маршрутами. При работах в средних широтах этого достаточно для полного учета вариаций (после ввода данных магнитовариационных станций) статистическим уравниванием маршрутов. В Арктике при наших работах плотность опорной сети была всего в 2.5 раза меньше плотности рядовой сети.

Итерационный алгоритм полного учета вариаций магнитного поля по такой опорной сети (метод декорреляции) разработан в АО «ГНПП «Аэрогеофизика». Результат его работы представлен на рис. 4–6.

3. В настоящее время весь Мировой океан, до 88°с.ш., покрыт с той или иной степенью детальности спутниковой альтиметрической съемкой, в ходе которой с высокой точностью измеряется высота спутника над водной поверхностью. Как известно, невозмущенная водная поверхность практически полностью совпадает с эквипотенциальной поверхностью гравитационного поля Земли. Это позволяет пересчитать альтиметрические данные в значения возмущающего потенциала (формула Брунса) и далее в аномалии силы тяжести аномалии в свободном воздухе на уровне моря (рис. 7).

При наличии таких данных в свободном доступе возникает необходимость определить оптимальное соотношение между альтиметрией и другими методами изучения поля силы тяжести Земли, в частности, аэрогравиметрией. На рис. 8-10 представлены карты аномалий силы тяжести по альтиметрическим, аэрогравиметрическим данным и их разность. Основную часть карты разности составляют локальные структуры с характерным размером 6-10 км. Простой визуальный анализ рисунков показывает, что большая часть этих «аномалий» присутствует именно в альтиметрическом варианте поля силы тяжести. На аэрогравиметрической карте их практически нет. Такие же структуры можно видеть на другом фрагменте альтиметрической карты (рис. 11-13), где представлено поле и его локальная составляющая над материковым склоном у южной оконечности котловины Амундсена. Глубина дна здесь возрастает от 20-40 м в юго-восточной части участка до 3600-3900 м в северо-западной. Тем не менее характер локальных структур не изменяется. Это свидетельствует о том, что причиной их являются ошибки в альтиметрических данных. Если бы они имели геологическую природу, то параметры локальных аномалий на глубоководном и мелководном участках существенно различались.

Учитывая, что погрешность аэрогравиметрических съемок практически всегда составляет 0.6–0.8 мГал, среднеквадратическое значение разности на рис. 10 соответствует в целом погрешности альтиметрических карт поля силы тяжести. Такую же оценку точности своих карт в Арктике дают разработчики альтиметрического метода [2].

Таким образом, альтиметрические данные в высоких широтах по своему разрешению и точности в настоящее время соответствуют съемкам масштаба 1: 1 000 000. Для более детальных исследований (до масштаба 1:100 000 включительно) целесообразно привлекать аэрогравиметрию.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Могилевский В.Е., Контарович Р.С.* Аэрогравиметрические исследования в Арктике // Нефть. Газ. Новации. — 2015. — № 2. — С. 12–16.

2. Sandwell D., Garcia E., Soofi K. and et al. Toward 1-mGal accuracy in global marine gravity from CryoSat-2, Envsat and Jason-1 // The Leading Edge, August 2013. — P. 892–899.

© Коллектив авторов, 2015

Могилевский Владимир Ефимович // volmog@list.ru Павлов Сергей Александрович // pavlov@aerogeo.ru Контарович Олег Рафаилович // olegk@aerogeo.ru Бровкин Герман Игоревич // germanbrovkin@gmail.ru

УДК 550.835.232, 550.8.052

Бабаянц П.С., Керцман В.М., Лёвин Ф.Д., Трусов А.А. (АО «ГНПП «Аэрогеофизика»)

# ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОЙ АЭРОГАММА-СПЕКТ-РОМЕТРИИ

На основе анализа особенностей современной аэрогаммаспектрометрической аппаратуры обсуждаются элементы технологии обработки данных, пути и средства повышения их разрешающей способности съемок. Описаны подходы, основанные на вычислении площадей фотопиков, и способ учета влияния атмосферного радона. Приводятся примеры применения аэрогамма-спектрометрических данных для картирования калий-содержащих метасоматитов и поисков россыпей. Ключевые слова: аэрогаммаспектрометрия, фотопики, радон, высота съемки, метасоматиты, россыпи.

Babayants P.S., Kertsman V.M., Levin F.D., Trusov A.A. (Aerogeo-physica)

### SPECIAL FEATURES OF THE STATE-OF-THE-ART AIRBORNE GAMMA SPECTROMETRY

Elements of data processing technology, the ways and means to increase survey resolution are discussed based on the analysis of the state-of-the-art airborne gamma spectrometry equipment features. The approaches based on calculating photopeak areas and the way to account for the influence of atmospheric radium are described. The examples of how to use airborne gamma spectrometry data for mapping potassium-bearing metasomatites and searching for placer deposits are given. **Key words:** airborne gamma spectrometry, photopeaks, radium, survey altitude, metasomatites, placer deposits.

Аэрогамма-спектрометрический метод был разработан и изначально развивался как метод поисков урановых месторождений [1]. В процессе развития он стал успешно применяться для поиска месторождений широкого круга рудных полезных ископаемых и среднемасштабного геокартирования. В последние десятилетия аэрогамма-спектрометрия широко используется для решения радиоэкологических задач, а также при поисках нерудных ископаемых, в т.ч. нефти. Тем не менее, основные требования к методике работ сохранились главным образом в виде имеющихся нормативных документов, большая часть которых (например, техническая инструкция [6]) устарела и не соответствует современному состоянию метода.

Выбор высоты измерений в зависимости от характера решаемых задач

Одним из ключевых вопросов методики современных аэрогамма-спектрометрических (АГСМ) съемок

является выбор высоты наблюдений. В действующей с 1977 г. технической инструкции [6] максимально допустимая высота полета составляет 75 м. Такое ограничение по высоте было связано с целевым назначением работ на поиски локальных объектов с одной стороны, и в расчете на массовое использование спектрометров типа АГС-71С — с другой.

К локальным объектам можно отнести объекты площадью до первых сотен квадратных метров. При аэрогамма-спектрометрических съемках такие объекты условно можно считать точечными источниками. Если на высоте 50-75 м гамма-излучение такого объекта ослабляется в 10-25 раз, то на высоте 150-200 м оно ослабляется более чем в 100 раз, т.е. такие объекты выделяться практически не будут. Следовательно, при постановке работ на поиск локальных объектов масштаб съемки должен быть не мельче 1:25 000, а высота полета не более 50-75 м.

В настоящее время растет объем среднемасштабных съемок для целей геологического картирования и прогнозирования полезных ископаемых, и поэтому имеются весомые аргументы в пользу увеличения максимально допустимой высоты съемочного полета.

Комплекс АГС-71С характеризовался энергетическим разрешением по линии 0,662 МэВ до 18 % и общей площадью поверхности такого детектора 1256 см<sup>2</sup>. В инструкции [6] не содержится сведений о числе каналов многоканального анализатора спектра, а указаны только 4 фиксированных окна (энергетических интервала) для измерения естественных нуклидов. Ввиду отсутствия регистрации и записи текущего наблюдаемого полного спектра и его возможной последующей математической коррекции, данный прибор может рассматриваться лишь как оконный радиометр. 0,662 МэВ не хуже 8 %. Полный спектр гамма-излучения регистрируется каждую секунду в 1024 каналах для каждого кристалла. Стабилизация энергетической шкалы осуществляется непрерывно для каждого кристалла в отдельности по положению набора пиков естественных радиоактивных элементов и/или путем термостатирования детекторов. В большинстве случаев используются детекторы общим объемом 32 л с суммарной площадью его поверхности 3200 см<sup>2</sup>. При выполнении детальных поисковых работ или решении радиоэкологических задач объем может быть увеличен до 48 л.

Таким образом, только за счет увеличения поверхности детектора концентрационная чувствительность на той же высоте съемки возрастает в 2,6 раза. Двукратное улучшение энергетического разрешения позволяет оптимизировать интервал регистрации энергий в окрестности линий излучения природных нуклидов и уменьшить вклад квантов комптоновского рассеяния в информативные области спектра. Высокое разрешение позволяет также осуществить ввод поправки за «свободный радон».

Все применяемые на практике детекторы обладают пространственно-угловой анизотропией. Спектрометр «видит»  $\gamma$ -кванты собственного (нерассеянного) излучения урана, тория и калия от подстилающей поверхности, соответствующей основанию кругового конуса, имеющего вершину в детекторе с углом раствора 120° (площадь сбора 90 % характеристического излучения). При высоте полета 75 м полоса захвата составляет  $\pm 130$  м от фактической линии полета. Таким образом, при межмаршрутном расстоянии 500 м остается неопоискованной полоса шириной 240 м. Даже если в этой полосе будут находиться интенсивные локальные аномалии, информация от них на вход спектрометра не

Значительные ошибки в определении концентраций радионуклидов при использовании таких приборов были связаны с методикой автоматического решения системы уравнений комптоновской коррекции и введения поправки за изменение высоты непосредственно в полете в аналоговом виде. Низкое энергетическое разрешение спектрометра привело к тому, что для более надежного выделения урановых аномалий было рекомендовано использовать два несимметричных относительно линий 1,12 и 1,76 МэВ окна (1,08÷1,25 и 1,6÷1,95 МэВ [6]).

Лучшие из современных зарубежных аэрогаммаспектрометров с полисциновыми детекторами NaJ (Tl) обладают энергетическим разрешением по линии





поступит. В то же время при высоте полета от 150 м ширина полосы захвата составляет ±240÷260 м и более от линии полета. В этом случае обеспечивается практически полное перекрытие межмаршрутной площади. Изменение высоты полета от 75 до 200÷210 м приводит к ослаблению излучения по линии 1,76 МэВ как раз в 2,5÷2,6 раза, что полностью компенсируется большей чувствительностью и лучшим энергетическим разрешением применяемого нами спектрометра. Другими словами, при выполнении аэрогамма-спектрометрических съемок масштаба 1:50 000 высота съемки не может быть меньше 150 м, а кондиционные данные будут получены при высотах съемки до 200÷210 м.

Изложенное выше подтверждается результатами регулярно выполняемых повысотных наблюдений (прохождение одного и того же маршрута на разных высотах) по контрольным профилям участков, расположенных в разных геолого-ландшафтных условиях, в различных регионах страны. Пример такого эксперимента приводится на рис. 1. По приведенным на рисунке графикам видно, что, начиная с высот 200 м, форма локальных аномалий начинает искажаться, а флуктуации, обусловленные в первую очередь влиянием статистической погрешности измерений, становятся все более интенсивными. Тем не менее, графики распределения компонент поля радиоактивности вплоть до высоты 200 м остаются подобными, и практически все локальные аномалии сохраняются и могут быть выделены.

## Совершенствование методики обработки данных

Еще одним средством повышения качества и разрешающей способности аэрогамма-спектрометрического метода является внедрение новых технологий обработки данных. Методика обработки, основанная на вычислении площадей фотопиков, была разработана и опробована сотрудниками АО «ГНПП «Аэрогеофизика» во время выполнения работ по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС в период с 1987 по 1991 гг. для анализа спектров сложного радионуклидного состава [3]. О принципиальной возможности данного подхода давно известно [5], однако до сих пор обработка данных аэрогамма-спектрометрии выполняется путем анализа суммарного числа зарегистрированных импульсов в 3-х основных дифференциальных каналах (энергетических окнах): для <sup>40</sup>К 1,370÷1,570 МэВ, для <sup>214</sup>Ві (урана) 1,660÷1,860 МэВ, для <sup>208</sup>ТІ (тория) 2,410÷2,810 МэВ [8]. На сегодняшний день методика обработки площадей фотопиков доработана и представляет собой технологию, которая используется в компании при обработке всех современных аэрогамма-спектрометрических данных.

Основным достоинством предлагаемой методики является отказ от решения уравнений комптоновской коррекции и переход к вычислению площадей фотопиков. В этом случае мы практически освобождаемся от влияния космического излучения с его неизбежной «пуассоновской статистикой», соизмеримой с нашим «полезным сигналом» и от погрешностей решения системы уравнений комптоновской коррекции (вклад рассеянного излучения от любого монохроматического источника с энергией Е<sub>0</sub> в левую часть спектра). Кроме этого, данная методика позволяет рассчитывать концентрации урана независимо по трем фотопикам (1,12+1,238; 1,76 и 2,20+2,119 МэВ), а тория — по двум (0,966+0,911 МэВ и 2,62 МэВ), что при прочих равных условиях позволяет существенно повысить качество результата за счет увеличения статистической представительности данных. Соответствующие энергетические интервалы показаны цветом на рис. 2.

На первом этапе выполняется извлечение полного спектра гамма-излучения из бортовых данных вместе с дополнительной информацией (высотой полета, атмосферным давлением, температурой воздуха и т.д.). Затем производится контроль энергетического разрешения и стабильности энергетической шкалы путем анализа накопленных в скользящем окне спектров за 100 с. При необходимости в автоматическом режиме производится коррекция энергетической шкалы спектра таким образом, чтобы положение экстремумов фотопиков, отвечающих излучению естественных радионуклидов, соответствовало энергиям их излучения (соответственно, для К — 1,46 МэВ, для U — 1,76 МэВ, для Th — 2,62 МэВ). Как правило, для современных спектрометров смещение шкалы не превышает 10 кэВ. Секундные спектры гамма-излучения имеют довольно низкое отношение сигнал/шум во всем диапазоне энергий. Для снижения уровня помех на следующем этапе выполняется поканальное сглаживание фильтром Савицкого-Голая длиной от 7 до 11 с вдоль маршрутов. Затем, для каждого секундного спектра подбирается составляющая, связанная с комптоновским рассеянием, в виде набора экспоненциальных функций. Из остаточных спектров извлекаются площади интересующих фотопиков (рис. 2 Б).

Далее вводятся поправки, аналогичные обработке энергетических окон: вычитается фон борта; выполня-



Рис. 2. Накопленный спектр с диапазонами энергий, используемыми при обработке (А) соответствующий спектр фотопиков (Б)

OXPAHA



Рис. 3. Пример накопленного спектра при низком (1) и высоком (2) содержаниях радона в атмосфере

ется приведение к номинальной высоте; производится пересчет в концентрации. Предварительно из площади фотопика 0,966+0,911 вычитается доля вклада Bi-214 с энергией 0,934 МэВ, которая существенно увеличивает площадь этого пика при высоких концентрациях радона и, как следствие, приводит к появлению профильных аномалий. Вклад энергии пика 0,934 МэВ вычисляется по соотношению квантовых выходов линий 1,12 и 1,238 МэВ, т.к. у них практически равный коэффициент затухания.

Еще одним средством повышения качества данных является учет влияния свободного радона.

Ранее в работах по прикладной аэрогамма-спектрометрии предлагалось, в частности, учитывать влияние радона на результаты измерений по соотношению вычисленных тем или иным способом соотношений интенсивностей линий 0,609 и 1,76 МэВ [7]. Впервые принципиальная возможность была показана в работах Когана 1969 г. [4].

Как известно, дочерние продукты распада радона-222 — это тяжелые металлы: свинец-214 и висмут-214 с периодами полураспада 26 и 19 мин. соответственно. Гамма-излучение висмута-214 представлено основными линиями 0,609 (48); 0,934 (3,1); 1,12 (14,5); 1,238 (5,6); 1,76 (14,7); 2,118 (1,1); 2,204 (4,7) МэВ (значения в скобках — относительные интенсивности квантовых выходов на 1 акт распада в процентах). В зависимости от высоты съемки каждая линия затухает со своим коэффициентом линейного ослабления. Так, для энергии 2,204 МэВ длина свободного пробега (половинное осласнег) создает эффект, эквивалентный слою с содержаниями урана  $10 \div 20^{*} 10^{-4} \%$  [5].

Величина поправки за свободный радон в атмосфере определяется по изменению отношения площадей каждого из фотопиков основных линий излучения урана (Ві-214) к площади фотопика с энергией 0,609 МэВ, что повышает статистическую представительность вычисляемой поправки. Предварительно площадь фотопика 0,609 МэВ корректируется за счет вклада линии тория (ТІ-208) с энергией 0,583 МэВ. Численные значения поправок за радон ограничены сверху и снизу величинами, полученными на основе расчетов предельных случаев для однородно излучающе поглощающей среды со средней плотностью 2,5 г/см<sup>3</sup> и скорректированными путем анализа реальных данных вылетов с заведомо различающейся концентрацией радона в воздухе. Соответствующие примеры накопленных за маршрут спектров приведены на рис. 3. Как видно из рисунков, максимальное изменение соотношения достигается между линиями 0,609 и 2,204 МэВ и является наиболее показательным и устойчивым.

Указанная методика позволяет получить приемлемый результат ввода поправки «за свободный радон» при отношении сигнал/помеха до 0,125. В некоторых случаях уровень гамма-излучения, обусловленный влиянием радона-222, обеспечивает в эквивалентных единицах до  $9*10^{-4}$ % содержания урана (определяется по величине вариаций интенсивности гамма-излучения при ежедневной съемке контрольного маршрута). Таким образом, приемлемым результатом можно считать полученную в результате выполненной обработки возможность построения отчетных карт концентрации урана с начальным сечением  $0.2*10^{-4}$ %.

Расчет концентраций урана выполняется после приведения данных к базовой высоте 120 м совместно по 3-м фотопикам (1,12+1,238; 1,76 и 2,20+2,119 МэВ), что в 2,4 раза повышает статистический счет по сравнению со стандартной методикой. На рис. 4 на примере данных съемки масштаба 1:10 000 показаны исходные (не увязанные) карты содержаний урана до и после ввода поправки «за свободный радон». Величина поправки «за радон», в свою очередь, характеризует концентрацию свободного радона в приземной атмосфере в момент съемки, что можно использовать для построения соответствующей карты. С учетом сверхдинамичного

бление) составляет 120 м, а для линии 0,609 МэВ — 66 м. Отсюда ясно, что соотношение этих линий в реальном спектре позволяет оценивать изменение содержания урана в почве и вклад «радонапомехи» в регистрируемые спектры. Температурная инверсия, происходящая в атмосфере практически каждый съемочный день, приводит к созданию гамма-поля, эквивалентного содержанию урана в почве 2÷5\*10<sup>-4</sup> %. Выпадение осадков (дождь,



Рис. 4. Карта содержаний урана: А — до ввода поправки «за радон», Б — после ввода поправки «за радон»



15 км

Рис. 5. Карта содержаний тория, построенная по: А — трациционному фотопику 2,62 МэВ; Б — сумме фотопиков (0,966+0,911 МэВ и 2,62 МэВ)

характера изменчивости этой величины имеет смысл анализировать пространственные изменения лишь локальной составляющей концентрации радона. Аналогично можно вычислять концентрации тория по фотопикам Ac-228 и Tl-208 (0,966+0,911 МэВ и 2,62 МэВ), что в 1,8 раза повышает статистический счет по сравнению со стандартной методикой. Это позволяет контрастировать слабые и дифференцировать средние аномалии содержаний тория (рис. 5).

Использование современной аппаратуры и специальных приемов обработки и интерпретации данных позволяет решать весьма тонкие задачи картирования малоконтрастных эффектов, во многих случаях являющихся прямыми индикаторами возможного оруденения. Примеры решения таких задач приводятся ниже.

## Картирование калий-содержащих метасоматитов

В 2012—2014 гг. на двух площадях — в нижнем течении р. Амур на территории от хр. Мевачан на севере и до Амуро-Амгунской низменности на юге, а также в 250 км южнее — в районе хр. Сихотэ-Алинь и его восточных отрогов — хр. Актуро-Котовский и Тумнинский была выполнена комплексная аэрогеофизическая (аэромагнитная, аэрогамма-спектрометрическая, аэроэлектроразведочная) съемка масштаба 1:50 000. В ходе интерпретации полученных материалов была выявлена прямая пространственная связь между развитием площадных гидротермальных изменений и данными АГСМ-съемки.

На рассматриваемой площади золотое и медное оруденение, как правило, пространственно и генетически связано с зонами окварцевания и серицитизации в контактах интрузивных тел. Особое поисковое значение придается низкотемпературной пропилитизации в тектонических зонах, отвечающей предрудной стадии. Метасоматиты этой стадии (кварцевые, кварц-серицитовые) являются наиболее четким индикатором золотого и медного оруденения, а степень их развития может служить критерием оценки масштаба оруденения. Важно, что метасоматиты этой стадии часто обогащены калием и, следовательно, доступны для фиксации методом АГСМ-съемки. В то же время наличие в данных районах позднемеловых палеогеновых монцодиоритгранитных субщелочных интрузий ульбанского и бекчиулского комплексов на севере и прибрежного комплекса на юге обусловило присутствие породных аномалий калия, которые трудно различимы с аномалиями калия, обусловленными гидротермальными изменениями.

С целью определения пространственного положения участков, характеризующихся аномальными концентрациями естественных радионуклидов, обусловленными наложенными процессами, нами был выпол-

нен комплексный анализ АГСМ-данных на базе вероятностно-статистических методов. Для этого было выполнено разложение исходного радиогеохимического поля на фоновую («скоррелированную» или «сингенетическую») и аномальную («раскоррелированную» или «эпигенетическую») составляющие с использованием алгоритма «АРК» (АэроРадиогеохимическое Картирование), который основан на методе главных компонент [2]. В итоге были получены карты вторичной («эпигенетической») составляющей содержаний U, Th и K на всей площади съемки.

Результаты тестового анализа карт вторичной составляющей калия позволили выявить прямую пространственную связь между развитием площадных гидротермальных изменений (рудных зон расположенного на северо-востоке рассматриваемой площади месторождения золота Многовершинное и зон развития кварц-серицитовых метасоматитов по данным геологической съемки) и наличием существенно калиевой радиохимической специализации по результатам анализа АГСМ-данных с использованием алгоритма «АРК». Так, все рудные зоны месторождения золота Многовершинное оказались приурочены к участкам, характеризующимся калиевой радиохимической специализацией. Более того, в пределах этого месторождения наименее перспективная (по геологическим данным) центральная часть «промежуточной» рудной зоны характеризуется и пониженным содержанием «эпигенетического» калия (рис. 6).

Интересны результаты анализа территории, прилегающей к медно-молибденовому рудопроявлению «Маяк», расположенному на севере площади аэрогеофизических съемок в отрогах хр. Мевачан. По данным геологических съемок данная территория в основном сложена ороговикованными нижнеюрскими песчаниками и алевролитами, а также небольшими телами и дайками гранодиоритов и субвулканических пород субщелочного кислого и среднего составов. В центральной части территории откартирован участок, сложенный интенсивно окварцеванными породами и кварц-серицитовыми метасоматитами. По данным аэромагнитной съемки под всей территорией на глубинах в несколько



сотен метров залегает интрузия магнитных гранодиоритов-диоритов, являющаяся источником метасоматических изменений и причиной ороговикования осадочных пород. Результаты же анализа карты вторичной составляющей калия выявляют наличие здесь интенсивной положительной аномалии «эпигенетического» калия, занимающей всю центральную часть участка и фиксирующую область, затронутую интенсивным кварц-серицитовым метасоматозом.

Рудные тела известных в районе месторождений олова (хр. Сихотэ-Алинь и его отроги) приурочены как к грейзенам и грейзенизированным породам (Сакай-Баппинское месторождение), так и к кварц-серицитовым метасоматитам и просто к окварцеванным породам (месторождения Уджакинское и Мопау). Результаты анализа вторичной радиогеохимической зональности позволили и здесь выявить прямую пространственную связь между развитием площадных гидротермальных изменений (в основном кварц-серицитовых метасоматитов) и наличием существенно калиевой радиохимической специализации. Таким образом, на территориях нижнего течения р. Амур и хр. Сихотэ-Алинь результаты анализа вторичной радиогеохимической зональности фиксируют прямую пространственную связь между развитием площадных гидротермальных изменений и

наличием существенно калиевой радиохимической специализации, что позволяет эффективно использовать данные АГСМ-съемки для поисков зон гидротермально измененных пород типа кварц-серицитовых метасоматитов.

### Возможности поисков россыпных проявлений

Территории с открытой водой (русла рек, искусственные и естественные водоемы) обычно характеризуются предельно низким уровнем интенсивности гаммаизлучения (вода, как правило, не содержит радионуклидов, а излучение от образований, слагающих дно, экранируется). Однако в ряде случаев в долинах рек наблюдаются значимые аномалии, причем в большинстве — с выраженной ториевой специализацией.

С учетом того, что торий характеризуется слабой способностью к миграции, т.к. связан преимущественно с устойчивыми к разрушению акцессорными минералами, для него характерна концентрация в составе фаций аллювиальных отложений, обогащенных минералами тяжелой фракции («шлихом»). При этом иногда торий создает не только моноэлементные аномалии, но также входит в состав комплексных — уран-ториевых аномалий. Последнее, по-видимому, объясняется тем, что наиболее распространенный торий-содержащий минерал — монацит — в фации «шлиха» сопровождается дру-





Таким образом, в долинах рек участкам с выраженной ториевой или торий-урановой специализацией могут отвечать аллювиальные отложения, обогащенные акцессорными минералами, то есть обогащенные тяжелой фракцией. Использование данного признака позволяет выделять участки долин, перспективные на обнаружение россыпных залежей. Обычно образуются линейные аномалии характерной «ленточной» формы, приуроченные к руслу реки или смещенные к одному из бортов долины. Вполне очевидно, что одним из главных vсловий их наличия является мелководье.

Подобные аномалии зафиксированы нами неоднократно в разных регионах страны. Так, один из таких участков расположен на северо-востоке Забайкальского края в верховьях р. Итака (бассейн р. Шилка, предгорья Тунгирского хр.). Здесь в

Рис. 6. Расположение рудных зон и рудных тел месторождения золота Многовершинное на карте содержаний эпигенетического калия. Лист N-54-XX: 1 — рудные тела месторождения золота Многовершинное в ранге: а — месторождения, б — рудопроявления и их названия; 2 — рудные зоны месторождения золота Многовершинное и их названия





долине р. Итака в пределах Верхне-Тунгирской грабенсинклинали находится известное Итакинское россыпное месторождение золота. Месторождение это четко отражается на карте содержаний тория линейной положительной аномалией. Более того, к притокам р. Итака дополнительно приурочен целый ряд аномалий тория, которые можно интерпретировать как возможные места локализации россыпных проявлений, хотя на данный момент они там не выявлены. Еще один подобный участок расположен по левому борту долины р. Амур вблизи от ее устья — в долине р. Ул и по ее левым притокам. Здесь, по результатам АГСМ-съемки также выявлены положительные аномалии тория, приуроченные к долинам р. Ул и ее левых притоков — руч. Кулибина, Эватак и Никонка (рис. 7), что может свидетельствовать о локализации здесь устойчивых к разрушению акцессорных минералов. При этом в долинах руч. Кулибина, Эватак и Никонка россыпи золота известны и отчасти уже отработаны, в то время как относительно долины р. Ул такая информация отсутствует.

Третий участок располагается в бассейне верхнего течения р. Бурея и в приустьевых частях ее левых притоков Дубликан, Солони и Ургал. В отличие от приведенных выше примеров здесь до настоящего времени россыпных проявлений не было выявлено, однако наличие в долинах этих рек отчетливых положительных аномалий тория позволяет предположить перспективность их поиска.

Приведенные примеры позволяют рассматривать положительные аномалии тория, приуроченные к долинам рек или к придолинным территориям, как участки возможной локализации устойчивых к разрушению акцессорных минералов в составе фаций терригенных отложений, обогащенных минералами тяжелой фракции («шлихом») и, следовательно, как косвенные поисковые признаки россыпных проявлений.

Таким образом, возможности современной аппаратуры и новых методов обработки данных АГСМ позволяют увеличить статистическую представительность получаемых результатов и расширить круг решаемых геологических задач.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Аэрогамма*-спектрометрический метод поисков месторождений урановых руд. Методическое руководство / Под ред. Г.С. Смирнова. — Л.: ОНТИ ВИТР, 1967.

2. *Аэрорадиогеохимическое* картирование. Методические рекомендации / А.И. Краснов, Е.Б. Высокоостровская, Е.И. Зубов и др. — Л.: НПО Рудгеофизика, 1983. — 104 с.

3. *Израэль Ю.А., Вакуловский С.М., Ветров В.А. и др.* Чернобыль: радиоактивное загрязнение природных сред. — М.: Гидрометеоиздат, 1990. — 296 с.

4. *Коган Р.М., Назаров И.М., Фридман Ш.Д.* Основы гамма-спектрометрии природных сред. — М.: Энергоатомиздат, 1991.

5. *Пегоев А.Н.* Практические приемы обработки данных в прикладной гамма-спектрометрии. — Л.: Гидрометеоиздат, 1980. — 149 с.

6. *Техническая* инструкция по аэрогамма-спектрометрической съемке. — М., 1977.

7. *Minty*, B.R.S., 1998, Multichannel models for the estimation of radon background in airborne gamma-ray spectrometry: Geophysics, 63, 1986–1996. 8. *IAEA* (International Atomic Energy Agency), 2003. Guidelines for Radioelement Mapping using Gamma Ray Spectrometry Data. IAEA-TEC-DOC-1363. IAEA, Vienna.

#### © Коллектив авторов, 2015

Бабаянц Павел Суренович // bab@aerogeo.ru Керцман Владимир Менделевич // kercman@aerogeo.ru Лёвин Федор Дмитриевич // fedorl@aerogeo.ru Трусов Алексей Андреевич // trusov@aerogeo.ru

УДК 550.831.3

Могилевский В.Е., Бровкин Г.И., Контарович О.Р. (АО «ГНПП «Аэрогеофизика»)

## ДОСТИЖЕНИЯ, ОСОБЕННОСТИ И ПРОБЛЕМЫ АЭРО-ГРАВИМЕТРИИ

Изучение гравитационного поля Земли с борта движущегося летательного аппарата является новым инновационным и весьма специфическим аэрогеофизическим методом. Он предполагает внедрение в практику гравимет-

