

УДК [550.83:550.814:551.2:552.3:553.4](571.61/62)

ТРЕНДЫ ОТНОШЕНИЙ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ПРИРОДА МАГМАТОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИАМУРЬЯ

© 2012 г. Т. В. Володькова

Институт тектоники и геофизики ДВО РАН

680000, г. Хабаровск, ул. Ким Ю Чена, 65

E-mail: volodkova@itig.as.khb.ru

Поступила в редакцию 27.04.2010 г.

Дальневосточный регион России отличается грандиозными масштабами мезозойско-кайнозойского магматизма, сосредоточенного в плутонических и вулканических поясах, а также широкими вариациями его состава, генетических и структурных особенностей. Изучение природы магматических комплексов (МК) мезозойско-кайнозойского возраста особенно важно, так как с ними генетически и парагенетически связаны типичные для Дальнего Востока месторождения золота и олова. Эти месторождения представлены традиционными и нетрадиционными рудными типами, причем, интерес к последним резко возрос. Крупномасштабная аэрогеофизическая съемка (аэромагниторазведка, аэрогаммаспектрометрия) может применяться не только для картирования магматических пород, но и для определения природы магматизма, его связи с рудоносностью и геодинамическими обстановками. Автором разработана методика решения затронутых вопросов, основанная на использовании средних значений отношений естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ). При этом были выявлены статистические корреляционные зависимости, которые анализируются в статье.

Ключевые слова: аэрогеофизическая съемка, отношения естественных радиоактивных элементов, рудные поля, рудные формации, золото, олово, магматические комплексы, тренды, кластеры рудных типов.

ВВЕДЕНИЕ

Более 50% территории Приамурья покрыто крупномасштабной высококачественной аэрогеофизической съемкой, результаты которой (аэромагниторазведка, аэрогаммаспектрометрия) традиционно используются для картирования магматических пород. С позиций изотопной геохимии, уран, торий и калий входят в число наиболее несовместимых элементов с близкими по величине коэффициентами распределения. По этой причине, значения их отношений сохраняют высокую устойчивость (постоянство) при процессах кристаллизационной дифференциации в закрытых магматических очагах и могут использоваться при изучении природы магм и особенностей рудогенеза [44, 46, 48].

С использованием методов математической статистики автором разработаны следующие принципы постоянства отношений ЕРЭ [5–8].

Неизменные вулканогенно-осадочные породы любой структурно-формационной зоны (СФЗ), сформированные в течение одного тектоно-магматического цикла, вне зависимости от состава, характеризуются близкими (постоянными) величинами средних значений отношений ЕРЭ U/Th, K/Th, U/K. Гидротермально-метасоматически измененные породы (со степенью изменения более 10–20%) уверенно выделяются аномальными отношениями ЕРЭ.

Неизменные магматические породы, образованные за счет кристаллизационной дифференциации в закрытом магматическом очаге, вне зависимости от их состава и глубинности, характеризуются постоянством характеристик отношений ЕРЭ. Они сближены по возрасту, сопряжены с основными этапами единого тектоно-магматического цикла, сопоставимого со временем существования магматического очага. В открытых магматических системах от фазы к фазе, за счет притока глубинных флюидов, условия кристаллизации магм меняются, поэтому средние значения отношений ЕРЭ магматических пород будут закономерно варьировать.

Значения средних (фоновых) отношений ЕРЭ магматических комплексов резко варьируют под действием гидротермально-метасоматических процессов, мантийного метасоматоза и изменения геодинамических условий. Мантийный метасоматоз и ювенильная флюидизация типичны для плюмового магматизма; на континенте с плюмами связывается внедрение исключительно субщелочных и щелочных пород. Магматические комплексы плюмовой природы формируются в течение нескольких фаз; каждая отличается постоянством характеристик отношений ЕРЭ магматических пород, вне зависимости от их состава. В Приамурье такие магматические породы выделяются по геолого-геофизическим данным в ареалах горячих точек [19, 20] и Мая-Селемджинского плюма (рис. 1).

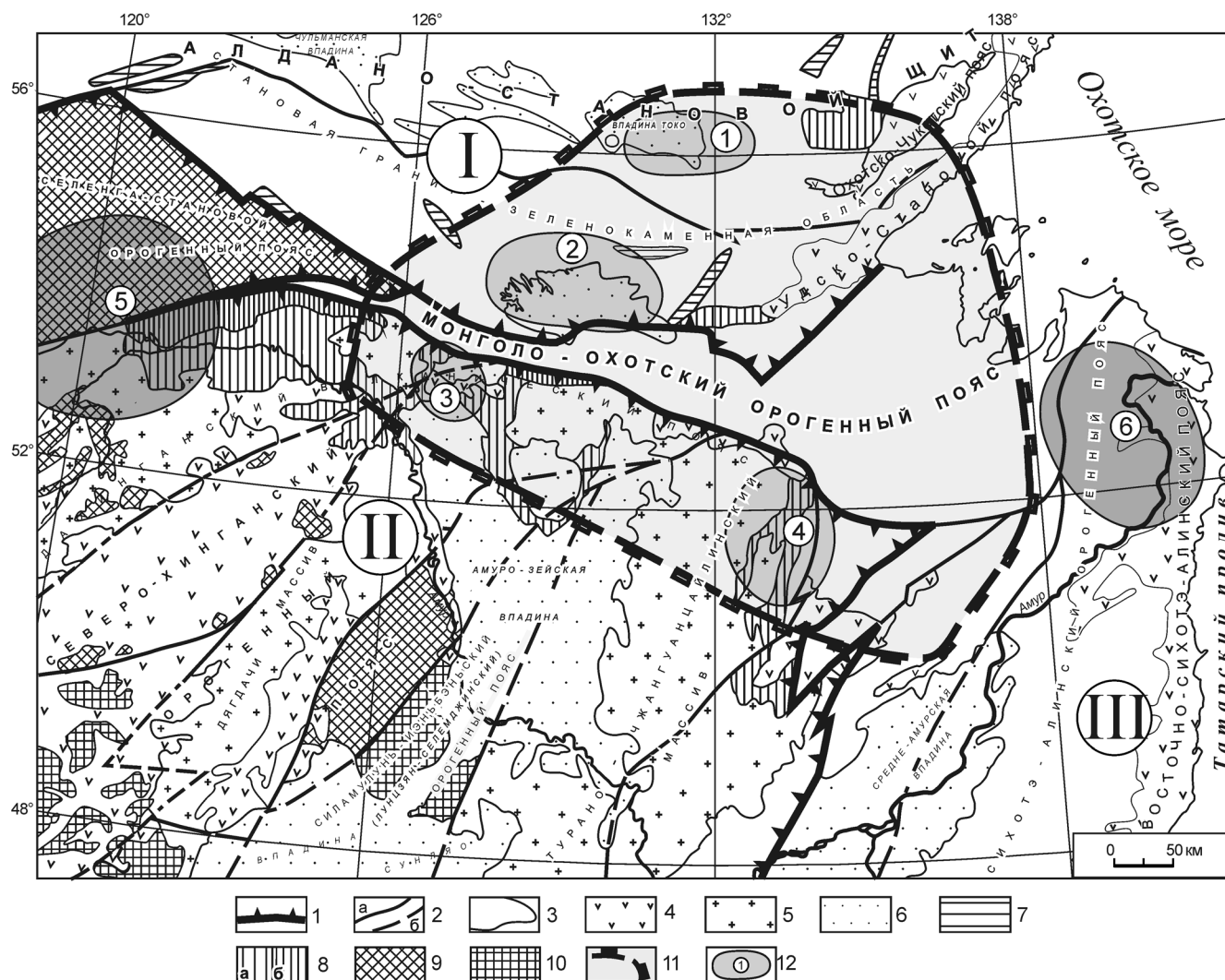


Рис. 1. Литосферные блоки сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов (по материалам Л.П. Карсакова, Чжао Чунцин и др., Малышева и др. [13, 21, 45, 47]).

1 – границы крупных тектонических подразделений (римские цифры в кружках): I – Сибирская платформа (Алдано-Становой щит), II – Центрально-Азиатский тектонический пояс, III – Тихоокеанский тектонический пояс (Сихотэ-Алиньский орогенный пояс); 2 – системы разломов: а – установленные, б – предполагаемые; 3 – границы структур; 4 – вулканические пояса; 5 – выходы фундамента массивов (микроконтинентов); 6 – мезозойско-кайнозойские осадочные впадины; 7 – зеленокаменные пояса; 8 – трогг окраин: а – палеозойские, б – мезозойские; 9 – раннепалеозойские (каледонские) орогенные пояса; 10 – позднепалеозойские (герцинские) орогенные пояса; 11 – проекция на поверхность мантийного среза плюма (литосферный Мая-Селемджинский блок); 12 – горячие точки (арабские цифры в кружках): 1 – Токинская, 2 – Верхне-Зейская, 3 – Зейская, 4 – Верхне-Буреинская (современные); 5 – Верхне-Амурская, 6 – Нижне-Амурская (остывшие). В границах крупнейших структур (I–III) выделены только основные в контексте статьи структурные элементы.

Принципы постоянства отношений ЕРЭ подтверждены большим количеством статистических данных, геологическими и геофизическими результатами. Характеристики средних отношений ЕРЭ структурно-вещественных (СВК) и магматических (МК) комплексов определяются графическим способом по методике автора [6]. Этот метод не требует сложных расчетов, надежен и особенно удобен, так как большая часть аэрогеофизических данных до настоящего времени не компьютеризирована. Для качественного решения задач достаточна

невысокая суммарная точность определения средних значений отношений ЕРЭ магматических комплексов – до 30%. Такая точность вполне достижима при использовании материалов съемок прошлых лет с аэрогаммаспектрометрической аппаратурой II–IV поколения.

В вулканических и плутонических поясах Приамурья изучено более 60 рудопоявлений разного масштаба; при этом рассчитывались величины средних отношений естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ) рудных полей площадью 40–100 км².

На их основе получены два тренда значений отношений ЕРЭ, доминирующих в Приамурье золото-редкометалльного и олово-полиметаллического рудных комплексов. Каждый из трендов включает весь набор характерных для территории рудных типов (рис. 2).

Средние характеристики U/Th , K/Th , U/K структурно-вещественных (СВК) и магматических (МК) комплексов, распространенных в рудных полях, в том числе, специализированных на золото и олово, образуют тренды магматизма, которые совпадают с трендами рудных типов. В работе рассматриваются причины возникновения трендов рудных типов и магматизма, связанные с ними закономерности; делаются выводы о возможности привлечения этой информации для целей прогнозирования перспективных рудных объектов.

МЕТОДИКА И НЕОБХОДИМАЯ ТОЧНОСТЬ РАБОТ

Для оценки точности аэрогаммаспектрометрии обычно используется среднеквадратическая и суммарная погрешность измерения содержаний ЕРЭ; последняя включает величину систематической погрешности. Большинство факторов, определяющих эти погрешности, в том числе, недоучет поправки за высоту и погрешности настроечно-градуировочных операций на полигонах и рудных моделях, значительно слабее влияют на величины отношений ЕРЭ, поэтому их погрешности, по сравнению с содержаниями ЕРЭ, гораздо ниже. На величину отношений ЕРЭ существенно влияет только погрешность, возникающая за счет нарушения радиоактивного равновесия; для ее уменьшения используются специальные методические ограничения. А именно, высокая точность работ достигается исключением данных съемок в местности, покрытой мощными рыхлыми отложениями и густым лесом. При использовании характеристик отношений ЕРЭ, низким качеством обладают также материалы съемки слабоинтенсивных полей (ниже порогового значения) [2, 3].

Аэрогеофизические съемки масштаба 1 : 50 000–1 : 10 000 в Приамурье проводились несколько десятков лет на разрозненных участках, с аппаратурой I–IV поколения; за этот период неоднократно менялись подходы, на которых основаны градуировочно-настроечные операции. Точность измерений разных классов аэрогаммаспектрометров резко различна. Крупнейшим недостатком аэрогеофизических работ является слабая компьютеризация. В последние десятилетия, при работах в рамках ГДП-200–ГК-1000, с использованием секущих профилей и дополнительных залетов, качественные материалы разных лет обобщались, увязывались и приводились к единому уровню (фону участка, на котором съемка проводилась в последние годы и была наилучшего качества). Качествен-

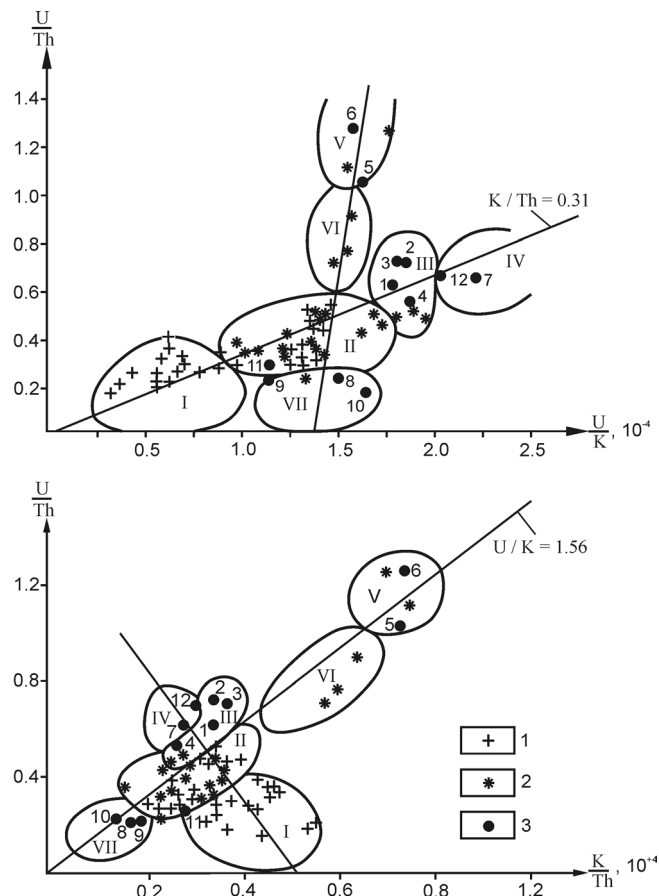


Рис. 2. Поля корреляции проявлений золота и олова Приамурья (составлено автором с учетом [12, 21]).

Рудные типы (римские цифры в кружках): I – золото-серебряный эпитеpmальный, II – золото-редкометалльно-кварцевый (касситерит-силикатно-сульфидный), III – золото-серебро-кварцевый (золото-кварцевый), IV – медно-порфировый с золотом, V – олово-порфировый, VI – касситерит-кварцевый; VII – касситерит-сульфидный. Рудные объекты: 1 – золото-редкометалльного рудного комплекса (кластеры I–IV); 2 – олово-полиметаллического рудного комплекса (кластеры II, V–VII); 3 – с аномальными характеристиками отношений ЕРЭ (арабские цифры): 1 – Дуганджа, Мамга; 2 – Сонел; 3 – Скалистое; 4 – Зимовье; 5 – Уджаки; 6 – Мопу; 7 – Ночное; 8 – Длинный; 9 – Покровка; 10 – Арбинский; 11 – Белая Гора; 12 – Хинганское.

ными (с учетом погрешностей) при этом считались результаты работ с аэрогеофизической аппаратурой II–IV поколения. В идеале, в процессе увязки должен меняться на постоянную величину только фон содержаний ЕРЭ смежных участков, поэтому систематическая погрешность карт отношений ЕРЭ будет незначительна. На деле, аэрогеофизические съемки разных лет отличаются разной чувствительностью, поэтому вводимые при увязке поправки подчиняются более сложным законам, и ве-

личина систематической погрешности существенно возрастает. С начала 80-х годов аэрогеофизические работы (около 50% всей площади, покрытой съемкой) проводились с использованием аппаратуры III поколения СКАТ-77, СТК-11. Среднеквадратическая погрешность измерения магнитного поля при этом составляла до 5 нТл; точность измерения содержаний ЕРЭ: по урану – $(0.1-0.15) \cdot 10^{-4}\%$, торю – $(0.55-0.65) \cdot 10^{-4}\%$, калию – $(0.05-0.10)\%$.

Главное достоинство использования характеристик отношений ЕРЭ заключается в хорошей сопоставимости результатов наземных и воздушных съемок, что позволяет анализировать эти данные совместно. Оценка сопоставимости проводилась с использованием величины относительной суммарной погрешности расхождения данных воздушной и наземной съемки с аппаратурой СКАТ-77. По результатам ПГО “Таежгеология”, эта величина составляла: для значений содержаний ЕРЭ – менее 10%, для отношений ЕРЭ – много меньше 10%. Величины отношений ЕРЭ всегда даются в условных единицах; при этом опускается коэффициент размерности величин, который составляет: для U/Th – +1; для K/Th – $+10^{-4}$; для U/K – -10^{-4} . По данным ПГО “Дальгеология”, на Курилах, где развиты горные породы с очень низкой, близпороговой радиоактивностью, величина относительной суммарной погрешности расхождения значений отношений ЕРЭ достигала 15–25% [8]. Абсолютные значения пороговой радиоактивности составляют: для урана – $+0.15 \cdot 10^{-4}\%$; для тория – $+0.5 \cdot 10^{-4}\%$; для калия – $+0.15\%$. С 2000-го года введена в эксплуатацию аппаратура IV поколения КАС; при этом результаты измерений радиоактивных аномалий ЕРЭ на земле и в воздухе почти совпадают [18]. По авторской методике, отдельные гидротермально-метасоматически неизменные интрузивные тела, метаморфогенные и осадочные отложения характеризуются средними (фоновыми) значениями U/Th , K/Th , U/K ; при этом, площадь тел не менее 1 км². На основе этих данных, с учетом принципов постоянства отношений, определяются средние значения соответствующих структурно-вещественных (СВК) и магматических (МК) комплексов. При расчете используются крупные выборки и разработанная автором стандартная методика, основанная на изучении законов распределения для пары нормированных вариационных кривых содержаний и отношений ЕРЭ, которые интерпретируются графическим способом с использованием палеток. Методика позволяет с достаточной точностью оценивать средние значения отношений ЕРЭ структурно-вещественных (СВК) и магматических (МК) комплексов, а также проводить оценку среднеквадратических погрешностей и других статистических параметров; подробности методики изложены в [6].

Оценка величины сопоставимости результатов наземной и воздушной съемки по характеристи-

кам отношений ЕРЭ СВК Курил была очень грубой. При этом использовались устаревшие литературные данные о наземных и лабораторных исследованиях на Курилах, которые имели ряд недостатков: статистические выборки были малы, вид и погрешность лабораторных анализов часто неизвестны, привязка образцов отсутствовала. Поэтому оценка величины сопоставимости проведена автором повторно с использованием вышеупомянутой методики, аэрогеофизических и фондовых данных о наземных исследованиях; последние представляли собой обобщения полевых геохимических и лабораторных работ по крупной территории. При проведении наземных работ доминировали методы литохимического и донного опробования; в сопутствующих лабораторных работах преобладали рентгеноспектральный и люминесцентный анализы. Эти массовые геохимические методы не обладают высокой точностью. Оценены только распределения урана, тория и уран-ториевого отношения, чего вполне достаточно: именно эти величины за счет неустраняемых методических причин определяются с наибольшей погрешностью. Если фоновые значения содержаний урана и тория в отдельных комплексах малы (менее $(5-10) \cdot 10^{-4}\%$ при наземных исследованиях), относительные погрешности массовых геохимических методов возрастают до 40–50%. Отдельные СВК и МК охарактеризованы данными геохимии только частично (часть разреза или отдельные типы пород) и не вполне достоверно. Статистическая обработка результатов аэрогаммаспектретрических работ также была существенно осложнена, так как крупные выборки включали данные по двум и более комплексам пород. Эта особенность вела к появлению многомодальных вариационных кривых распределения урана и тория, при интерпретации которых возникал элемент неопределенности. Величина уран-ториевого отношения определена двумя способами, которые в идеале должны давать идентичные результаты; их расхождение позволяет оценить погрешность авторской методики графического определения характеристик по вариационным кривым (табл. 1).

С учетом табл. 1, величина относительного суммарного расхождения аэрогеофизических и наземных работ составляет 5–25%, а для небольшой части комплексов с низкой радиоактивностью (до $(3-5) \cdot 10^{-4}\%$, не более 20% объема данных) – 25–37%. Полученные результаты соизмеримы с погрешностью массовых геохимических методов, что доказывает полную сходимость аэрогеофизических и наземных работ.

Процессы магмогенеза и рудогенеза по значениям отношений ЕРЭ изучались с использованием модификации кластерного анализа; для достоверной идентификации достаточно, чтобы кластеры отличались по средним характеристикам отношений ЕРЭ не менее чем на величину доверитель-

Таблица 1. Сходимость результатов аэрогаммаспектрометрии и наземных методов

Название свиты (СВК), магматического комплекса (МК) (Состав)	Индекс	Количество замеров	Характеристики ЕРЭ					
			по данным аэрогаммаспектрометрии			по результатам наземных работ*2		
			U, 10 ⁻⁴ %	Th, 10 ⁻⁴ %	U/Th*1	U, 10 ⁻⁴ %	Th, 10 ⁻⁴ %	U/Th
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тыркканская (гранат-гиперстеново-гнейсовый амфиболит-кристаллосланцевый)	AR ¹ tr	219	1.2	3.8	0.23/0.32	1.2	3.6	0.33
Хайканская (амфибол-пироксеново-кристаллосланцево-гнейсовый амфиболит-карбонатно-глиноземистый)	AR ¹ hk		2.2	7.6	0.23/0.29	2.1	6.9	0.30
Гонамская (аргиллит-доломит-песчаниковый галитоносный)	R ₁ gn		1.3	7.8	0.23/0.17	1.0	5.2	0.20
Нюкелинский МК*3 (гиперстеновых гранитов)	AR ¹ nk		2.2	3.8	0.50/0.58	1.6	3.0	0.53
Хайканская (амфибол-пироксеново кристаллосланцево-гнейсовый амфиболит-карбонатно-глиноземистый)	AR ¹ hk	370	1.4	4.7	0.28/0.30	2.1	6.9	0.30
Луриканская (амфиболит-гранат-гиперстеновогнейсовый карбонатно-кристаллосланцевый)	AR ¹ lr		1.4	4.7	0.28/0.30	1.6	4.5	0.35
Нюкелинский МК (гиперстеновых гранитов)	AR ¹ nk		2.1	4.7	0.50/0.45	1.6	3.0	0.53
Омахтинская (аргиллит-песчанико-доломитовый)	R ₁ oh		2.1	8.5	0.28/0.25	1.3	5.3	0.25
Луриканская (амфиболит-гранат-гиперстеновогнейсовый карбонатно-кристаллосланцевый)	AR ¹ lr	162	1.3	3.6	0.28/0.36	1.6	4.5	0.35
Хайканская (амфибол-пироксеново- кристаллосланцево-гнейсовый амфиболит-карбонатно-глиноземистый)	AR ¹ hk		2.2	6.6	0.26/0.33	2.1	6.9	0.30
Конкулинская (песчаниковый гипсоносный)	R ₁ kl		1.1	4.0	0.26/0.28	0.8	2.3	0.35
Конкулинская (песчаниковый гипсоносный)	R ₁ kl	300	1.2	3.4	0.27/0.35	0.8	2.3	0.35
Луриканская (амфиболит-гранат-гиперстеновогнейсовый карбонатно-кристаллосланцевый)	AR ¹ lr		1.3	3.4	0.38/0.41	1.6	4.5	0.35
Гонамская (аргиллит-доломит-песчаниковый галитоносный)	R ₁ gn		1.1	4.0	0.27/0.28	1.0	5.2	0.20
Хайканская (амфибол-пироксеново-кристаллосланцево-гнейсовый амфиболит-карбонатно-глиноземистый)	AR ¹ hk		1.3	4.0	0.28/0.33	2.1	6.9	0.30
Эннинская (аргиллит-алевролит-песчаниковый карбонатно-фосфатноносный)	R ₁ en	155	1.4	3.2	0.50/0.44	0.8	1.5	0.52
Омахтинская (аргиллит-песчанико-доломитовый)	R ₁ oh		1.4	4.7	0.30/0.32	1.3	5.3	0.25
Юдомская (аргиллит-песчанико-доломитовый кремнисто-битуминозный, фосфоритоносный)	Vjud		нет достоверных данных					

Таблица 1. Окончание

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Элгетэйский МК (терригенно-базальт-трахириолитовый), в т.ч. повышенной щелочности	$PR_{\text{el}}^{\text{el}}$	371	2.3	6.5	0.37/ 0.35 0.37/ 0.36	5.7	15.0	0.38
Улкачанский МК (щелочно-лейкогранитовый), в т.ч. повышенной щелочности	$\tau\lambda PR_{\text{el}}^{\text{el}}$		5.0	14.0				
Улкачанский МК (терригенно-трахибазальтовый)	$\epsilon\lambda\gamma_2 PR_{\text{el}}^{\text{el}}$		5.0	14.0	0.37/ 0.36 0.37/ 0.33	5.7	17.3	0.33
Улкачанский МК (терригенно-базальт-трахириолитовый)	$\epsilon\lambda\gamma\text{-}\zeta_1 PR_{\text{ul}}^{\text{ul}}$		6.5	19.5				
Элгетэйский МК (терригенно-базальт-трахириолитовый)	$PR_{\text{ul}}^{\text{ul}}$		2.2	4.5	0.55/ 0.49	нет достоверных данных		
Улкачанский МК (щелочно-лейкогранитовый), в т.ч. повышенной щелочности	$PR_{\text{el}}^{\text{el}}$	287	2.2	6.5	0.36/ 0.34	5.7	15.0	0.38
Джугджурский (монцодиорит-граносиенит-лейкогранитовый)	$\epsilon\lambda\gamma PR_{\text{el}}^{\text{el}}$		4.8	14.5	0.36/ 0.33	5.7	17.3	0.33
Улкачанский МК (терригенно-трахибазальтовый)	$\epsilon\lambda\gamma\text{-}\zeta_1 PR_{\text{ul}}^{\text{ul}}$		6.5	14.5	0.37/ 0.33			
Элгетэйский МК (терригенно-базальт-трахириолитовый), в т.ч. повышенной щелочности	$\text{I}_2\text{K}_2\text{d}$		4.7	3.4	-1.38	5.5	3.8	1.46
Улкачанский МК (терригенно-базальт-трахириолитовый), в т.ч. повышенной щелочности	$PR_{\text{ul}}^{\text{ul}}$		2.2	5.0	0.55	нет достоверных данных		
Улкачанский МК (терригенно-базальт-трахириолитовый), в т.ч. повышенной щелочности	$PR_{\text{el}}^{\text{el}}$	198	1.5	3.6	0.33/ 0.42 0.33/ 0.39	5.7	15.0	0.38
Улкачанский МК (терригенно-базальт-трахириолитовый), в т.ч. повышенной щелочности	$\tau\lambda PR_{\text{el}}^{\text{el}}$		3.5	10.5				
Улкачанский МК (терригенно-базальт-трахириолитовый), в т.ч. повышенной щелочности	$PR_{\text{ul}}^{\text{ul}}$		1.6	3.2	0.50/ 0.43	нет достоверных данных		
Улкачанский МК (щелочно-лейкогранитовый), в т.ч. высокой щелочности	$\epsilon\lambda\gamma_2 PR_{\text{ul}}^{\text{ul}}$		5.4	14.4	0.33/ 0.38	5.7	17.3	0.33
Улкачанский МК (щелочно-лейкогранитовый), в т.ч. высокой щелочности	$\epsilon\lambda\gamma_3 PR_{\text{ul}}^{\text{ul}}$		7.4	17.8	0.33/ 0.42			

Примечание. *¹Даны значения отношений U/Th, рассчитанные: в числителе – по вариационным кривым, в знаменателе – путем деления величин U (графа 4) и Th (графа 5). *²В графах 7–8 приведены данные лабораторных анализов (фондовые геохимические исследования); отношение U/Th получено путем деления величин U (графа 7) и Th (графа 8). *³Точность определения характеристик нукелинского комплекса (данные аэрогаммаспектрометрии) мала в связи с их слабой распространенностью.

ного интервала. Допустимая величина доверительного интервала ($\pm 2\sigma$) составляет: U/Th – 0.1; K/Th – 0.1; U/K – 0.25. Такие условия резко понижают требования к допустимой суммарной точности измерения отношений ЕРЭ (на основе расчетов – до 25–30%). Поэтому в большинстве случаев для решения поставленных задач могут использоваться данные съемок не только с аппаратурой III–IV поколения, но и с менее точной аппаратурой ГСА-70, а в ряде случаев и АСГ-48М. При использовании аппаратуры первых поколений класса ГСА-70 и АСГ-48М, общая погрешность измерения отношений ЕРЭ может достигать 30%, иногда выше, но обычно этого достаточно для уверенного картирования гидротермально-метасоматически измененных пород (со степенью изменения $\geq 20\%$).

Рассчитывались значения средних отношений естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ) более 60 рудных полей магматогенных объектов площадью 40–100 км², расположенных в плутонических и вулканических поясах Приамурья (табл. 2).

Определено, что магматогенными считаются рудные объекты, генетически либо парагенетически связанные с магматическими комплексами [12]. В выборку входили как месторождения,

так и проявления различного масштаба, а также точки минерализации золота и олова (последние в табл. 2 не внесены). Поэтому изучаемые закономерности определяют лишь рудоносные обстановки (площади) и не являются критериями собственно месторождений, в том числе, крупных. Проявления охарактеризованы представительными выборками ($n = 80\text{--}200$); все они классифицированы и разбиты на рудные типы с учетом фондовых данных (геологических характеристик и существующих мнений специалистов-геологов). Так как изученность большинства проявлений очень слаба, часто их рудный тип определен на основе самых общих данных и нуждается в корректировке. Дополнительно приводятся фоновые значения отношений ЕРЭ наиболее распространенных структурно-вещественных и магматических комплексов (СВК, МК). Разработана методика учета влияния гидротермально-метасоматических процессов на характеристики отношений ЕРЭ [6]; при статистических расчетах такие данные исключаются из выборок. На основе этих статистических данных рассматриваются закономерности, типичные для СВК, МК и рудных полей, расположенных в плутонических и вулканических поясах Приамурья.

Таблица 2. Средние значения характеристик ЕРЭ рудных полей в вулcano-плутонических поясах Приамурья [12, 21, 24, 28]

Название рудного объекта	Характеристики ЕРЭ						Тип проявления по геологическим данным*1	Кластер *2
	U, 10 ⁻⁴ %	Th, 10 ⁻⁴ %	K, %	U/Th	K/Th, ×10 ⁻⁴	U/K, ×10 ⁻⁴		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Медвежье одеяло	1.25	2.5	0.65	0.52	0.34	1.45	золото-редкометалльно кварцевый (золото редкометалльный)	II
Дуганджа, Мамга	1.30	2.3	0.70	0.60	0.33	1.75	—"	III
Сонел	1.25	2.3	0.60	0.70	0.34	1.80	—"	III
Альское	1.40	3.30	1.05	0.46	0.33	1.40	—"	II
Скалистое	1.45	2.5	0.70	0.70	0.36	1.76	—"	III
Маймагунское	0.35	3.0	1.2	0.21	0.55	0.55	эпитермальное золото-серебряное	I
Совояковское	0.75	6.0	2.35	0.16	0.44	0.32	—"	I
Агние-Афанасьевское	3.4	9.0	2.35	0.36	0.26	1.25	золото редкометалльно-кварцевый	II
Дидбиранское	2.0	7.0	2.6	0.32	0.26	1.3	—"	II
Учагинское	2.7	6.5	1.9	0.36	0.26	1.3	—"	II
Дяппенское	3.7	11.0	2.3	0.28	0.21	1.35	—"	II
Мартемьяновское	2.3	7.5	1.75	0.31	0.27	1.35	—"	II
Зимовье	2.3	6.3	1.4	0.52	0.26	1.85	—"	III (контакт с IV)
Пионерское	3.2	3.5	1.9	0.90	0.62	1.55	касситерит-силикатно-кварцевый (касситерит кварцевый)	VI
Таусинское	3.6	4.0	2.2	0.70	0.55	1.45	—"	VI
Руднинское	3.5	3.8	2.0	0.75	0.57	1.45	—"	VI
Уджаки	3.0	3.5	1.75	1.0	0.70	1.60	—"	V (контакт с VI)
Сакай-Бапу	3.9	4.0	1.8	1.24	0.66	1.70	—"	V
Мопау	3.8	3.8	2.25	1.25	0.70	1.55	касситерит-кварцевый либо олово порфировый (?)	V
Ночное	2.75	4.8	1.25	0.62	0.28	2.20	медно-порфировый с золотом	IV
Длинный	2.1	9.3	1.46	0.22	0.17	1.5	—"	VII
Инда	3.5	7.8	2.3	0.49	0.31	1.28	золото-редкометалльно-кварцевый	II
Перевальное	2.3	4.6	1.1	0.47	0.23	1.85	—"	II
Бяполи	3.5	6.8	2.2	0.49	0.27	1.90	—"	III
Моисеев Ключ	3.3	8.5	2.1	0.42	0.27	1.60	—"	II
В.Удоми	1.3	3.5	0.80	0.32	0.23	1.35	касситерит-кварцевый	II
Дягдана	3.1	3.3	2.3	1.10	0.73	1.56	—"	V
Хоторчан	2.76	8.16	2.75	0.26	0.46	0.55	золото-серебряное эпитермальное	I
Юрьевка	4.10	4.72	2.75	0.18	0.37	0.55	—"	I
Хаканджа	1.23	6.89	1.85	0.20	0.54	0.37	—"	I
Покровка 1	1.70	5.5	1.25	0.28	0.34	0.85	смешанный тип (золото-серебряный эпитермальное)	II (контакт с I)
Покровка 2				0.22	0.18	1.10		
Пионер				0.27	0.23	1.20	смешанный тип (золото-кварцевый)	II
Желтунак	1.65	6.2	1.1	0.35	0.23	1.15	—"	II
Арбинский (Боргуликан)	1.62	7.5	1.12	0.23	0.16	1.60	смешанный тип (медно-порфировый?)	II (контакт с VII)

Таблица 2. Окончание

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Белая Гора	1.65	3.57	5.6	0.27	0.28	1.12	золото-серебряное эпитермальное либо золото-порфировое (?)	II (контакт с I)
Бухтянка	1.78	5.36	3.3	0.29	0.42	0.66	смешанный (золото-серебряное эпитермальное)	I
Многовершинное	1.59	4.46	3.8	0.26	0.35	0.76	смешанный (золото-серебряное эпитермальное)	I
Фестивальное	2.27	4.46	4.75	0.37	0.35	0.95	касситерит-силикатно- сульфидное	II
Октябрьское	2.14	3.18	6.25	0.35	0.25	1.25	—"	II
Лунное-Озерное	2.08	3.83	5.25	0.34	0.30	1.05	—"	II
Солнечное	2.14	4.08	4.75	0.35	0.32	0.95	—"	II
Хинганское- Центральное	1.96	3.69	6.0	0.32	0.29	1.20	смешанный (касситерит силикатно сульфидное)	II
Хинганское				0.70	0.26	2.50	олово-порфировое	IV
Карадубское				0.32	0.29	1.20	касситерит-силикатно- сульфидное	II

Примечание.*¹Значения отношений ЕРЭ в таблице даны с большими сокращениями, в абсолютных единицах. В графе 8 приводятся заключения первооткрывателей (фондовые геологические) о типе проявления. Для объектов смешанного, многоэтапного либо неясного генезиса в скобках дается ведущий тип оруденения. В таблицу преимущественно включены проявления с аномальными характеристиками ЕРЭ, не соответствующими основной закономерности (рис. 2). *²В графе 9 указан номер кластера (либо смежных кластеров), к которым проявление относится с учетом трендов рудных типов и принятой в работе классификации объектов.

ОСОБЕННОСТИ МАГМОГЕНЕЗА И РУДОГЕНЕЗА В ВУЛКАНО- ПЛУТОНИЧЕСКИХ ПОЯСАХ ПРИАМУРЬЯ

На рис. 1 с неравномерной детальностью отображены основные тектонические элементы региона, который расположен в области сочленения Алдано-Станового щита, Центрально-Азиатского (ЦАСП) и Тихоокеанского складчатых поясов [13, 21, 36, 45, 47]. Алдано-Становой щит сложен раннедокембрийскими метаморфическими комплексами, которые позднее неоднократно подвергались воздействию процессов тектоно-магматической активизации (ТМА), особенно интенсивной в мезозое. Под влиянием процессов мезозойско-кайнозойской ТМА, в зонах глубинных разломов происходило внедрение магматических комплексов различной основности, нормальной и повышенной щелочности. Центрально-Азиатский складчатый пояс представлен ансамблем палеозойских орогенных поясов и докембрийских микроконтинентов (массивов) внутри них, которые также были неоднократно активизированы. Значительную площадь ЦАСП занимают крупные мезозойско-кайнозойские впадины. В Тихоокеанском складчатом поясе, фрагментами которого являются Сихотэ-Алинский и частично Монголо-Охотский орогенные пояса, выделяются зоны, сложенные структурно-вещественными ком-

плексами палеозойского и мезозойского возраста.

Большинство месторождений золота и олова Приамурья сосредоточены в мезозойско-кайнозойских плутонических и вулканических (вулcano-плутонических) поясах, которые по отношению к складчатым структурам фундамента, даже мезозойским, носят секущий характер [45, 47]. Эти черты морфологии поясов подчеркивают их наложенность, оторванность от формирования основных структур фундамента. Эффект наложенности общепризнан для вулканических поясов, образованных на заключительных этапах развития региона, но не всегда очевиден для мезозойско-кайнозойских плутонических (орогенных) поясов. Генетически все упомянутые структуры возникли за счет взаимодействия между континентальными плитами и другими основными структурами фундамента; ранее такие процессы, во многих случаях, связывались с широко проявленной в Приамурье мезозойско-кайнозойской тектоно-магматической активизацией (ТМА). В связи с генетическими особенностями мезозойско-кайнозойских орогенных поясов, в отличие от древних орогенных, они именуются плутоническими.

Общепринятой классификации месторождений золота и олова Приамурья на рудно-формационной основе не существует; только в последние десятилетия началась публикация обобщающих работ с описанием известных месторождений [12, 24, 28,

40]. Разнообразные, часто комплексные месторождения золота и олова выделяются с учетом геологической и промышленной конъюнктуры, а также преобладающего минерального состава. Определения терминов “рудный комплекс”, “рудная формация” и других, принятых в работе, а также наиболее детально разработанная современная классификация рудных формаций (рудных типов), развитых в плутонических и вулканических поясах Приамурья, изложены в работах [12, 22, 28, 31, 35]. Каждая из ассоциаций (рудных комплексов) месторождений золота и олова включает в себя несколько рудных типов с различными условиями образования, между которыми существуют определенные взаимосвязи и взаимопереходы [28]. Месторождения двух ведущих рудных комплексов Приамурья являются антагонистами; в мезозойско-кайнозойских вулканоплутонических поясах они генетически либо пространственно связаны с определенными, контрастно различающимися магматическими комплексами (МК). Так, месторождения золота связаны с МК габбро-монцитит-гранодиоритового и диорит-гранодиорит-гранитного состава; формирование монцититов характерно для заключительных фаз золотоносных магматических комплексов [13, 21, 45]. Оловоносные комплексы имеют более кислый, диорит-гранодиорит-гранитный и гранодиорит-гранитный состав и отличаются, кроме того, относительно повышенной щелочностью [28].

Н.П. Романовский [30] выделял на Дальнем Востоке России две серии гранитоидов, соответствующие упомянутым выше рудоносным ассоциациям: 1 – оловоносные К-типа, со слабой намагниченностью $\chi = (10-300) \cdot 10^{-5}$, СИ и коэффициентом окисленности железа $f = 0.14-0.35$; 2 – золотоносные Na-типа, с повышенной намагниченностью $\chi = (300-4000) \cdot 10^{-5}$, СИ и коэффициентом окисленности железа $f = 0.30-0.55$.

Отмечалось, что при увеличении магнитной восприимчивости χ в группе слабомагнитных комплексов типы рудной минерализации изменяются от касситерит-кварцевой до касситерит-сульфидной, а в группе комплексов с повышенной магнитностью – от золото-кварцевого до золото-медно-молибденового [30]. Таким образом, тип рудоносности гранитоидов и тип рудной минерализации зависят, в основном, от окислительно-восстановительных условий их формирования. Магнитные свойства интрузий и коэффициент железистости определяются фугитивностью кислорода, зависящей от притока ювенильных (мантийных) флюидов и водных растворов, обычных признаков магматизма плюмовой природы. Легко видеть, что закономерности Н.П. Романовского очень напоминают тренды рудных типов и магматизма, но даны лишь в качественном виде (петрофизические характеристики отдельных МК и рудных типов отсут-

ствуют). Месторождения золота и олова региона отличаются разнообразием, но при выяснении природы и особенностей магматизма особую роль играют наиболее распространенные, хорошо представленные в выборках золото-кварцевые и комплексные золото-редкометалльные (золото-редкометалльно-кварцевые) проявления. В Приамурье и на Северо-Востоке России такие месторождения известны давно и много лет служили основным объектом поисков; их особенности досконально изучены и охарактеризованы в [6, 10, 12, 14, 21, 24, 40]. Для золото-редкометалльных рудных объектов типичны следующие особенности: 1) положение в надинтрузивной зоне или апикальных частях гранитоидных массивов; 2) часто штокверковый тип оруденения (тонкопрожилковые кварцевые, турмалин-кварцевые и эпидот-кварцевые штокверки с сульфидной минерализацией); 3) интенсивный метасоматоз (грейзенизация, березитизация, полевошпатовые изменения и эпидотизация с сульфидной минерализацией); 4) геохимический спектр руд представлен Au, As, Bi, W, Te, иногда Sn.

На Северо-Востоке России выделены месторождения и рудопроявления золото-редкометалльной и пространственно ассоциирующей с ней золото-кварцевой формации [10, 12, 14]. Если для золото-кварцевой формации (рудного типа) характерно преобладание минерализации мышьяка, свинца, сурьмы, цинка, то для золото-редкометалльной обязательно присутствие висмута, вольфрама, мышьяка, в меньшей степени – сурьмы. Месторождения обеих формаций связаны с гранитоидным магматизмом, но если объекты золото-кварцевой формации значительно удалены от интрузий, объекты золото-редкометалльной – ассоциируют непосредственно с ними. Таким образом, рудный тип месторождений меняется в зависимости от положения рудного объекта по отношению к материнской интрузии (в апикальной зоне или в области эндо-экзоконтакта, на значительном удалении от интрузии), а также взаимным наложением в пространстве магматических ассоциаций обоих типов [6, 10, 12, 14, 28].

Л.В. Эйриш [40] одним из первых попытался применить для характеристики золото-редкометалльных объектов геофизические критерии. По его мнению, на мантийно-коровом уровне возникают очаги разуплотнения, которые фиксируются гравитационными минимумами; здесь формируются крупные интрузивные массивы, характеризующиеся слабой магнитностью. В ареалах этих плутонов возможно формирование небольших интрузивных тел, для которых типична повышенная магнитность. Рудные объекты золото-редкометалльной формации возникают при взаимном наложении в пределах одной рудной системы обоих типов магматизма; при этом, золотая и оловянная минерализация связаны с разобщенными по времени фазами рудного процесса, пространствен-

но наложенными друг на друга. Аэрогеофизические данные могут быть с успехом применены при картировании объектов золото-редкометалльной формации, особенно, штокверков; по картам отношений ЕРЭ выделяются метасоматиты, типичные для штокверков и надинтрузивных зон, и может быть определен тип метасоматической зональности.

А.А. Кременецкий, Минцер и др. [16] отмечали, что золото-редкометалльное оруденение часто связано с подъемом астеносферного плюма и генерированных им мантийных диапиров. Геохимическая специализация магматических очагов зависит от положения их относительно гипоцентра мантийного диапира: для центральной зоны характерно обогащение Au, Ag, Pt, As, Sb, для периферии – Li, Cs, Be, W, Sn, Bi (с преобладанием Ta, Li, Cs конкретно над горячей точкой). Горячие точки – это следы выхода на поверхность плюмовых струй или литосферные локальные структуры с глубиной заложения порядка 100 км (по другим источникам, до 700 км) и диаметром до первых сотен километров. В последнее десятилетие в Приамурье широко распространены попытки доказать с использованием геолого-геофизических данных важное значение в рудогенезе плюмовых процессов [6, 7, 19, 20, 27]. Крупнейшие золоторудные районы пространственно ассоциируют с ареалами горячих точек, в том числе, Нижне-Амурской и Зейской, расположенными в эндо-экзоконтактовых зонах мантийного диапира (рис. 1). Ареалы горячих точек интенсивно проработаны продуктами плюмового (внутриплитного) магматизма, сформированными в течение нескольких фаз. В пределах Нижне-Амурской площади расположены месторождения золота Многовершинное и Белая Гора, а на Зейской – известные месторождения Покровка и Пионер. Все эти факты доказывают только пространственную связь рудных объектов и ареалов горячих точек; для определения генетической связи необходимы геохимические и минералогические данные.

В Приамурье ощущается дефицит современных петрогеохимических исследований, поэтому возникли большие расхождения во мнениях относительно природы рудоносных магм – коровой или мантийной. По этой причине, опубликованные ранее металлогенические схемы сильно различаются: на одной и той же площади различными авторами могут выделяться рудные районы разного типа [23, 36]. При решении геолого-металлогенических задач большую помощь могут оказать средние (фоновые) характеристики отношений ЕРЭ магматических комплексов. С учетом этих данных, магматические комплексы, специализированные на золото, в ареалах горячих точек (Нижне-Амурской, Зейской) связаны с обогащенными мантийными резервуарами ЕМ II, НМУ [7]. **Наличие такой связи, очень четкой, является прямым доказательством мантийного происхождения и плюмовой природы**

золотоносных магматических комплексов. К сожалению, отмечается недостаток статистических данных по характеристикам обогащенных мантийных резервуаров, что отрицательно влияет на достоверность этого вывода. Кроме того, если мантийная природа золотоносных магм признается многими авторами, природа оловоносных магм сложна и не всегда очевидна.

По мнению Ю.Ф. Малышева, М.В. Горошко и др. [20], крупнейшие оловорудные районы Приамурья, как и прочие, связаны с горячими точками. С.М. Родионов [28] отмечал, что специализированные на олово магматические комплексы в рудных районах Приамурья формируются при участии магм мантийной либо корово-мантийной природы. На основе анализа характеристик отношений ЕРЭ оловоносных МК в Буту-Коппинском и Хинганском оловорудных районах, получены неожиданные результаты [7]: эти данные резко аномальны по отношению ко всем известным петрогеохимическим меткам, в том числе, средним величинам отношений ЕРЭ всех слоев земной коры и мантии, а также обогащенных мантийных резервуаров. Следовательно, при формировании оловоносных магм может быть задействовано несколько источников; первоначальное участие плюмового вещества (обогащенных мантийных резервуаров) не исключается, но значительную роль при этом могли играть процессы взаимодействия с корой. Месторождения олова связаны, в основном, с гранитоидами; по мнению С.М. Родионова [28], их рудный тип определяется геодинамической обстановкой. Не исключается также, что значительную роль при формировании оловорудных объектов могли играть процессы корового и мантийного метасоматоза, которые характеризуются интенсивной флюидизацией и аномальными значениями отношений ЕРЭ [32]. Таким образом, возникновение двух трендов магматизма может быть обусловлено геодинамической (в том числе, плюмовой) природой преимущественно гранитоидных производных двух магматических серий региона (рис. 3).

Рудный тип важнейших месторождений Приамурья (рис. 2) определяется условиями локализации рудоносных магматических комплексов на участках: глубинностью формирования, распределением по латерали, взаимным наложением различных МК в пространстве. Главные особенности этих месторождений (магматический источник, морфология рудных объектов, а также структура рудного поля) описаны в [12, 24, 28]. Из их анализа, следует: принципы, выдвинутые выше для золото-редкометалльных (золото-редкометалльно-кварцевых) и золото-кварцевых объектов, существенны для всех проявлений золота и олова. В зависимости от положения по отношению к источнику магмогенеза, закономерно меняется не только рудный тип, но также разме-

ры, состав и относительная щелочность интрузивных тел, которые картируются в рудном поле. Так, проявления золото-редкометалльно-кварцевого и олово-редкометалльного (касситерит-силикатно-сульфидного) типов выявляются в надинтрузивных зонах плутонических и вулканоплутонических многофазных, существенно гранитоидных МК; часто эти объекты представлены штокверками. Золото-кварцевый и касситерит-кварцевый рудные типы также ассоциируются с батолитами гранитоидов, но локализованы в экзоконтактовой области крупных интрузивных тел; обычно они представлены жилами и линейными минерализованными зонами. Непосредственно в их рудных полях картируются небольшие интрузивные тела, дайки и штоки пестрого состава. Прочие рудные типы проявлений золота и олова пространственно еще более удалены от крупных батолитов, в их рудных полях значительно шире развиты вулканиты и субвулканические тела, небольшие штоки, неки, дайки. Рудоносные магматические комплексы в рудных полях таких объектов обладают слабо повышенной щелочностью и аномальной основностью (развитие известково-щелочных и субщелочных вулканоплутонических комплексов, тоналитов, сиенитов, монцитонитов, пород латитовой серии). Морфологический тип проявлений золота и олова, слабо ассоциированных с батолитами, разнообразен: они могут быть представлены жилами, штокверками, зонами прожилково-вкрапленной минерализации, связаны с тектонически проработанными структурами. По комплексу признаков как золоторудные, так и оловорудные объекты, слабо ассоциированные с батолитами, делятся на два полярных типа. Для золото-серебряных эпитермальных и касситерит-сульфидных проявлений типично широкое развитие в рудных полях вулканитов и субвулканических тел; для проявлений медно-пофирового с золотом и олово-порфирового типа характерны относительно повышенная щелочность МК и выраженная связь с тектоническими структурами (брекчиевая минерализация). Гидротермально-метасоматические изменения картируются на всех рудных объектах, независимо от их рудного типа; высокая степень развития метасоматитов и ярко выраженная метасоматическая зональность отмечаются на рудных участках с высокими перспективами. На основе интерпретации трендов рудных типов и магматизма, получены характеристики отношений ЕРЭ, позволяющие количественно описать и конкретизировать эти геолого-геофизические заключения.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ

Корреляционные зависимости $U/Th = f \times (U/K)$, $U/Th = f \times K/Th$ отражают закономерности, которым подчиняются распределения (тренды) средних значений отношений ЕРЭ рудных полей (рис. 2).

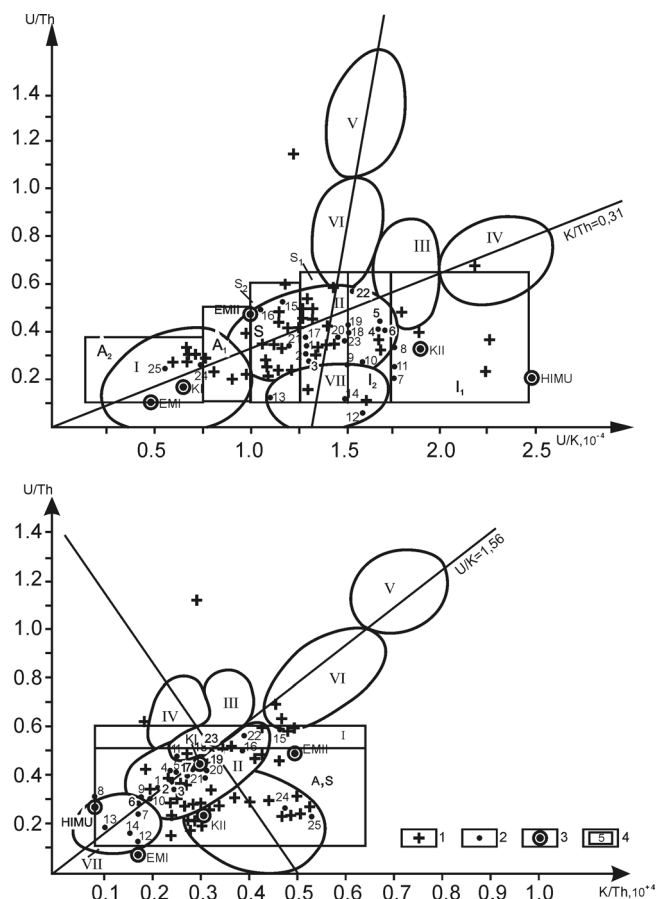


Рис. 3. Поля корреляции отношений ЕРЭ магматических комплексов Приамурья (составлено автором с учетом [7, 21, 24, 28]).

1–3 – фигуративные точки: 1 – магматических комплексов (МК), 2 – рудоносных МК, 3 – обогащенных мантийных резервуаров (ЕМ I, ЕМ II, HIMU) и МК Курильской островной дуги (К I, К II). 4 – области допустимых значений отношений ЕРЭ МК разных геодинамических типов (латинскими буквами показан тип, арабскими цифрами – фаза: 1-ранняя, 2-поздняя). Характеристики фигуративных точек рудоносных магматических комплексов (ИК, ВК) даны в табл. 3, 4.

Рассмотрим поле корреляции $U/Th = f \times (U/K)$. Уравнение регрессии можно представить в виде:

$$Y = a_1 X + a_0 \quad (1)$$

$Y = U/Th$, $X = U/K$; $a_1, a_0 = \text{const}$. Пусть U/Th , U/K – математические ожидания. Уравнение регрессии, характеризующее проявления золота, проходит через начало координат, откуда $a_0 = 0$ и уравнение приобретает вид:

$$Y = a_1 \cdot X \quad (2)$$

Так как математические ожидания произведения двух независимых случайных величин равны произведению их математических ожиданий, и наоборот [34],

$$(U/Th)/(U/K) = K/Th = \bar{a}_1 = \text{const.} \quad (3)$$

Следовательно, для всех золоторудных объектов свойственно постоянство среднего (фоновое) калий-ториевого отношения, которое численно равно величине углового коэффициента уравнения регрессии $a_1 = 0.31$. Аналогичные выводы можно сделать для величины среднего уран-калиевого отношения, характеризующего оловорудные проявления.

На основе анализа корреляционных зависимостей (рис. 2): 1) выделяются семь кластеров, каждый из которых определяет средние значения отношений ЕРЭ рудного поля одного из рудных типов; эти кластеры количественно характеризуют два рудных комплекса, золото-редкометалльный и олово-полиметаллический (образуют в поле корреляции две линии – золота и олова); 2) объекты, описанные “линией золота”, отличаются значительными вариациями U/Th , U/K ; при этом $K/Th = 0.31 = \text{const}$; 3) для объектов, описанных “линией олова” типичны сильные вариации U/Th , K/Th ; при этом $U/K = 1.56 = \text{const}$; 4) **рудные линии пересекаются**; область их пересечения определяет средние отношения ЕРЭ рудных объектов как золото-редкометалльно-кварцевого, так и касситерит-силикатно-сульфидного типов.

Рудный тип каждого кластера определен с учетом преимущественного преобладания соответствующих рудных объектов; эти данные откорректированы с использованием наиболее полных классификаций типов месторождений Приамурья [12, 28]. В табл. 2 совмещены две выборки рудных объектов, каждая из которых характеризует различные регионы Приамурья; тренды рудных типов рассчитывались для них по отдельности и совпали (рис. 2). Полная идентичность этих трендов позволяет заключить: представленные распределения рудных типов универсальны для всех мезозойско-кайнозойских вулканических и плутонических поясов Приамурья.

Во многих случаях рудные типы отдельных проявлений, установленные по геологическим данным и на основе кластерного анализа, совпадают, хотя имеются отклонения (табл. 2). Следовательно, идентификация кластеров проведена достоверно; по корреляционным зависимостям точно рассчитываются средние значения отношений ЕРЭ рудных типов, наиболее характерных для вулкано-плутонических поясов Приамурья. Тем не менее, границы множеств определены эмпирически; за счет возможных погрешностей, кластеры могут взаимно пересекаться. Кроме того, некоторые кластеры, в связи с недостатком фактических данных, статистически охарактеризованы слабо (рудный тип описан небольшим числом проявлений). В поле корреляции отношений ЕРЭ тренд рудных типов полностью идентичен тренду магматизма (рис. 3). Методически это очевидно, если магматические породы в рудных полях характеризуются главной модой вариационных кривых. Основная часть рудных полей в мезозойско-

кайнозойских вулканических и плутонических поясах сложена слабо измененными вулканогенно-осадочными отложениями осадочного чехла; хотя объем вулкаников не всегда значителен [13, 45]. Значения средних отношений ЕРЭ СВК осадочного чехла и фундамента в отдельных структурно-формационных зонах (СФЗ) Центрально-Азиатского складчатого пояса и Сихотэ-Алинской складчатой системы опубликованы в [5, 6]; эти данные хорошо увязываются с трендами и отдельными кластерами рис. 3. С другой стороны, с учетом вулканических комагматов, МК развиты в рудных полях также очень широко (иногда до 50% этой площади могут занимать только интрузивные породы); их характеристики даны в табл. 3.

В СФЗ мезозойско-кайнозойских вулкано-плутонических поясов Приамурья преобладают СФК только двух типов: большая их часть описывается значениями отношений ЕРЭ кластера II, меньшая – кластера I [5]. Многие магматические комплексы по значениям отношений ЕРЭ также соответствуют именно этим кластерам (рис. 3). Следовательно, хотя мезозойско-кайнозойские вулкано-плутонические пояса – наложенные структуры, характеристики отношений ЕРЭ СВК и МК в них часто близки, что свидетельствует об определенном генетическом сходстве источника вещества. Повидимому, значения отношений ЕРЭ кластеров I, II в вулкано-плутонических поясах Приамурья описывают МК и СВК основных тектонических этапов становления этих региональных структур. Магматические и структурно-вещественные комплексы (МК, СВК) более поздних фаз тектогенеза на картах отношений ЕРЭ создают локальные, сравнительно редкие ареалы аномалий. Так, сизиманский и совгаванский (?) ВК по средним значениям отношений ЕРЭ коррелируются с рудными типами III, IV; андезиты амутской свиты, широко распространенные в Буту-Коппийском оловорудном районе, по значениям отношений ЕРЭ, коррелируются с кластером VI (рудные объекты олово-порфинового типа). С учетом принципов металлогенического анализа, каждая СФЗ соответствует металлогенической зоне; ансамбли СФЗ с однотипным набором геолого-геофизических характеристик представляют собой металлогенические мегазоны, сопоставимые с металлогеническими провинциями [1, 23, 31]. В каждой СФЗ обычно преобладает один рудный тип, значения отношений ЕРЭ которого могут служить критериями металлогенических зон на перспективность рудных объектов такого типа или “металлогеническими метками”. На этом фоне выделяются ареалы поздних фаз тектогенеза, соответствующие рудным районам, узлам с нетрадиционным орудением, обладающие аномальными характеристиками отношений ЕРЭ. Тренды рудных типов позволяют прогнозировать нетрадиционное орудование (например, медно-порфировое) с применением ме-

Таблица 3. Средние значения содержаний и отношений ЕРЭ магматических комплексов Приамурья [7, 21, 28]

Название магматического комплекса. Состав. (Название массива, участка). *1	Индекс	Характеристики ЕРЭ						Номер кластера
		U, 10 ⁻⁴ %	Th, 10 ⁻⁴ %	K,%	U/Th	K/Th, 10 ⁺⁴	U/K, 10 ⁻⁴	
Биробиджанский ИК (Сутарский массив)	PZ ₁	1.9	5.5	1.45	0.33	0.20	1.32	II (контакт с VII) *4
Тырмо-Буреинский ИК (Козулихинский массив)	PZ ₂	2.5	8.0	1.48	0.38	0.23	1.7	II
Харинский ИК (Козулихинский массив)	T ₁	3.1	8.0	1.9	0.28	0.17	1.7	VII (контакт с II)
Ярапская свита. Липариты	K ₂	2.7	9.5	1.64	0.28	0.18	1.60	VII (контакт с II)
Талданский ВК. Андезиты, реже базальты, риодациты	K _{1tl}				0.10	0.17	1.60	VII
Верхнеамурский ИК. Граниты, гранодиориты	γK _{1v}				0.25	0.25–0.35	1.10	VII (контакт с II)
Буриндинский ИК Гранитоиды	γK _{1b}				0.15	0.15	1.50	VII
Амурская свита. Андезиты, андезито-дациты, дациты	K _{2sn}	2.2	3.5	1.44	0.61	0.48	1.45	VI (контакт с II)
Баппинский ИК. Граниты, гранит-порфиры, аляскиты	λK ₂	4.1	4.1	2.8	0.60	0.46	1.3	II (контакт с VI)
Хунгарийский ИК Гранитоиды, в т.ч. измененные породы?	γ ₁ -γ ₂ K _{2h}	1.65	5.2	1.5	0.40	0.29	1.20	II
Самаргинский ВК. Андезиты, дациты	P _{2sm}	1.65	5.2	1.5	1.15	0.29	1.20	аномальные
Иолийский ИК. Граниты (Массив Бяполи)	γP ₁	2.4	3.6	1.2	0.5	0.25	1.8	III (контакт с II)
Прибрежный ИК. Граниты	γP ₂	2.5	5.0	1.75	0.5	0.37	1.25	II
Сизиманский ВК. Андезито-базальты, андезиты, базальты, в т.ч.*2.	P _{2sz}	1.25	5.7	1.85	0.4	0.26	1.35	II
Кизинский ВК. Базальты андезито-базальты, в т.ч.*3	N _{1kz}	1.65	0.8	0.8	0.45	0.3	1.50	II
Совгаванский ВК Андезито-базальты, *3	N ₂ -Q _{1sv}	1.2	1.6	0.6	0.70	0.45	2.25	VI
Больбинский ВК	K _{2bl}	1.0	1.8	0.96	0.44	0.30	1.25	II
Андезиты, андезибазальты и их туфы		1.0	1.8	0.96	0.44	0.45	1.75	аномальные
Татаркинский ВК? Сенонские диоритовые порфиры	K _{2sn}	1.3	1.8	0.5	0.60	0.18	2.50	IV
Верхнеудомийский ИК Гранитоиды					0.30	0.25	1.25	II
Самаргинский ВК. Андезиты, дациты	K _{2sn}				0.40	0.30	1.40	II
Нижнеамурский ИК Гранодиориты, в т.ч.	γ P ₁	2.75	4.5	1.7	0.60	0.40	1.50	II (контакт с III)
Сизиманский ВК *2	P _{1sm}	1.90	4.0	1.5	0.45	0.32	1.4	II
Андезибазальты, андезиты, базальты	γδK ₂	5.6	1.28	2.4	0.42	0.28	1.5	II
Колчанский ВК Риолиты, реже андезиты и дациты (Бухтянка)	P _{2sz}	3.0	7.4	1.65	0.42	0.18	2.30	аномальные
Сизиманский ВК *2	P _{2sz}				0.30	0.28	0.95	II
Андезибазальты, андезиты, базальты. (Бухтянка)	P _{3kl}				0.28	0.47	0.70	I
Субвулканические интрузии основного состава (Бухтянка)	P _{2sz}				0.26	0.53	0.55	I
Бекчиулский ИК Гранитоиды (Многовершинное)	υ ₂ K ₂				0.32	0.50	0.65	I
	γ ₃ P _{1v}				0.24	0.29	0.80	I

Примечание.*1Таблица дается с большими сокращениями. *2Среди вулканитов Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса выделяется сизиманский ВК, который характеризуется широкими вариациями средних отношений ЕРЭ, что является основанием для его дробления (выделения в его составе новых ВК). *3Если породы в составе ВК имеют нетипичные для него значения отношений ЕРЭ, которые описываются кластерами тренда рудоносности, наиболее вероятно, что они соответствуют новым слабоизмененным ВК. Так, был выделен ванинский ВК, ранее часто включавшийся в состав совгаванского; он характеризуется в работе [21]. *4«Контакт» – характеристики отношений ЕРЭ МК на трендах попадают в зону контакта двух смежных кластеров.

тодик распознавания образов и компьютерных технологий. Характеристики отношений ЕРЭ рудоносных МК представлены в табл. 4.

Идентичность трендов рудных типов и магматизма предполагает полное соответствие кластеров специализированных на золото и олово МК и рудных типов; тем не менее, в результате такого анализа отмечены противоречия (или “эффект несоответствия”). А именно, золотоносные магматические комплексы Умлекано-Огоджинской зоны (буриндинский, талданский), сформированные под влиянием плюмового магматизма, по значениям отношений ЕРЭ приближаются к “линии олова”, а конкретно, близки к типу VII на тренде объектов олово-полиметаллического рудного комплекса; аналогичными особенностями обладают параметры средних отношений ЕРЭ золотоносного нижнеамурского ИК [21]. В ряде случаев отмечена обратная зависимость: МК, специализированные на олово, приближаются к “линии золота”. Так, значения отношений ЕРЭ специализированного на олово харинского ИК приближаются к “линии золота” (рис. 3, 4).

“Эффект несоответствия” обычно наблюдается для МК, представленных преимущественно интрузивными породами. Магматогенные рудные объекты могут быть связаны с магматическими комплексами как генетически так и парагенетически [12]. Несоответствия характеристик отношений ЕРЭ специализированных интрузивных комплексов на трендах объясняются, по-видимому, особенностями магмогенеза и структурной обстановки, когда в рудных полях картируются несколько разнотипных МК. Эти породы являются производными одной эволюционирующей во времени крупной очаговой структуры сложной природы, под влиянием которой в вышележащих горизонтах земной коры формируются множественные магматические очаги. Выше отмечалось, что в рудных полях сложного генеза возможно лишь пространственное наложение рудоносных МК – производных разобщенных магматических очагов и источников разной природы [40]. Этот вариант вполне допустим, тем не менее, иногда более вероятно, что источником магматической природы (корово-мантийных) являются открытые магматические очаги. В таких случаях, в магматических очагах наблюдается подток мантийного вещества, взаимодействующего с корой: только так можно объяснить вышеупомянутый “эффект несоответствия” и упомянутые выше аномальные характеристики оловорудных типов месторождений.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Рудный тип определяет ассоциацию месторождений, достаточно близких по комплексу признаков, в число которых входят минеральный состав, возраст формирования, геодинамическая обстановка и генетическая, либо парагенетическая связь

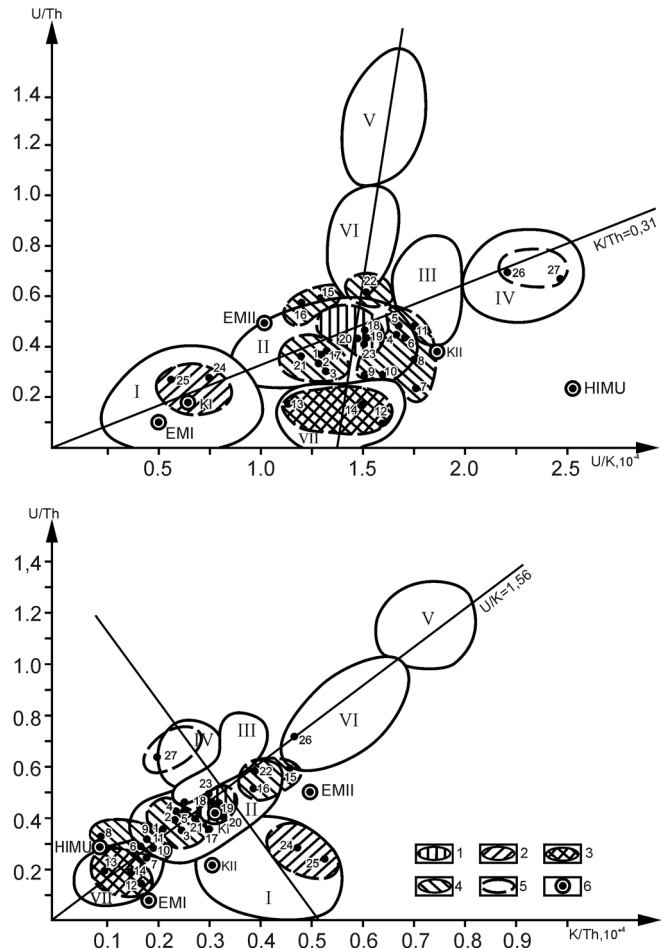


Рис. 4. Поля корреляции отношений ЕРЭ специализированных магматических комплексов Приамурья (составлена автором с учетом данных [21]).

Ареалы рудоносных магматических комплексов: 1 – золото-редкометаллических, золото-серебряных, молибденовых; 2 – золото-серебряных; 3 – золото-сульфидных, золото-серебряных, медных; 4 – полиметаллических, олово-редкометаллических, оловянных; 5 – ванинского (?) комплекса. 6 – фигуративные точки обогащенных мантийных резервуаров (ЕМ I, ЕМ II, HIMU) и МК Курильской островной дуги (К I, К II). Характеристики фигуративных точек магматических комплексов (ИК, ВК) даны в табл. 3, 4.

с определенной (осадочной, магматической либо метаморфической) формацией [12, 31, 35]. Тренды рудных типов золота и олова в мезозойско-кайнозойских вулканоплутонических поясах Приамурья отличаются практически постоянным фоновым значением одной из характеристик отношений ЕРЭ, причем прочие характеристики значительно варьируют (рис. 2). Теоретически наличие такого тренда означает, что существует только одна независимая причина его возникновения, а по всем прочим независимым признакам рудные типы на каждом тренде близки. В идеале, каждый тренд может закономерно варьировать только по одному призна-

Таблица 4. Характеристики специализированных комплексов Приамурья [21, 24, 28]

№ группы (№ точек)* ¹	Интрузивная серия (ИС), интрузивные и вулканические комплексы (ИК, ВК)	Состав ИС, характеристика ИК, ВК.	Сопутствующая минерализация	№ кластера
1 (1–3)	Биробиджанский ИК (бирский ИК, биджанский ИК)	гранит-гранодиоритовый ИК раннепалеозойские двуслюдяные массивные либо биотитовые гнейсовидные граниты, гранодиориты, кварцевые диориты	олово-редкометалльная	II
2 (4–5)	Тырмо-Буреинский ИК	габбро-диорит-гранодиорит-гранитный ряд, выделяются гранодиоритовый и гранит лейкогранитовый ИК	олово-редкометалльная	II
3 (6–9)	Харинский ИК	диорит-гранит-лейкогранитовый ряд, раннетриасовые субщелочные и нормальные лейкограниты, граниты, гранит-порфиры	олово-редкометалльная	II, контакт с VII
3 (10–11)	Хингано-Олонойская ВС (яуринская свита, обманский ВК)	субвулканические интрузии кислого состава К-типа, преимущественно риолиты, лавобрекчии и туфы риолитов, игнимбриты.	олово	II, контакт с VII
4 (12–14)	Интрузивно-вулканическая ассоциация (талданский ВК, бурундинский ИК)	габбро-диорит-гранодиоритный ряд; андезиты, базальты, риодациты, субвулканические интрузии диорит-порфиров, габбро, диориты, монцонитоиды	золото-сульфидная, золото-серебряная, медная	VII
5 (15–16)	Бута-Коппинская ИС (баппинский ИК, иолийский ИК)	габбро-гранитная ИС, баппинский габбро-монцонит-диорит-гранодиоритовый ИК, иолийский гранит-лейкогранитный ИК	полиметаллическая, редкометалльная, оловянная	II, контакт с VI
6 (17–18)	Прибрежный ИК	диорит-монцонит-гранодиорит-щелочногранитная ИС, ранняя фаза близка верхнеудоминскому и баппинскому ИК	полиметаллическая, редкометалльная	II
6 (19–20)	Раннепалеогеновая ВС	андезиты, дациты, риолит-дациты, трахидациты.	золото-серебряная, молибденовая	II
1 (21)	Хунгарийский ИК	гипербазит-габбро-гранитная ИС, выделяются гипербазит-габбровый ИК и высокоглиноземистые граниты	оловянная, вольфрамовая, проявления титана	II
5 (22)	Верхнеудоминский ИК	габбро-гранит-лейкогранитная ИС, К-Na серия нормального, переходного к субщелочному ряда	комплексная, преимущественно оловянная	II, контакт с VI
6 (23)	Нижнеамурский ИК	диорит-гранодиорит-гранитная ИК, диориты, диорит-порфиры, граниты, лейкограниты.	золото-редкометалльная	II
7 (24–25)	Колчанский ВК Сизиманский ВК	вулканиды и субвулканические интрузии кислого, умеренно кислого состава, базальты, андезибазальты, трахиандезиты	золото-серебряная, золото-сульфидная	I
8 (26)	Сизиманский(?) ^{*2} ВК	возможно включение некков и покровов щелочных базальтов, базанитов и гавайитов	золото-серебряная, золото-сульфидная	III-IV
9 (27)	Совгаванский(?) ^{*3} ВК	ванинского ВК (щелочной оливин-базальтовой формации)		IV

Примечание. *¹Характеристики специализированных комплексов образуют ареалы, содержащие точки с близкими значениями отношений ЕРЭ в пределах кластеров рудных типов (на рис. 3, 4 указаны номера ареалов и точек, тип рудоносных МК). *², Группы 8, 9 содержат вулканиды с аномальными характеристиками (условно сизиманский (?)^{*2} и совгаванский (?)^{*3} ВК, табл. 3); более вероятно, что они соответствуют ванинскому ВК [21].

ку. С другой стороны, многие перечисленные выше признаки в разной степени взаимозависимы; под влиянием главного фактора все они будут варьировать, но в большинстве случаев, очень слабо. Окончательный вывод: рудные типы на каждом тренде относительно близки по большинству признаков (составляют единое множество) и заметно варьируют только по одному главному признаку. Суще-

ствие двух трендов означает влияние еще одного важнейшего фактора, резко меняющего условия рудогенеза, за счет чего в Приамурье проявлены два диаметрально противоположных рудных комплекса (магматические серии).

Для выявления двух главных факторов, определивших возникновение трендов, проведен анализ роли вышеперечисленных признаков. Все руд-

ные объекты в мезозойско-кайнозойских вулканоплутонических поясах Приамурья довольно близки по возрасту формирования (ранний–поздний мел–палеоген); пока не представляется возможным оценить влияние сравнительно небольших колебаний возраста на тип оруденения. Рудные типы на трендах практически не связаны генетически и парагенетически с какими-либо осадочными и метаморфическими СВК в самой верхней части коры; их формирование определяется глубинными причинами. Известные из практики прогнозные признаки, как например, видимая связь месторождений с некоторыми разновидностями осадочных пород и элементами складчатых структур, отражают только благоприятные условия для локализации месторождений, но не влияют на их рудный тип. Каждый из трендов описывает закономерную смену не только рудных типов, но также и соответствующей минерализации. На основании анализа преобладающей рудной минерализации Сихотэ-Алинской области, эта смена схематически отражена ниже. Конкретно, тренд золото-редкометалльного оруденения определяет смену типов оруденения [соответствующей минерализации]: золото-серебряное убогосульфидное [кварц, сульфиды (в основном, пирит)] $\Rightarrow$ золото-редкометалльное [кварц, сульфиды (антимонит, сфалерит, пирит, арсенопирит, галенит), шеелит, молибденит, висмутин, реже касситерит] $\Rightarrow$ золото-кварцевое малосульфидное [кварц, сульфиды (арсенопирит, сфалерит, халькопирит, пирротин, антимонит), реже молибденит, очень редко шеелит] $\Rightarrow$ медно-порфировое с золотом [преобладают халькопирит, молибденит, шеелит, редко касситерит, висмутин]. Тренд олово-полиметаллического оруденения определяет следующую смену типов оруденения [минерализации]: касситерит-кварцевое [касситерит, пирит, арсенопирит, реже сфалерит, пирротин] $\Rightarrow$ касситерит-сульфидное [сульфиды (арсенопирит, пирит, халькопирит, пирротин, сфалерит, реже галенит), касситерит] $\Rightarrow$ олово-полиметаллический [сульфиды (халькопирит, пирит, арсенопирит, сфалерит, галенит, пирротин), молибденит, вольфрамит, висмутин, касситерит]. На участках развития оруденения золото-редкометалльного (золото-редкометалльно-кварцевого) типа в заметных количествах отмечается касситерит; все вышеперечисленные особенности характерны для месторождений золото-редкометалльной и золото-кварцевой формации Северо-Востока России [10, 12, 14]. Таким образом, характеристики минерализации образуют два распределения, природа которых близка рудной зональности. По-видимому, она определяется положением рудного объекта по отношению к материнской интрузии (надинтрузивная либо экзоэндоконтактная зона) и расстоянием до нее. Можно заключить, что тип минерализации связан с трендами рудных типов опосредованно и не является ведущим признаком.

С учетом всего сказанного выше, главными причинами появления трендов рудных типов и магматизма являются геодинамическая обстановка и магматическая формация; которые взаимосвязаны. Согласно принципам постоянства отношений ЕРЭ, для оценки влияния геодинамической обстановки возможно использование характеристик магматических пород любой основности, но для большей точности предпочтительно, чтобы их состав был близок. Приводятся средние значения отношений ЕРЭ нормальных гранитоидов, редко вулканизов, основных геодинамических типов (I – изверженные, S – осадочные, A – анорогенные, M – мантийные); даны также средние значения отношений ЕРЭ некоторых характерных магматических комплексов, земных слоев и мантийных резервуаров (табл. 5).

Нормальные гранитоиды, образующие геодинамический ряд, образуются в процессе кристаллизационной дифференциации магм различной природы: породы I-типа имеют корово-мантийный источник, S-типа – чисто коровый, A – и M-типа – мантийный [29, 42, 43, 49]. В геодинамическом ряду гранитоидов I-S-M(A) типов отмечается четкое уменьшение величины уран-калиевых отношений; закономерности вариаций прочих характеристик отношений ЕРЭ трудноуловимы (табл. 5). В связи с этим, уран-калиевое отношение может играть роль критерия для выделения типов магматических пород различной геодинамической принадлежности (геодинамического критерия). Известно, что глубинные части Земли и мантия именно по этому показателю отличаются наиболее контрастно [7, 33]. Надежность и точность такого способа проверены, для чего сопоставлялись выводы о геодинамическом типе гранитоидных МК (табл. 3), сделанные с использованием уран-калиевого критерия и геологических данных [21, 36, 47]. Показана высокая сходимость результатов; кроме того, градации различных геодинамических типов были уточнены. Так, гранитоиды хунгарийского МК по геологическим данным [47] и по уран-калиевому критерию определяются как типичные коллизионные S-типа; гранитоиды нижеамурского МК относятся к I-типу. Соответствие данных, полученных двумя способами, отмечено в подавляющем большинстве случаев, хотя имеются отдельные расхождения (например, выводы по баппинскому МК). Расхождение отмечается для магматических комплексов, представленных в статистических выборках единичными небольшими телами; такие МК статистически недостаточно обоснованы, хотя по соответствующему уран-калиевому критерию величина погрешности составляет не более 0.25. Итак, проверка с использованием большого количества гранитоидных МК Приамурья, охарактеризованных по геологическим данным и с использованием уран-калиевого критерия, полностью подтвердила его высокую ре-

Таблица 5. Характеристики средних значений отношений ЕРЭ магматических пород важнейших тектонических обстановок

Наименование интрузивных (ИК) и вулканических (ВК) комплексов	Значения отношений EPЭ* ¹			Примечания
	U/Th	K/Th	U/K	
Слои земной коры и мантийные резервуары				
Континентальная кора СС	0.23	0.25	0.85	[25, 32]
Осадочный слой	0.20	0.20	0.20	[33]
Гранитно-метаморфический слой	0.25	0.20	1.28	[33]
Андезито-метаморфический слой	0.21	0.21	1.00	[33]
Гранулит-базитовый слой	0.33	0.50	0.66	[33]
Примитивная мантия РМ	0.26	0.30	0.94	[32, 37]
Деплетированная мантия DM	0.40	0.53	0.80	[32, 38]
Обогащенная мантия EM I	0.08	0.17	0.45	[48, 51]
Обогащенная мантия EM II	0.49	0.49	1.00	[48, 50]
Обогащенная мантия HIMU	0.25	0.10	1.90–2.51	[44]
Характерные магматические комплексы				
Ультраосновные породы	0.37	1.87	0.20	[4]
Граниты аляскитовые	0.50	0.28	1.75	[4]
Нефелиновые сиениты агпайтовые	0.36	0.18	2.04	[4]
Магматические комплексы в ареалах горячих точек				
Базальты, трахидациты, J ₃ -K ₁	0.33	0.57	0.80	Субщелочной ряд, Монголия и Забайкалье, [41]
Платобазальты, базальт-комедит-пантеллеритовые ассоциации, PZ ₃ -MZ ₁	0.32	0.58	0.56	
Базальты щелочные, источник близок к DM, KZ ₁	0.25	1.01	0.20	Монголия, Хубсугул, [11]
Базальты щелочные, источник DM+HIMU, KZ ₁	0.23	0.48	1.10	Монголия, Дериганга, [11]
Базальты щелочные, источник DM+EM, KZ ₁	0.33	0.90	0.63	Монголия, Хангай, [11]
Кондерский ИК, ультраосновные-щелочные породы, PR ₁	0.45	0.25	1.3	Субщелочной ряд, массив Кондер, Дальний Восток, данные автора
Кварцевые субщелочные диориты, K ₁	0, 45	1.10	0.75	Массивы Ингили и Арбарастах, Дальний Восток, щелочной ряд K-Na серии, данные автора
Ингилийский ИК, щелочные-ультраосновные породы, PR ₃	0.28	0.08	4.75	
Арбарастахский ИК, щелочные-ультраосновные породы, PR ₃	0.82	0.13	15.0	
Гранитоиды различных геодинамических типов				
Амфиболсодержащие известково-щелочные гранитоиды I-типа	0.25	0.14	1.73	[29]; Австралия, [43]
Порфировидные биотитовые граниты I-типа	0.29	0.14	2.10	Тырныауз, [29]
Кислые образования пониженной щелочности субдукционного I-типа	0.40	0.30	1.90	Курилы, [8]
Высокоглиноземистые гранитоиды коллизионные S -типа	0.26	0.18	1.47	[29]; Австралия, [43]
Кислые образования известково-щелочного состава островодужные западнотихоокеанского M-типа	0.20	0.30	0.65	Курилы, [8]
Гранитоиды повышенной щелочности, внутриплитные	0.21	0.16	1.31	[29]; Австралия, [43]
Гранитоиды А-типа	0.10	0.15	0.71	[17]
Гранитоиды А-типа	0.17	0.18	0.90	[17]
Гранитоиды А-типа	0.19	0.24	0.80	[17]
Лейкограниты А-типа	0.12	0.16	0.76	Забайкалье, [39]
Монциты А-типа	0.11	0.17	0.66	Забайкалье, [39]
Кварцевые монциты А-типа	0.24	0.31	0.39	Забайкалье, [39]
Кварцевые сиениты А-типа	0.16	0.08	0.16	Забайкалье, [39]

Примечание.*¹При определении значений отношений ЕРЭ используются как результаты лабораторных исследований, так и статистические расчеты автора на основе данных аэрогаммаспектрометрии, что допустимо в связи с их сопоставимостью.

зультативность при определении их геодинамического типа. Тем не менее, невысокая точность метода, а главное, использование разнородных, не всегда удовлетворительно обоснованных статистических данных, пока не позволяют однозначно определить границы кластеров геодинамических типов. Отдельные кластеры могут немного перекрываться по характеристикам уран-калиевого отношения; при использовании больших статистик и уточненных данных, возможна, по-видимому, более высокая дифференциация магматических пород различных геодинамических типов [9].

С учетом данных О.М. Розена и др. [29], к I-типу относятся как чисто субдукционные (андийские), так и переходные к коллизионному (раннеколлизионные) известково-щелочные гранитоиды, варьирующие по величине отношения K/Na , со значениями геодинамического критерия $U/K \geq 1.50$ (табл. 5). Коллизионные гранитоиды S-типа ($U/K = 1.00–1.50$) включают в себя пералюминиевые синколлизонные и позднеколлизонные гранитоиды; среди магматических пород А-типа, в принципе, можно выделить постколлизонные и собственно внутриплитные. Постколлизонные гранитоиды обладают значениями $U/K = 0.75–1.00$; для внутриплитных пород повышенной щелочности, сформированных под воздействием плюмов, типичны значения $U/K \leq 0.75$. Для характеристики гранитоидов нормальной щелочности М-типа используются данные по Курильской островной дуге [8, 9, 26, 29]. Установлено, что внутриплитные континентальные (А-тип) и островодужные (М-тип) гранитоиды аналогичны по значению уран-калиевого критерия; оба типа формируются под воздействием процессов мантийного метасоматоза (плюмов) [8, 17, 39, 43]. Известно, что на Курилах выделяется два магматических комплекса, различных по средним значениям отношений ЕРЭ, которые к тому же резко варьируют [26]. С учетом геолого-геофизических данных, по-видимому, именно второй МК определяет классический М-тип (табл. 5). Окончательный вывод: каждый геодинамический тип гранитоидов включает два подтипа; значения уран-калиевых отношений разных типов гранитоидов отличаются на величину двух доверительных интервалов $2\Delta = 0.50$, что допускает их уверенную дифференциацию. Тем не менее, дифференциация с выделением геодинамических подтипов пока проблематична, так как требует значительной точности определения геодинамического критерия; возможность решения этой важной задачи нуждается в уточнении с использованием большого количества статистических материалов.

Подавляющее большинство магматических пород повышенной щелочности (плюмовой природы) в Приамурье (табл. 3, 5) делится на две категории; их формирование может быть связано с воздействием мантийных резервуаров ЕМ I ($U/K \leq 0.8–1.0$) и Н1МУ ($U/K \geq 1.90–2.0$). Характеристики

уран-калиевого отношения мантийного резервуара ЕМ I и **внутриплитных континентальных магматических пород А- и М-типа**, с одной стороны, а также мантийного резервуара Н1МУ и субдукционных гранитоидов I-типа, с другой, довольно близки. Для иллюстрации показаны области допустимых значений отношений ЕРЭ различных геодинамических типов и фигуративные точки обогащенных мантийных резервуаров (рис. 3). Обычно считают, что геодинамические типы магматических пород определяются процессами в литосфере и верхней астеносфере, а состав магм плюмовой природы – более глубинными физико-химическими условиями. Упомянутое сходство уран-калиевого критерия может служить подтверждением связи (возможно, только пространственным), плюмовых процессов с определенными геодинамическими обстановками. Состав внутриплитных континентальных магматических комплексов А-типа определяется процессами плюмообразования, что не вызывает сомнения у большинства исследователей. Вероятность связи плюмовых магм типа Н1МУ с субдукционными магматическими комплексами доказать гораздо труднее. Подтверждением такой связи могут считаться двойные системы – островная дуга–плюм (мантийный диапир), наблюдающиеся в зонах субдукции [27]. Существует версия, что резервуары Н1МУ сформировались в древнейших (протерозойских) зонах субдукции из вещества протокры, погруженной в мантию [15]. В таком случае, значения уран-калиевого критерия древней (докембрийской) и молодой (мезозойской-кайнозойской) коры в зонах субдукции сопоставимы. С другой стороны, проявления золота, ассоциирующие с резервуарами Н1МУ, **могут быть лишь парагенетически связаны с мезозойско-кайнозойскими зонами субдукции**. Следовательно, вариации уран-калиевого критерия могут отражать как изменения геодинамических условий, так и плюмовые процессы, взаимосвязанные в зонах субдукции. Для оценки степени близости уран-калиевого критерия в зонах древней и молодой субдукции необходимо уточнение статистических характеристик резервуара Н1МУ.

Тренды магматизма и рудных типов позволяют не только рассчитать средние значения отношений ЕРЭ всех кластеров (отдельных рудных типов, МК), но сделать вполне логичные предположения о природе их магматических источников. По-видимому, формирование олово-полиметаллического рудного комплекса (рис. 2, 3) связано с гранитоидами исключительно одного геодинамического S-типа – коллизионного; именно этим объясняется практическое постоянство их уран-калиевого отношения ($U/K = 1.56$). Так как тренд “линии олова” имеет слабый угловой наклон на графике $U/Th = f \times (K/Th)$, возможна небольшая вариация U/K -отношения ($U/K = 1.00–1.75$) и соответствующего геодинамического типа – от ранне-коллизионного

до постколлизийного. Следовательно, при формировании оловоносных гранитоидов **S-типа, природа источника магм может варьировать от коровой до корово-мантийной**; основной источник магм коровый, но возможно, в согласии с выводами предшественников, небольшое присутствие мантийного вещества [28, 29].

Источник золото-редкометалльного рудного комплекса чисто мантийный, при этом формирование специализированных на золото магматических комплексов раньше связывалось с влиянием обогащенных мантийных резервуаров EM I и HIMU [7]. Для уран-калиевого критерия величина $U/K = 1.5\Delta = 0.38 \leq 0.4$ (здесь $\Delta = 0.25$ – доверительный интервал) определяет потолок возможной погрешности. Следовательно, максимальная величина критерия для нормальных гранитоидов, сформированных за счет плавления вещества основных слоев Земли и, в большинстве случаев, подстилающей ее деплетируемой мантии (ДМ), без участия флюидов, с учетом данных табл. 5, составляет $K_{\max} = 1.28 + 0.38 = 1.68 \leq 1.70$. Величины уран-калиевых отношений нормальных гранитоидов в зонах субдукции существенно выше ($U/K \leq 2.1$); они сопоставимы с характеристиками резервуара HIMU. **Таким образом, золото является сквозным элементом и может быть связано с магматическими комплексами A, I, S-типа.** Вероятно, плюмовые и геодинамические процессы могут проходить параллельно в верхней астеносфере; поэтому, независимо от истинной глубинности источника плюмов, природа магматизма считается геодинамической.

Таким образом, главной причиной возникновения двух трендов рудных типов (рис. 2) являются вариации геодинамических условий: для месторождений олова характерен магматизм коровой, реже мантийно-коровой природы S-, либо I-S-типа; для месторождений золота во всех геодинамических обстановках – магматизм преимущественно мантийной природы, для отдельных рудных типов – с примесью корового вещества. Тренды магматизма описывают две магматические ассоциации (серии), преимущественно **Na-типа для золота** и **K-типа для олова**, типичные для этих условий. Каждая ассоциация включает два рудных комплекса [21, 28]. Золотоносная ассоциация характеризуется относительно повышенной основностью, оловоносная – повышенной щелочностью; в частных случаях возможно наложение их магматических источников. Следовательно, второй фактор, обусловивший многообразие рудных типов и возникновение протяженных трендов – вариации состава (дифференциатов) двух магматических серий в рудном поле за счет наложения магматических источников различной природы. С учетом геологических данных, опосредованно с ним связаны условия локализации рудных объектов: в надинтрузивной зоне, в области эндо-экзоконтакта или в дальней кра-

евой зоне плутона. Вариации значений отношений ЕРЭ специализированных на золото и олово МК Приамурья были проанализированы; описание связанной с ними минерализации и подробные характеристики этих МК даны в [21]. Эти характеристики создают компактные ареалы, которые тесно коррелируют с кластерами рудных типов. Некоторые рудоносные МК близки по всем трем характеристикам отношений ЕРЭ; вероятно, они аналогичны по генезису и другим признакам (рис. 4, табл. 4).

Выше отмечалось, что величины отношений ЕРЭ золото-редкометалльного и касситерит-силикатно-сульфидного оруденения идентичны (образуют кластер II); **по уточненным данным, они четко дифференцированы.** Фигуративные точки значений отношений ЕРЭ проявлений золото-редкометалльного (золото-редкометалльного) типа сосредоточены вблизи пересечения двух трендов (кластер II); характеристики отношений ЕРЭ касситерит-силикатно-сульфидных проявлений образуют нескольких мелких ареалов на контактах кластеров II и VII, II и VI; **вероятно, их генезис определяется совместным влиянием различных магматических источников.** В каждой области контакта кластеров отмечается по два ареала; с учетом значений уран-калиевого критерия, они соответствуют магматическим комплексам **S-типа, а также I-S-типа.** Различие между этими множествами состоит, вероятно, в небольшом увеличении вклада мантийного источника, хотя основную роль играют коровые источники, формирующие олово-редкометалльные магматические комплексы S-типа. Следовательно, на формирование МК олово-полиметаллической ассоциации с переменным вкладом влияет дополнительный мантийный источник, специализированный на золото и полиметаллы. Очевидно, для магматических комплексов **I-S-типа он аналогичен материнскому источнику талданского ВК и буриндинского ИК, специализированному на золото, медь и другие металлы;** ареал его фигуративных точек коррелирует с кластером VII (табл. 4, рис. 4). Известно, что олово-полиметаллическая магматическая ассоциация включает производные двух магматических комплексов, относительно повышенной и пониженной основности [28]. С учетом того, что буриндинский МК отличается повышенной основностью, с кластерами VII и II **коррелируются фигуративные точки диорит-гранодиорит-гранитного МК,** а с кластерами V и VI – гранодиорит-гранитного МК. Эти выводы подтверждаются тем, что в области контакта кластеров II и VI **сосредоточены фигуративные точки интрузивных серий, в которых главную роль играют МК гранит-лейкогранитового состава (верхнеудоминский, июлийский).** Таким образом, кластеры II и VI **определяют характеристики отношений ЕРЭ крупных интрузий низкой основности, в надинтрузивных зонах и в зонах эндоконтакта которых формируются проявления**

касситерит-силикатно-сульфидного (кластер II) и касситерит-силикатного (кластер VI) типа. Кластеры V, VII линии олова определяют характеристики проявлений, связанных с малыми интрузиями, штоками, субвулканическими телами, возможно, вулканитами как повышенной (кластер VII), так и пониженной (кластер V) основности. В состав олово-полиметаллического рудного комплекса могут входить порфиновые объекты олова и других металлов; например, месторождение Мопау часто относится к олово-порфировому типу, а объект Арбинское и слабоизученное проявление Длинный, считаются медно-порфировыми (табл. 2).

Золото-редкометалльный рудный комплекс также связан с двумя магматическими комплексами, габбро-монцитит-гранодиоритным и диорит-гранодиорит-гранитным [21]. Аналогично рассуждая, кластеры II и III определяют значения отношений ЕРЭ фигуративных точек интрузий диорит-гранодиорит-гранитного (кластер II) и габбро-диорит-гранодиоритного (кластер III) состава. Кластеры I и IV характеризуют рудные поля, в которых развиты малые штоки, дайки, субвулканические тела и вулканиты. С кластером I связано формирование убогосульфидных золото-серебряных проявлений, связанных с вулканитами умеренно кислого состава; с ним коррелируется ареал ВК золото-серебряной специализации (сизиманский, колчанский ВК, табл. 5). Кластер IV включает фигуративные точки ВК повышенной основности и щелочности, например, ванинского ВК, в состав которого входят щелочные базальты, базаниты, гавайиты. Кластеры I и IV описывают обстановки, в которых могут формироваться порфиновые объекты, примерами которых могут служить Белая Гора, Ночное, Хинганское (табл. 2). Несмотря на разный тип оруденения (соответственно, медное и оловянное), характеристики отношений ЕРЭ рудных объектов Ночное и Хинганское практически совпадают. Типы порфировых объектов, связь их с выделенными кластерами – наиболее важные и неизученные вопросы. Очень интересны случаи явного несовпадения типов порфировых объектов по геологическим и геофизическим (статистическим) данным. Эти вопросы – предмет особого исследования, так как пока количество проявлений, характеризующих порфиновые объекты, недостаточно.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

В мезозойско-кайнозойских вулcano-плутонических поясах Приамурья развиты два магматогенных рудных комплекса – золото-редкометалльный и олово-полиметаллический, включающие все рудные типы проявлений золота и олова. С этими рудными типами генетически либо парагенетически связаны две ассоциации магматических комплексов (МК). На диаграммах отношений ЕРЭ рудные типы и МК характеризуются системой кла-

стеров на двух пересекающихся трендах с постоянными коэффициентами регрессии $K/Th = 0.31$ для линии золота и $U/K = 1.56$ для линии олова.

Важнейшей количественной характеристикой кластеров на трендах рудных типов и магматизма может служить значение уран-калиевого критерия: в геодинамическом ряду I–S–M (А) гранитоидов нормального–субщелочного ряда значение U/K варьирует в пределах 0.15–2.5 (у пород высокой щелочности значения критерия резко аномальны). Возникновение трендов, в первую очередь, определяется тем, что золото-редкометалльная и олово-полиметаллическая магматические ассоциации диаметрально различны по геодинамической природе основных магматических источников.

Второй фактор, обусловивший вариации уран-калиевого критерия МК и рудных типов на трендах – это дополнительный источник магматизма, обусловленный многоэтапным развитием территории (на основе анализа характеристик отношений ЕРЭ структурно-вещественных комплексов (СВК) выделяется два основных этапа). Два магматических источника могут быть наложены в рудном поле пространственно и обладать парагенетической связью с рудными объектами. Кроме того, они могут быть совмещены в открытых магматических очагах корово-мантийной природы. Рудогенез с участием двух источников магматизма типичен для объектов кластера II (область пересечения трендов, описывается значениями отношений ЕРЭ: $0.20 \leq U/Th \leq 0.65$; $0.15 \leq K/Th \leq 0.45$; $0.85 \leq U/K \leq 1.75$). Кластер характеризует проявления как золото-редкометалльно-кварцевого, так и касситерит-силикатно-сульфидного рудных типов, которые четко дифференцируются по значениям отношений ЕРЭ. Каждый из рудных типов формируется под воздействием мантийного и корового магматических источников, особенности наложения (взаимодействия) которых различаются.

Проявления олово-полиметаллического рудного комплекса связаны с МК коллизионного S- либо I-S-типа, преимущественно коровой природы, с некоторым вкладом мантийного источника, для которых типичны сравнительно небольшие колебания уран-калиевого критерия $1.00 \leq U/K \leq 1.75$. Тренд возникает за счет вариаций относительных объемов коровых и мантийных магм в очагах корово-мантийной природы. Магмы мантийной природы по значениям отношений ЕРЭ близки к соответствующим характеристикам бурундинского МК, специализированного на золото ($1.35 \leq U/K \leq 1.75$). За счет изменения природы магм, возникают вариации основности МК олово-полиметаллической ассоциации, от диорит-гранодиорит-гранитного до гранодиорит-гранитного состава МК.

Проявления золото-редкометалльного рудного комплекса связаны с МК геодинамических А(М), I-типов мантийной природы (от субдукционной до

внутриплитной), с относительно небольшим вкладом коровых магм S-типа. Значительные колебания уран-калиевого критерия ($0.15 \leq U/K \leq 2.50$) обусловлены пространственным наложением двух магматических источников различной природы. При формировании проявлений золото-редкометалльного рудного комплекса теоретически возможно участие обогащенных мантийных резервуаров EM I, EM II, HIMU (воздействие плюмов). Обогащенные мантийные резервуары плюмовой природы пространственно совмещены с определенными геодинамическими типами магматизма. Вклад коровых магм значим на объектах золото-редкометалльно-кварцевого типа; источник коровых магм по параметрам отношений ЕРЭ близок к соответствующим характеристикам хунгарийского либо верхнеудоминского МК (значения $0.90 \leq U/K \leq 1.35$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Актуальные проблемы рудообразования и металлогении: тез. докл. междунар. совещ. Новосибирск: Гео, 2006. 268 с.
2. *Альтиулер М.И., Кузьмин Г.И.* Крупномасштабный прогноз золоторудных объектов по комплексным аэрогеофизическим данным. СПб.: Роскомнедра-ВИРГ Рудгеофизика, 1993. 160 с.
3. Аэрогамма – спектрометрия в геологии / Л.Н. Вавилин, В.П. Воробьев, А.В. Ефимов и др. Л.: Недра, 1982. 271 с.
4. *Базилевский А.Т.* К-U-Th систематика вещества планетных тел Солнечной системы // Геохимия. 1985. № 2. С. 131–141.
5. *Володькова Т.В.* Региональные закономерности распределения гамма-спектрометрических полей на юге Дальнего Востока // Тихоокеанская геология. 1996. Т. 15, № 2. С. 116–125.
6. *Володькова Т.В.* Гамма-спектральные поля и распределение золото-редкометалльного оруденения в Нижне-Амурском регионе. Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. ИТиГ ДВО РАН Хабаровск, 1999. 28 с.
7. *Володькова Т.В.* Аномалии отношений радиоактивных элементов и природа рудной минерализации Приамурья // Тихоокеанская геология. 2006. № 4. С. 54–68.
8. *Володькова Т.В.* Особенности магматизма острова Кунашир (Курильская островная дуга) по аэрогеофизическим данным // Тихоокеанская геология. 2007. Т. 27, № 6. С. 15–37.
9. *Володькова Т.В.* Характеристики и природа магматических комплексов Еврейской автономной области по данным гаммаспектрометрии // Современные проблемы регионального развития: мат-лы III междунар. науч. конф. Биробиджан: ИКАРП ДВО РАН-ГОУ ВПО «ДВГСТА», 2010. С. 57–58.
10. *Гамянин Г.И., Горячев Н.А.* Условия зарождения и эволюции гранитоидных золото-магматических систем в мезозоидах Северо-Востока Азии. Магадан: СВКНИИ, 2003. 197 с.
11. *Гениафит Ю.С., Грачев А.Ф., Салтыковский А.Я.* Геохимические особенности кайнозойских базальтов Монголии: проблема природы мантийных источников // Геология и геофизика. 2006. Т. 47, № 3. С. 377–389.
12. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Кн. 2. / Под ред А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. 981 с.
13. Геологическая карта Хабаровского края. 1 : 1 000 000 / Сост.: А.Ф. Васькин, В.А. Гурьянов, В.Ю. Забродин и др., Ред.: А.Ф. Васькин, Г.В. Роганов. Хабаровск: ФГУГПП «Хабаровскгеология», ФГУГПП «Дальгеофизика», 2004. 1 л.
14. *Горячев Н.А.* Геология и происхождение мезозойских золото-кварцевых жильных поясов Северо-Востока Азии. Автореф. дисс. ... докт. геол.-мин. наук. Владивосток: ДВГИ, 2000. 54 с.
15. *Козарко Л.Н.* Щелочной магматизм в ранней истории Земли // Петрология. 1998. Т. 6, № 3. С. 251–258.
16. *Кременецкий А.А., Минцер Э.Ф., Исламов Ф.И.* Эволюция рудно-магматических систем – основа прогноза, поисков и оценки золото-редкометалльных месторождений // Разведка и охрана недр. 1996. № 8. С. 29–34.
17. *Кузнецов Н.Б., Соболев А.А., Удоратина О.В. и др.* Доуральская тектоническая эволюция северо-восточного и восточного обрамления Восточно-Европейской платформы. Часть 1. Протоуралиты, тиманиды и доордовикские гранитоидные вулканно-плутонические ассоциации севера Урала и Тимано-Печорского региона // Литосфера. 2006. № 4. С. 3–22.
18. *Лазарев Ф.Д., Ромашко В.В., Мельников П.В.* Аэрогамма-спектрометрические исследования как метод изучения радиоактивности поверхности и его практическая реализация // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: мат-лы III междунар. конф. Томск: СТТ, 2009. С. 306–311.
19. *Малышев Ю.Ф., Горнов П.Ю., Корсаков Л.П. и др.* Литосфера области сочленения Тихоокеанского и Центрально-Азиатского складчатых поясов // Тектоника и геофизика литосферы: мат-лы XXXV Тектон. совещ. Т. 1. М.: ГЕОС, 2002. С. 325–328.
20. *Малышев Ю.Ф., Горошко М.В., Родионов С.В. и др.* 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.: ГЕОС, 2004. С. 423–430.
21. *Мартынюк М.В., Рямов С.А., Кондратьев В.А.* Объяснительная записка к схеме расчленения и корреляции магматических комплексов Хабаровского края и Амурской области: (Отчет по теме № 330 за 1987–1990 гг.). Хабаровск: МинГео СССР, 1990. 216 с.
22. *Материки М.П.* Закономерности размещения и геолого-генетические группы оловянных месторождений СССР. М.: Недра, 1974. 144 с.
23. Металлогения и воспроизводство фонда недропользования // Методология и методы металлогенического анализа и прогноза рудных объектов – состояние и перспективы применения для воспроизводства фонда недропользования: тез. докл. Всерос. совещ. М.: ЦНИГРИ. 2000. 154 с.
24. *Моисеенко В.Г., Эйриш Л.В.* Золоторудные месторождения Востока России. Владивосток: Дальнаука, 1996. 352 с.

25. 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.
26. Пискунов Б.Н. Геолого-петрологическая специфика вулканизма островных дуг. М.: Наука, 1987. 238 с.
27. Планета Земля. Энциклопедический справочник. Т. 1: Тектоника и геодинамика / Под ред. Л.И. Красного, О.В. Петрова, Б.А. Блюмана. СПб.: ВСЕГЕИ, 2004. 652 с.
28. Родионов С.М. Металлогения олова Востока России. М.: Наука, 2005. 327 с.
29. Розен О.М., Федоровский В.С. Коллизионные гранитоиды и расслоение земной коры. М.: Научный мир, 2001. 187 с.
30. Романовский Н.П. Петрофизика гранитоидных рудно-магматических систем Тихоокеанского пояса. М.: Наука, 1987. 192 с.
31. Российский металлогенический словарь. СПб.: ВСЕГЕИ, 2003. 320 с.
32. Рябчиков И.Д. Состав верхней мантии Земли // Геохимия. 1997. № 5. С. 467–478.
33. Смыслов А.А. Уран и торий в земной коре. Л.: Недра, 1974. 231 с.
34. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В.С. Королюк, Н.И. Портенко, А.В. Скороход, А.Ф. Турбин. М.: Наука, 1985. 640 с.
35. Строна П.А. Главные типы рудных формаций. Л.: Недра, 1978. 199 с.
36. Тектоника, глубинное строение, металлогения области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов. Объяснительная записка к Тектонической карте масштаба 1 : 1 500 000. Владивосток–Хабаровск: ДВО РАН, 2005. 264 с.
37. 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.
38. Хаин В.Е. Глобальная геодинамика на пороге нового века // Геотектоника. 2002. № 4. С. 3–13.
39. Цыганков А.А., Матуков Д.И., Бережная Н.Г. и др. Источники магм и этапы становления позднепалеозойских гранитоидов Западного Забайкалья // Геология и геофизика. 2007. Т. 48, № 1. С. 156–180.
40. Эйриш Л.В. Металлогения золота Приамурья. Владивосток: Дальнаука, 2002. 194 с.
41. Ярмолюк 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.
42. Chappell B.W., White A.J.R. Two contrasting granite types // Pacific Geology. Tokai: University Press. Tokyo, Japan, 1974. V. 8. P. 173–174.
43. Chappell B.W., White A.J.R. I- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt // Earth Sciences. Transactions of the Royal Society of Edinburgh, 1992. V. 83. P. 1–26.
44. Chauvel C., Hoffman A.W. and Vidal Ph. HIMU-EM the French Polynesian connection // Earth Planet. Sci. Lett. 1992. V. 110. P. 99–119.
45. Geological Map of the Amur Region and adjacent Areas: 1 : 2 500 000: Brief Explanatory Note / L.I. Krasnyi, A.S. Volskii, Peng Yunblao et al. MPR of Russia; VSEGEI; AMUR KPR; Ministry of Geology and mineral Resources of People's republic of China; Bureau of Geology and mineral resources of Heilongjiang Province. Sankt-Peterburg–Blagoveshchensk–Harbin, 1999. 27 p.
46. Hoffman A.W. Mantle geochemistry the message from oceanic volcanism // Nature. 1997. V. 385, № 16. P. 219–229.
47. Tectonic map of the Central Asian–Pacific belts Junction Area. S. 1 : 1 500 000 / Compiled by Karsakov L.P., Zhao Chunjing et al. RAS FEB Yu. A. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics; China Geological Survey; Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources. Khabarovsk–Shenyang, 2001. 6 sh.
48. Weaver B.L. The origin of ocean island basalt end-member compositions: trace element and isotopic constraints // Earth Planet. Sci. Lett. 1991. V. 104. P. 381–397.
49. White A.I.R., Chappel B.W., Cleary J.R. Geologic setting and emplacement of some australian paleosoic batoliths and implications for intrusive mechanisms // Pacific Geology. Tokai: University Press. Tokyo, Japan, 1974. V. 8. P. 159–171.
50. Wilson M, Paterson 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. Spec. Paper. 2001. V. 352. P. 37–58.
51. Woodhead I.D., Mc Culloch M.T. Ancient seafloor signals in Pitcairn Island lavas and evidence for large amplitude, small length-scale mantle heterogeneities // Earth Planet. Sci. Lett. 1989. V. 94. P. 257–273.

Рецензент Н.А. Горячев

Trends of radioactive element ratios and the nature of the magmatogenic deposits of Priamurye

T. V. Volodkova

Institute of Tectonics and Geophysics, Far Eastern Branch of RAS

The Far East area of Russia is notable for immense-scale Mesozoic-Cenozoic magmatism concentrated mainly in plutonic and volcanic belts with broad variations in its composition, genetic and structural features. The study of origin of Mesozoic-Cenozoic magmatic complexes (MC) and their relationship with geodynamic environments has special significance because gold and tin deposits characteristic of the Far East are genetically and paragenetically related to these complexes. The conventional and non-conventional ore type deposits are referred to here, with growing interest for the latter. A large-scale airborne geophysical survey (aeromagnetic survey, aerogamma spectrometry) can be used not only for mapping of magmatic rocks but also for defining the origin of magmatism and its relationship with ore content and geodynamic environments. To solve the issues touched upon the technique of natural radioactive element (NRE) ratios was used by the author. The paper analyzes statistical correlation dependences which have been revealed.

Key words: aerogeophysical survey, natural radioactive element (NRE) ratios, ore fields, ore formations, gold, tin, magmatic complexes, trends, clusters of mineralization type.