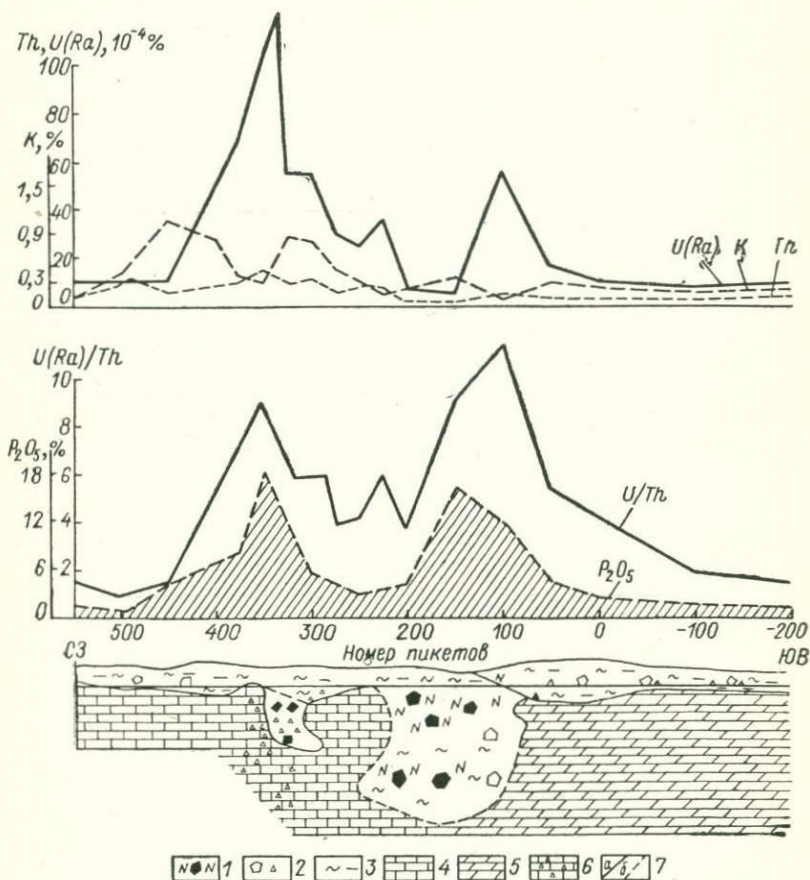


Рис. VII.33. Распределение радиоактивных элементов и U/Th по данным наземной гамма-спектрометрии.

1 — карстовые фосфориты; 2 — глыбово-щебнистые обломки; 3 — перегонно-суглинистые почвы; 4 — известняки; 5 — долмиты; 6 — осадочная известковистая брекчия; 7 — геологические границы: а — установленные, б — предполагаемые.

Снижение содержаний урана (радия) и уран-ториевого отношения фиксируются на флангах профиля, где ореол фосфата характеризуется низким содержанием P_2O_5 (до 1—2%), в элювиально-делювиальных образованиях и в почвах появляется большое количество обломков карбонатных пород.

Таким образом, на месторождениях вторичные фосфориты и их ореолы рассеяния с содержанием $P_2O_5 > 1\%$ четко выделяются на фоне пород и современных образований аномальными значениями $U/Th > 1$ при характерном для фосфоритов распределении радиоактивных элементов: повышенном содержании урана (радия) при низких (ниже фона) содержаниях тория и калия.

Исследования на первичных фосфоритах показывают, что распределения радиоактивных элементов пластовых и фосфоритов рассмотренного месторождения идентичны. Первичными фосфоритами являются фосфатоносные карбонатно-кремнистые и кремнистые породы верхнего протерозоя, содержание $P_2O_5 = 10 \div 28\%$. Фосфоритовые тела имеют линзовидно-пластообразную форму. На первичных фосфоритах и фосфатизированных породах развиты элювиальные фосфориты, образующие плащеобразные залежи. Они состоят из кремнисто-фосфатных супесей с переменным количеством обломков коренных пород. Фосфориты повсеместно перекрыты элювиально-делювиальными образованиями, представленными щелбнистыми суглинками.

В элювио-делювии развиты ореолы рассеяния фосфора, содержание P_2O_5 в которых достигает нескольких процентов.

Повышенными содержаниями урана (радия) $[(5 \div 20) \cdot 10^{-4}\%]$, как видно на рис. VII.34, отмечаются не только пластовые фосфориты, но и значительная площадь распространения ореолов рассеяния фосфора с содержанием $P_2O_5 = 1,0\%$ и выше. Участок залежи характеризуется максимальными содержаниями урана (радия) (до $20 \cdot 10^{-4}\%$), площадь ореолов рассеяния $(5 \div 10) \times 10^{-4}\%$ при низких содержаниях тория $[(2 \div 3) \cdot 10^{-4}\%]$ в пределах залежи, концентрация которого повышается за их пределами до $(5 \div 8) \cdot 10^{-4}\%$. Соответственно этому максимальные значения уран-ториевого отношения (до 6) приурочены непосредственно к залежи, а 1—4 к выходам ореолов рассеяния. Наименьшие значения $U/Th = 0,3 \div 1$ фиксируются на флангах профиля, где отсутствуют залежи фосфоритов и их ореолы рассеяния.

Изучение особенностей распределения радиоактивных элементов на других месторождениях фосфоритов платформенного и геосинклинального типа (европейской части Союза, Средней Азии, Казахстана, Бурятии и др.) показывает, что общим для всех исследованных фосфоритов являются пониженное или фоновое содержание калия и преобладание содержания урана над торием в единицы, десятки и даже сотни раз, в связи с чем фосфориты характеризуются аномальными значениями $U/Th > 1$. Это индикаторное отношение следует рассматривать как оценочный критерий для выявления АГСМ-методом участков локализации залежей фосфоритов, их ореолов рассеяния и для выделения площадей повышенной фосфатизации, перспективных на поиски фосфоритов.

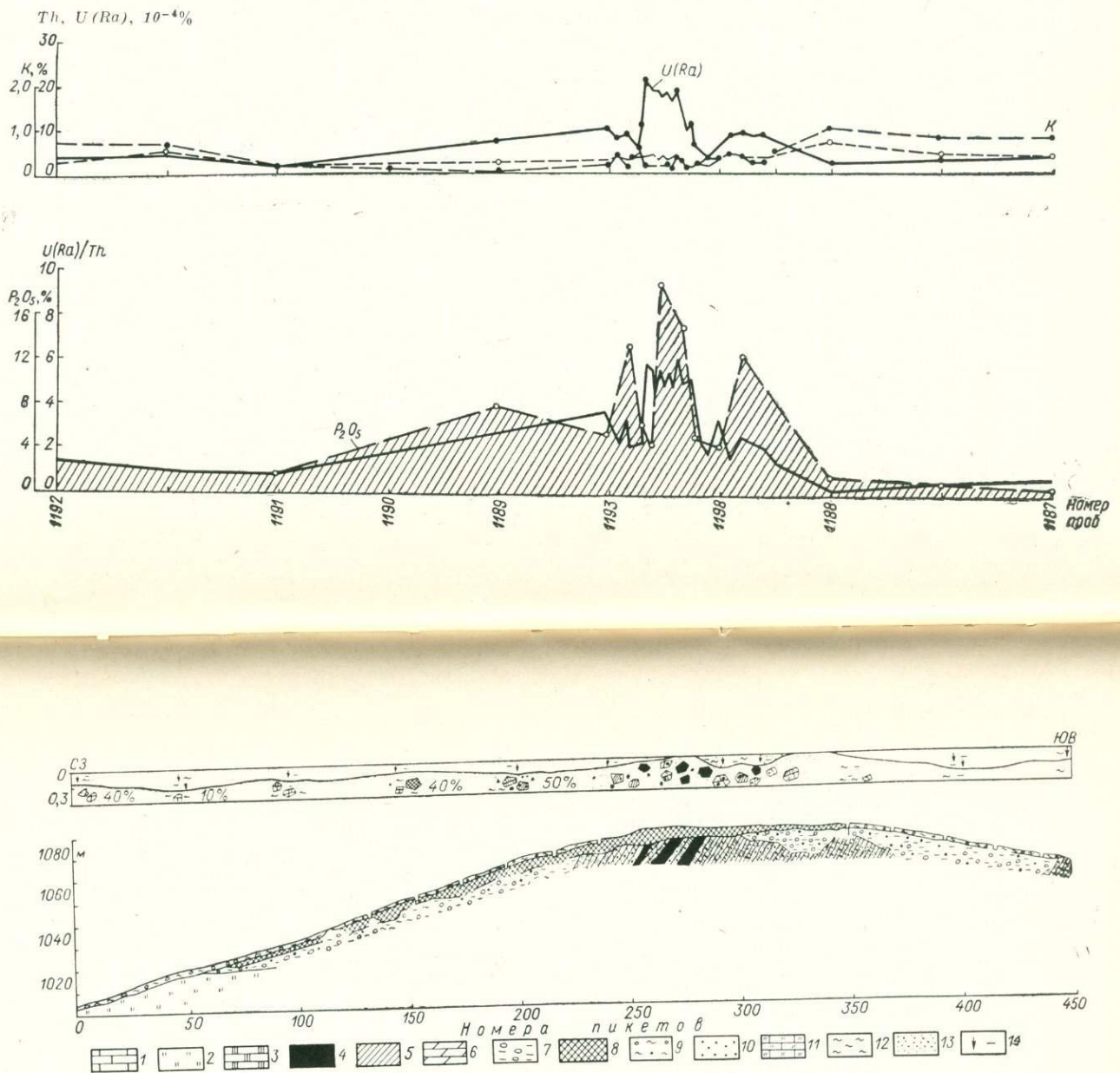


Рис. VII.34. Распределение радиоактивных элементов, P_2O_5 и U/Th на месторождении фосфоритов пластового типа.
 1 — известняки; 2 — бесфосфатные силициты; 3 — фосфатоносные силициты; 4 — пластовые фосфориты (содержание $P_2O_5 = 20 \div 28\%$); 5 — элювиальные фосфориты (содержание $P_2O_5 = 5 \div 28\%$); 6 — доломиты; 7 — карстовые глины, суглинки $= 20 \div 28\%$; 8 — кора выветривания; 9 — делювиальные образования; 10 — повышенная фосфатность отложений (5%); 11 — окремнение карбонатных пород; 12 — суглинки; 13 — супеси; 14 — перегнойно-растительные образования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нашей стране принадлежит приоритет в применении аэрогамма-спектрометрии для поисков месторождений цветных, редких и благородных металлов. Он обусловлен значительным объемом теоретических исследований и опытно-методических работ на известных месторождениях. Особенностью этих работ является тесное содружество научно-исследовательских и производственных организаций на всех этапах становления метода: от первых АГСМ-съемок типовых месторождений до практического применения для поисков. Результаты исследований легли в основу настоящего руководства, в котором впервые систематически изложены все основные вопросы методики АГСМ-работ, направленных на выявление рудных полезных ископаемых.

Методические рекомендации успешно апробированы и отчасти внедрены в производственную практику. Необходимо творчески освоить методику АГСМ-поисков всем организациям, проводящим аэрогеофизические работы. Это резко повысит геологическую эффективность съемок, которая уже доказана открытием месторождений и рудопроявлений золота, олова, тантала, вольфрама и других полезных ископаемых.

Отметим, что в США и других капиталистических странах аналогичные исследования только начинаются. Не случайно за рубежом не было выявлено месторождений нерадиоактивного сырья АГСМ-методом, несмотря на применение первоклассной АГСМ-аппаратуры, навигационных систем и ЭВМ.

Поисковые возможности АГСМ-метода в настоящее время реализованы еще далеко не полностью. Основные пути дальнейшего повышения его эффективности следующие.

1. Повышать точность АГСМ-измерений (снижать аппаратурные погрешности и более точно учитывать другие мешающие факторы).

2. Совершенствовать методику интерпретации АГСМ-информации, анализируя пространственные закономерности распределения радиоактивных элементов и данные других аэрогеофизических методов (магнито-, электроразведка).

3. Создавать бортовые устройства для выделения перспективных площадей по комплексу аэрогеофизических данных.

4. Обеспечивать оперативную автоматическую обработку и интерпретацию комплексных аэрогеофизических данных, применив электронно-вычислительную технику и системы радионавигационной привязки.

Поставленные задачи должны решаться концентрированными усилиями многих организаций разного профиля. Быстрый прогресс аэрогеофизических методов исследования является важным условием расширения минерально-сырьевой базы страны.

1. Айвазян С. А., Бексаева З. И., Староверов О. В. Классификация многомерных наблюдений. М., «Статистика», 1974, с. 75—133.
2. Альбитизированные и грейзенизированные граниты (апограниты). М., Изд-во АН СССР, 1962. 194 с. Авт.: А. А. Беус, Э. А. Северов, А. А. Ситнин, К. Д. Субботин.
3. Андерсон Т. Введение в многомерный статистический анализ. М., Физматгиз, 1963. 350 с.
4. Аэрогамма-спектрометрический метод поисков месторождений урановых руд. Методическое руководство. Под ред. Г. С. Смирнова. Л., ОНТИ ВИТР, 1967. 228 с.
5. Барабаш Ю. Л. Вопросы статистической теории распознавания. М., «Сов. радио», 1967. 400 с.
6. Берзина Л. А. Особенности распределения радиоактив. элементов в карбонатитах. — В кн.: Радиоактив. элементы в горн. породах, ч. 1. (Тезисы докл. Первого Всесоюз. радиогеохим. совещания в г. Новосибирске.) Новосибирск, «Наука», 1972, с. 156—158.
7. Боровко Н. Н. О зависимости между содержанием внобия, тантала, урана, тория в редкометальных карбонатитах. — «Зап. Всесоюз. минералог. общества», 1961, вып. 6, с. 637—642.
8. Бонякович И. Д., Глебовский Ю. С. Фотопривязка аэрогеофизических маршрутов и аномалий. М., Госгеолтехиздат, 1963. 171 с.
9. Валийш С. О. Геология Кочбулакского рудного поля. — В кн.: Рудные формации и основные черты металлогении золота Узбекистана. Ташкент, Изд-во ФАН УзССР, 1969, с. 46—57.
10. Винцель Е. С. Теория вероятностей. М., «Наука», 1964. 576 с.
11. Виленкин С. Я., Трахтенгерц Э. А. Математическое обеспечение управляющих вычислительных машин. М., «Энергия», 1972. 392 с.
12. Вишняков А. Э. С. Типовая электроразведочная аппаратура. Л., «Недра», 1967. 280 с.
13. Власов Г. С. О новом типе золоторудной минерализации в Забайкалье. — «Изв. Заб. филиала геогр. об-ва СССР», т. 5, 1969, вып. 5, с. 22—35.
14. Воробьев В. П., Ефимов А. В., Корнилов Ф. П. Геолого-геохимические основы применения аэрогамма-спектрометрического метода при поисках нерадиоактивных рудных месторождений. — «Методы рудн. геофизики». Л., «Недра», 1972, вып. 10, с. 4—22.
15. Временное руководство по комплексным аэрогеофизическим поискам месторождений урана. Л., 1957. 210 с. (МГ и ОН СССР).
16. Высокоостровская Е. Б., Зеленецкий Д. С. О количественной оценке перспектив территорий при поисках месторождений рудных полезных ископаемых. — «Сов. геология», 1968, № 8, с. 58—71.

17. Геология и закономерности размещения эндогенных месторождений Забайкалья. Под ред. Д. И. Горжевского, Н. А. Фогельман. М., «Недра», 1970. 232 с.
18. Геотектоногенез Казахстана и редкометальное оруденение. Т. 2. Рудные поля и редкометальное оруденение. Алма-Ата, «Наука», 1973. 291 с. Авт.: Г. Н. Щерба, А. К. Алексеев, Р. Н. Малькова и др.
19. Рейзены, жильный кварц и калишпаты молибдено-вольфрамовых месторождений. Алма-Ата, Изд-во АН КазССР, 1964. 308 с. Авт.: Г. Н. Щерба, В. Д. Гукова, А. В. Кудряшов и др.
20. Гинзбург И. И. Опыт разработки теоретических основ геохимических методов поисков руд цветных и редких металлов. М., Госгеолтехиздат, 1957. 298 с.
21. Гинзбург А. И., Эпштейн Е. Н. Карбонатитовые месторождения. — В кн.: Генезис эндоген. рудн. месторождений. М., «Недра», 1968, с. 152—217.
22. Тоншакова В. И., Цейтлин С. Г., Викторов В. В. Методы определения радиоактивных элементов в ультраосновных и основных породах. — «Изв. АН СССР. Сер. геол.», 1966, № 1, с. 17—37.
23. Домарев В. С. Некоторые геологические особенности метаморфических рудных месторождений. 1956, с. 7—42. (Мат-лы ВСЕГЕИ. Нов. сер., вып. 8).
24. Ефимов А. В., Ерема Г. А., Сачунов Н. В. О возможностях аэрогамма-спектрометрического метода при поисках тантал-ниобиевого оруденения в древних метасоматитах (на примере одного из месторождений Сибири.) — «Методы рудн. геофизики». Л., «Недра», 1972, вып. 10, с. 46—55.
25. Закономерности распределения радиоактивных элементов в фосфоритах и использование их для поисков фосфатного сырья в Сибири. — В кн.: Радиоактивн. элементы в горн. породах, ч. 1. (Тезисы докл. Первого Всесоюз. радиогеохим. совещания в г. Новосибирске.) Новосибирск, «Наука», 1975, с. 24—25. Авт.: А. И. Жаубенбах, С. Д. Левина, Л. Н. Скосырева и др.
26. Зеленецкий Д. С., Горланов В. В. О выделении полезного сигнала при обработке аэрогамма-спектрометрических материалов. — «Методы рудн. геофизики». Л., «Недра», 1972, вып. 10, с. 78—85.
27. Иванов Ю. Г. Металлогения олова Приморья. М., «Недра», 1971. 272 с.
28. Иванова Э. И., Сыромятников Н. Г. Особенности распределения урана и тория в метасоматически измененных гранитах. — В кн.: Критерии рудоносности метасоматитов. (Труды симпозиума, ч. 1). Алма-Ата, 1972, с. 255—269.
29. Иванова Э. И., Сыромятников Н. Г., Боголепов В. Г. К вопросу применения радиогеохимического метода при поисках скрытых рудных тел редкометальных месторождений. — В кн.: Критерии рудоносности метасоматитов. (Труды симпозиума, ч. 1). Алма-Ата, 1972, с. 269—278.
30. Инструкция по электроразведке, ч. 1. М., Госгеолтехиздат, 1961. 152 с.
31. Инструкция по электроразведке, ч. 2. М., «Недра», 1966. 230 с.
32. Каледонский комплекс ультраосновных и щелочных пород и карбонатитов Кольского полуострова и Северной Карелии. (Геология и минералогия, петрология и геохимия.) М., «Недра», 1965. 772 с. Авт.: Н. А. Кухаренко, М. П. Орлова, А. Г. Булах и др.
33. Коваль Л. А., Гольдшмидт В. И. Автоматизированная система обработки данных магниторазведки с применением ЭВМ (АСОМ—АМ). Алма-Ата, 1973. 222 с.
34. Коржинский Д. С. Очерк метасоматических процессов. — В кн.: Основы проблемы в учении о рудн. месторождениях. М., Изд-во АН СССР, 1953, с. 332—453.


35. Коржинский Д. С. Общие закономерности постмагматических процессов. — В кн.: Метасомат. изменения боковых пород и их роль в рудообразовании. М., «Недра», 1966, с. 7—15.
36. Кравцов В. С. Об особом типе оловорудных районов, связанных с наложенными впадинами. — В кн.: Нов. дан. по геологии рудн. районов Востока СССР. М., «Наука», 1969, с. 232—243.
37. Круглова В. Т. Особенности молибденового штокверкового месторождения Восточного Забайкалья. — «Сов. геология», 1965, № 3, с. 118—124.
38. Лаврин Н. И. Структура рудного поля и элемента зональности месторождения Терпистого. — В кн.: Основн. проблемы металлогении Тихоокеан. рудн. пояса. Владивосток, Изд-во АН СССР, 1971, с. 329—330.
39. Ломтадзе В. В., Перловский В. А., Фогт П. Н. Обработка данных многоканальной аэрогеофизической съемки с использованием ЭВМ. — «Изв. вузов. Сер. Геология и разведка», 1975, № 1, с. 92—99.
40. Лугов С. Ф. Геологические особенности оловянно-вольфрамового оруденения Чукотки и вопросы поисков. М., «Недра», 1965. 336 с.
41. Лугов С. Ф., Макеев Б. В., Потапов Т. М. Закономерности формирования и размещения оловорудных месторождений Северо-Востока СССР. М., «Недра», 1972. 360 с.
42. Лященко В. Ф. Программирование для ЦВМ с системой команд типа М-20. М., «Сов. радио», 1974. 416 с.
43. Малахов А. А. К систематике эндогенных рудных формаций золота в Узбекистане. — В кн.: Рудн. формации и основн. черты металлогении золота в Узбекистане. Ташкент, Изд-во ФАН УзбССР, 1965, с. 25—46.
44. Матвеев А. В. Применение направленных детекторов при аэро-радиометрических поисках. — «Вопр. развед. радиометрии», 1960, № 2, с. 2—17.
45. Металлогенические особенности щелочных формаций восточной части Балтийского щита. — «Труды Ленингр. об-ва естествоиспытателей», 1971, вып. 2, с. 65—120. Авт.: А. А. Кухаренко, А. Г. Булах, Г. А. Ильинский и др.
46. Мещанинов Е. З. Геология Алмалыкского рудного поля. — В кн.: Рудн. формации и основн. черты металлогении золота Узбекистана. Ташкент, Изд-во ФАН УзбССР, 1969, с. 119—134.
47. Минералого-геохимические и генетические особенности редкометальных апогранитов. М., «Наука», 1969. 116 с.
48. Миронюк А. Ф., Боков Г. Н., Янишевский Е. В. Вертикальная зональность первичных ореолов Дальнетаежного оловорудного месторождения. — В кн.: Основн. проблемы металлогении Тихоокеан. рудн. пояса. Владивосток, Изд-во АН СССР, 1971, с. 330—332.
49. Модернизированная радиогеодезическая система «Поиск-М» для привязки геофизических съемок. — «Развед. геофизика», 1971, вып. 45, с. 60—64. Авт.: А. М. Агафонников, А. В. Крюков, В. И. Лебедев и др.
50. Новиков Г. Ф., Капков Ю. И. Радиоактивные методы разведки. Л., «Недра», 1965. 759 с.
51. Овчинников Л. Н. Плутогенные гидротермальные месторождения. — В кн.: Генезис эндоген. рудн. месторождений. М., «Недра», 1968, с. 443—488.
52. Определение концентрации урана и его пространственного распределения в минералах и горных породах. М., Атомиздат, 1967. 520 с. Авт.: И. Г. Березина, Б. Б. Берман, М. Ю. Гурвич и др.
53. Опыт применения радиоактивных и других физико-химических методов при поисках и разведке руд нерадиоактивных элементов. Л., «Недра», 1967. 85 с.


54. Особенности распределения радиоактивных элементов в платформенных базитах и ультрабазитах. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1971, № 12, с. 3—13. Авт. В. И. Гоншакова, В. В. Викторов, С. Г. Цейтлин, Н. К. Кирова.
55. Островский Э. Я. Методические указания по аэрогамма-спектрометрической съемке с кодовым регистратором АГС-4К. М., 1974. 135 с.
56. Петрова Н. И. Радиоактивные элементы в метасоматически измененных гранитоидах Урала. — В кн.: Радиоактивн. элементы в горн. породах., ч. 2. (Тезисы докл. Первого Всесоюз. радиогеохим. совещания в г. Новосибирске). Новосибирск, «Наука», 1972, с. 14—15.
57. Петровская Н. В. Минеральные ассоциации в золоторудных месторождениях Советского Союза. — Труды ЦНИГРИ, 1967, вып. 76, с. 78—112.
58. Петровская Н. В., Андреева Н. Г. Ключевское месторождение, как представитель золото-турмалинового оруденения (Восточное Забайкалье). — В кн.: Золоторудн. формации Дальнего Востока. М., «Наука», 1969, с. 36—60.
59. Пожарицкая Л. К., Самойлов В. С. Петрология, минералогия и геохимия карбонатитов Восточной Сибири. М., «Наука», 1972. 266 с.
60. Покалов В. Т. Генетические типы и поисковые критерии эндогенных месторождений молибдена. М., «Недра», 1972. 271 с.
61. Покалов В. Т. Месторождения молибдена. — В кн.: Рудн. месторождения СССР, т. 3. М., «Недра», 1974, с. 117—169.
62. Радиогеодезические работы при геофизических съемках. Практическое пособие. М., ВНИИГеофизика, 1965. 223 с. Авт.: А. М. Лозинская, Л. Е. Микулин, Е. В. Пасхин и др.
63. Радиометрические методы поисков и разведки урановых руд. Под ред. В. В. Алексеева. М., Госгеолтехиздат, 1957. 609 с.
64. Рамахин Ю. И. Основные черты геохимии метасоматитов оловяносных полей Сихоте-Алиня и их металлогеническое значение. — «Геохимия», 1973, № 4, с. 570—577.
65. Редкометалльные щелочные метасоматиты Восточной Сибири. — «Зап. Заб. филиала геогр. об-ва СССР», 1971, вып. 61. 92 с.
66. Рехарский В. И., Дистлер В. В. О полевошато-кварцевой формации молибденовых месторождений. — «Геология рудн. месторождений», 1965, № 4, с. 91—93.
67. Руководство по съемочным полетам. М. Редакционно-издательский отдел Аэрофлота, 1962. 94 с.
68. Рундквист Д. В., Денисенко В. К., Павлова Н. Г. Грейзеновые месторождения (онтогенез и филогенез). М., «Недра», 1971. 327 с.
69. Сафронов Н. И. Основы геохимических методов поисков рудных месторождений. Методическое руководство. Л., ВИТР, 1967. 203 с.
70. Себестьян Г. С. Процессы принятия решений при распознавании образов. Пер. с англ. Киев, «Техника», 1965. 151 с.
71. Семенова О. Г. О вероятности обнаружения объектов произвольных форм и размеров при первичных и повторных поисках. — «Вопр. развед. геофизики». Л., «Недра», 1964, вып. 4, с. 139—146.
72. Слукин А. Д. Кора выветривания и типы бокситов Чадобецкого поднятия. — В кн.: Платформен. бокситы СССР. М., «Наука», 1971, с. 276—296.
73. Смыслов А. А., Семенов А. И. Основные принципы и методика радиогеохимического картирования горных пород. — Труды ВСЕГЕИ. Нов. сер., 1968, вып. 164, с. 2—104.
74. Станция геофизическая комплексная АСГ-48М. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Л., МГ СССР, 1969, 124 с.
75. Темников Ю. И. Структурные особенности редкометалльных гранитных куполов Восточной Сибири. Л., «Недра», 1972. 153 с.


76. Терентьева К. Ф. Геология месторождений редких элементов. Редкие элементы в бокситах. М., Госгеолтехиздат, 1959, вып. 6. 48 с.
77. Техническая инструкция по магниторазведке. М., Госгеолтехиздат, 1963. 247 с.
78. Уран и торий в ходе становления и постмагматического преобразования высокорadioактивных гранитов. — В кн.: Радиоактивн. элементы в горн. породах, ч. 2. (Тезисы докл. Первого Всесоюзн. радиогеохим. совещания в г. Новосибирске). Новосибирск, «Наука», 1972, с. 12—13. Авт.: Е. В. Плющев, А. А. Смыслов, М. Г. Харламов, Г. М. Баранов.
79. Уран, торий и калий в бокситах и возможность их использования для оценки перспектив бокситоносности. — В кн.: Радиоактивн. элементы в горн. породах, ч. 1. (Тезисы докл. Первого Всесоюзн. радиогеохим. совещания в г. Новосибирске). Новосибирск, «Наука», 1972, с. 65—67. Авт.: А. И. Лаубенбах, Н. И. Рафиенко, Л. Н. Скосырева и др.
80. Усенко С. Ф., Чеботарев М. Д. Геология и оловоносность Приамурья. М., «Недра», 1973. 236 с.
81. Харкевич А. А. Борьба с помехами. М., Физматгиз, 1963. 275 с.
82. Хейнрих Э. Минералогия и геология радиоактивного минерального сырья. Пер. с англ. Д. Я. Суражского. Под ред. Смирнова В. И. М., Изд-во иностран. лит., 1962. 605 с.
83. Чубугина В. Л. О щелочных и ультраосновных породах Чадобецкого поднятия и их взаимоотношениях. — В кн.: Нов. мат-лы по геологии и геохимии Юж. части Краснояр. края. Красноярск, 1964, с. 166—175.
84. Чухров Ф. В. Минералогия и зональность Восточного Коунрада. М., Изд-во АН СССР, 1960. 239 с.
85. Шашкин В. Л. Опробование радиоактивных руд по гамма-излучению. М., Атомиздат, 1972. 183 с.
86. Щерба Г. Н. Формирование редкометалльных месторождений Центрального Казахстана. Алма-Ата, Изд-во АН КазССР, 1960. 379 с.


УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ К КАРТАМ АНОМАЛЬНЫХ ЗАПИСЕЙ

1. Интенсивность аномалий (приращение над фоном в эпицентре):


 малая (менее 2 мкР/ч) $\varnothing = 3$ мм

 средняя (2—5 мкР/ч) $\varnothing = 5$ мм

 высокая (5—12 мкР/ч) $\varnothing = 8$ мм

 весьма высокая (более 12 мкР/ч) $\varnothing = 8$ мм

2. Степень локальности аномалий (ширина записи на уровне $0,5\Delta J_{\max}$):

 (300—500 м)

 локальные (150—300 м)

 весьма локальные (менее 150 м)

3. Природа радиоактивности аномалий.

Торий-урановое отношение в аномальном приращении:

Цвет закраски знака $\Delta q_{Th}/\Delta q_U$

Красный	Менее 1
Оранжевый	1—2
Желтый	2—3
Зеленый	3—5
Синий	5—10
Фиолетовый	Болез 10
Коричневый	$\Delta q_{Th} \approx \Delta q_U \approx 0$ (существенно калневые)

Аномальное приращение содержания калия:



1—2%



2—3%



более 3%



отрицательные

4. Степень изученности аномалий:



детализированные



получившие отрицательную оценку по результатам наземных проверочных работ



перспективные, заслуживающие по результатам наземной проверки продолжения оценочных работ.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
I. Геолого-геохимические основы аэрогамма-спектрометрических поисков рудных месторождений	7
I.1. Парагенезис рудных и радиоактивных элементов	—
I.2. Основные радиогеохимические особенности рудных формаций	10
I.3. Миграция радиоактивных элементов в зоне гипергенеза	20
II. Физические основы аэрогамма-спектрометрического метода и аппаратура для комплексной аэрогеофизической съемки	23
II.1. Гамма-излучение горных пород и его регистрация	—
II.2. Основы отдельных определений урана (радия), тория и калия	25
II.3. Аэрогеофизическая аппаратура	30
II.4. Бортовые устройства для предварительной интерпретации аэрогамма-спектрометрических измерений	31
III. Методика аэрогамма-спектрометрической съемки и обработки материалов	34
III.1. Назначение аэрогамма-спектрометрических работ, масштабы съемок и обеспечение их поисковой направленности	—
III.2. Методика аэрогамма-спектрометрической съемки	37
III.3. Обработка материалов аэрогамма-спектрометрической съемки	62
III.4. Опытно-методические работы на рудных месторождениях	69
IV. Автоматическая обработка данных с помощью ЭВМ М-222	72
IV.1. Магнетическое обеспечение системы «Аэрокомплекс»	73
IV.2. Обработывающие программы системы «Аэрокомплекс»	78
V. Интерпретация материалов аэрогамма-спектрометрической съемки при поисках месторождений полезных ископаемых	89
V.1. Общие положения	—
V.2. Полевая интерпретация	90
V.3. Окончательная интерпретация	99
V.4. Интерпретация на основе методов распознавания образов	100
V.5. Возможности применения методов безэталонной классификации для интерпретации	108
VI. Наземная проверка аэрогамма-спектрометрических аномалий	111
VI.1. Общие положения	—
VI.2. Последовательность проверки аномалий	114
VI.3. Предварительная проверка аномалий	116
VI.4. Детальная проверка аномалий	119
VII. Особенности применения аэрогамма-спектрометрического метода при поисках различных видов минерального сырья	126
VII.1. Редкометалльные карбонатитовые месторождения	—
VII.2. Редкометалльные альбититовые месторождения	131
VII.3. Грейзеновые месторождения олова, вольфрама и молибдена	140
VII.4. Мезотермальные месторождения золота и молибдена	155
VII.5. Месторождения касситерит-силикатно-сульфидной группы формаций	166
VII.6. Вулканогенные эпитермальные месторождения золото-серебряной формации	182
VII.7. Бокситовые месторождения	191
VII.8. Биохемогенные осадочные месторождения (на примере фосфоритов)	199
Заключение	208
Список литературы	209
Приложение	214

90 коп.

2149

НЕДРА