



РАДИОАКТИВНОСТЬ И РАДИОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В СРЕДЕ ОБИТАНИЯ ЧЕЛОВЕКА

МАТЕРИАЛЫ III МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

г. Томск, 23–27 июня 2009 г.



АЭРОГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАК МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ РАДИОАКТИВНОСТИ ПОВЕРХНОСТИ И ЕГО ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Ф.Д. Лазарев, В.В. Ромашко, П.В. Мельников, Г.В. Шнейдер
Норильский филиал ВСЕГЕИ, г. Норильск, Россия, nfvsegei@mail.ru

AEROGAMMA-SPECTROMETRIC STUDIES AS A METHOD OF STUDY OF SURFACE RADIOACTIVITY AND ITS PRACTICAL REALIZATION

F.D. Lazarev, V.V. Romashko, P.V. Melnikov, G.V. Shneider
Norilsk branch of VSEGEI, Norilsk Russia

Abstract. *The process of formation and development aerogamma-spectrometry in Russia is considered. Shown modern and practical opportunities aerogamma-spectrometric surveys in solving problems of geological mapping, the search for radioactive ores, nonferrous and precious metals, radiological assessment of environmental pollution caused by technological factors.*

Гамма-спектрометрия основана на измерении спектрального состава естественного гамма-излучения поверхностного слоя горных пород с последующим вычислением в этих образованиях содержаний естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ) таких как уран, торий, калий. Данный метод существует в наземном и воздушном вариантах.

Находясь на стыке между геофизикой и геохимией, **гамма-спектрометрия** по своей сущности, методике и технике наблюдений относится к геофизическим методам, хотя решает некоторые геохимические задачи. Отличается малой глубинностью исследований вследствие быстрого поглощения гамма-квантов окружающими породами и воздухом.

Если на заре становления этот метод находил свое применение для поисков радиоактивного сырья (урана, радия, тория и редкоземельных элементов), то в настоящее время круг решаемых задач существенно расширился. Он находит свое широкое применение при литологическом и тектоническом картировании, поисках парагенетически или пространственно связанных с ЕРЭ нерадиоактивных полезных ископаемых и решении целого ряда других геологических и экологических задач. Этому способствует высокий уровень развития отечественного и зарубежного приборостроения в области аэрогамма-спектрометрии, позволяющий с достаточной точностью фиксировать концентрации радиогеохимических элементов в горных породах и рудах. Практи-

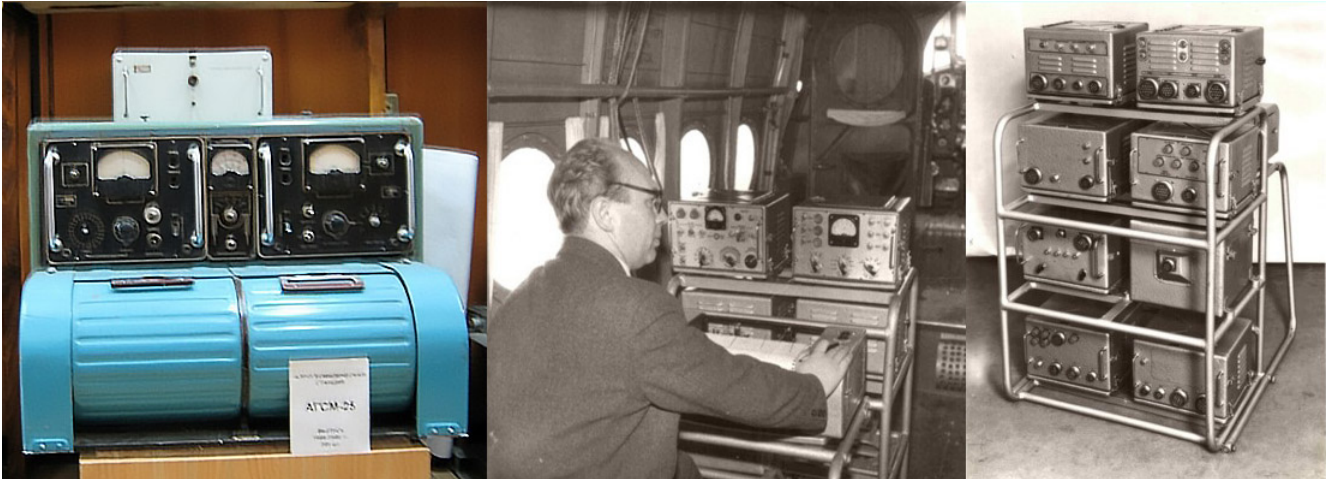
ческое применение аэрогамма-спектрометрии опирается на наличие разработанных теоретических геолого-геохимических, физических и аппаратурно-метрологических основ АГСМ-метода, технологии съемок и методики геологической интерпретации гамма-спектрометрических данных.

Весомый вклад в разработку теоретических основ в области аэрогамма-спектрометрии внес коллектив Всесоюзного научно-исследовательского института разведочной геофизики НПО "ВИРГ-Рудгеофизика": Л.Т. Мишин, Л.Н. Вавилин, В.П. Воробьев, А.В. Ефимов, Ю.Д. Пинегин, А.В. Матвеев, В.В. Филимонов, П.И. Фогт, В.С. Данилов, М.И. Альтшулер, Д.С. Зеленецкий и многие другие.

Начало проведения аэрогамма-спектрометрических исследований в России относится к середине 50-х гг. XX столетия, когда был создан аэрокомплекс АГСМ-25, в состав которого входил радиометр на базе газоразрядных счетчиков, позволяющий осуществлять регистрацию только мощности экспозиционной дозы (МЭД) земной поверхности по линии полета.

В 60-х годах последовал выпуск и внедрение в производство аэрогамма-спектрометров АГС-46 и АГС-48 с пластмассовыми детекторами.

В семидесятых годах разработан и выпущен аэрогамма-спектрометр АГС-71 с четырьмя сцинтилляционными кристаллами, с объемом детектора около 12 литров. Наряду с регистрацией МЭД, этот спектрометр уже



Аэрокомплексы АГСМ-25, АГС-46, АГС-48



Аэрокомплекс СКАТ-77



Блоки детектирования аэрокомплекса ГСА-99. Аэрокомплексы серии КАС

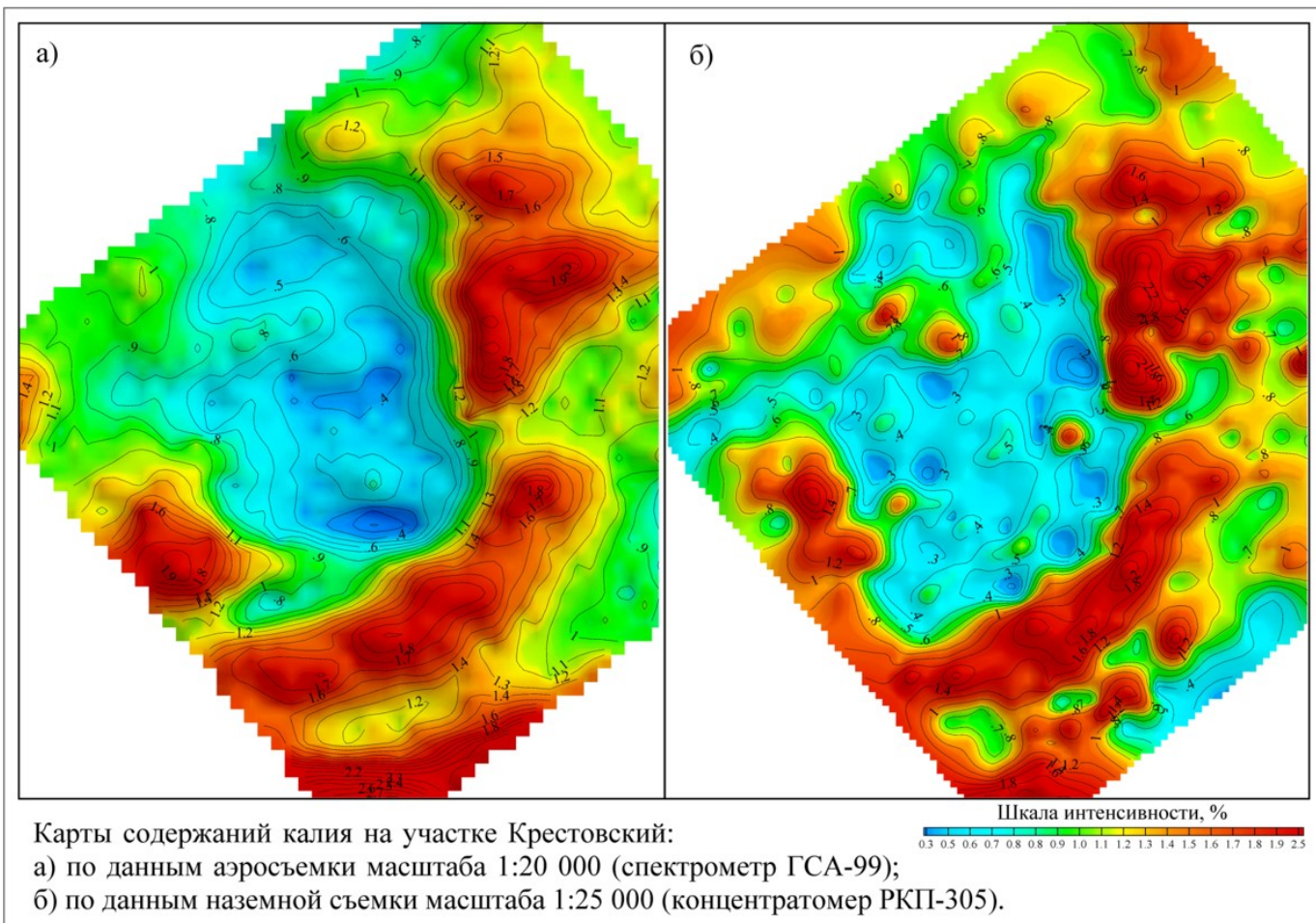
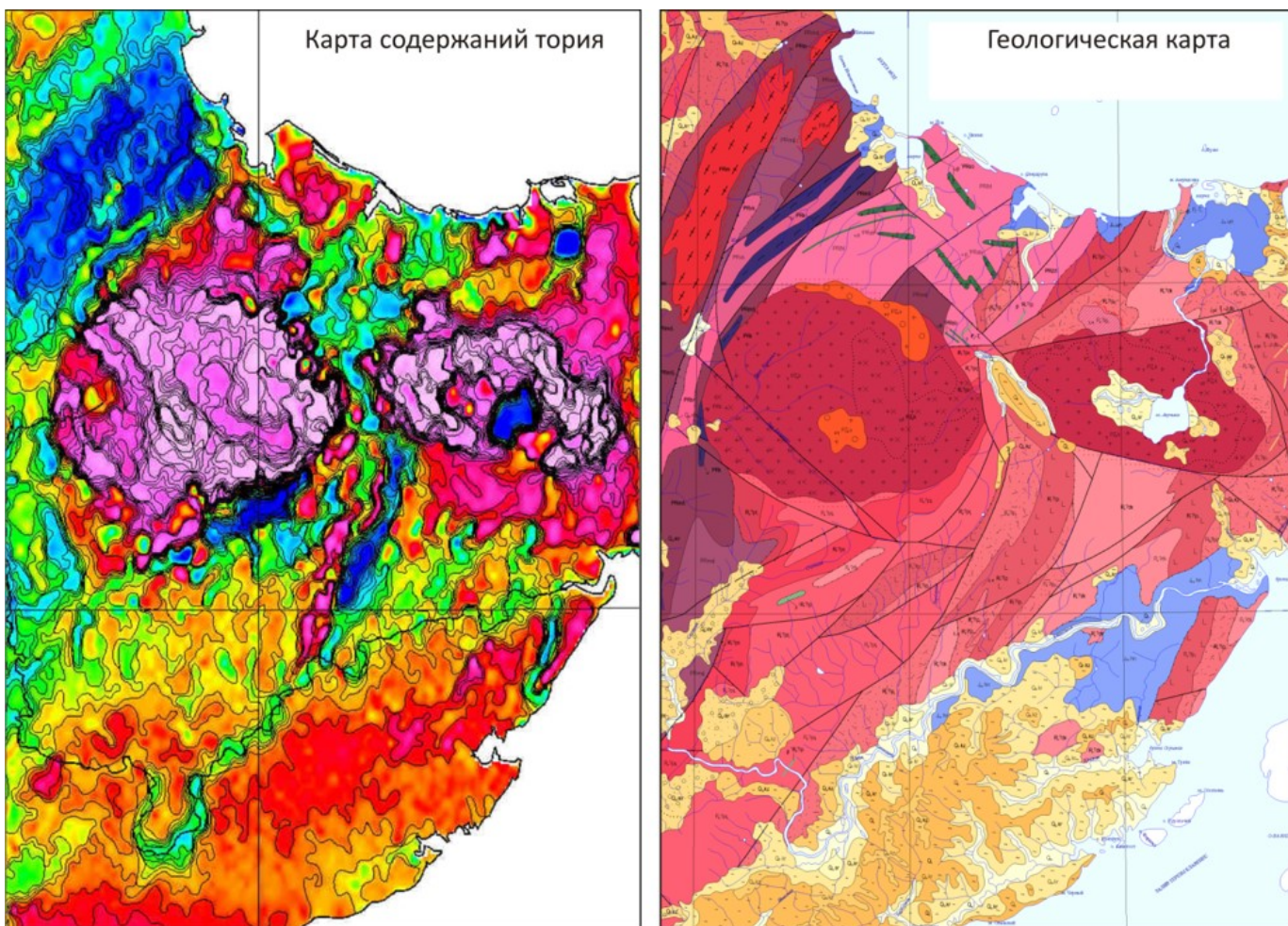


Рис.1. Сравнение содержаний калия по данным аэросъемки и наземной съемки



Результаты работ на северо-востоке Таймырского полуострова

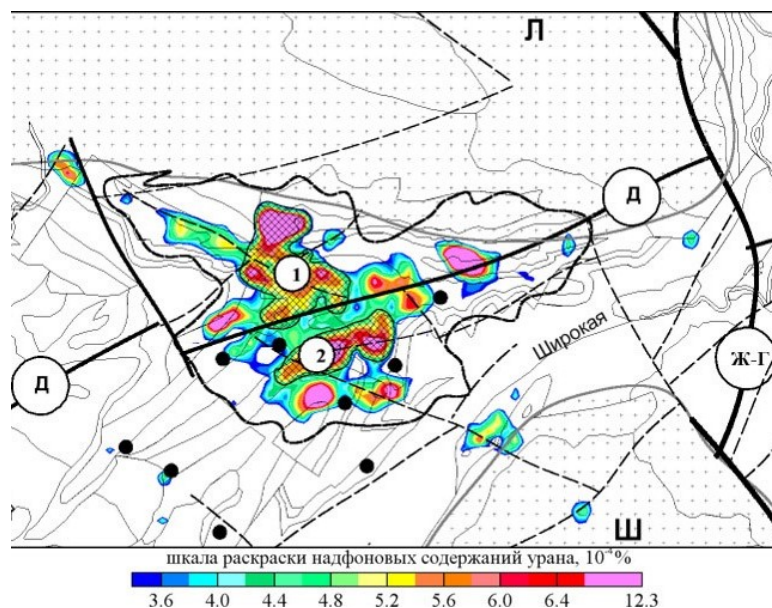


Рис. 2. Схема геофизической интерпретации Каменского рудного поля. 1 – геологические границы; 2 – интрузивный гранит-гранодиоритового состава; 3–4 – тектонические нарушения; 5 – зона повышенных надфоновых содержаний урана; 6 – места проведения горных работ 1948–1952 гг.; 7 – перспективные участки

позволял регистрировать содержания урана, тория и калия. По существу, АГС-71 является прототипом современных аэрогамма-спектрометров.

К середине восьмидесятых годов НПО “Рудгеофизика” выпустило серию более совершенных многообъемных аэрогамма-спектрометров для станций СКАТ-77 и СТК. Выпуск этих приборов ознаменовал собой переход на новый качественный уровень в области отечественной аэрогамма-спектрометрии. Прибор отличался от предыдущих изделий повышенной помехоустойчивостью, стабильностью и надежностью в эксплуатации. В состав этих станций входил также протонный магнитометр и электроразведочный модуль методом СДВР. Аэрогеофизические работы с такими аэрокомплексами вышли на новый качественный уровень. Они нашли свое широкое применение в производственных организациях на объектах Кольского полуострова, Урала, Саян, Енисейского кряжа, Забайкалья, Магаданской области, Камчатки, Приморского края и в республиках Средней Азии. Небезынтересно отметить, что в 1985 г. СКАТ-77 “добрался” до Таймыра [1] и, оказавшись в распоряжении геофизиков Центрально-Арктической геологоразведочной экспедиции (ЦАГРЭ, г. Норильск), далее “выбрался” на о. Большевик (архипелаг Северная Земля). С использованием этой станции (далеко за Полярным кругом, в условиях полярной пустыни) впервые была создана геофизическая основа на площадь, охватывающую всю южную часть острова.

Результаты работ, полученные с помощью этих аэрокомплексов, свидетельствуют об их высокой эффективности при решении различных геологических задач, в т.ч.

при геологическом картировании, поисках урана, редкоземельных элементов, цветных и благородных металлов. После Чернобыльской катастрофы именно этот спектрометр нашел свое применение для оценки и мониторинга радиационного загрязнения жилых и промышленных зон городов и поселков.

В конце 90-х годов в России создан гамма-спектрометр с регистрацией полного спектра (512 каналов), входящий в состав аэрокомплекса КАС, изготовленного в ВИРГ-“Рудгеофизика”. В блоках детектирования спектрометра в качестве сцинтилляторов применены монокристаллы Na J (Тl) с низким фоном гамма-излучения. Гамма-спектрометр такого комплекса с объемом детектора до 37,8 л. позволяет регистрировать содержания ЕРЭ не хуже U – 0,35 г/т, Th – 0,5 г/т, K – 0,11%. Как правило, комплекс КАС, кроме спектрометра, включает в себя магнитометр, электроразведочный канал в модификации дипольного индукционного профилирования (ДИП), спутниковую навигационно-геодезическую систему (обязательно), а также систему сбора, управления и регистрации аэрогеофизических данных. Погрешность определения плановых координат не превышает 3-х м.

Результаты аэрогамма-спектрометрических съемок, выполняемых с такими гамма-спектрометрами, позволяют получать материалы по качеству, сопоставимому с аналогичными по масштабу пешеходными съемками (рис. 1). По некоторым оценкам, при решении одинаковых задач аэросъемка дешевле наземных работ в 2,5–10 раз [3], мы поддерживаем эту точку зрения.

Современная практическая реализация возможностей аэрогамма-спектрометрических съемок может быть продемонстрирована на примере работ ЦАГРЭ, а после 2002 г. – Норильского филиала ФГУП ВСЕГЕИ, взявшего на вооружение аэрогеофизические комплексы последнего поколения (серия КАС).

Картирование и уточнение общей геологической структуры исследуемых районов на основе аэрогеофизических методов, в т.ч. аэрогамма-спектрометрических, как правило, предшествуют работам по созданию геологических карт масштаба 1 : 200000 и крупнее. Высокая чувствительность современных гамма-спектрометров позволяет надежно регистрировать кларковые содержания ЕРЭ в верхнем слое горных пород. Это, в свою очередь, позволяет надежно картировать геологические образования, характеризующиеся предельно низкими содержаниями радионуклидов, например, базит-гипербазитовые интрузивы Кингашского комплекса (Восточный Саян) или офиолитовый пояс района бухты Мод, что на северной оконечности Таймырского полуострова. При наличии даже незначительной дифференциации ЕРЭ удастся расчленять стратифицированные образо-

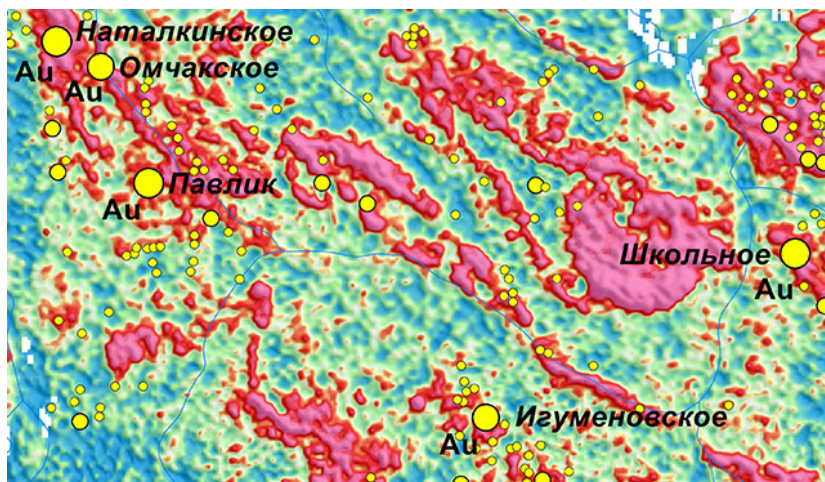


Рис. 3. Фрагмент карты надфоновых содержаний калия (юго-восточная часть Аян-Юряхского антиклинория). 1–3 – месторождения золота (1 – крупные, 2 – средние, 3 – мелкие); 4 – рудопроявления

вания, обнаруживать и фиксировать неоднородность строения тех или иных интрузивных комплексов (кислых, щелочных, щелочно-ультраосновных и пр.).

Зоны дизъюнктивных дислокаций, подвергшиеся метасоматическим и гидротермальным преобразованиям, как правило, сопровождаются нарушением равновесного состояния ЕРЭ и поэтому уверенно отображаются в результатах расчета их бинарных отношений или в полях оптического синтеза, либо в надфоновых концентрациях радиоактивных элементов. Например, в них довольно четко отражается положение главного Таймырского надвига, пересекающего п-ов Таймыр с запада на северо-восток; таким же образом находит свое отражение крупный Дорожнинский разлом на северо-востоке Таймыра и др.

Метаморфизм, метасоматоз и гидротермальные процессы приводят к изменению вмещающих пород, сопровождаются преобразованием структуры радиохимических полей в виде появления одного или двух элементов из триады ЕРЭ в аномальных концентрациях. Причина такого явления, как известно, заключается в различии миграционных свойств урана, тория и калия. В результате этих изменений нарушается равновесное соотношение ЕРЭ, сопровождаемое образованием радиохимической зональности, характер которой зависит от типа преобразования, что и создает методическую основу применения радиохимии для прогнозирования оруденения. Именно поэтому аэрогамма-спектрометрия как автономно, так и еще более эффективно в комплексе с другими геофизическими методами находит свое широкое применение на этапе оценки перспективности рудоконтролирующих и рудовмещающих структур, при поисках месторождений радиоактивных, редких, цветных и благородных металлов.

Примером, демонстрирующим возможности и эффективность аэрогамма-спектрометрии при поисках урана, служат результаты аэрогеофизических работ на Таймырском севере, в районе Каменского уранового рудного поля (рис. 2). Выполненные работы позволили установить, что рудное поле размещается в узле пересечения трансформного Ждановско-Гейбергского и Дорожнинского региональных разломов. Породы, вмещающие рудное поле, сильно нарушены многочисленными разломами, раздроблены, перемяты, и именно к такому участку приурочена обширная аэрогамма-спектрометрическая аномалия. Проявления урановой минерализации располагаются в протяженной радиохимической зоне длиной более 10 км и шириной 2–7 км, простирающейся вдоль южного экзоконтакта Лодочниковского гранитоидного массива. Урановая минерализация наложена на все доюрские осадочные и магматические образования. Также установлено,

что горные работы 1948–1952 гг., курируемые Норильлагом, проводились за пределами наиболее перспективной части рудного поля. Все это позволяет рекомендовать продолжение исследований на этом объекте [5].

Современная аэрогамма-спектрометрическая съемка, выполненная в пределах Аян-Юряхского антиклинория (Магаданская область), позволила установить плановое положение линейно вытянутых в северо-западном направлении зон калиевой радиохимической специализации, с которыми пространственно связаны все участки метасоматически измененных пород на известных месторождениях. В пределах одной из таких зон располагаются уникальное золото-сульфидное месторождение Наталкинское, меньшие по размеру Павлик, Дегдекан, а также множество рудопроявлений золота (рис. 3). Важно заметить, что на Енисейском кряже уникальное золото-сульфидное Олимпиадинское и крупное золото-сульфидно-кварцевое Благодатное месторождения располагаются в пределах таких же аномальных калиевых зон. Это совпадение дает основание утверждать, что выделение таких аномальных зон и участков – одна из важнейших поисковых задач, которая, как мы видим, с успехом решается с применением аэрогамма-спектрометрии. Более того, результаты наших исследований, завершенных в 2008 г., показали, что благодаря высокой чувствительности и точности аэрогеофизических съемок имеется возможность обнаружить и локализовать не только золоторудные объекты ранга рудных районов и узлов, но и рудных полей, что существенно повышает эффективность поисков золота.

Скопления руд скарново-магнетитового типа, в силу их петрофизических особенностей, контрастно отображаются в полях аэромагнитных съемок. Роль же гамма-спектрометрии при поисках таких руд гораздо ниже. Но при поисках кварцево-жильных полиметаллических руд

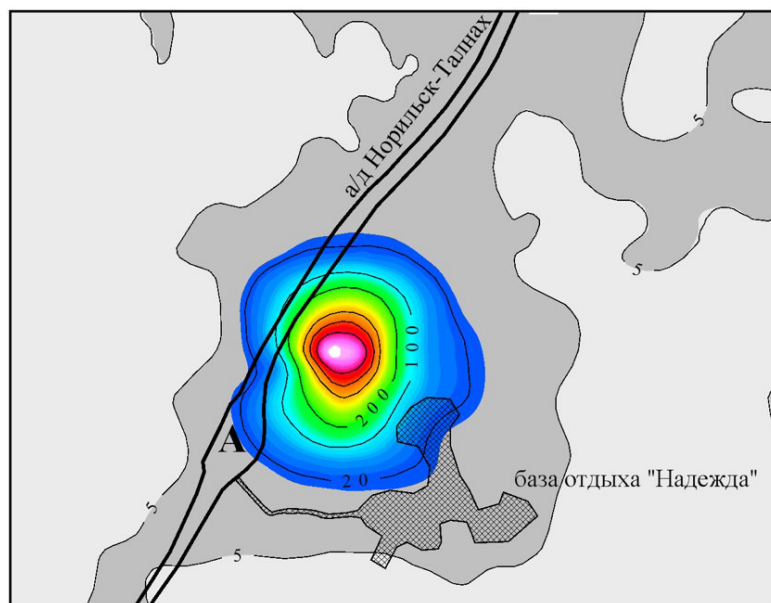


Рис. 4. Положение зоны радиоактивного загрязнения по данным АГСМ-съемки масштаба 1 : 10000 (р-н базы отдыха "Надежда", г. Норильск)

значимость анализируемого нами метода существенно повышается, впрочем, как и при поисках месторождений порфирирового типа.

Таким образом, изложенные выше данные по выявлению радиогеохимической зональности показали себя эффективным способом регионального и локального прогноза золота, меди, молибдена, урана, вольфрама, олова, свинца, цинка и других металлов. Разумеется, каждый из изучаемых рудных объектов имеет свою специфику и, следовательно, свои особенности в интерпретации геофизических материалов. Тем не менее, современные методы целевой интерпретации геофизических данных аэрогеофизических съемок дают возможность решать весьма широкий спектр геологических задач при поисках самых разнообразных полезных ископаемых.

Наряду с решением геологических задач, современные аэрогамма-спектрометрические исследования нашли свое широкое применение и для решения экологических проблем, в частности, для оценки радиационного загрязнения территорий, обусловленных различными техногенными факторами. Решением таких задач на Таймыре занималась ЦАГРЭ, а затем Норильский филиал ВСЕГЕИ.

Навигационные маяки с радиоизотопными термоэлектрическими генераторами (РИТЭГи) в свое время были установлены по всей трассе Северного морского пути, в том числе на побережье Таймыра и на островах Карского моря. Часть таких установок была доставлена в поселок ТАО и в г. Норильске. В связи с общим упадком навигационной службы многие из них пришли в негодность. Детальное рассмотрение опасности радиоизотопных термоэлектрических генераторов, являющихся "сверхконцентрированными хранилищами радиоактивных отходов в виде чрезвычайно опасного долго-

живущего радиоизотопа ^{90}Sr ", число которых на трассе Северного морского пути составило 2356, содержится в недавно вышедшей сводке [4]. Являясь весьма высокоактивными источниками, они представляют прямую опасность для животных, человека и нуждаются в утилизации или замене.

В результате проведения нами площадной аэрогамма-спектрометрической съемки такие генераторы были обнаружены в жилой зоне пос. Хатанга, а также в г. Норильске на территории воинской части. После сообщения о таких фактах в органы местной власти источники, представляющие угрозу для здоровья населения, были вывезены в места, предназначенные для их хранения.

Другими источниками загрязнения окружающей среды являются неучтенные (утраченные) радиоактивные эталоны, используемые в технологических процессах на передлах ОАО "ГМК "Норильский никель", Часть источников такого типа была выявлена нашими площадными аэрогамма-спектрометри-

ческими исследованиями. Так, например, в 1990 г. были обнаружены два таких источника в Норильском промышленном районе (НПР): первый (мощность дозы гамма-излучения 21000 мкР/час) в районе Талнахской обогатительной фабрики, а второй (мощность дозы гамма-излучения 61000 мкР/час) – около цементного завода, в зоне "старого города".

Последним примером, подтверждающим существование таких "утраченных" источников, является обнаружение радиационного загрязнения 29.09.2002 г. в районе базы отдыха "Надежда". Оно было выявлено практически случайно при возвращении съемочного самолета Ан-2 с гамма-спектрометром на борту в аэропорт базирования Валек после съемочного дня. После определения цезиевой природы выявленной аномалии (^{137}Cs) с мощностью дозы гамма-излучения более 700 мкР/час было сделано заключение о том, что она представляет серьезную экологическую опасность. Об этом были извещены органы ГО и ЧС города Норильска.

С целью локализации данной аномалии и уточнения ее местоположения выполнена площадная аэрогамма-спектрометрическая съемка по сети встречно-параллельных маршрутов, расположенных на расстоянии 100 м друг от друга. По результатам обработки материала подтверждена цезиевая природа аномалии и установлено, что она имеет локальный характер и расположена в 100 м от шоссе, в районе базы отдыха "Надежда" (рис. 4). Все материалы с координатами положения аномалии переданы представителям МЧС администрации города Норильска, которые локализовали ее на месте и установили причину – радиоактивный источник (РИП) ^{137}Cs .

Как известно, весомый вклад в нарушение экологической обстановки на территории России внесли под-

земные ядерные взрывы. Для Норильского района и Таймыра в целом данная проблема весьма актуальна: в 80-е годы на территории района, на северном побережье оз. Лама, а также на Северо-Соленинском газоконденсатном месторождении были проведены три подземных ядерных взрыва. Объективная оценка их влияния на экологическую обстановку района не проводилась, как и специализированные исследования по этой проблеме. Близко расположенные от Норильска ПЯВ "Метеорит-2" и "Горизонт-3" были проведены соответственно 26.07.1977 г. и 29.09.1975 г. с целью глубинного сейсмического зондирования земной коры. Их мощность составляла 15 и 7,6 килотонн. В местах проведения этих взрывов в 1996 г. нами пройдены два маршрута с аэрогамма-спектрометром СТК. В результате были обнаружены локальные радиоактивные аномалии. Но без проведения наземных радиоэкологических исследований давать какое-либо заключение этим аномалиям преждевременно. В связи с тем, что места проведения данных взрывов находятся в зоне отдыха жителей г. Норильска, а также с тем, что акватория оз. Лама связана с р. Норилка, из которой осуществляется водозабор, здесь целесообразно проведение радиоэкологических работ.

Хорошие примеры масштабного изучения последствий ПЯВ с применением аэрогамма-спектрометров имеются на сопредельной с ТАО территории Республики Саха, где коллективом под руководством А.Д. Гедеонова были выявлены аварийные ПЯВ ("Кратон-3" и "Кристалл") с выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду [2, 6].

Таким образом, гамма-спектрометрическая съемка в аэроварианте является тем инструментом, который позволяет в кратчайшие сроки обследовать обширные территории, получать объективную информацию об их

радиационном загрязнении, устанавливать радиационные очаги загрязнения, представляющие опасность для жизнедеятельности человека, и принимать обоснованные решения по их ликвидации.

Вывод. Высокий уровень развития отечественного и зарубежного приборостроения в области аэрометодов в сочетании с компьютерными технологиями производства полевых и камеральных работ вывели аэрогамма-спектрометрию на одно из ведущих мест в деле решения задач геологического картирования, поисков разнообразных руд и оценки радиационного загрязнения.

Литература

1. Альтшулер М.И., Лазарев Ф.Д., Ромашко В.В. Прогнозно-поисковая эффективность применения комплексной аэрогеофизики и гравиметрии в потенциально золоторудных районах Таймыро-Североземельской провинции // *Недра Таймыра. – Норильск, 1999. – Вып.3. – С.77–87.*
2. Гедеонов А.Д., Кулешова И.Н., Бакушкина Л.П. и др. Результаты исследования радиоактивной загрязненности почв объектов "Кристалл" и "Кратон-3" // *Радиационное загрязнение территории Республики Саха (Якутия) : проблемы радиационной безопасности. – Якутск, 1993. – С.214–232.*
3. Контарович Р.С. Аэрогеофизика на пороге XXI века // *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. –1997. – Отд. вып. – С.3-5.*
4. Радиационная обстановка на Дальнем Востоке России. – СПб., 2002. – 456 с.
5. Ромашко В.В., Васильев Н.Н., Наторхин И.А. Каменское рудное поле новый перспективный ураноносный объект Таймыра // *Минеральные ресурсы Таймырского автономного округа и перспективы их освоения : мат. научно-практич. конф. 25–28 октября 2004 г. ВСЕГЕИ. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. – С.204–208.*
6. Gedeonov A.D., Petrov E.R., Alexeev V.G. et al. Residual radioactivity contamination at the peaceful underground nuclear explosion sites "Craton-3" and "Crystal" in the Republic of Sakha (Yakutia) // *J. Environ. Radioact. – 2002. – Vol.60. – P.221–234.*