

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»  
Российская академия наук  
Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН  
Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н. М. Федоровского  
Научно-исследовательский институт радиационной медицины и экологии  
Медицинского университета Семей Республика Казахстан  
Университет Париж-Сакле, Франция  
Университет Сорбона, Франция



# РАДИОАКТИВНОСТЬ И РАДИОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В СРЕДЕ ОБИТАНИЯ ЧЕЛОВЕКА

---

МАТЕРИАЛЫ  
VI МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

---

Том 1

20–24 сентября 2021 г.

Томск 2021

УДК 539.16+577.346:574(063)  
ББК 22.383+28.707.1л0  
P15

**Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека :**  
P15 материалы VI Международной конференции (Томск, 20–24 сентября 2021 г.). В 2 томах.  
Том 1 / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического  
университета, 2021. – 671 с.

ISBN 978-5-4387-1026-4 (т. 1)  
ISBN 978-5-4387-1025-7

В сборнике докладов конференции обсуждаются актуальные проблемы, связанные с явлением радиоактивности, распространением естественных и техногенных радионуклидов в различных природных средах. Приводятся данные по радиоэкологическому состоянию отдельных территорий, методам анализа радионуклидов. Освещаются вопросы влияния радиоактивности и радиоактивных элементов на биоту и человека, проблемы оценки дозовых нагрузок.

Сборник представляет интерес для геологов, геохимиков, биологов, медиков, экологов и других специалистов, интересующихся проблемами радиогеологии, радиогеохимии, радиоэкологии.

**УДК 539.16+577.346:574(063)**  
**ББК 22.383+28.707.1л0**

---

*Редакционная коллегия*

Е. Г. Язиков, докт. геол.-мин. наук, профессор  
(главный редактор)  
С. И. Арбузов, докт. геол.-мин. наук, профессор  
Н. В. Барановская, докт. биол. наук, профессор  
В. А. Домаренко, канд. геол.-мин. наук, профессор  
А. А. Поцелуев, докт. геол.-мин. наук, профессор  
О. Г. Савичев, докт. геогр. наук, профессор  
Л. М. Болсуновская, канд. фил. Наук  
Б. Р. Соктоев, канд. геол.-мин. наук,  
В. В. Жуков, тех. секретарь

*Рецензенты*

А. М. Адам, докт. тех. наук, профессор  
А. В. Мананков, докт. геол.-мин. наук, профессор  
Н. Н. Ильинских, докт. биол. наук, профессор

*Editorial Board*

E. G. Yazikov, Professor (Editor-in-Chief)  
S. I. Arbuzov, Professor  
N. V. Baranovskaya, Professor  
V. A. Domarenko, PhD  
A. A. Pozeluev, Professor  
O. G. Savichev, Professor  
L. M. Bolsunovskaya, PhD  
B. R. Soktoev, PhD  
V. V. Zhukov, Secretary

*Reviewers*

A. M. Adam, Dr. tech. sci., professor  
A. V. Manankov, Dr. geol.-mineral. sci., professor  
N. N. Ilyinskikh, Dr. biol. sci., professor

---

ISBN 978-5-4387-1026-4 (т. 1)  
ISBN 978-5-4387-1025-7

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2021  
© Оформление. Отделение геологии ИШПР ТПУ, 2021

## РАДИОГЕОХИМИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ ИНТРУЗИВОВ ПО АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Р. А. Леденгский

*Норильский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ»  
Норильск, Россия, ledengskiyra@yandex.ru*

## RADIOGEOCHEMICAL MAPPING OF INTRUSIVES ON AIRBORNE GEOPHYSICAL DATA

R. A. Ledengskiy

*Norilsk branch of the FSBI «VSEGEI»  
Norilsk, Russia, ledengskiyra@yandex.ru*

The article presents methods of processing and interpretation of materials of an integrated airborne geophysical survey (magnetometry, gamma-spectrometry) at a scale of 1 : 50 000 for radiogeochemical mapping intrusives on the example of the northern part of the Balygychano-Sugoi trough.

Радиогеохимическое картирование по гамма-спектрометрическим данным представляет собой изучение закономерностей пространственного распределения естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ) в горных породах для решения задач геологического картирования и прогноза различных типов рудной минерализации [1].

Закономерности распределения и миграции ЕРЭ в истории геологического развития различных структур земной коры обусловлены комплексом различных геологических процессов. К таковым процессам относятся сингенетические – осадконакопление и магматизм, формирующие первично-конституциональное равномерно-рассеянное распределение ЕРЭ; и эпигенетические – метаморфизм, корообразование, гидротермальная деятельность, инфильтрационные изменения и рудообразование, которые приводят к нарушению первичного распределения ЕРЭ и формированию их наложенных концентраций.

Кроме того, естественные радиоактивные элементы обладают высокой миграционной способностью в различных ландшафтно-геохимических обстановках. В связи с этим при выветривании горных пород происходит достаточно интенсивное гипергенное перераспределение элементов и продуктов их распада, сильно осложняющее изучение их первичного распределения и являющееся мешающим фактором, который необходимо учитывать [2].

В итоге, результаты проявления сингенетических и эпигенетических изменений с учетом геологических и ландшафтных условий отражаются на характере распределения радиогеохимического поля верхней части земной коры с областями привноса и выноса ЕРЭ, которые также могут служить поисковыми признаками оруденения различных типов [3, 4].

Первичными материалами для радиогеохимических построений являются карты содержания ура-

на (радия), тория, калия и карта мощности дозы суммарного гамма-излучения, представительные для слоя земной поверхности мощностью от 10 до 50 см.

При радиогеохимическом картировании одной из необходимых задач для решения является вопрос определения фона. На радиогеохимических картах обычно отражаются равномерно рассеянный радиогеохимический фон, свойственный неизменным горным породам; радиогеохимически специализированные комплексы (первый уровень концентрации) и эпигенетические (локальные) концентрации элементов (второй уровень концентрации) [4]. По выборкам для каждого геологического комплекса (фациальной, формационной разновидности) рассчитываются средние содержания элементов ( $q$ ) и стандартные отклонения ( $S$ ). В случае удовлетворения закону нормального распределения, определяются уровни, повышенные и пониженные относительно средних содержаний на  $1,3S$  и  $3S$  [3].

Так как, каждое геологическое образование обладает индивидуальным устойчивым соотношением ЕРЭ, изменяющимся в процессе эпигенетических эндогенных и гипергенных преобразований, то для определения фоновых содержаний требуется геологическая основа, учитывающая ландшафтно-геоморфологическую ситуацию.

Определение характера эпигенетических изменений возможно осуществить расчетами отношений вида  $Th/U$ ,  $Th/K$ ,  $U/K$ ,  $(U \cdot K)/Th$ . Относительно устойчивые для большинства типов неизменных геологических образований, они принимают экстремальные значения в пределах тех комплексов горных пород для которых характерно нарушение типовых отношений числителя и знаменателя. Недостатками отношений являются высокая чувствительность к изменению ландшафтной обстановки и высокий уровень флюктуаций, особенно при низких значениях гамма-поля. Более устойчивы к геологическим поме-

хам корреляционные методы преобразования, основанные на использовании аппарата компонентного или регрессионного анализов.

На данный момент представлены несколько методик составления радиогеохимических карт, основанные на анализе геолого-ландшафтного строения территории или исследовании структуры взаимосвязей ЕРЭ с помощью факторного, регрессионного или компонентного анализов методом главных компонент [3–6]. В основу положено то, что под влиянием различных эпигенетических процессов, в том числе и рудных, протекавших с перераспределением радиоактивных элементов, нарушается их первоначальная концентрация и, как следствие, структура их взаимосвязей, свойственная неизменным горным породам. Каждый метод обладает своими преимуществами, но общими проблемами для всех являются вопрос определения фона и необходимость привлекать дополнительную априорную информацию о геологических и ландшафтных условиях, которая может быть не всегда доступна или достоверна.

В данной работе для целей радиогеохимического картирования предложено и выполнено вычисление надфоновых содержаний ЕРЭ на основе оценки вклада каждого элемента в общую гамма-активность горных пород. Для каждого естественного радиоактивного элемента, используя соответствующий гамма-эквивалент, определялось его надфоновое содержание. Значение гамма-эквивалента соответствует мощности дозы от единицы содержания радионуклида на высоте 1 м от излучающей поверхности и зависит от условия насыщенного полупространства [7].

Полученные величины, центрированные и нормированные, объективно отображают радиогеохимическую специализацию геологических образований, независимо от наличия априорной информации о геологических и ландшафтных условиях. Сопоставление надфоновых содержаний ЕРЭ реализуется путем качественной классификации территории по уровню избытка или дефицита одного из трех элементов и позволяет определить радиогеохимическую специализацию горных пород [8].

В качестве объекта для радиогеохимического картирования использовались материалы комплексной аэрогеофизической съемки масштаба 1 : 50 000 северной части Балыгычанско-Сугойского прогиба (Балыгычанская площадь, Магаданская область).

Балыгычанско-Сугойский орогенный прогиб представлен нижнемеловыми вулканогенно-осадочными отложениями и заложен по Омсукчанскому глубинному разлому фундамента складчатой системы. На юге прогиб тесно смыкается с Охотско-Чукотским вулканогенным поясом и рассматривается в качестве его ответвления. В пределах прогиба размещаются золотосеребряное, оловянное и медно-молибденовое оруденения.

Геологическое строение северной части Балыгычанско-Сугойского прогиба в пределах Балыгычанской площади представлено стратифицированными осадочными и магматическими образованиями от перми до современной эпохи. Пермские, триасовые и юрские отложения составляют верхоянский терригенный комплекс, меловые образования представлены интрузивными породами, вулканогенными и вулканогенно-осадочными отложениями. Интрузивные образования площади представлены ранне-поздне-меловым быстринским плутоническим диорит-гранодиоритовым, поздне-меловыми омсукчанским плутоническим лейкогранитовым и наяханским габбро-лейкогранитовым комплексами (рис. 1 А) [9–12].

Омсукчанский комплекс распространен преимущественно в пределах Балыгычанско-Сугойского прогиба и его обрамления, где объединяет массивы Егорлыкский и Марат. В пределах Егорлыкского массива широко распространены кварц-турмалиновые, касситерит-турмалин-кварцевые, хлорит-кварцевые жилы, содержащие оловянное оруденение. Представленные на площади коренные и россыпные малые промышленные месторождения олова обнаруживают тесную пространственную и, вероятно, парагенетическую связь с массивом (Рис. 1 А) [9, 10].

К быстринскому комплексу относятся небольшие массивы Громадинский и Нижненский. В их составе преобладают гранодиориты, диориты, менее распространены граниты. К северо-восточной части Громадинского массива приурочено малое золотосеребряное месторождение Громада, расположенное на соседнем с запада листе (Р-56-IV) [11].

На счет массивов Нягаинский, Кобзарь и Светлинский диорит-гранодиоритового состава пока еще ведутся дискуссии по отнесению их либо к быстринскому либо к наяханскому комплексу. В данной работе массивы отнесены к наяханскому комплексу. С гранитоидами наяханского комплекса в 15 километрах южнее Балыгычанской площади (Р-56-XII) связаны жилы с золотосеребряной минерализацией месторождения Арылах [12].

В пределах Балыгычанской площади в экзоконтактах и среди роговиков массивов быстринского и наяханского комплексов широко распространены кварцевые, сульфидно-кварцевые жилы и прожилки, содержащие повышенные концентрации золота, серебра, свинца, цинка, сурьмы, олова, мышьяка, вольфрама [9, 10].

В целом, Балыгычанская площадь, согласно минерагеническому районированию ГК-1000/3, включена в Балыгычанско-Сугойскую (Ag, Au, Sn) и Сеймчанскую (Sn, Au, Ag, Co) минерагенические зоны и характеризуется наличием месторождений олова, рудопроявлений золота и серебра, которые приурочены к экзоконтактовым и апикальным частям интрузивных массивов различных комплексов. Поэтому можно предположить, что интрузивы в зависимости от принадлежности к тому или иному комплексу мо-

гут быть рудовмещающими для соответствующего типа рудной минерализации, например, быстринский и наяханский – к золотосеребряной, а омсукчанский – к оловянной [13].

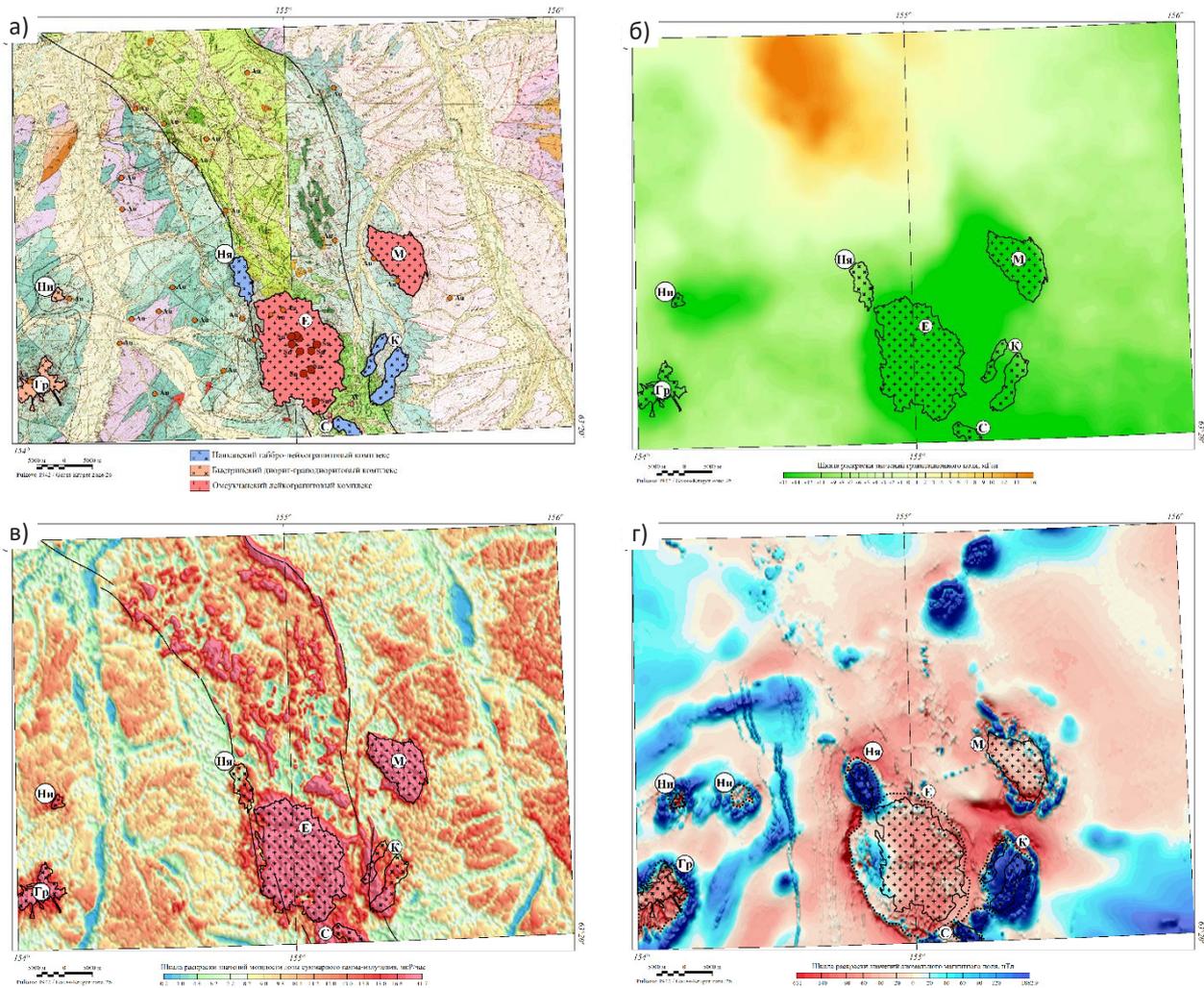
Аэрогеофизическая съемка выполнена Норильским филиалом ФГБУ «ВСЕГЕИ» на вертолете Eurocopter AS350 с применением комплекса, включающего аэромагнитометр с квантовым цезиевым датчиком и частотой регистрации 100 Гц; аэрогамма-спектрометр объемом детектора 32 л; систему спутниковой навигации. Аэросъемка проведена с детальным огибанием рельефа при средней скорости 170 км/час и средней высоте полета 50 м. Обработка геофизического материала выполнена с применением программы Oasis montaj (Geosoft).

Комплексная интерпретация полученных геофизических полей позволила достаточно уверенно картировать магматические породы и зоны контакто-метасоматических изменений (рис. 1 Б–Г). Так,

например, обе ветви северной части Омсукчанского разлома трассируются полосой метасоматически измененных пород шириной от 2 до 10 км, которые выделяются повышенными значениями мощности дозы суммарного гамма-излучения до 28 мкР/ч (рис. 1 В).

Площадными отрицательными аномалиями поля силы тяжести отчётливо выделяются массивы Егорлыкский, Марат (омсукчанский комплекс) и массивы Громадинский, Нижненский (быстринский комплекс) (рис. 1 Б).

В гамма-спектрометрических полях наиболее контрастно выделяются массивы Егорлыкский и Марат, высокими значениями до 42 мкР/ч (рис. 1 В). В магнитном поле плутонам Егорлыкский и Марат свойственны площадные слабоинтенсивные отрицательные аномалии в обрамлении высокоинтенсивных магнитных аномалий экзоконтактовых изменений (рис. 1 Г).



**Рис. 1.** Геолого-геофизическая характеристика северной части Балыгычано-Сугойского прогиба

А – ГК-200/1 Р56-VI; Б – карта поля силы тяжести; В – карта мощности дозы суммарного гамма-излучения; Г – карта аномального магнитного поля. Обозначения интрузивных образований: Ни – Нижненский, Ня – Нягаинский, М – Марат, Гр – Громадинский, Е – Егорлыкский, К – Кобзарь, С – Светлинский. Пунктиром выделены уточненные границы интрузивных массивов.

Громадинский и Нижненский массивы маркируются повышенным уровнем радиоактивности до 26 мкР/ч, и характеризуются областями слабоинтенсивного отрицательного магнитного поля, в обрамлении высокоинтенсивных положительных аномалий до 500 нТл, совпадающих с зоной ороговикования. Эти зоны отстоят от границ массивов на 500–1000 м, шириной до 3 км (рис. 1 В, Г).

Сопряженная с небольшим выходом гранодиорит-порфиров Нижненского штока локальная отрицательная аномалия силы тяжести вытянута в широтном направлении и простирается к востоку за пределы массива (рис. 1 Б). В восточной части контура данной гравиметрической аномалии и в магнитном поле выделяется аналогичная структура, которая интерпретируется как апофиз общего интрузивного тела. Восточный шток перекрыт терригенными мезозойскими отложениями и четвертичными образованиями р. Балыгычан, мощность которых оценивается в первые десятки метров [9]. Размеры Громадинского и Нижненского массивов, картируемые под перекрывающими отложениями только по геофизическим данным, расширены в 2,5 раза, с 36 до 93 км<sup>2</sup> (рис. 1 Г).

По ярко выраженным площадным высокоинтенсивным положительным аномалиям магнитного поля до 1400 нТл и средним значениям радиоактивности до 20 мкР/ч выделяются интрузивные массивы Нягаинский, Кобзарь и Светлинский (наяханский комплекс) (рис. 1 В, Г). Массивы обрамляются контрастными субкольцевыми положительными магнитными аномалиями контактовых роговиков, которые могут иметь рудоконтролирующую роль для золотосеребряного оруденения [14, 15].

Таким образом, материалы магнитного и гамма-спектрометрического методов позволили уточнить контуры известных интрузивных массивов, площадь их нескрытой части увеличена почти на 70 % от выхода на дневную поверхность по данным геологической карты первого поколения (рис. 1 Г).

Для дальнейшего изучения и разделения гранитоидных образований проведен статистический анализ радиогеохимических полей гранитоидных интрузивов. При анализе использовано положение о сохранении торий-уранового отношения в пределах интрузивов одного комплекса, независимо от петрографических разновидностей слагающих его пород. Отношение тория к урану является хорошим показателем условий образования породы. Основная масса урана и тория накапливается к концу магматического процесса в остаточном расплаве, что значительно увеличивает радиоактивность пород от ранних дифференциатов к поздним. Независимо от содержания тория и урана, в системе гранодиорит – лейкогранит, величина их отношения постоянна и укладывается в пределах единой линейной зависимости [16–18].

Значения радиоактивных элементов были взяты по медианам содержаний урана и тория на участках

**Таблица 1.** Торий-урановое отношение интрузивных массивов Балыгычанской площади

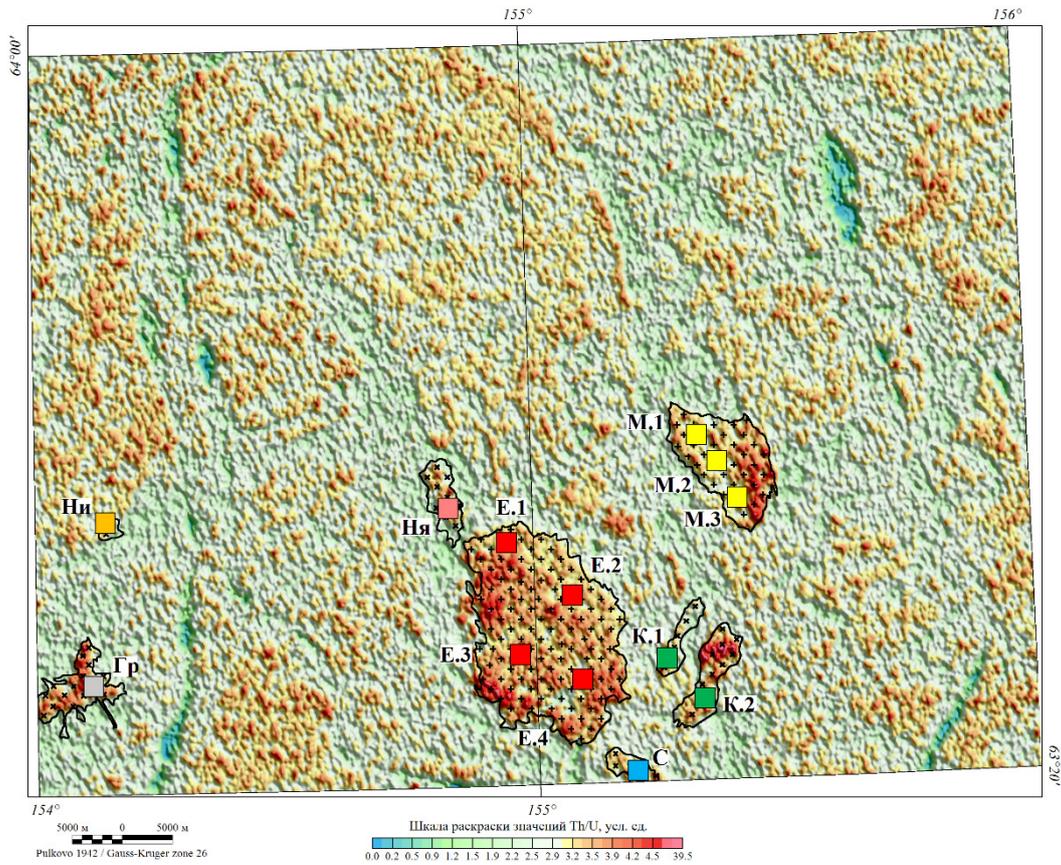
Интрузив	№ участка выборки	Th/U	Медиана содержания	
			U, г/т	Th, г/т
Нижненский	Ни	2,99	3,41	10,18
	М.1	3,17	5,54	17,54
Марат	М.2	3,05	6,34	19,33
	М.3	3,10	5,98	18,54
Светлинский	С	3,25	4,17	13,55
Егорлыкский	Е.1	3,24	6,03	19,57
	Е.2	3,20	6,95	22,23
	Е.3	3,49	4,95	17,26
	Е.4	3,41	5,47	18,66
Нягаинский	Ня	3,39	2,99	10,14
Кобзарь	К.1	3,21	3,89	12,48
	К.2	3,63	3,98	14,47
Громадинский	Г	3,97	3,95	15,65

выборки в пределах границ всех интрузивных массивов (рис. 2). Участки выборки представляют собой квадраты площадью 4 км<sup>2</sup>, что соответствует 420 точкам. По каждому интрузивному массиву выбирался участок или несколько участков в областях спокойного неизрезанного гамма-поля и равномерного распределения содержаний урана и тория.

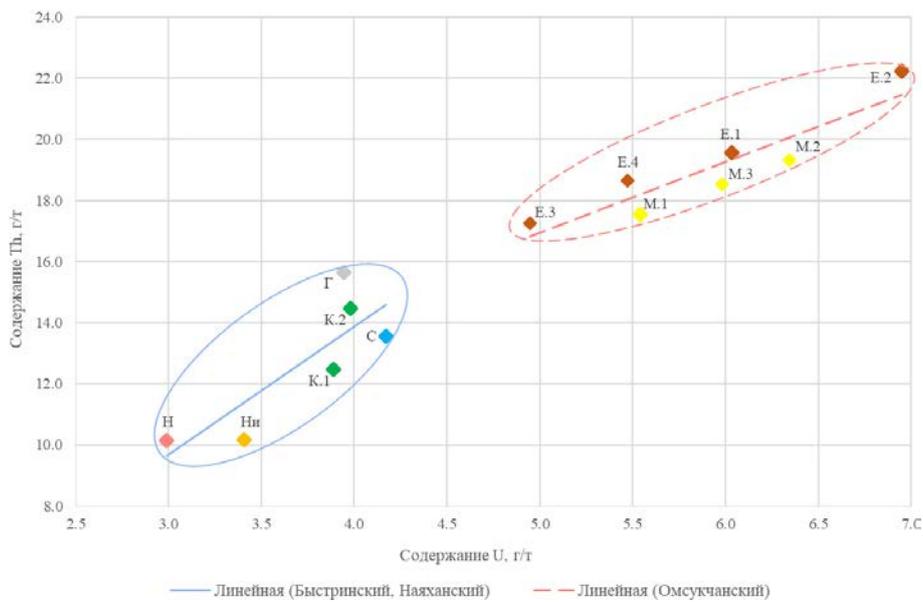
Наименьшие значения торий-уранового отношения (2,9) относятся к частично вскрытому гранодиоритовому массиву Нижненский. Средние значения (около 3,3) характерны для гранодиоритовых массивов Нягаинский, Кобзарь, Светлинский и для гранитных массивов Егорлыкский и Марат. Максимальное значение с ториевой доминантой (3,9) у Громадинского массива преимущественно гранодиоритового состава с центральной гранитной частью (табл. 1).

На рисунке 3 представлена диаграмма распределения интрузивов по торий-урановому отношению, демонстрирующая их разделение на две группы, вероятно в зависимости от состава и основности пород. Первая группа имеет неупорядоченное распределение низких содержаний тория и урана, и характеризуется средним гранодиоритовым составом. К этой группе относятся массивы Нягаинский, Нижненский, Кобзарь, Громадинский и Светлинский двух комплексов (быстринский и наяханский). Вторая группа имеет устойчивую линейную связь тория и урана и повышенные значения их содержаний. Группа отражает только два интрузива Егорлыкский и Марат кислого гранитного состава, что подтверждает их принадлежность к одному омсукчанскому комплексу.

Равномерное увеличение содержаний элементов (накопление урана и тория) интрузивов Егорлыкский и Марат может сообщать о неоднородности



**Рис. 2.** Карта торий-уранового отношения северной части Балыгычано-Сугойского прогиба с расположением участков для статистического анализа. Условные обозначения согласно Рис. 1.; М.1 – номера участков выборки



**Рис. 3.** Торий-урановое отношение интрузивов Балыгычанской площади

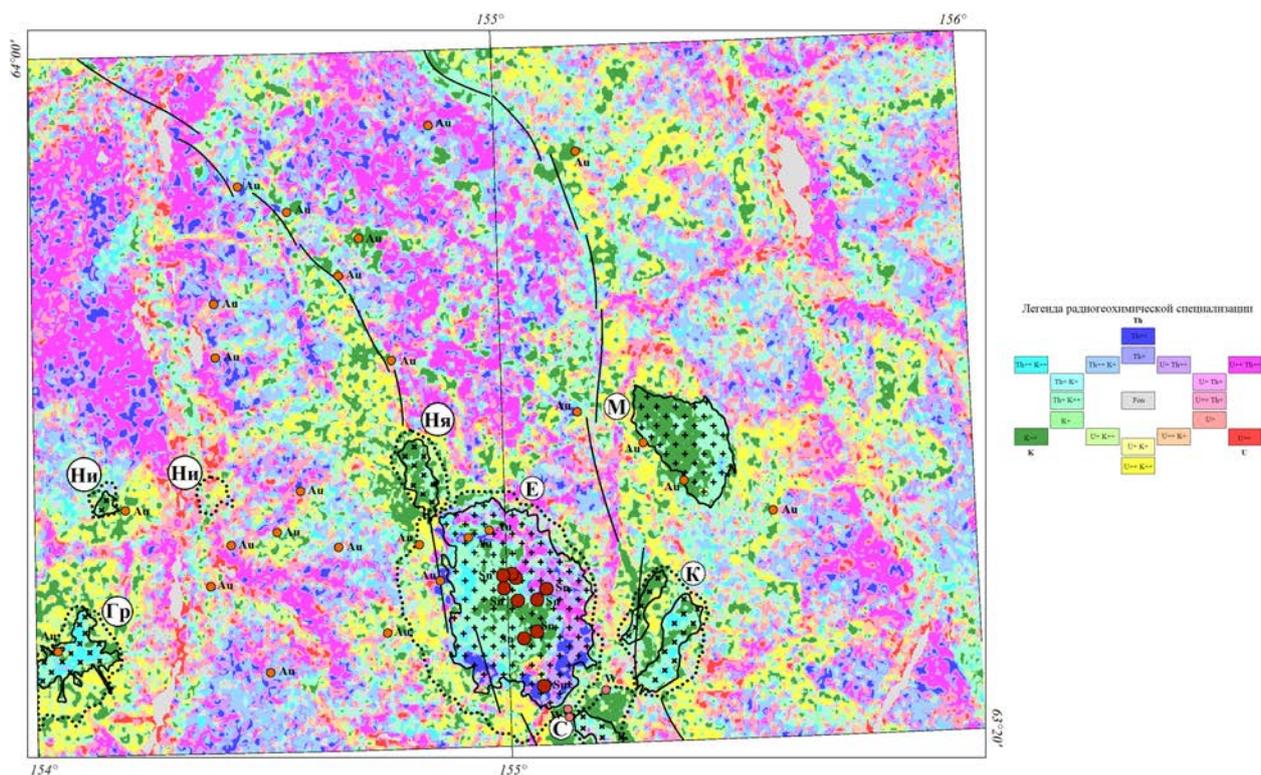


Рис. 4. Сводная радиогеохимическая карта северной части Балыгычано-Сугойского прогиба  
Условные обозначения согласно Рис. 1.

строения массивов, то есть как о нескольких фазах внедрения магматического расплава (собственно интрузивной и жильной), так и нескольких фациях собственно интрузивной фазы (главной интрузивной и эндоконтактовой) [19]. Участок Е.3 располагается в центральной части интрузива Егорлыкский, а участки Е.4, Е.1 и Е.2 с более повышенными содержаниями тория и урана находятся в периферических частях массива, представляющих собой краевую мелкозернистую фацию гранитов-аляскитов с дайками аплитов. Согласно ГК-200 в центральной части массива Марат (участок М.2 с более повышенными содержаниями тория и урана) отмечены пересечения среднезернистых гранитов мелкозернистыми. Различными авторами эти мелкозернистые граниты считаются либо продуктами второй фазы внедрения магмы, либо – эндоконтактовой фацией аплитовых гранитов [10].

В целях радиогеохимического картирования и уточнения радиогеохимической специализации интрузивов выполнено вычисление надфоновых содержаний естественных радиоактивных элементов по представленной выше методике. Полученная карта достаточно отчетливо отражает распределение основных вещественных комплексов на площади и их структурные взаимоотношения (Рис. 4).

Метасоматически измененные породы в зоне Омсукчанского разлома на сводной радиогеохими-

ческой карте выделяется существенно калиевой и уран-калиевой специализацией пород, контролирующей золото-серебряное и оловянное оруденение.

Практически все интрузивы, расположенные на Балыгычанской площади: Громадинский, Нижненский, Марат, Нягаинский, Кобзарь и Светлинский характеризуются преимущественно торий-калиевой, калиевой и в меньшей степени уран-калиевой радиогеохимическими специализациями пород, связанными вероятно с мощными зонами калиевого метасоматоза.

Центральная часть Егорлыкского интрузива также имеет преимущественно калиевую и торий-калиевую доминанты, свойственные центральным частям тел кислых лейкократовых гранитов. Краевые же части массива обладают ториевой и уран-ториевой специализациями пород, связанными с предпочтительным обогащением ураном и торием эндоконтактовых частей интрузивов кислого состава от ранних к поздним фазам внедрения [20, 21]. При дальнейшем постмагматическом кислотном метасоматозе содержание урана увеличивается в грейзенизированных гранитах и грейзенах, а торий выносятся, обогащая зоны поздней альбитизации и калишпатизации [19]. Для месторождений и проявлений олова характерны участки торий-калиевой и ториевой радиогеохимической специализации пород.

Надінтрузивные зоны нескрытых частей интрузивов (контактные роговики) имеют калиевую и уран-калиевую радиогеохимические специализации.

**Таблица 2.** Интрузивные комплексы Балыгычанской площади

Комплекс	Массивы	Качественные геофизические характеристики	Рудная специализация
Наяханский	Светлинский, Кобзарь, Нягаинский	– средняя радиоактивность; калиевая радиогеохимическая специализация горных пород; – площадные высокоинтенсивные положительные магнитные аномалии; – положительные аномалии локальной составляющей поля силы тяжести	Золото-серебряная
Быстринский	Громадинский, Нижненский	– повышенная радиоактивность; торий-калиевая радиогеохимическая специализация горных пород; – площадные слабоинтенсивные отрицательные магнитные аномалии; – высокоинтенсивные положительные магнитные аномалии контактового ореола; – площадные отрицательные аномалии поля силы тяжести	
Омсукчанский	Егорлыкский, Марат	– высокая радиоактивность; калиевая, торий-калиевая радиогеохимическая специализация горных пород; – площадные слабоинтенсивные отрицательные магнитные аномалии; – высокоинтенсивные отрицательные магнитные аномалии контактового ореола (Егорлыкский), высокоинтенсивные положительные магнитные аномалии контактового ореола (Марат); – площадные отрицательные аномалии поля силы тяжести	Оловянная

ции пород, которые характерны для зон калиевого метасоматоза и могут указывать на определенные перспективы рудоносности [15, 17]. Также, в областях калиевой и уран-калиевой доминанты установлены практически все проявления золота, представленные на Балыгычанской площади.

Таким образом, методический прием расчета надфоновых содержаний ЕРЭ позволил установить для интрузивных массивов северной части Балыгычано-Сугойского прогиба калиевую, калий-ториевую, уран-калиевую, и в меньшей степени, ториевую радиогеохимическую специализацию пород.

В итоге, в данной работе выполнено картирование массивов Балыгычанской площади по геофизическим материалам, подтверждающее их классификацию по комплексам. Поскольку каждый комплекс ассоциируется с соответствующим типом оруденения, то с массивами наяханского и быстринского комплексов связана золотосеребряная минерализация, с массивами омсукчанского комплекса – оловянная (табл. 2). Следовательно, представленная методика радиогеохимического картирования и полученные

результаты будут способствовать дальнейшему изучению геологического строения площади и последующему прогнозу благороднометалльного и оловянного оруденения, с выделением перспективных участков в пределах северного фрагмента Балыгычано-Сугойского прогиба.

### Заключение

Предложенная методика радиогеохимического картирования и интерпретации современных геофизических материалов Балыгычанской площади позволили:

- картировать интрузивные массивы, с уточнением контуров распространения;
- изучить внутреннее строение массивов Егорлыкский и Марат с разделением на фациальные разности;
- разделить интрузивные образования по геофизическим данным на геологические комплексы, каждый из которых является перспективным на определённый тип оруденения.

## Литература

1. Аэрорадиогеохимическое картирование. Методические рекомендации / под ред. А. И. Краснов, Е. Б. Высокоостровская, Е. И. Зубов. – Л.: НПО Рудгеофизика, 1983. – 104 с.
2. Радиогеохимические исследования. Методические рекомендации / под ред. Савинова И. Б., Смыслов А. А., Титов В. К. – М.: Мингео СССР, 1974. – 144 с.
3. Высокоостровская Е. Б., Краснов А. К. Основные принципы и методика составления радиогеохимических карт по аэрогамма-спектрометрическим данным // Методы рудной геофизики. – Л., 1976. – Вып. 11. – С. 61–69.
4. Смыслов А. А., Плющев Е. В. Основные принципы и методы составления радиогеохимических карт. // Тр. ВСЕГЕИ – Нов.серия. – Л., 1968. – Т. 164. – С. 104–134.
5. Зубов Е. И. Автоматизированное выделение радиогеохимически специализированных комплексов горных пород и зон нарушенного распределения радиоактивных элементов средствами системы АСОМ-АГС/ЕС // Методы рудной геофизики. Рудная аэрогеофизика. – Л.: НПО «Рудгеофизика», 1989. – С. 137–146.
6. Соболев И. С. Орехов А. Н. Использование элементов многомерной статистики для обработки данных наземной гамма-спектрометрии при поисках гидротермальных месторождений золота // Известия Томского политехнического университета. Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), 2018. – Т. 329. – № 7. – С. 104–115.
7. Airborne gamma ray spectrometer surveying. Technical Reports Series № 323. – IAEA, Vienna, Austria, 1991. – P. 116.
8. Лазарев Ф. Д., Ромашко В. В., Кирплюк П. В. Естественные радиоактивные элементы-эффективный инструмент прогноза золоторудных объектов // Материалы IV Международной конференции «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека». – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – С. 321–323.
9. Государственная геологическая карта СССР первого поколения. Масштаб 1 : 200 000. Серия Верхнеколымская. Лист Р-56-V / Кузнецов В. М. – М.: Мингео СССР, 1982.
10. Геологическая карта СССР первого поколения. Масштаб 1 : 200 000. Серия Верхнеколымская. Лист Р-56-VI / Львов К. Л. – М.: Мингео СССР, 1985.
11. Государственная геологическая карта СССР первого поколения. Масштаб 1 : 200 000. Серия Среднеколымская. Лист Р-56-IV / Гусаров Б. М. – М.: Мингео СССР, 1983.
12. Государственная геологическая карта РФ второго поколения. Масштаб 1 : 200 000. Серия Сугойская. Лист Р-56-XII / Ливач А. Э. – СПб.: ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2000.
13. Государственная геологическая карта РФ третьего поколения. Масштаб 1 : 1 000 000. Серия Верхояно-Колымская. Лист Р-56, Сеймчан / Кузнецов В. М., Жигалов С. В. – СПб.: ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2007.
14. Логачев А. А., Захаров В. П. Магниторазведка. 5-е изд. – Л.: Недра, 1979. – 351 с.
15. Стружков С. Ф., Константинов М. М. Металлогения золота и серебра Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. – М.: Научный мир, 2005. – 320 с.
16. Смыслов А. А. Уран и торий в земной коре. – Л.: Недра, 1974. – 231 с.
17. Сыромятников Н. Г. Радиоактивные элементы как геохимические индикаторы породы- и рудобразования. – М.: Атомиздат, 1976. – 232 с.
18. Арбузов С. И., Рихванов Л. П. Геохимия радиоактивных элементов. – Томск: Издательство ТПУ, 2010. – 300 с.
19. Емельяненко П. Ф., Яковлева Е. Б. Петрография магматических и метаморфических пород. – М., 1985. – 247 с.
20. Средне-мелкомасштабная аэрогамма-спектрометрическая съемка. Методические рекомендации по аэрогамма-спектрометрическому обеспечению региональных прогнозно-металлогенических работ. – Л.: НПО «Рудгеофизика», 1987, – 119 с.
21. Вавилин Л. Н., Воробьев В. П., Ефимов А. В. Аэрогамма-спектрометрия в геологии. – Л.: Недра, 1982. – 271 с.