

АНОМАЛИИ ОТНОШЕНИЙ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ПРИРОДА РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ПРИАМУРЬЯ

Т.В. Володькова

Институт тектоники и геофизики ДВО РАН им. Ю.А. Косыгина, г. Хабаровск

В работе показывается принципиальная возможность использования отношений естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ) магматических комплексов для определения природы их мантийных либо коровых источников. Анализируются значения отношений ЕРЭ магматических комплексов, связанных с “горячими точками”, полученные с использованием аэрогаммаспектрометрии. Работа содержит также обобщение и анализ распределений отношений ЕРЭ, характерных для некоторых типов мантийных резервуаров и оболочек Земли.

Сделано предположение, что магматические комплексы, специализированные на золото, сформированы под влиянием процессов мантийного метасоматоза либо связаны с обогащенными мантийными резервуарами.

Ключевые слова: естественные радиоактивные элементы, аэрогаммаспектрометрия, мантийный метасоматоз, примитивная мантия, истощенная мантия, обогащенная мантия, магматические комплексы, рудная минерализация, Приамурье.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в России резко возрос интерес к использованию данных изотопной геохимии для изучения процессов плюмообразования, магмообразования, особенностей распределения вещества в магматических очагах и мантии [7, 13, 26, 32, 36]. К сожалению, для Приамурья отмечается явный дефицит опубликованных петрогеохимических данных, имеющиеся в архивах материалы неоднородны по набору определяемых элементов и распределены по территории крайне неравномерно. Особенно остро стоит проблема недостатка материалов по редким и рассеянным элементам-индикаторам природы магматических процессов. С другой стороны, территория Приамурья довольно равномерно (более чем на 50 %) покрыта кондиционной крупномасштабной аэрогеофизической съемкой. Гамма-спектрометрия, входящая в ее комплекс, может использоваться для целей экспресс-анализа в изотопной геохимии. При использовании содержаний и отношений ЕРЭ в качестве элементов-индикаторов природы магматических очагов следует учитывать два важных фактора [21, 22, 24].

Первое, средние содержания и отношения ЕРЭ геологических комплексов значительно и закономерно варьируют в зависимости от геодинамичес-

кой обстановки, причем эти закономерности пока мало изучены. Так, Ю.М. Пузанковым [24] отмечалось, что магматизм “горячих точек” характеризуется закономерным изменением спайдер-диаграмм всех основных элементов-индикаторов в зависимости от геодинамической обстановки. В этой работе выделены основные геодинамические обстановки: внутренние части океанических плит, дивергентные границы плит, островные дуги, активные континентальные окраины, коллизионные зоны на конвергентных границах плит, активные внутриконтинентальные рифты. Л.П. Рихвановым [25] было показано, что вулканы вышеперечисленных геодинамических обстановок в поле корреляции урана и тория дискретно отличаются по содержаниям урана и тория, но поведение отношений ЕРЭ при этом подробно не изучалось.

Второе, на характеристики отношений ЕРЭ геологических комплексов значительно влияют степень и тип вторичных (гидротермально-метасоматических) изменений. О.Н. Николаевой впервые были разработаны геохимические критерии выявления в выборке данных по геохимическим пробам вторично измененных пород [22].

Оба эти фактора широко известны, но до последнего времени мало использовались, практически все

сводилось только к их констатации [21, 22, 24, 25]. В специальной литературе довольно мало систематик содержаний ЕРЭ в породах, а систематики отношений ЕРЭ отсутствуют. Опубликованные статистические данные о характеристиках содержаний ЕРЭ в геохимических пробах отдельных магматических комплексов обычно не учитывают влияние вышеуказанных положений. Это привело к тому, что до последнего времени использование характеристик ЕРЭ в качестве элементов-индикаторов природы магматических процессов было затруднено.

В последние годы в изотопной геохимии значительно чаще в качестве основных индикаторов природы магматических процессов (в том числе, плюмовой) стали применяться изотопы свинца [26, 30]. При этом широко используются изотопы ^{206}Pb , дочерний для ^{238}U , и ^{208}Pb , дочерний для ^{232}Th , а также коэффициенты $K_{\text{Pb}} = (\text{Th}/\text{U})_{\text{Pb}}$, $K_{\text{Th}} = (\text{Th}/\text{U})_{\text{Th}}$ [30, 31]. Если природный процесс радиоактивного распада не сопровождается нарушением радиоактивного равновесия, коэффициенты K_{Pb} , K_{Th} сопоставимы с величиной Th/U . Все стороны этой проблемы, в том числе возможности применения в изотопной геохимии уран-ториевого отношения, рассмотрены в работах Н.А. Титаевой [29–32]. При этом ею был сделан важнейший вывод: при частичном плавлении и магматической дифференциации изотопные отношения свинца и U/Th остаются в условиях закрытой магматической камеры постоянными [29].

Уран, торий, калий – несовместимые элементы с близкими по величине и чрезвычайно низкими коэффициентами распределения [38]. Поэтому правило постоянства отношений ЕРЭ в закрытых магматических очагах применимо ко всем характеристикам отношений ЕРЭ, используемым в аэрогаммаспектрометрии. При этом, средние статистические отношения ЕРЭ всех магматических комплексов, сформированных в процессе дифференциации закрытых магматических очагов, вне зависимости от их состава, характеризуются постоянством отношений ЕРЭ [4, 5, 6]. С учетом положений, используемых в работах [2, 7, 21, 29, 31, 32], значения отношений ЕРЭ магматических пород мантийного происхождения (базальтов), близки к соответствующим характеристикам материнских магматических очагов (резервуаров).

Если уран-ториевое отношение теперь все чаще применяется в изотопной геохимии, причем в качестве важнейшего индикатора, данных о поведении других отношений ЕРЭ очень мало. Уран, торий, калий характеризуются разной подвижностью в геологических процессах и разным химизмом [28, 30], поэтому следует ожидать, что вся группа отношений

ЕРЭ позволит получить дополняющие друг друга характеристики. Вопрос о самодостаточности такой системы для целей изотопной индикации магматических процессов пока открыт.

Изредка в петрогеохимии встречаются упоминания уран-калиевого отношения (либо K/U) и попытки оценить характер его распределения. И.Я. Азбелем и др. [1] на основе численного моделирования было установлено, что среднее значение U/K крупнейших оболочек Земли (верхняя и нижняя части континентальной коры, океаническая кора, верхняя и нижняя мантия) практически постоянно и равняется 0,79–0,80. По-видимому, это близко к истине и объясняется равенством коэффициентов распределения U и K , но этот вопрос пока недостаточно изучен.

При использовании отношений ЕРЭ с целью индикации природы магматических процессов следует учитывать еще несколько важных петрогеохимических положений.

Отношения ЕРЭ в породах мантийного происхождения в сильной степени зависят от типа мантийного резервуара. Так, процессы деплетирования мантии приводят к разубоживанию ее несовместимыми элементами (в том числе ураном, торием) и некоторому концентрированию совместимых элементов [11].

Отношения ЕРЭ определенных типов пород могут резко варьировать под воздействием мантийного метасоматоза. С мантийным метасоматозом связывается, в первую очередь, обогащение мантии несовместимыми элементами под воздействием плюмов (“горячих точек”) [6, 11, 15]. При этом подчеркивается роль в подобных процессах флюидов воды, газов.

Содержание редкоземельных элементов (РЗЭ), а также ЕРЭ зависят от объемов расплавных масс и формы магматических камер, что доказывается соответствующими экспериментами. Установлено [27], что даже небольшая примесь летучих элементов очень резко меняет характеристики содержаний и отношений ЕРЭ образующихся магматитов. Показано, что ЕРЭ чувствительнее других элементов к флюидизации и должны играть важнейшую роль в изучении процессов мантийного метасоматоза. Все эти процессы изучены пока совершенно недостаточно, а также мало известно об источниках вещества (мантийных либо коровых резервуарах).

Эти выводы совместно с упомянутым выше правилом постоянства отношений ЕРЭ играют роль геохимической основы применения в работе данных аэрогаммаспектрометрии.

Основной целью работы являлась попытка определить по характеристикам магматических

комплексов тип формирующих их материнских резервуаров и некоторые особенности, с которыми связано формирование специализированных рудоносных комплексов.

МЕТОДИКА И ПРИНЦИПЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ

Для решения вопроса о возможностях использования отношений ЕРЭ для классификации мантийных резервуаров были собраны и обобщены геохимические данные о средних отношениях ЕРЭ различных оболочек и резервуаров Земли (табл. 1).

В табл. 1 использованы опубликованные материалы [22–24, 26, 27, 33, 34, 37, 39, 40]. Данные по обогащенной мантии [26, 32, 37, 39, 40] основаны на результатах анализов небольшого количества образцов базальтов океанических островов (ОИВ). Содержания ЕРЭ ультраосновных пород обычно ниже допустимого порога, поэтому в табл. 1 они приводятся для оценки тенденции изменения этих характеристик. В табл. 1 отражены также характеристики отношений ЕРЭ основных коровых слоев и средние значения отношений ЕРЭ некоторых важнейших типов пород, для чего в нее дополнительно включены дан-

ные из работ [3, 5, 28]. Заметно, что уран-калиевое отношение варьирует слабее прочих отношений ЕРЭ, но для слоев земной коры и мантийных резервуаров может изменяться в достаточно широких пределах 0,45–1,92 [5, 22]. В слабоизмененных геологических комплексах различного состава дальневосточного региона средние значения уран-калиевых отношений соответствуют интервалу от 0,6 до 2,0. Соответственно, достаточно широко колеблются и значения средних уран-калиевых отношений геологических комплексов [4–6]. Прочие характеристики отношений ЕРЭ неизмененных комплексов пород (средние U/Th, K/Th) варьируют в значительно более широких пределах: 0,1–1,0 и выше, в зависимости от геодинамической обстановки. При этом среднеквадратические погрешности σ составляют: для U/Th и K/Th – 0,05–0,1, для U/K – 0,2–0,25. Все вышесказанное свидетельствует о высокой дифференцированности отношений ЕРЭ геологических комплексов и хорошей возможности их использования для индикации геологических процессов.

Из анализа таблицы 1, с учетом погрешностей, ясно, что характеристики отношений ЕРЭ позволяют

Таблица 1. Средние отношения ЕРЭ мантийных резервуаров и оболочек Земли.

Мантийные резервуары, оболочки Земли	Отношения ЕРЭ, у. е.*		
	U/Th	K/Th	U/K
Примитивная мантия (PM) и мантийный резервуар (PREMA) [24, 27, 33]	0,1–0,28 (0,26)	0,30	0,84–1,08 (0,94)
Континентальная кора, CC [22, 27]	0,20–0,26 (0,23)	0,25–0,26	0,79–1,0 (0,85)
Деплетированная (истощенная) мантия, DM (N - MORB) [27, 33, 34]	0,37–0,48 (0,4)	0,47–0,58 (0,53)	0,8–0,81 (0,8)
Обогащенная мантия (EMI) [39]	0,08	0,17	0,45
Обогащенная мантия (EMII) [40]	0,49	0,49	1,00
Обогащенная мантия (HIMU) [37]	0,24	0,13	1,92
Океанические острова (ОИВ), среднее по миру [27]	0,26	0,30	0,85
Океанические острова (ОИВ), (Килауэа, Гавайи) [27]	0,33	0,35	0,94
Островные дуги (АВВ), (толеитовая серия) [22]	0,44	0,68	0,65
Островные дуги (АВВ), (известково-щелочная серия) [22]	0,43	0,76	0,56
Островные дуги (АВВ), (высококалиевая известково-щелочная серия) [22]	0,44	0,36	1,24
Субщелочные базальты ОИВ [23, 24]	0,35	0,24–0,49	1,5–1,8
Осадочный слой [5, 28]	0,20	0,20	1,0
Гранитно-метаморфический (гранитный) слой [5, 28]	0,25	0,20	1,28
Андезит-метаморфический (диоритовый) слой [5, 28]	0,21	0,21	1,0
Гранулит-базитовый (базальтовый) слой [5, 28]	0,33	0,50	0,66
Дуниты [3]	0,33	2,10	0,16
Ультраосновные породы [3]	0,37	1,87	0,20
Граниты аляскитовые [3]	0,50	0,28	1,75
Меймечиты, ийолиты [3]	0,27	0,18	1,45
Нефелиновые сиениты агпайтовые [3]	0,36	0,18	2,04

Примечание. *Содержание ЕРЭ даны – U · 10⁻⁴ %, Th · 10⁻⁴ %, K %. При расчете отношений ЕРЭ множитель 10⁻⁴ не учитывается.

уверенно идентифицировать большинство оболочек и резервуаров Земли. В отдельных случаях, когда отношений ЕРЭ для этой цели недостаточно, в качестве дополнительных признаков следует использовать содержания ЕРЭ. Наиболее четко по отношениям ЕРЭ идентифицируются обогащенные мантийные резервуары.

В работе использовались данные аэрогаммаспектрометрии средних значений отношений ЕРЭ слабоизмененных магматических комплексов ряда рудных районов. При выделении слабо измененных гидротермально-метасоматическими процессами пород, с использованием собственных разработок, применялся подход, основанный на изучении статистических характеристик гидротермально-метасоматически измененных образований различных формаций. Некоторые особенности такого подхода изложены в работах [5, 6]. Таким образом, из выборок, кроме специально оговоренных случаев, гидротермально-метасоматически измененные породы (со степенью изменения от 15–20% и выше) были исключены. Все описываемые в статье золоторудные районы связаны с континентальными “горячими точками” [16, 17], следовательно, отличаются общностью геодинамической обстановки. Все это обеспечивает однородность использованных выборок и достоверность анализа.

Применение для характеристики магматических комплексов данных аэрогаммаспектрометрии особенно удобно, что объясняется рядом причин. Более 50 % территории Приамурья довольно равномерно (за исключением крупных кайнозойских впадин) покрыто кондиционной аэрогеофизической съемкой масштаба 1:10 000 – 1:50 000. Съемка велась на вертолетах с обтеканием рельефа, на высоте 60 метров; большей частью использовалась аппаратура класса СКАТ-77, СТК-11. Точность измерения содержаний ЕРЭ составляла: по урану – порядка $0,1-0,15 \cdot 10^{-4} \%$, по тории – $0,55-0,65 \cdot 10^{-4} \%$, по калию – $0,05-0,10 \%$. Явное достоинство такого подхода – массовость, причем площади охарактеризованы в крупном масштабе с высокой точностью и по равномерной сети. К сожалению, построение сводных листов масштаба 1 : 200 000 – 1 : 50 000 с использованием компьютерных технологий началось только в последние 10–15 лет, поэтому эти материалы до сих пор практически не использовались наукой.

Хотя содержания ЕРЭ, измеренные в воздухе, слабо сопоставимы для совместного анализа с результатами наземных исследований [4], величины отношений ЕРЭ максимально свободны от погрешностей. Из формулы изменения энергетических спектров ЕРЭ, приводимой в работе [4], следует, что на их

интенсивность сильно влияют высота съемки, а также коэффициенты их поглощения в воздухе. Так как коэффициенты поглощения ЕРЭ довольно близки, значения отношений ЕРЭ мало зависят от этих погрешностей. Поэтому, средние значения отношений ЕРЭ магматических комплексов, не измененных гидротермально-метасоматическими процессами, могут применяться в изотопной геохимии совместно с данными наземных геохимических съемок. Этот важнейший тезис был доказан нами практически с использованием данных по магматическим комплексам Курильских островов. На островах широко распространены кайнозойские вулканиты, хорошо изученные и расчлененные на комплексы, охарактеризованные геохимически. Объединением “Дальгеология” ряд островов был покрыт современной аэрогеофизической съемкой. Нами были рассчитаны средние статистические характеристики отношений ЕРЭ магматических комплексов острова Кунашир, причем использовались значительные выборки ($n = 90-188$). Среднеквадратическая погрешность расчетов составляла по $U/Th - 0,12-0,15$, по $K/Th - 0,07-0,13$, по $U/K - 0,20-0,32$. Эти данные обобщены в табл. 2.

В табл. 2 использованы также средние характеристики по данным лабораторных анализов образцов соответствующих комплексов пород по островам Большой Курильской дуги в целом, в меньшей степени – по острову Кунашир. Переходный тип в табл. 2 представляют собой образования, по особенностям состава промежуточные между низкощелочными и известково-щелочными. Для них используются средние характеристики двух смежных классов пород, пониженной и нормальной щелочности. Точность таких сопоставлений за недостатком лабораторных данных по конкретно описываемым комплексам невысока. Тем не менее, четко видно, что все расхождения между данными наземных и лабораторных исследований не выше соответствующих величин дисперсий, что и доказывает их сопоставимость. Таким образом, использование в качестве основных характеристик магматических комплексов величин отношений ЕРЭ вполне оправдано и удобно. Для некоторых пород (ультраосновных) типичны очень низкие значения содержаний ЕРЭ, поэтому отношения ЕРЭ могут быть рассчитаны с большой погрешностью. На практике используются пороговые значения содержаний ЕРЭ, при достижении которых отношения ЕРЭ определяются неуверенно, а на изучаемой площади вычленяются соответствующие участки.

С использованием геологических материалов объединения “Дальгеология” (М.В. Мартынюк) со-

Таблица 2. Средние отношения ЕРЭ магматических комплексов Курильских островов.

Комплексы, тип щелочности	Состав исследованных пород	Отношения ЕРЭ магматических комплексов					
		по данным аэрогаммаспектрометрии			по данным наземных исследований [5]		
		U/Th	K/Th	U/K	U/Th	K/Th	U/K
Диорит-плагиогранитовый, известковый	Плагиограниты, кварцевые диориты	0,45	0,40	1,10	0,50	0,40	1,30
Зеленотуфовый, известковый	Андезиты, дациты	0,45	0,43	1,13	0,60	0,45	1,25
Вулканогенно-кремнисто-диатомитовый, изв.-переходный к изв.-щелочному	Андезиты, дациты	0,57	0,55	0,95	0,70	0,50	1,05
Базальтоидный, известковый	Риолиты, дациты	0,53	0,53	0,65	0,55	0,45	0,70
Андезитовый, известковый	Андезиты, дациты, вулкана Головнина	0,50	0,34	1,20	0,60	0,45	1,25
Андезитовый, изв.-переходный к изв.-щелочному	Базальты, реже андезиты вулкана Тятя	0,48	0,46	1,05	0,70	0,55	1,05
Андезитовый, известково-щелочной	Риолиты, дациты, вулкана Менделеева	0,38	0,51	0,65	0,55	0,45	0,70
Андезитовый, известково-щелочной	Андезиты, дациты, реже базальты, вулкана Менделеева	0,75	0,76	1,30	0,80	0,60	1,00
Кварцевый вулканогенно-осадочный, известковый	Вулканогенно-осадочные породы риолитового состава	0,56	0,49	1,10	0,40	0,35	1,50

ставлялись выборки отношений ЕРЭ для некоторых магматических комплексов. Распределения отношений ЕРЭ подчиняются нормальному закону. Поэтому выборки характеризовались модальным значением распределения ЕРЭ, численно равным его среднему статистическому значению [4].

В работе охарактеризованы магматические комплексы трех золотоносных площадей: Нижнеамурской, Среднезейской и Верхнезейской, а также оловоносной Бута-Коппинской площади. Схема расположения этих рудных площадей и некоторые детали геологической обстановки, в том числе их корреляция с локальными ответвлениями от “горячих точек”, показаны на рис. 1. По Ю.Ф. Малышеву и др. [16, 17], эти структуры характеризуются аномалиями геотемператур на поверхности Мохо, а также аномально повышенным либо пониженным тепловым полем на поверхности Земли.

КРАТКАЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РУДНЫХ РАЙОНОВ

Рассматриваемые Нижнеамурская и Среднезейская золотоносные площади включают в себя, по последним данным, по несколько рудных районов, в том числе наиболее известные и значительные в регионе рудные узлы и месторождения [10, 20]. Бута-Коппинская оловоносная площадь не обладает наиболее характерной для крупных месторождений оло-

ва геологической обстановкой, но может являться образцом обстановки, наиболее контрастно отличной от той, которая типична для золотоносных площадей. Все детали геологического строения упоминаемых рудных объектов изложены в работе [20]. В пределах Нижнеамурской площади расположены крупные месторождения золота Многовершинное и Белая Гора, а на Среднезейской – крупные рудные объекты Покровка и Пионер. На Верхнезейской площади, изученной гораздо меньше, месторождений золота пока не обнаружено. По данным С.М. Родионова [10], она характеризуется аномалиями медной минерализации, хотя там известны проявления золота, и ряд авторов считают этот район золотоносным. Севернее Удыхинской площади известно месторождение золота Колчеданный Утес, расположенное в геологических условиях, близких к рассматриваемым в работе.

На Нижнеамурской площади [6, 10] распространены вулканогенно-осадочные породы мезозойско-кайнозойского возраста. Мезозойско-кайнозойские магматические комплексы сформированы под воздействием двух крупных очаговых структур (глубинных магматических очагов) – Усть-Амурской и Нижнеамурской. Эти структуры хорошо отражены в геофизических полях, в особенности в гравитационном. По-видимому, магматические комплексы образовались в процессе дифференциации в магматических

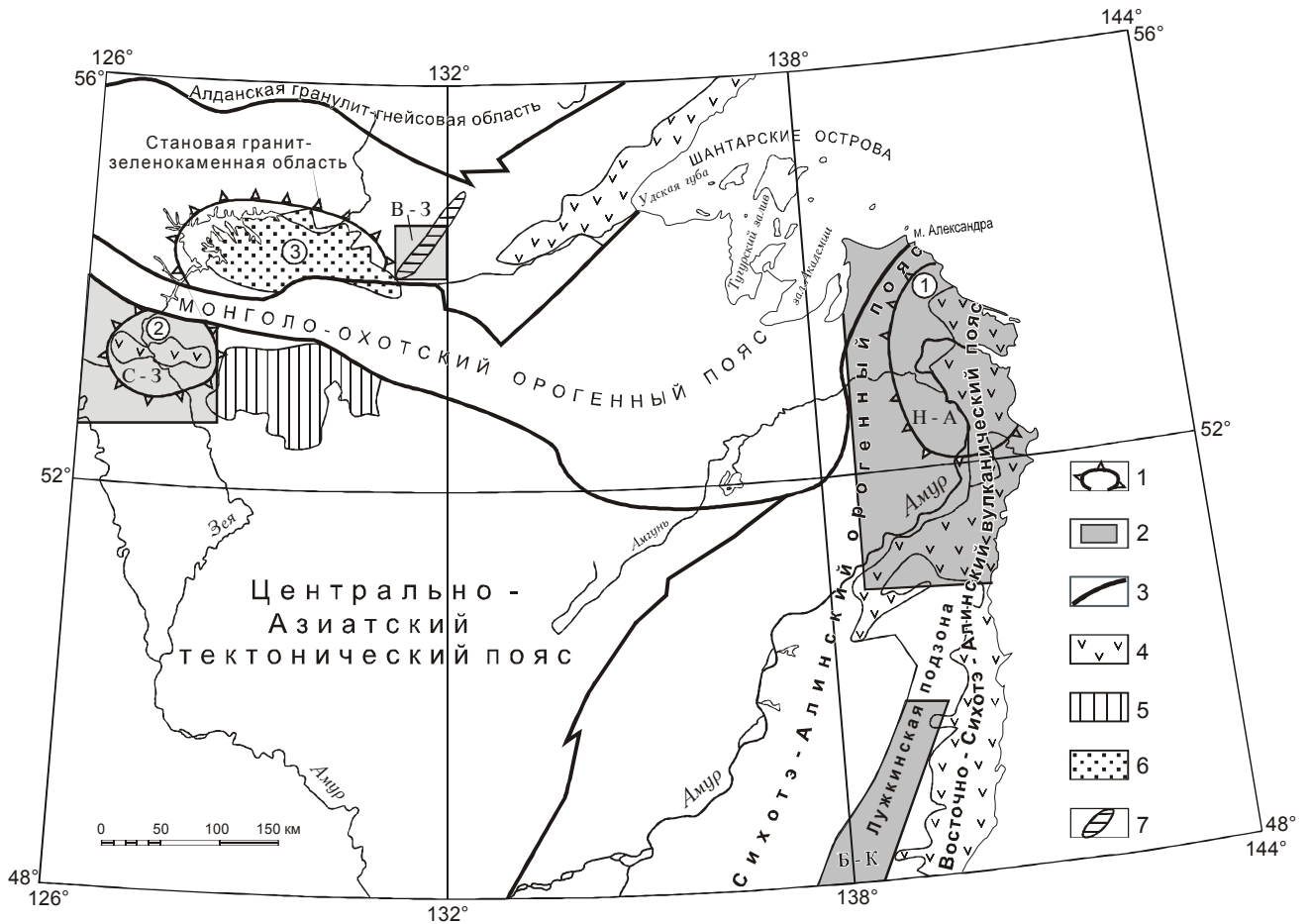


Рис. 1. Схема расположения рудоносных площадей и проявлений “горячих” точек [15].

1 – проявления “горячих” точек и полей (цифры в кружках): 1 – Нижнеамурское, 2 – Среднезейское, 3 – Верхнезейское; 2 – рудоносные площади: золото-рудные – Нижнеамурская (Н-А), Среднезейская (С-3), Верхнезейская (В-3), оловорудная – Бута-Коппинская (Б-К); 3 – границы тектонических подразделений; 4 – мезозойско-кайнозойские вулканииты; 5 – Аргуно-Мамынский массив (микроконтинент); 6 – Верхнезейский осадочный бассейн; 7 – Удыхинский зеленокаменный пояс.

очагах в течение нескольких фаз. Несмотря на значительные вариации состава пород (от основного до кислого), для каждой фазы типичны постоянные отношения ЕРЭ магматических комплексов. Следовательно, в течение каждой фазы глубинный режим магматических очагов не менялся. Вулканииты, широко распространенные в районе, картируются на фланге Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса, северный фрагмент которого выделяется как Нижнеамурская вулканическая зона [10].

Среднезейская золотоносная площадь расположена на севере древнего Аргуно-Мамынского массива, входящего в состав Центрально-Азиатского тектонического пояса [10], в мезозойском прогибе между двумя выступами фундамента – Гонжинским и Мамыньским. Вулканииты, широко распространенные

здесь, включаются в Умлеканско-Огоджинский вулканический пояс (его фрагмент – Умлеканскую вулканическую зону). Разновозрастные магматические образования района (от протерозойских до мезозойских) варьируют от ультраосновного до кислого состава. По геофизическим данным, для земной коры региона типично блоковое строение. Формирование магматических комплексов региона связано с линейными глубинными тектоническими структурами, по которым происходили процессы деструкции в земной коре. Эти тектонические структуры ограничены разломами глубокого заложения, которые являлись подводящими каналами для магм. Выделяется несколько подобных структур, играющих особую роль в распределении процессов магматизма и регионального метасоматоза, которые являются рудоконтролиру-

рующими. Для района особенно типично распространение сдвигов, надвигов. По данным глубинного моделирования, в верхней мантии зафиксирована крупная очаговая структура, которую можно сопоставить с диапиром [17]. Влияние воздымающегося диапира по ряду факторов (распределению изоплотностных границ) ощущается и в земной коре. Таким образом, для площади характерно наложение двух структурных планов: верхнекорового – линейного и нижнекорового-мантийного – очагового.

На Верхнезейской золотоносной площади обнажаются древнейшие породы Становой гранит-зеленокаменной области Алдано-Станового щита (нижний, верхний архей). Особую (рудоконтролирующую) роль здесь играет Удыхинский зеленокаменный пояс [10], являющийся естественной границей Чогарского и Купуринского блоков. В этой зоне распространены магматические образования, широко варьирующие по возрасту и составу, а также проявлены процессы регионального метасоматоза, играющие значительную роль в рудокализации.

Бута-Коппинская оловоносная площадь находится в пределах Лужкинской подзоны Сихотэ-Алинского орогенного пояса, в области влияния Центрально-Сихотэ-Алинского разлома. Площадь расположена в области крупного гравитационного минимума, обусловленного, скорее всего, гранитоидными массивами. Современных “горячих точек” здесь не выявлено.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Детальный анализ таблицы 1 позволяет сделать некоторые принципиальные выводы о возможностях использования метода отношений ЕРЭ, кратко изложенные ниже.

Всеми исследователями признается, что деплетированная (истощенная) мантия DM очень близка по составу к мантийному источнику N-MORB, а также, что континентальная кора CC и деплетированная мантия представляют собой комплементарные резервуары [2, 7, 21, 26]. Основные комплементарные резервуары DM и CC контрастно различаются между собой по значениям отношений ЕРЭ и особенно существенно – по калий-ториевому отношению (на 3–6 σ).

Характеристики отношений ЕРЭ примитивной (неистощенной) мантии PM и континентальной коры CC чрезвычайно близки (табл. 1). По всем трем отношениям ЕРЭ они отличаются на величину не более σ , что делает проблематичным их разделение только по характеристикам отношений ЕРЭ. С другой стороны, эти оболочки существенно различаются по сред-

ним содержаниям ЕРЭ, так как в континентальной коре сосредоточена значительная часть радиоактивных элементов [28, 30].

Средние характеристики отношений ЕРЭ комплексов океанических островов ОИВ входят в ту же группу, что и величины отношений ЕРЭ для PM либо CC. Это объясняется тем, что, по литературным данным, средние значения отношений ЕРЭ резервуара ОИВ соответствуют характеристикам резервуара PREMA (слабоистощенной нижней мантии [26, 27]). Следовательно, в отсутствие мантийного метасоматоза, значения отношений ЕРЭ примитивной мантии, континентальной коры и резервуара PREMA, по-видимому, будут неотличимы. Для их идентификации нужны дополнительные данные (значения содержаний ЕРЭ).

Для отдельно взятых океанических островов, кроме главного резервуара PREMA, обычно отмечается сильное влияние дополнительной компоненты (обогащенной либо деплетированной мантии [26, 32]). Следовательно, отношения ЕРЭ вулканитов отдельно взятых островов могут заметно отличаться от средних показателей по островам, о чем свидетельствуют данные для вулкана Килауэа (табл. 1). Из таблицы следует, что базальты Килауэа отличаются по уран-ториевому отношению от средних характеристик островных базальтов того же типа на величину порядка 2 σ . Это определяет принципиальную возможность в отдельных случаях по отношениям ЕРЭ установить тип дополнительного резервуара.

Известные типы обогащенной мантии (EMI, EMII, HIMU) контрастно различаются по отношениям ЕРЭ [26, 32, 37, 39, 40].

Средние характеристики отношений ЕРЭ островных дуг мира, по приведенным в таблице данным О.Н. Николаевой [22], в целом малоинформативны. Это объясняется тем, что у каждой отдельно взятой дуги характеристики отношений ЕРЭ резко варьируют, в зависимости от типа дуги и состава вулканитов. По данным табл. 1, образования островных дуг делятся только на два класса – повышенной щелочности (калиевости) и прочие, так как комплексы толеитовой и известково-щелочной серии по всем отношениям ЕРЭ отличаются на величину не более σ . У высококалиевых образований аномально повышено уран-калиевое отношение, все прочие вулканиты имеют тенденцию по отношениям ЕРЭ стремиться к N-MORB. Это согласуется с известным фактом, что мантия под Курильской островной дугой по составу близка к деплетированной [5, 22, 31].

Средние характеристики уран-калиевого отношения основных резервуаров варьируют слабо

($U/K=0,56-1,08$). Грубо они делятся на две группы: островных дуг (U/K до 0,75) и прочих главных резервуаров ($U/K=0,8-1,1$). У субщелочных и высококалиевых вулканитов наблюдается резкое возрастание U/K (от 1,2 до 1,8). У щелочных пород (нефелиновые сиениты) уран-калиевые отношения могут достигать 2,0 и выше. При этом отмечается тенденция снижения калий-ториевого отношения до 0,18 [3]. С другой стороны, образования обогащенных мантийных резервуаров весьма дифференцированно отличаются именно по уран-калиевому отношению, кроме того, среди обогащенных мантийных резервуаров аномальными характеристиками уран-калиевых отношений описывается HIMU ($U/K = 1,92$). На основе приведенных данных четко видно, что уран-калиевые отношения могут играть важнейшую роль в диагностике субщелочных образований и комплексов, связанных с обогащенными мантийными резервуарами.

У пород ультраосновного состава отмечается тенденция контрастного повышения калий-ториевого отношения (до 1,87–2,1) и резкого понижения уран-калиевых отношений (до 0,16–0,2). Таким образом, щелочные и ультраосновные образования слабо отличаются по уран-ториевому отношению, но являются антагонистами по отношению к K/Th и U/K . Отмеченные особенности отношений EPЭ ультраосновных пород объясняют хорошо проявленную аномальность характеристик “базальтового” слоя. Именно, слой насыщен образованиями повышенной основности и поэтому отличается аномально высоким калий-ториевым отношением и аномально пониженным уран-калиевым отношением.

Тенденции изменения отношений EPЭ пород повышенной щелочности не зависят от геодинамической обстановки, следовательно, здесь ощущается прямое влияние петрохимических особенностей магматических очагов, с которыми связано формирование щелочных пород. Большинство авторов образование щелочных пород связывается с остаточными порциями магм в магматических очагах. Предполагается, что значительную роль в их формировании играют процессы мантийного метасоматоза и мантийные резервуары, обогащенные редкими металлами [12, 14, 23, 24]. Упомянутый выше принцип постоянства отношений на заключительных стадиях существования магматических очагов нарушается, вследствие чего отношения EPЭ начинают резко варьировать. Очевидно, что отношения EPЭ пород повышенной щелочности будут аномальными, вне зависимости от того, связано ли их формирование с остаточными порциями расплава, с процессами мантийного метасоматоза либо с обогащенными мантийными ре-

зервуарами. Ясно, что отношения EPЭ особенно показательны и важны при изучении именно этих вопросов.

Резюмируя все изложенное, заключаем:

1. По значениям отношений EPЭ можно контрастно выделить мантийные резервуары трех классов: 1) PREMA и PM, 2) DM и N-MORB и 3) аномальный тип. К аномальному классу относятся обогащенные мантийные резервуары EM I, EM II, HIMU, контрастно различающиеся между собой. При этом у континентальной коры CC средние характеристики весьма близки к PREMA.

2. Для ультраосновных пород типичны резко аномальные отношения EPЭ (табл. 1). Те же тенденции могут проявляться у мантийных резервуаров (в том числе обогащенных), за счет увеличения в них процентной доли ультраосновных пород.

3. При исследовании проблемы происхождения щелочных пород и мантийного метасоматоза отношения EPЭ могут играть роль важнейших индикаторов. Породы повышенной щелочности и образования мантийного резервуара HIMU обладают повышенными уран-калиевыми отношениями (более 1,2–1,3). Последний факт пока только констатируется, в связи с чрезвычайно низкой изученностью этого вопроса.

Работами Ю.Ф. Малышева с соавторами [16, 17] в Дальневосточном регионе был выделен ряд “горячих точек”. Нижнеамурская “горячая точка” отнесена к разряду “остывших” (характеризуется пониженным значением теплового поля на поверхности Земли), а прочие – к современным “горячим точкам”. В связи с этим, природа мезозойско-кайнозойского посторогенного магматизма в области влияния этих структур, во всех золоторудных районах, может быть определена как плюмовая. Характеристики “горячих точек” могут определяться по распределениям отношений EPЭ указанных магматических комплексов. Важно, что все рассматриваемые золотоносные площади коррелируются с подобными структурами, хотя Верхнезейская рудоносная площадь расположена в ее краевой зоне (области слабого влияния). Упомянутая корреляция является косвенным свидетельством большой роли при формировании золоторудных объектов магматического происхождения плюмов, но данных для окончательных выводов недостаточно. В ряде работ [13, 16, 35, 36] считается, что в раннем протерозое Среднезейская и Верхнезейская площади, расположенные в ареалах соответствующих “горячих точек”, также находились под воздействием плюма. Следовательно, плюмовая природа предполагается в этих районах и для раннепротерозойского магматизма.

При изучении отношений ЕРЭ магматических комплексов учитывались широко известные петрохимические положения.

Наиболее близки по составу к магмам мантийных резервуаров базальты [2, 7, 22]. Характеристики мезозойских магматических образований другого состава, вплоть до кислого, тоже в значительной степени зависят от типа мантийного резервуара, хотя на них значительно сильнее влияют процессы взаимодействия с коровым веществом [6].

Характеристики отношений ЕРЭ магматических образований плюмовой природы показаны в табл. 3. Для сравнения в ней представлены характеристики отношений ЕРЭ мезозойско-кайнозойских пород Бута-Коппинской оловоносной площади, не связанной с плюмами.

Все неизменные и слабоизмененные магматические образования, относящиеся к единому тектоно-магматическому циклу, характеризуются близкими отношениями ЕРЭ. Они контрастно отличаются по отношениям ЕРЭ от магматических образований смежных циклов. Магматические образования единого тектоно-магматического цикла сближены по возрасту, соотносятся с основными фазами тектогенеза и формируются под воздействием процессов дифференциации либо в едином закрытом магматическом очаге (являются комагматами), либо в системе соединяющихся между собой магматических очагов. Магматический очаг считается закрытым, если физико-химические условия выплавления магм в нем в процессе дифференциации неизменны. В условиях притока глубинного вещества в открытом очаге от фазы к фазе условия дифференциации магм могут меняться, что сказывается на характеристиках отношений ЕРЭ. Практически это означает, что разновозрастные породы, по ряду признаков относящиеся к единому тектоно-магматическому циклу, начинают варьировать по значениям отношений ЕРЭ. В таком случае, выделяется несколько фаз, для каждой из которых принцип постоянства отношений сохраняется.

С учетом этих положений и возрастных соотношений, магматические комплексы табл. 3 были объединены в группы, соответствующие отдельным тектоническим циклам (табл.4). У пород, отнесенных к одной группе, пределы колебаний ЕРЭ составляли: по U/Th и K/Th – не более 0,1, по U/K – не бо-

лее 0,3–0,4 (соответственно экспериментально определенным погрешностям расчета среднестатистических характеристик континентальных комплексов).

В последнее десятилетие появились данные о сравнительной сложности состава и взаимоотношений вулканитов кизинского и совгаванского комплексов [8, 18, 19]. Внутри них возможно выделение дополнительных комплексов, а также могут отмечаться местные аномалии состава, в связи с чем, значения ЕРЭ могут резко варьировать. Приводимые в табл. 4. значения можно считать осредненными (оценочными).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Статистически отношениями ЕРЭ лучше всего охарактеризован постороженный магматизм Нижнеамурского региона, который и послужил основой анализа. Нижнеамурская “горячая точка”, по-видимому, возникла в начале мезозоя и просуществовала до кайнозоя. В настоящее время она относится к разряду “остывших”, характеризуется нисходящими потоками веществ [16, 17]. Поэтому мезозойско-кайнозойский магматизм в ее ареале считается плюмовым. Согласно положениям, изложенным выше, здесь выделяется до 5 циклов магматизма плюмовой природы, причем его мантийный характер подчеркивается широким распространением базальтоидов (базальтов, андезибазальтов). Учитывая сильную изменчивость интенсивности магматических процессов (степень площадной распространенности отдельных комплексов), заключаем, что мезозойско-кайнозойский магматизм в целом носил пульсирующий характер. Каждый цикл сопровождался выбросом мантийного вещества, что наглядно подтверждается присутствием базальтоидов среди его производных магматитов. При этом в каждом цикле характеристики вещества (состав комплексов, средние значения отношений ЕРЭ, степень взаимодействия корового и мантийного вещества) менялись. По-видимому, варьирование отношений ЕРЭ от цикла к циклу определялось глубинным притоком вещества, либо тем, что были задействованы различные магматические очаги.

По крайней мере, для двух циклов магматизма установлено деление на две фазы, контрастно отличающиеся значениями отношений ЕРЭ. Дополнительные фазы магматических циклов с аномальными

Примечание к табл. 3. 1. Часть образований рудного поля Бухтынка представлено, по-видимому, гидротермально-метасоматически измененными породами. 2. При выделении татаркинского и маломихайловского комплексов использованы данные М.В. Мартынюка (объединение “Дальгеология”).

Таблица 3. Средние отношения ЕРЭ магматических пород в рудных районах.

Магматические комплексы, породы	Возраст	Кол-во измер.	Отношения ЕРЭ, у. е.		
			U/Th	K/Th	U/K
Нижнеамурская золотоносная площадь					
Кизинский комплекс. Базальты, андезибазальты	N_{1kz}	135	0,45	0,27	1,20
Сизиманский комплекс. Андезибазальты, андезиты, базальты	P_{2sz}	83	0,27	0,30	0,90
Сизиманский комплекс. Андезибазальты, андезиты, базальты	P_{2sz}	86	0,30	0,28	0,95
Верхнеудоминский комплекс. Гранитоиды.	γP_1	69	0,23	0,32	0,68
Бекчиулский комплекс. Граниты, гранодиориты	γP_1	126	0,25	0,31	0,70
Нижнеамурский комплекс. Гранитоиды.	γK_{2n}	86	0,32	0,23	1,40
Нижнеамурский комплекс. Гранитоиды.	γK_{2n}	143	0,44	0,23	1,85
Большинский комплекс. Андезиты, андезибазальты	K_{2bl}	65	0,30	0,25	1,25
Рудное поле Бухтянка					
Кизинский комплекс. Базальты, андезибазальты	N_{1kz}	96	0,27	0,29	1,15
Колчанский комплекс. Риолиты, реже андезиты и дациты	P_{3kl}	125	0,28	0,47	0,70
Сизиманский комплекс. Андезибазальты, андезиты, базальты	P_{2sz}	105	0,26	0,53	0,55
Андезиты, дациты	$\alpha \zeta P_1$	110	0,30	0,43	0,65
Риолиты, дациты	$\lambda \zeta_2 P_1$	74	0,28	0,35	0,75
Субвулканические андезиты	$\alpha_2 K_2$	147	0,30	0,40	0,70
Субвулканические интрузии основного состава	$\nu_2 K_2$	92	0,32	0,50	0,65
Рудное поле Многовершинное					
Бекчиулский комплекс. Граниты лейкократовые, гранит-порфиры	$\gamma_{i3} P^1_v$	180	0,28	0,53	0,57
Бекчиулский комплекс. Гранитоиды	$\gamma_3 P^1_v$	222	0,24	0,29	0,80
Бекчиулский комплекс. Гранодиориты	$\gamma p_2 P^1_v$	100	0,28	0,32	1,10
Бекчиулский комплекс. Гранодиориты	$\gamma p_2 P^1_v$	93	0,21	0,25	0,87
Гранодиорит-порфиры	$\gamma p \pi P_1$	88	0,31	0,37	0,65
Андезиты	αP_1	179	0,26	0,38	0,65
Нижнеамурский комплекс(?). Гранитоиды	$\gamma \sigma K_{2n}$	87	0,24	0,36	0,70
Рудное поле Белая Гора					
Сизиманский комплекс. Андезибазальты, андезиты, базальты	P_{2sz}	195	0,28	0,26	1,13
Риолиты, дациты	$\lambda \zeta_2 K_2$	140	0,27	0,29	1,10
Среднезейская золотоносная площадь					
Раннепротерозойские гранитоиды, габброиды	PR_1	-	0,20	0,28	1,30
Раннепротерозойские габброиды. Тыгдинский массив	δPR_1	-	0,15	0,25	1,60
Раннепротерозойские гранитоиды. Ульпуктинский массив	γPR_1	-	0,25	0,30	1,10
Верхнеамурский комплекс. Гранитоиды	γK_{1v}	-	0,25	0,25–0,35	1,10
Талданский комплекс. Андезиты, андезидациты, трахиандезиты	K_{1tl}	-	0,10	0,17	1,60
Буриндинский комплекс. Гранитоиды	γK_{1b}	-	0,17	0,10	1,15
Буриндинский комплекс. Гранитоиды	γK_{1b}	-	0,15	0,15	1,50
Верхнезейская золотоносная площадь					
Кристаллические сланцы и гнейсы, граниты, гранодиориты	PR_1	-	0,45	0,20	1,50
Эффузивно-осадочные и интрузивные породы	MZ_2	-	0,45	0,35	1,50
Бута-Коппинская оловоносная площадь					
Совгаванский комплекс. Андезибазальты, базальты	N_2-Q_{1sv}	150	0,60	0,18	2,50
Кизинский комплекс. Базальты, андезибазальты	N_{1kz}	336	0,45	0,28	1,22
Иолийский комплекс. Гранитоиды	γP_1	201	0,50	0,37	1,25
Самаргинский комплекс. Андезиты, дациты	P_{1sm}	247	0,47	0,28	1,60
Граниты, гранит-порфиры, субвулканические риолиты, дациты	λK_2	73	0,60	0,46	1,30
Амутская свита. Андезиты	K_{2am}	115	0,61	0,48	1,15
Хунгарийский комплекс. Гранитоиды	γK_{2h}	140	0,40	0,29	1,20

Таблица 4. Отношения ЕРЭ магматических циклов рудных районов.

№ цикла	Магматические комплексы	Возраст	Отношения ЕРЭ, у. е.		
			U/Th	K/Th	U/K
Нижнеамурская золотоносная площадь					
1	Большинский	$K_{2b1}-K_{2n}$	0,24–0,30	0,25–0,36	0,70–1,25
2	Нижнеамурский	K_{2n}	0,32–0,44	0,23	1,4–1,85
3 фаза А	Татаркинский, маломихайловский	$\alpha_2K_2-\lambda_2K_2$	0,25–0,35	0,30–0,40	0,70–1,10
3 фаза Б	То же	$P_1(?)$ $\alpha_2K_2-\lambda_2K_2$	0,25–0,35	0,40–0,50	0,60–0,80
4 фаза А	Верхнеудоминский, бекчиулский, сизиманский, колчанский	P_1-P_3	0,20–0,30	0,25–0,35	0,60–1,10
4 фаза Б	То же	P_1-P_3	0,20–0,30	0,45–0,55	0,50–0,90
5	Кизинский	N_1	0,27–0,46	0,27–0,29	1,15–1,20
Среднезейская золотоносная площадь					
1	Раннепротерозойский этап	PR_1	0,15–0,20	0,25–0,28	1,30–1,60
1	То же	PR_1	0,25	0,30	1,10
2	Верхнеамурский	K_{1v}	0,25	0,25–0,35	1,10
3	Талданский, буридинский	K_{1tb}, K_{1b}	0,10–0,17	0,10–0,17	1,15–1,60
Верхнезейская золотоносная площадь					
1	Раннепротерозойский этап	PR_1	0,45	0,20	1,50
2	Мезозойский этап	MZ_2	0,45	0,35	1,50
Буга-Коппинская оловоносная площадь					
1	Хунгарийский	γK_{2h}	0,40	0,29	1,20
2	Амутская свита	K_{2am}	0,60–0,61	0,46–0,48	1,15–1,30
3	Самаргинский, июлийский, кизинский	P_1-P_2 N_{1kz}	0,45–0,50	0,28–0,37	1,22–1,60
4	Совгаванский	N_2-Q_{1sv}	0,60	0,18	2,50

характеристиками отношений ЕРЭ связываются с влиянием мантийного метасоматоза либо мантийных резервуаров с аномальными отношениями ЕРЭ. При этом аномальными считаются фазы, которые характеризуются отношениями ЕРЭ, резко отличными от средних, в целом типичных для данного очага. Так, явно аномален цикл 2, с которым связывается формирование нижнеамурского комплекса, резко отличный от других по уран-ториевому и уран-калиевому отношению. Аномальны также, с учетом характеристик калий-ториевого отношения, фазы 3Б, 4Б. В связи с тем, что степень распространенности магматических комплексов с аномальными характеристиками, относимых к фазам 3Б, 4Б, в Нижнеамурском регионе слабая, можно заключить, что явления плюмового магматизма на Нижнеамурской площади, в целом, протекали сравнительно спокойно. Сравнивая данные табл. 1 и 4, можно делать заключения о типах мантийных резервуаров, связанных с Нижнеамурской “горячей точкой”.

Заметно, что большинство магматических циклов Нижнеамурской “горячей точки” (циклы 1, 3, 4,

5) отличаются близостью отношений ЕРЭ к соответствующим средним характеристикам континентальной коры СС, либо PREMA. Имеющихся данных пока недостаточно для более достоверного вывода о действительной природе главного мантийного резервуара этой области. Интерпретация материалов ГСЗ и гравитационной съемки показывает, что для коры Нижнеамурской рудоносной площади типичен сравнительно тонкий “гранитный” слой, повышенная мощность “диоритового” слоя и пониженная мощность земной коры. Характеристики отношений ЕРЭ коровых слоев (табл. 1) мало сопоставимы с отношениями ЕРЭ магматических комплексов Нижнеамурского региона, что указывает на существенное участие в магнообразовании мантийных резервуаров. По данным Ю. Ф. Малышева и др. [16, 17], под Нижнеамурской “горячей точкой” наблюдается аномальная по геофизическим характеристикам зона значительной вертикальной мощности литосферной мантии, которую можно сопоставить с “глубинным корнем” Нижнеамурского плюма. С учетом этих признаков, более вероятно, что

основной магматический резервуар Нижнеамурской структуры идентифицируется как PREMA.

Кроме того, по характеристикам отношений ЕРЭ, в третьем цикле Нижнеамурской очаговой структуры ощущается дополнительное влияние мантийного резервуара DM (причем, более существенное для второй фазы). Это проявляется, в первую очередь, относительно высокими калий-ториевыми отношениями магматитов этого цикла, характерными для резервуара DM.

Характеристики нижнеамурского и, в очень небольшой степени, кизинского комплексов (циклы 2, 5) свидетельствуют о воздействии процессов мантийного метасоматоза либо о связи с обогащенным мантийным резервуаром. Причем у нижнеамурского комплекса эти тенденции проявлены чрезвычайно ярко. Природа кизинского комплекса не ясна в связи с отмеченной выше вероятной сложностью его состава, поэтому в дальнейшем он не рассматривается. Очень важен и тот факт, что дополнительные фазы циклов 3, 4 (фазы Б), судя по набору их характеристик отношений ЕРЭ, сформированы под влиянием особого, типичного только для этих фаз, процесса. Они совершенно аномальны, с учетом данных табл. 1, не имеют аналога по отношениям ЕРЭ среди большинства резервуаров, но приближаются по характеристикам к “базальтовому” слою. Более вероятно, что магматиты этой фазы формировались под влиянием мантийных резервуаров с контрастными характеристиками.

Известно, что именно нижнеамурский магматический комплекс в этом регионе считается главным, специализированным на золото-редкометалльное (на практике часто описывается как золото-кварцевое) оруденение [9]. С золото-серебряным оруденением, развитым в меньшей степени, связаны циклы 3, 4. С использованием данных о распространенности комплексов заключаем, что именно комплексы, описываемые аномальными значениями ЕРЭ (дополнительные фазы), являются специализированными на золото. Распределения средних значений отношений ЕРЭ основных мантийных резервуаров и специализированных на золото комплексов показаны на рис. 2.

Из всего выше сказанного можно сделать определенные заключения.

В целом, Нижнеамурская “горячая точка” развивалась под воздействием мантийных резервуаров PREMA, DM. Степень взаимодействия с коровым веществом еще следует уточнить. Эта группа резервуаров совершенно индифферентна к золотому и редкометалльному оруденению, судя по тому, что специализированные магматические комплексы с соответствующими циклами не связаны.

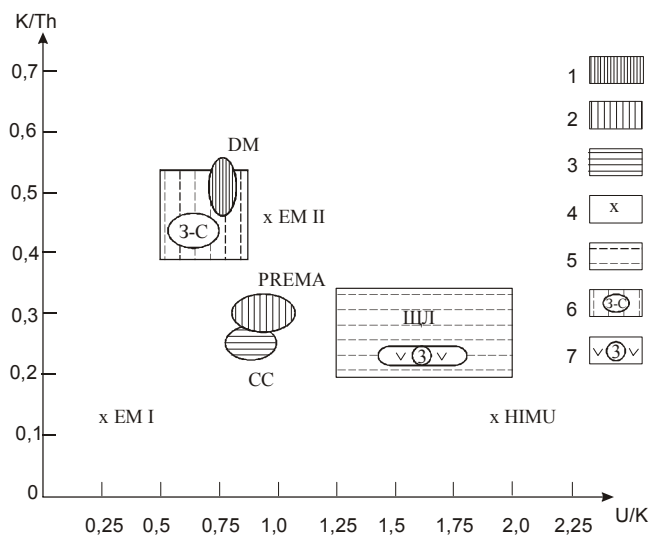


Рис. 2. Средние отношения ЕРЭ мантийных резервуаров, континентальной коры и магматических комплексов.

Средние отношения ЕРЭ: 1 – деплетированной мантии DM; 2 – мантии PREMA; 3 – континентальной коры CC; 4 – обогащенной мантии EM I, EM II, HIMU; 5 – щелочных пород (ШЦЛ); 6 – пород с золото-серебряной минерализацией; 7 – пород с минерализацией золото-кварцевого типа.

Золотое оруденение связывается с влиянием двух контрастно различающихся по отношениям ЕРЭ обогащенных мантийных резервуаров, возможных источников мантийного метасоматоза. С основным из них связано становление нижнеамурского комплекса, специализированного на золото-редкометалльное оруденение. Он описывается, в первую очередь, высокими уран-калиевыми отношениями (более 1,2–1,4).

Золото-серебряное оруденение и некоторые виды комплексных руд связаны, вероятно, с дополнительными фазами циклов 3 и 4, которые определяются сильным влиянием обогащенного мантийного резервуара другого типа.

В обоих случаях источник золота и редких металлов связан с обогащенными мантийными резервуарами с аномальными характеристиками и является, по-видимому, мантийным.

С учетом характеристик обогащенных резервуаров EM I, EM II, HIMU (табл. 1) можно предположить, что они оказывали существенное влияние при формировании магматических образований некоторых циклов и фаз магматизма в Нижнеамурском регионе. Так, при формировании нижнеамурского комплекса не исключено влияние мантийного источника, по отношениям ЕРЭ близкого к HIMU. При формирова-

нии аномальных фаз в 3 и 4 циклах возможно влияние источника, по характеристикам близкого к ЕМШ.

Не вдаваясь в подробности, можно отметить, что данные по Среднезейской и Верхнезейской золотоносным площадям подчеркивают выделенные закономерности. Так, на Среднезейской площади золотое оруденение связывается со специализированным буридинским комплексом, а верхнеамурский комплекс, в основном, считается безрудным. Отчетливо видно, что цикл 3 (внедрение буридинского комплекса) описывается аномальными отношениями ЕРЭ и высокими уран-калиевыми отношениями (до 1,6).

Все это подтверждает гипотезу о влиянии обогащенных мантийных резервуаров (либо специфических процессов мантийного метасоматоза) с четко закономерными распределениями отношений ЕРЭ на процессы формирования специализированных на золото магматических комплексов. Возможно, обогащенные мантийные резервуары глубинной природы являлись источниками мантийного метасоматоза в верхней мантии.

Бута-Коппинская оловоносная площадь расположена в сфере влияния Центрально-Сихотэ-Алинского разлома, и для нее типичны мощная кора и повышенная мощность гранитного слоя. Данные по Бута-Коппинской площади отражают совершенно иную структурную обстановку, не связанную с "горячими точками". По набору значений отношений ЕРЭ они ни в коей мере не сопоставимы с характеристиками, типичными для золоторудных районов. Отмечается только частичное сходство с характеристиками Верхнезейской рудоносной площади, которая, как указывалось выше, расположена в краевой зоне Верхнезейского плюма, и плюмовые процессы здесь, возможно, выражены весьма слабо.

Для всех образований Бута-Коппинской оловоносной площади типично высокое уран-калиевое отношение, но с учетом всего тренда отношений ЕРЭ, эти магматиты, по-видимому, ни в малейшей степени не связаны с обогащенным мантийным резервуаром НМУ, упомянутым выше. По отношениям ЕРЭ, магматические образования Бута-Коппинской площади вообще не сопоставимы ни с одним из рассмотренных ранее резервуаров и очень далеки от средних характеристик оболочек Земли. Вероятно, такие распределения отношений ЕРЭ определяются особенностями взаимодействия мантийных процессов с мощной континентальной корой.

В первом приближении, характеристики магматических комплексов Бута-Коппинской площади можно разделить на две группы. Для первой из них

типичны весьма высокие (от 0,60 и выше) уран-ториевые отношения, и объяснить причину высокой аномальности образований этой группы пока невозможно. Вторая группа, для которой уран-ториевые отношения сравнительно понижены от 0,40 до 0,50, почти сопоставима по отношениям ЕРЭ с мезозойскими магматическими образованиями Верхнезейского рудного района. Важно, что именно с этой группой магматитов на Бута-Коппинской площади ассоциируется оловянное оруденение.

ВЫВОДЫ

1. Основные мантийные резервуары и земные оболочки контрастно различаются между собой по величинам отношений ЕРЭ; произведена предварительная классификация этих резервуаров с оценкой их отношений ЕРЭ. В отдельных случаях, чтобы уверенно классифицировать природу резервуаров, необходимо привлечение характеристик содержаний ЕРЭ.

2. Выявлен эффект закономерного изменения средних значений отношений ЕРЭ магматических комплексов плюмовой природы под влиянием притока глубинных флюидов; показано, что золотое оруденение в таких районах связано с мантийными процессами.

3. Специализированные на золото магматические комплексы в "горячих точках" формируются под воздействием специфических мантийных резервуаров либо процессов мантийного метасоматоза, описывающихся аномальными отношениями ЕРЭ.

4. Характеристики посторогенных магматических комплексов изученных золотоносных и оловоносных площадей совершенно несопоставимы. Комплексы Бута-Коппинской оловоносной площади не сопоставимы по отношениям ЕРЭ с мантийными резервуарами и оболочками Земли.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность Ю.Ф. Малышеву и И.П. Войновой за редактирование текста. Автор благодарен Н.К. Ждану, многолетняя поддержка которого способствовала выполнению этой работы. Работа выполнялась в рамках проекта ДВО РАН 06-1-ОНЗ-113.

ЛИТЕРАТУРА

1. Азбель И.Я., Толстихин И.Н. Численное моделирование геохронометрических систем и проблема эволюции Земли // Изотопная геохимия и космохимия. М.: Недра, 1990. С. 29-49.
2. Андерсон Дон А. Горячие точки, базальты и эволюция мантии // Современные проблемы геодинамики. М.: Мир, 1984. С. 197-217.

3. Базилевский А.Т. К-U-Th систематика вещества планетных тел Солнечной системы // Геохимия. 1985. № 2. С. 131–141.
4. Володькова Т.В. Региональные закономерности распределения гамма-спектрометрических полей на юге Дальнего Востока // Тихоокеан. геология. 1996. № 2. С. 116–125.
5. Володькова Т.В. Особенности тектоно-магматических процессов на островах Парамушир и Шумшу по данным аэрогеофизической съемки // Тектоника, глубинное строение и геодинамика Востока Азии: IV Косыгинские чтения. Хабаровск. ИТиГ ДВО РАН, 2003. С. 292–302.
6. Володькова Т.В. Геофизические характеристики регионально-площадного метасоматоза и его связь с глубинными процессами // Закономерности строения и эволюции геосфер: VI Междунар. междисциплинар. науч. симпоз. Хабаровск, 2004. С. 24–34.
7. Грачев А.Ф. Идентификация мантийных плюмов на основе изучения вещественного состава вулканитов и их изотопно-геохимических характеристик // Петрология. 2003. Т. 11, № 6. С. 618–654.
8. Есин С.В., Прусевич А.А., Травин А.В. Новые данные о позднекайнозойском щелочно-базальтоидном вулканизме Восточного Сихотэ-Алиня // Докл. РАН. 1992. Т. 322, № 2. С. 369–372.
9. Изох Э.П., Русс В.В., Кунаев И.В. и др. Интрузивные серии Северного Сихотэ-Алиня и Нижнего Приамурья, их рудоносность и происхождение. М.: Наука, 1967. 384 с.
10. Карсаков Л.П., Чжао Чуньцин, Горошко М.В. и др. Тектоника, глубинное строение, металлогения области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов: Объясн. зап. к Тектонической карте 1:1500000. Владивосток-Хабаровск, 2005. 264 с.
11. Коваленко В.И., Ярмолук В.В., Богатиков О.А. О полигенной природе связи оруденения с магматизмом // Геохимия. 1993. № 4. С. 467–485.
12. Коваленко В.И., Ярмолук В.В., Козловский А.М. Источники магм щелочных гранитоидов и связанных с ними пород внутриплитных магматических ассоциаций Центральной Азии // Докл. РАН. 2001. Т. 377, № 5. С. 672–676.
13. Коваленко В.И., Ярмолук В.В., Владыкин Н.В. и др. Эпохи формирования, геодинамическое положение и источники редкометалльного магматизма Центральной Азии // Петрология. 2002. № 3. С. 227–253.
14. Когарко Л.И. Щелочной магматизм в ранней истории земли // Петрология. 1998. Т. 6, № 3. С. 251–258.
15. Лазько Е.Е., Шарков Е.В., Богатиков О.А. Мантийные субстраты, их геохимическая типизация и роль в образовании подкорковых магм // Геохимия. 1993. № 2. С. 165–188.
16. Малышев Ю. Ф., Горнов П.Ю., Карсаков Л.П. и др. Литосфера области сочленения Тихоокеанского и Центрально-Азиатского складчатого поясов // Тектоника и геофизика литосферы: Материалы XXXV Тектонич. совещ. Т.1. М., 2002. С. 325–329.
17. Малышев Ю.Ф., Горошко М.В., Родионов С.М., Романовский Н.П. Глубинное строение и перспективы поисков крупных и сверхкрупных рудных месторождений на Дальнем Востоке // Крупные и суперкрупные месторождения: закономерности размещения и условия образования / Под ред. Д.В. Рундквиста. М.: ИГЕМ РАН, 2004. 430 с.
18. Мартынов Ю.А. Геохимия, минералогия и петрогенезис миоцен – четвертичных платоэффузивов Восточного Сихотэ-Алиня // Петрология. 1995. Т. 3, № 2. С. 158–172.
19. Мартынов Ю.А. Высокоглиноземистый базальтовый вулканизм Восточного Сихотэ-Алиня: петрология и геодинамика // Петрология. 1999. Т. 7, № 1. С. 58–79.
20. Моисеенко В.Г., Эйриш Л.В. Золоторудные месторождения Востока России / АмурКНИИ ДВО РАН. Владивосток: Дальнаука, 1996. 332 с.
21. Николаева О.В. К-U-Th систематика земных магматических пород для планетологических сравнений: базальты нормального типа срединно-океанических хребтов Земли и базальтовый материал Венеры // Геохимия. 1995. № 4. С. 467–476.
22. Николаева О.В. К-U-Th систематика земных магматических пород для планетологических сравнений: вулканические породы океанических островных дуг Земли и материал поверхности Венеры // Геохимия. 1997. № 6. С. 488–512.
23. Пузанков Ю.М. Геохимия изверженных пород островов Пасхи и Сала-и-Гомес // Геохимия. 1997. № 7. С. 697–708.
24. Пузанков Ю.М. Геохимические особенности проявлений кайнозойского базитового магматизма над “горячими точками” // Геохимия. 1999. № 9. С. 941–949.
25. Рихванов Л.П. Радиогеохимическая типизация рудно-магматических образований. Новосибирск, 2002. 536 с.
26. Рундквист Д.В., Ряховский В.М., Миронов Ю.В. и др. Существует ли универсальный Sr-Nd-Pb изотопный индикатор нижнемантийных плюмов? // Докл. РАН. 2000. Т. 370. № 2. С. 223–226.
27. Рябчиков И.Д. Состав верхней мантии Земли // Геохимия. 1997. № 5. С. 467–478.
28. Смыслов А.А. Уран и торий в земной коре Л.: Недра, 1974. 231 с.
29. Титаева Н.А., Поляков А.И., Зорнина Ю.Б. Торий-урановое отношение как индикатор комагматичности вулканических пород риолит-базитовой серии Исландии // Геохимия. 1982. № 11. С. 1632–1638.
30. Титаева Н.А. Ядерная геохимия. М., 1992. 272 с.
31. Титаева Н.А. Изотопные отношения $(Th/U)_{Th}$ и $(Th/U)_{Pb}$ в молодых вулканитах Курило-Камчатской дуги в связи с проблемой их генезиса // Петрология. 1994. № 3. С. 251–258.
32. Титаева Н.А. Интерпретация изотопных составов вулканических пород океана и проблема неоднородности океанической мантии // Петрология. 2001. Т. 9, № 5. С. 504–518.
33. Флеров Г.Б., Федотов П.И., Чурикова Т.Г. Геохимия позднемеловых-палеогеновых калиевых пород ранней стадии развития Камчатской островной дуги // Петрология. 2001. Т. 9, № 2. С. 189–208.
34. Хаин В.Е. Глобальная геодинамика на пороге нового века // Геотектоника. 2002. № 4. С. 3–13.
35. Ярмолук В.В., Коваленко В.И. Позднерифейский раскол Сибири и Лаврентии в проявлениях внутриплитного магматизма // Докл. РАН. 2001. Т. 379, № 1. С. 94–98.
36. Ярмолук В.В., Коваленко В.И. Глубинная геодинамика, мантийные плюмы и их роль в формировании Центрально-Азиатского складчатого пояса // Петрология. 2003. Т. 11, № 6. С. 556–586.

37. Chauvel Catherine, Hofman Albrecht W. and Vidal Philippe. HIMU-EM The French Polynesian connection // *Earth and Planetary Science Letters* 1992. V. 110. P. 99–119.
38. Hoffman A.W. Mantle geochemistry the message from oceanic volcanism // *Nature*. 1997. V. 385, N16. P. 219–229.
39. Wilson M., Patterson R. Intraplate magmatism related to short-wavelength convective instabilities in the upper mantle evidence from the Tertiary-Quaternary volcanic province of western and central Europe // *Geol. Soc. Amer. Special Paper*. 2001. V. 352. P. 37–58.
40. Woodhead Ion D. and Malcolm T. Mc Culloch // Ancient seafloor signals in Pitcairn Island lavas and evidence for lade amplitude, small length-scale mantle heterogeneities / *Earth and Planetary Science Letters*. 1989. V. 94. P. 257–273.

Поступила в редакцию 26 апреля 2006 г.

Рекомендована к печати Ю.Ф. Малышевым

T.V. Volodkova

Anomalies of radioactive element ratios, and the nature of ore mineralization in Priamurye

The paper shows the principal possibility of using the ratio of the natural radioactive elements (NRE) of magmatic complexes to define the nature of their mantle or crustal sources. The NRE values of magmatic complexes related to “hot spots” obtained using aerogammaspectrometry are analyzed. The paper also generalizes and analyzes the NRE ratio distribution characteristic of certain types of mantle reservoirs and the Earth’s shells.

It is assumed that the magmatic complexes specialized for gold are formed due to the influence of mantle metasomatism processes or the enriched mantle reservoirs.

***Key words:* Natural radioactive elements (NRE), mantle metasomatism, aerogammaspectrometry, primitive mantle, depleted mantle, enriched mantle, magmatic complexes, alkaline rocks, ore mineralization.**