

АНОМАЛИИ ТРЕНДОВ ОТНОШЕНИЙ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПРОФИЛЕ ДЖАЛИНДА–ТОММОТ

© 2016 г. Т. В. Володькова

Институт тектоники и геофизики ДВО РАН
680000, г. Хабаровск, ул. Ким-Ю-Чена, 65
E-mail: tat-volodkova@yandex.ru

Поступила в редакцию 10.03.2014 г.

Принята к печати 29.02.2016 г.

На юге Дальневосточного региона России с использованием большого количества статистических данных, подтвержденных математическими расчетами и многолетней полевой практикой, автором установлены принципы постоянства отношений естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ). Разработаны основы определения геодинамического типа магматических (МК) и структурно-вещественных (СВК) комплексов с использованием трендов отношений ЕРЭ (рудного типа и магматизма). На практике отмечается много аномальных случаев, не отвечающих заявленным принципам, необходимо выяснение причин их возникновения. Характеристики архейских комплексов региона при разработке принципов почти не использовались, поэтому они пока не являются универсальными и требуют доработки. С этой целью средние значения отношений ЕРЭ МК и СВК по эталонному профилю Джалинда–Томмот анализируются совместно с данными глубинного моделирования (сейсмо-гравитационного, на основе данных магнитотеллурического зондирования (МТЗ) и геотермических профилей). Особое внимание уделяется выделению ареалов концентрации МК и СВК с аномальными характеристиками отношений ЕРЭ, доказана их связь с аномалиями глубинного строения региона. Пониженные требования к точности метода и относительная простота обработки позволяют использовать фондовые материалы аэрогеофизической съемки прошлых лет масштаба 1 : 200 000–1 : 500 000 и упрощенные методы оценки средних характеристик отношений ЕРЭ.

Ключевые слова: *аэрогеофизика, содержания и отношения естественных радиоактивных элементов, структурно-вещественные комплексы, магматические комплексы, принцип постоянства отношений ЕРЭ, тренды рудных типов и магматизма.*

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы получены убедительные доказательства мантийного источника многих металлов и связи рудообразования с глубинным строением региона; на основе сейсмо-гравитационного, гравитационного глубинного моделирования, МТЗ, измерений теплового поля разработаны новые концепции, или плюм-модели [14, 22, 23].

Аэрогаммаспектрометрия (АГСМ) все чаще считается геохимическим методом, и данные АГСМ-съемки можно коррелировать с глубинными моделями региона. При этом используются средние значения отношений ЕРЭ, которые могут характеризовать МК и СВК, а также рудные поля площадью до 20–50 км². На основе статистической обработки этих материалов автором разработаны принципы постоянства отношений ЕРЭ, основы моделирования горячих точек (плюм-модели) и получены тренды рудных типов и магматизма. Эти новации позволили увязать результаты аэрогеофизики, изотопной геохимии и современные научные представления, они могут служить осно-

вой современного прогноза и подробно изложены ранее [7, 10, 14].

Принципы постоянства отношений ЕРЭ определены для СВК и МК в структурно-формационных зонах (СФЗ), ограниченных разломами, которые обычно хорошо выражены в геофизических полях и служат естественными границами рудных районов. Каждая СФЗ соответствует металлогенической зоне и отличается собственным небольшим набором типов рудных месторождений [24, 29, 34].

Неизменные вулканогенно-осадочные породы любой 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 его состава и глубинности характери-

зуются постоянством значений 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 из которых отличается постоянством величин отношений ЕРЭ магматических пород, вне зависимости от их состава. В Приамурье такие магматические породы выделяются по геолого-геофизическим данным в ареалах горячих точек [8, 14, 29] и Мая-Селемджинского плюма (рис. 1).

По опыту автора и согласно принципам постоянства отношений ЕРЭ, границы СФЗ часто значительно контрастнее выделяются по картам отношений ЕРЭ, чем по магнитному или гравитационному полю. Это отчасти подтверждается результатами радиогеохимического районирования в статье НПП «Аэрогеофизика» по Полярному Уралу [18]. Тем не менее в практику аэрогеофизических работ принципы постоянства отношений ЕРЭ до сих пор не вошли: четкое выделение границ СФЗ по характеристикам отношений ЕРЭ отмечается в Приамурье только в регионах с относительно простым геологическим строением. Любые наложенные процессы усложняют районирование; аномалиями отношений ЕРЭ картируются не только вторично измененные породы, но и комплексы (МК, СВК) более поздних фаз тектогенеза (например, внутриплитные). Большие погрешности создают также интенсивные экзогенные процессы; на участках развития не только физического, но и химического выветривания основы метода пока не разработаны.

В Приамурье выделяются две ведущие ассоциации магматогенных месторождений – золото-редкометалльная и олово-полиметаллическая, включающие весь набор преобладающих на территории рудных типов [12, 24, 38]. Эти рудные ассоциации типичны для вулканических и орогенных поясов [11, 12–14, 39, 40].

Тренды рудных типов построены на основе статистических и фондовых данных по рудным полям магматогенных месторождений в мезозойско-кайнозойских вулкано-плутонических поясах [10, 12, 34]. Тренды магматизма описывают распреде-

ления средних характеристик магматических комплексов в этих структурах. Магматогенные месторождения генетически либо парагенетически связаны с магматическими источниками – не удивительно, что тренды рудных типов и магматизма совпадают. Использование этих трендов на региональном этапе исследований позволяет выделять ареалы (рудные районы, узлы) определенных рудных типов в структурно-формационных зонах (СФЗ). Отдельные примеры подтверждают, что тренды магматизма могут характеризовать также осадочно-вулканогенные и многие метаморфические СВК.

Среднее значение уран-калиевого отношения МК играет роль геодинамического критерия: для образований субдукционного I-этапа характерны значения $U/K \geq 1.50$, для коллизионного S-этапа – $1.0 \leq U/K \leq 1.5$, для анорогенного A(M)-этапа – $U/K \leq 1.0$. Тренд U/K-критерия в пределах от 0.3 до 2.5 и более типичен для золотосодержащих руд, связанных с мантийными источниками; для месторождений олова, коровых либо корово-мантийных U/K-критерий близок к константе. Все изложенные заключения фактически подкреплены статистическими данными в основном по относительно молодым тектоническим структурам (мезозойско-кайнозойским вулкано-плутоническим поясам, СВК и МК в их пределах). Недостаток статистических данных по древним комплексам, а также значительное количество СВК и МК с аномальными характеристиками не позволяет признать тренды отношений ЕРЭ и принципы постоянства отношений ЕРЭ универсальными. Для решения указанных вопросов необходимо изучать дополнительно статистические данные по характеристикам древних, рифейских и дорифейских СВК и МК.

Тренды рудных типов позволяют выделить только потенциально перспективные площади: они основаны на выборках, в которые входили как месторождения, так и точки минерализации. Для более достоверного прогноза крупных рудных объектов в статье анализируются геофизические характеристики крупных месторождений и рудных узлов на региональном профиле Джалинда–Томмот, пересекающем основные тектонические структуры Дальневосточного региона России, сложенные древнейшими комплексами. Работа логически продолжает предыдущую статью автора [10].

Цель и задачи работы: попытка доказательства универсальности принципов отношений ЕРЭ и тренда рудных типов и магматизма для Дальневосточного региона России, а также связи аномалий отношений ЕРЭ с особенностями глубинного строения региона и с крупными рудными объектами.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

В число основных тектонических структур региона входят Центрально-Азиатский складчатый

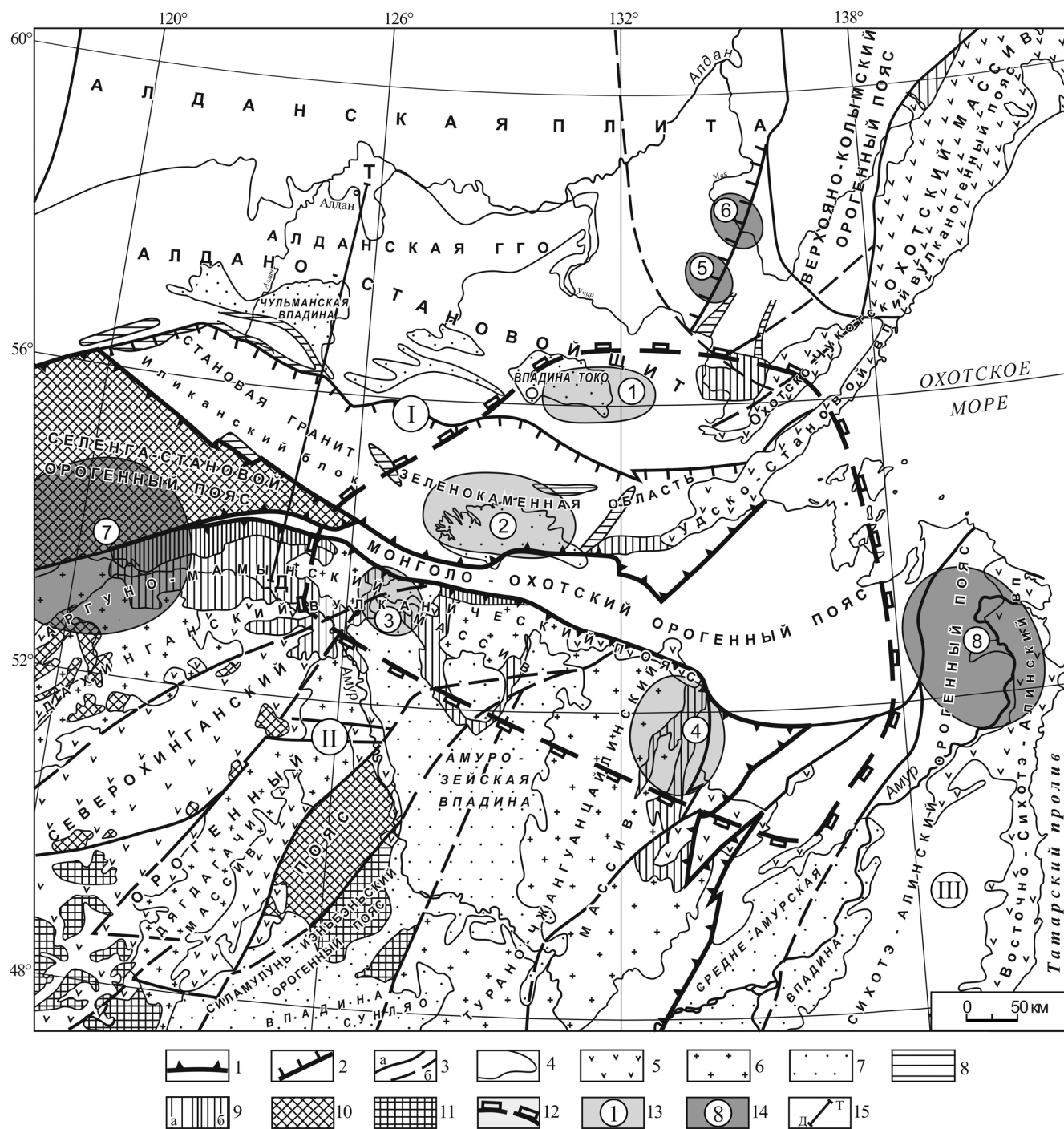


Рис. 1. Литосферные блоки сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов (по материалам [40, 47]).

1 – границы крупных тектонических подразделений (выделены только основные в контексте статьи структурные элементы – римские цифры в кружках): I – Сибирская платформа (Алдано-Становой щит), II – Центрально-Азиатский тектонический пояс, III – Тихоокеанский тектонический пояс (Сихотэ-Алинский орогенный пояс); 2 – глубинные разломы, границы крупных блоков; 3 – основные системы разломов: а – установленные, б – предполагаемые; 4 – границы структур; 5 – вулканические пояса; 6 – выходы фундамента массивов (микроконтинентов); 7 – мезозойско-кайнозойские осадочные впадины; 8 – зеленокаменные пояса; 9 – трогг окраин: а – палеозойские, б – мезозойские; 10 – раннепалеозойские (каледонские) орогенные пояса; 11 – позднепалеозойские (герцинские) орогенные пояса; 12 – проекция на поверхность мантийного среза плюма (литосферный Мая-Селемджинский блок); горячие точки (арабские цифры в кружках): 13 – современные: 1 – Токинская, 2 – Верхне-Зейская, 3 – Зейская, 4 – Верхне-Буреинская; 14 – остывшие: 5 – Кондер; 6 – Ингили (?); 7 – Верхне-Амурская, 8 – Нижне-Амурская; 15 – профиль Джалинда-Томмот.

Fig. 1. The lithosphere blocks of the Central Asian and Pacific belt junction ([40, 47]).

1 – boundaries of major tectonic units (Roman figures in the circles): I – Siberian Platform (Aldan-Stanovoy Shield), II – Central Asian tectonic belt, III – Pacific tectonic belt (Sikhote-Alin orogenic belt); 2 – deep faults, boundaries between major blocks; 3 – main fault systems: a – ascertained, b – supposed; 4 – boundaries of the structures; 5 – volcanic belts; 6 – exposures of massifs basement (microcontinents); 7 – Mesozoic-Cenozoic sedimentary basins; 8 – greenstone belts; 9 – marginal troughs: a – Paleozoic, b – Mesozoic; 10 – Early Paleozoic (Caledonian) orogenic belts; 11 – Late Paleozoic (Hercynian) orogenic belts; 12 – projection of the mantle plume cross-section onto the surface (Maya-Selemdzha lithospheric block); hotspots (Arabic figures in the circles): 13 – contemporary: 1 – Toko, 2 – Upper Zeya, 3 – Zeya, 4 – Upper Bureya; 14 – former (cool): 5 – Konder; 6 – Ingili (?); 7 – Upper Amur, 8 – Lower Amur; 15 – profile Dzhailinda–Tommot.

пояс (ЦАСП), Алдано-Становой щит, Тихоокеанский складчатый пояс (ТСП), фрагментами которого являются Сихотэ-Алинский позднемезозойский и частично Монголо-Охотский палеозойско-мезозойский орогенные пояса [14, 40, 46, 47]. В статье рассматриваются закономерности распределения комплекса геофизических характеристик по опорному субмеридиональному профилю Джалинда–Томмот, пересекающему фрагменты этих основных структур (см. рис. 1), кратко охарактеризованных в предыдущей статье автора [10].

На профиле Джалинда–Томмот длиной около 620 км с использованием комплекса геофизических методов (гравиметрии, сейсмометрии ГСЗ, МОВЗ, магнитотеллурического зондирования, результатов измерения теплового потока) построены глубинные модели [14, 16, 30]. Они позволяют оценить строение земной коры и литосферы до 100–180 км, а иногда – до 300 км и более [14–16, 30, 43]. По тому же профилю на основе ретроматериалов АГСМ-съемки масштаба 1 : 200 000–1 : 500 000 (Г.Б. Соломатин, 1994 г., ПГО “Таежгеология”) автором построены графики значений отношений ЕРЭ и их градиентов.

Совместный анализ этих данных уточняет характер связи трендов средних характеристик отношений СВК и МК с глубинными источниками.

Крупным научным достижением явилось выделение в Приамурье (преимущественно по геофизическим данным) Мая-Селемджинского плюма и сопряженных с ним ареалов горячих точек. Горячие точки – литосферные локальные структуры с глубиной заложения порядка 100–700 км и диаметром до первых сотен км. Ареалы их на поверхности отображаются изометричными областями концентрации внутриплитного магматизма [14, 22, 23, 29, 47]. Золотоносные площади ассоциируются с ареалами горячих точек, среди которых по комплексу геолого-геофизических признаков выделяются активные современные и неактивные, практически завершившие развитие [14, 22]. При изучении особенностей глубинного строения Приамурья ранее внимание исследователей было сконцентрировано на выделении протяженных валообразных и субизометричных поднятий базальтового слоя и границы Мохо (часто описывались как мантийные валы и мантийные диапиры), а также инверсий или участков аномального распределения скоро-

стей в земной коре. Такие структуры формируются в зонах глубинных разломов в процессе тектономагматической активизации и могут отражать интенсивность плюмового магматизма [2, 14, 29, 31, 32, 39, 40]. Сегодня ясно, что магматизм и рудообразование определяются поведением не только слоев земной коры и границы Мохо, но и более глубинных границ (кровли, подошвы астеносферного слоя).

Методические требования к проведению крупномасштабных аэрогеофизических работ в подробностях изложены в [10], там же сделано заключение об особой эффективности использования для решения геолого-геофизических задач средних характеристик отношений ЕРЭ МК и СВК, рассчитанных по материалам ретросъемок.

Ретросъемки имеют невысокую точность, но в связи с массовостью вполне пригодны для научных обобщений, разработки новых принципов интерпретации, поисков и прогноза полезных ископаемых. Решение этих задач важно, так как прежде интерпретация аэрогеофизических материалов эффективно использовалась преимущественно для целей геокартирования. С учетом допустимых погрешностей сегодня вполне применимы результаты аэрогаммаспектрометрических работ с аппаратурой 2–5-го поколения [3–5]. На территории Приамурья преобладают съемки с использованием аппаратуры 3-го поколения СКАТ-77, СТК-11, при этом среднеквадратическая погрешность измерения содержаний ЕРЭ составляет: по урану – $(0.1–0.15)10^{-4}\%$, торию – $(0.55–0.65)10^{-4}\%$, калию – $(0.05–0.10)\%$. Величины отношений ЕРЭ даются в условных единицах, при этом опускается коэффициент размерности величин, который составляет: для $U/Th + 1$, для $K/Th + 10^{+4}$, для $U/K + 10^{-4}$. Главное достоинство использования характеристик отношений ЕРЭ заключается в полной соизмеримости результатов наземных массовых геохимических и воздушных съемок, что доказано статистическими расчетами по авторским стандартным методикам [10]. В экспериментальных целях (проверка возможности и эффективности применения) по профилю Джалинда–Томмот построены значения градиентов отношений ЕРЭ, которые также анализируются совместно с результатами глубинного моделирования (рассчитаны в Δn ед/км, где Δn – приращение величины отношений ЕРЭ).

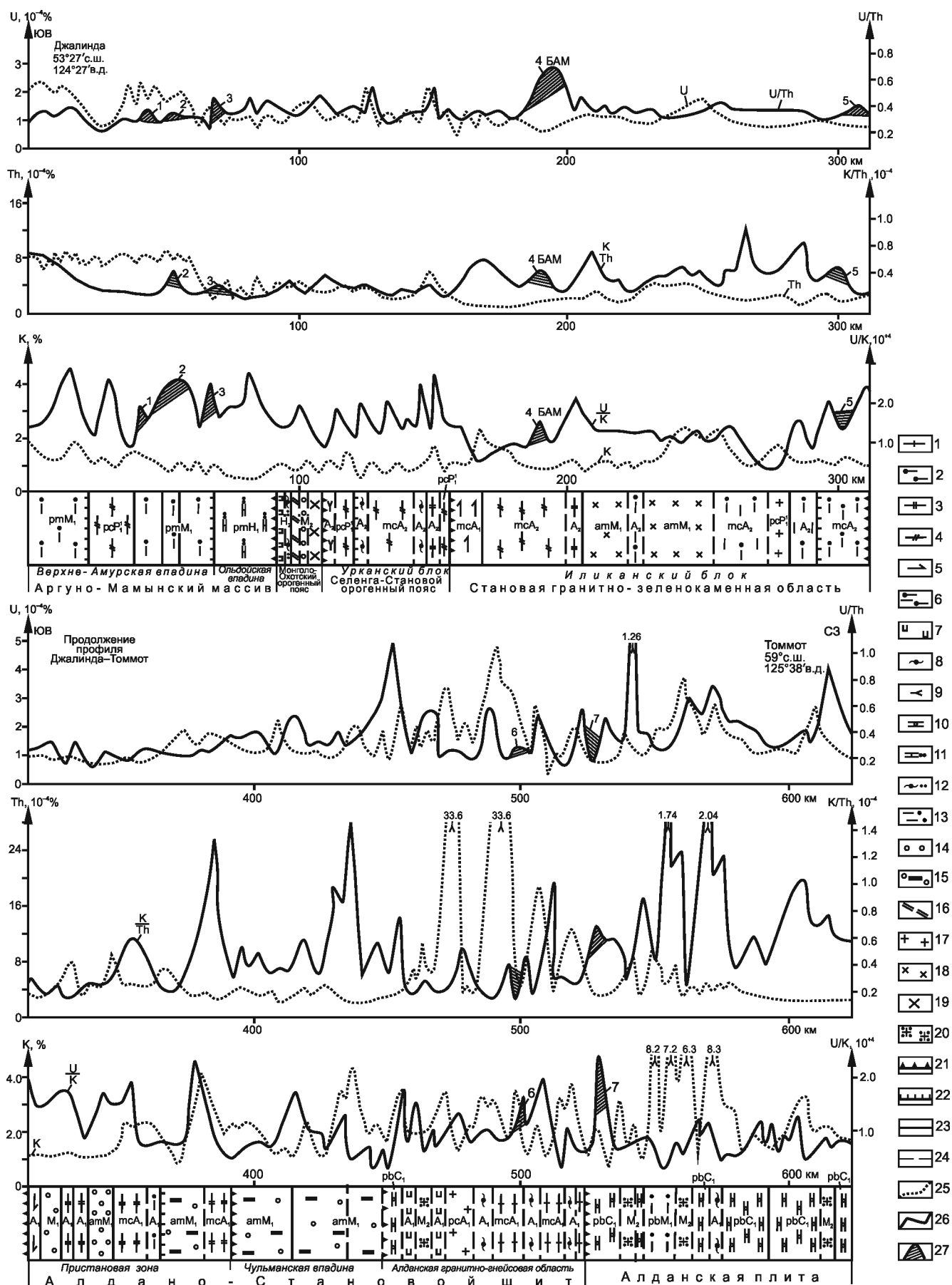


Рис. 2. Геолого-геофизические характеристики профиля Джалинда–Томмот. Составлен Т.В. Володьковой с использованием карт содержаний ЕРЭ (Г.Б. Соломатин, 1994 г., ПГО “Тажгеология”) и геологических материалов [40, 47].

Архейские СВК: 1 – эндербиты-чарнокиты; 2 – кварцито-гнейсы; 3 – гранито-гнейсы; 4 – гнейсо-граниты; 5 – гиперстеновые гнейсы, кристаллосланцы; 6 – биотит-горнблендитовые кристаллосланцы, гнейсы; 7 – габбро-амфиболиты; 8 – мрамор-двупироксеновые гнейсы; 9 – диоритовые гнейсы. Пострифейские СВК: 10 – доломиты; 11 – карбонатно-терригенные; 12 – метавулканогенно-силикатно-терригенные; 13 – терригенные; 14 – моласса; 15 – моласса углесодержащая; 16 – флиш. Магматические комплексы: 17 – высокоглиноземистые граниты; 18 – диориты-гранодиориты; 19 – диориты-гранодиориты ильменитовых серий; 20 – граниты-граносиениты, монзонито-сиениты, сиениты. Границы раздела: 21 – основные глубинные разломы, 22 – глубинные разломы, 23 – прочие разломы, 24 – стратиграфические контакты. Графики: 25 – содержаний ЕРЭ, 26 – отношений ЕРЭ, 27 – техногенные аномалии, связанные с железными (например, зона БАМ) и автомобильными дорогами, населенными пунктами.

Fig. 2. Geological and geophysical characteristics of the profile Dzhalingda–Tommot. Compiled by T.V. Volod'kova using maps of naturale radioactive elemente (NRE) content (G.B. Solomatin, 1994, Production Geological Enterprise (PGE) “Taezhgeologiya”) and geological materials by [40, 47].

Archean structural-substantial complexes (SSCs): 1 – enderbites-charnokites; 2 – quartzite-gneisses; 3 – granite-gneisses; 4 – gneiss-granites; 5 – hyperstene gneisses, crystalline schists; 6 – biotite-hornblende crystalline schists, gneisses; 7 – gabbro-amphibolites; 8 – marble-double pyroxene gneisses; 9 – diorite gneisses. Post-Riphean SSCs: 10 – dolomite; 11 – carbonate-terrigenous; 12 – metavolcanogenic-silicate-terrigenous; 13 – terrigenous; 14 – molass; 15 – coal-bearing molass; 16 – flysch. Magmatic complexes (MCs): 17 – high aluminous granites; 18 – diorites-granodiorites; 19 – ilmenite-series diorites-granodiorites; 20 – granites-granosienites, monzonite-sienites, sienites. Interfaces: 21 – main deep faults, 22 – deep faults, 23 – other faults, 24 – stratigraphic contacts. Plots: 25 – NRE content, 26 – NRE ratio, 27 – technogeneious anomalies.

С 2000 г. введена в эксплуатацию аппаратура 4-го поколения КАС, для которой точность и детальность измерений радиоактивных аномалий ЕРЭ на земле и в воздухе почти совпадают [21]. НПП “Аэрогеофизика” использует значительно более точную аппаратуру 5-го поколения. Декларированная точность таких съемок по магнитному полю существенно выше, чем у аппаратуры СКАТ-77, и составляет 0.11–0.13 нТл (у аппаратуры СКАТ-77 – 3–5 нТл), но для величин содержаний ЕРЭ расхождение точности съемок 3-го и 5-го поколения по техническим причинам относительно невелико [5, 18].

Процессы магмогенеза и рудогенеза изучались с использованием модификации кластерного анализа: достаточно, чтобы кластеры отличались по средним характеристикам отношений ЕРЭ не менее чем на величину доверительного интервала ($\pm 2\sigma$, где σ – среднеквадратическая погрешность): $U/Th = 0.1$, $K/Th = 0.1$, $U/K = 0.25$. Такие величины резко понижают требования к допустимой суммарной точности измерения отношений ЕРЭ (на основе расчетов – до 25–30%). Общая погрешность измерения отношений ЕРЭ иногда может достигать 40–50%, чего все же достаточно для уверенного картирования гидротермально-метасоматически измененных пород (со степенью изменения или количеством новообразованных минералов $\geq 20\%$) и решения геологических задач.

Все магматические и структурно-вещественные комплексы (МК и СВК) ранее характеризовались средними значениями, рассчитанными по авторской методике. На профиле Джалинда–Томмот (см. рис. 1, 2) они описываются среднеаномальными значениями отношений ЕРЭ или средними значениями, определенными по нескольким аномальным точкам (перегиба кривой). При этом предпола-

гается, что точки перегиба в пределах любой аномалии отношений ЕРЭ, соответствующей СВК или МК, распределены субравномерно. Известно, что математическое ожидание дискретного равномерного распределения равно среднему арифметическому суммы аномальных значений. Авторская стандартная методика статистических расчетов средних значений отношений ЕРЭ практически использует эффект только неизменных пород; методика определения среднего по точкам перегиба, напротив, максимально увеличивает вклад вторичных изменений.

Для слабоизмененных комплексов средние значения, определенные по точкам перегиба (или средние аномальные), вполне соизмеримы со средними статистическими величинами отношений ЕРЭ. Из расчетов характеристик содержаний и отношений ЕРЭ некоторых СВК и МК на профиле Джалинда–Томмот следует, что расхождения между средними и среднеаномальными значениями обычно менее величины доверительного интервала $\pm 2\sigma$. Значительные расхождения отмечаются только для комплексов, с которыми связаны интенсивные аномалии отношений ЕРЭ (табл. 1).

Таким образом, в большинстве случаев можно использовать среднеаномальные значения для полноценного анализа соответствующих среднестатистических параметров.

АНАЛИЗ ТРЕНДОВ РУДНЫХ ТИПОВ И МАГМАТИЗМА

Подробности методики построения трендов рудных типов и магматизма изложены в [10]. Каждый рудный тип характеризуется кластером с конкретными средними значениями отношений ЕРЭ.

Таблица 1. Сопоставимость средних и среднеаномальных значений содержаний и отношений ЕРЭ (профиль Джалинда-Томмот) [47]

Table 1. A comparison of mean and average anomalous values of NRE contents and ratios (profile Dzhailinda-Tommot) [47]

Состав МК, СВК	Индекс. Объем выбор- ки	Среднеаномальные значения ЕРЭ					Средние значения ЕРЭ						
		Содержания ЕРЭ		Отношения ЕРЭ			Содержания ЕРЭ		Отношения ЕРЭ				
		U, 10 ⁻⁴ %	Th, 10 ⁻⁴ %	K, %	U/Th, ед.	K/Th, 10 ⁻⁴ , ед.	U, 10 ⁻⁴ %	Th, 10 ⁻⁴ %	K, %	U/Th, ед.	K/Th, 10 ⁻⁴ , ед.	U/K, 10 ⁻⁴ , ед.	
Аргуно-Мамынский массив													
Гнейсо-граниты (20-40) Терригенные (41-69) Карбонатно- терригенные (70-92)	<i>pcP</i> ₁ n = 57	1.63	7.8	1.07	0.20	0.20	1.23	1.85 (0.25-0.40)	7.5 (1.5-3.0)	1.17 (0.25-0.30)	0.26 (0.13-0.15)	0.19 (0.08-0.1)	1.13 (0.25-0.30)
	<i>pmM</i> ₁ n = 129	1.9	8.0	1.0	0.23	0.20	1.42	1.9 (0.35-0.40)	4.6 (2.0)	1.13 (0.45)	0.31 (0.13)	0.17 (0.08-0.15)	1.43 (0.3-0.35)
	<i>pmH</i> ₁ n = 113	0.8	4.0	0.55	0.31	0.16	1.55	1.03 (0.20)	4.0 (1.2-1.8)	0.68 (0.25-0.35)	0.30 (0.07-0.11)	0.19 (0.1-0.11)	1.5 (0.30-0.45)
Монголо-Охотский складчатый пояс. Джалиндинский массив и Стрелкинская впадина													
Диориты, граноди- ориты. Моласса (98.0-112.0)	<i>amM</i> ₂ <i>amM</i> ₂ n = 87	1.37	3.4	1.02	0.36	0.24	1.37	1.4 (0.85- 0.90)0.5	2.5 (1.4)	1.10 (0.35)	0.27 (0.2)	0.33 (0.12-0.14)	1.1 (0.35-0.40)
											0.5	0.12	0.35
Становая гранитно-зеленокаменная область. Иликанский блок													
Гиперстеновые кри- сталлические слан- цы (163.0-174.0) Гнейсо-граниты (174.0-200.0) Диориты, гранодио- риты (215.0-228.0) Диориты, гранодио- риты (237.0-258.0) Высокоглиноземи- стые граниты (277.0-292.0) Кварцито-гнейсы (303.0-327.0)	<i>msA</i> ₁ n = 79	1.1	2.0	1.63	0.24	0.32	0.88	1.13 (0.3)	3.5 (1.2-1.5)	0.75 (0.4-0.5)	0.34 (0.19)	0.30 (0.300.34)	0.9 (0.35)
	<i>msA</i> ₁ n = 118	0.93	2.10	1.05- 1.67	0.31	0.28	0.78- 1.45	0.83 (0.45)	2.85 (0.9-1.5)	1.13 (0.4)	0.34 (0.18)	0.44 (0.27)	0.63 (0.45)
	<i>amM</i> ₂ n = 73	1.0	2.8	1.05	0.31	0.32	1.35	1.05 (0.4)	3.7 (1.0-1.5)	1.05 (0.37-0.4)	0.30 (0.1-0.14)	0.30 (0.13-0.17)	1.1 (0.3-0.45)
	<i>amM</i> ₂ n = 87	1.27	3.8	1.65	0.28	0.28	1.05	1.63 (0.6-0.45)	6.5 (1.2-2.2)	1.9 (0.4)	0.25 (0.2)	0.33 (0.14)	0.95 (0.35)
	<i>pcP</i> ₁ n = 100	1.05- 1.10	2.8-3.2	1.57-1.4	0.27- 0.28	0.45- 0.43	0.9-3 1.15	0.83 (0.25-0.40)	3.4 (2.0)	1.3 (0.38-0.4)	0.22 (0.08-0.12)	0.35 (0.09-0.1)	0.37 (0.30)
	<i>msA</i> ₂ n = 63	1.1	3.2	1.4	0.28	0.43	1.15	0.9 (0.30)	3.1 (0.8-2.0)	1.03 (0.3)	0.25 (0.12)	0.25 (0.1-0.12)	1.07 (0.27)
Чульманская впадина													
Угледержащие молаасы (366.0-383.0)	<i>amM</i> ₁ n = 52	0.92	6.7	1.40	0.25	0.24	1.53	1.17 (0.3-0.35)	4.6 (2.0-2.4)	1.05 (0.7)	0.20 (0.14-0.16)	0.15 (0.13-0.17)	0.63 (0.35-0.45)

Таблица 1. Окончание

Table 1. Ending

Состав МК, СВК	Индекс. Объем выборки	Среднеаномальные значения ЕРЭ				Средние значения ЕРЭ			
		Содержания ЕРЭ		Отношения ЕРЭ		Содержания ЕРЭ		Отношения ЕРЭ	
		U, 10 ⁻⁴ %	Th, 10 ⁻⁴ %	K, %	U/Th, ед.	K/Th, 10 ⁻⁴ , ед.	U/K, 10 ⁻⁴ , ед.	U/Th, ед.	K/Th, 10 ⁻⁴ , ед.
Алданский блок и Алданская плита									
Доломиты (419.0–439.0)	<i>pb</i> C ₁ n = 83	1.98	3.8	2.5	0.67	0.57	0.88	1.75 (0.5)	2.5 (1.4)
	<i>am</i> M ₂ n = 111	2.03	8.7	2.46	0.45	0.25	0.93–1.43	1.25 (0.85–1.0)	8.0 (4.0–8.0)
Гранито-граносиениты, сиениты (454.0–473.0)	<i>mc</i> A ₁ n = 108	1.58–4.1	13.1–20.6	1.8–3.0	0.38–0.43	0.20–0.44	0.95–1.58	2.25 (0.45–0.65)	10.0 (5.6–8.0)
	<i>mc</i> A ₁ n = 115	1.7	11.0	3.3	0.41	0.28	0.7	1.75 (0.6–0.75)	6.0 (6.0)
Граниты, граносиениты, монзониты, сиениты (536.0–565.0)	<i>am</i> M ₂ n = 93	1.6–3.43	3.7–7.0	2.4–4.1	0.61–0.66	0.92	0.5 (1.0–0.75)	2.25 (0.75)	4.0 (2.0–4.0)
									</

Характеристики трендов магматизма подтверждены множеством статистических примеров, в том числе по магматическим породам Курильской дуги, Дальневосточного региона, Забайкалья и Урала. В основу геодинамических классификаций положены классические примеры магматизма **I–S–A(М)-типа, характеризующие гранитоиды Австралии [33, 44].** Нормальные гранитоиды различного геодинамического типа, преобладающие в составе МК Приамурья, контрастно различаются по величине среднего уран-калиевого отношения, играющего роль геодинамического U/K-критерия. Среди этих пород можно выделить субдукционные и раннеколлизийные известково-щелочные гранитоиды **I-типа ($U/K \geq 1.50$)**, коллизийные гранитоиды S-типа ($U/K = 1.00–1.50$), а также внутриплитные континентальные (А-тип) и островодужные (М-тип). Гранитоиды А- и М-типа аналогичны по значению уран-калиевого критерия и формируются под воздействием мантийных процессов. Постколлизийные магматические породы А-типа характеризуются значениями $U/K = 0.75–1.00$, а для **внутриплитных пород** повышенной щелочности типичны значения $U/K \leq 0.75$. **С учетом принципа постоянства отношений ЕРЭ при расчетах U/K-критерия могут использоваться также характеристики вулканитов и интрузивных пород различной основности, нормальной и пониженной щелочности.**

Ввиду дефицита петрогеохимических исследований в Приамурье единой точки зрения на рудогенез месторождений золота и олова не существует [13, 19, 32, 39]. Основной причиной возникновения трендов магматизма и рудного типа являются вариации их геодинамической принадлежности; классификация рудных типов и характеристики МК Приамурья даны в [8, 10, 13, 24–26, 32, 38]. При работе с трендами установлено большое количество ареалов МК и СВК и рудных полей с аномальными значениями отношений ЕРЭ, которые относятся к поздним, наложенным фазам тектогенеза и характеризуют нетрадиционное оруденение.

В табл. 2 даны характеристики отношений ЕРЭ, положенные в основу сопоставлений и заключений о геодинамической природе трендов, а также СВК и МК с аномальными характеристиками.

Глубинные разломы являются основными каналами для подъема мантийных магм и ювенильных флюидов, которые влияют на средние характеристики отношений ЕРЭ магматических и структурно-вещественных комплексов. По данным моделирования, максимальная глубина заложения крупных разломов составляет до 90–100 км и более, глубина кровли астеносферы обычно не менее 120–180 км; следовательно, разломы не достигают астеносферы и имеют верхнемантийное заложение. Астеносферными плюмовыми процессами верхняя мантия подвергается переработке, но степень их

влияния на состав нижней литосферы пока оценить проблематично. Фактически тренды определяются только воздействием тектонических (литосферных), корово-мантийных и верхнемантийных процессов. Плюмовые процессы имеют как минимум астеносферное заложение, поэтому тренды магматических комплексов и магматизма связаны с ними только парагенетически. В континентальной части Дальневосточного региона России преобладает деплетированная мантия, на основе которой формируются МК мантийной природы. Природа анорогенных источников (А-тип) обычно считается плюмовой; существуют расхождения во мнениях – относить ли к плюмовым производным субщелочные или только щелочные породы? Автор поддерживает мнение о том, что широко распространенные в Приамурье анорогенные субщелочные комплексы и даже ареалы максимальной интенсивности нормальной гранитизации связаны исключительно с влиянием специфических, возможно, чисто температурных плюмов [8, 13, 36].

Деплетированный тип верхней мантии отмечается также в зонах субдукции под Курильской дугой; поэтому для всего региона характерен общий тренд магматизма **I–A(М)-типа, причем образования А- и М-типа имеют очень близкие характеристики [9, 44].**

Вероятно, тренд магматизма **I–A(М)-типа в Дальневосточном регионе** представляет собой среднестатистическое распределение характеристик отношений ЕРЭ магматических комплексов, сформированных в процессе боуэновской кристаллизационной дифференциации под воздействием смешанных источников магматизма DM + EM I, DM + EM II, DM + HIMU. **Принципы формирования пород щелочного состава** намного сложнее (возможно влияние более глубинных источников, ювенильных флюидов и континентальной коры); в регионе такие комплексы отмечаются достаточно редко и обычно описываются аномальными значениями отношений ЕРЭ. Анализ характеристик трендов рудного типа и магматизма выявил в регионе многочисленные МК и СВК с аномальными характеристиками средних отношений ЕРЭ, не соответствующими тренду магматизма. Ниже даны наиболее вероятные объяснения причин их возникновения.

1. Тренд магматизма **I–A(М)-типа** достаточно близок к классическому распределению для нормальных гранитоидов Австралии; тем не менее у эталонных австралийских гранитоидов А-типа значение U/K-критерия завышено до 1.31 [33, 44]. В Забайкалье и на Дальнем Востоке многие анорогенные магматические комплексы описываются значениями $U/K < 1$, **но достаточно часто значениями $1 < U/K < 1.5$.** Все эти факты указывают на крайне непостоянный состав источников анорогенных гранитоидов. По-видимому, часть анорогенных МК, особенно высокой щелочности, форми-

Таблица 2. Значения средних отношений ЕРЭ магматических пород и слоев Земли [8, 9]**Table 2.** The values of mean NRE ratios for magmatic rocks and Earth layers [8, 9]

Наименование пород, слоев Земли и источников магматитов	Значения отношений ЕРЭ			Источник
	U/Th	K/Th, 10 ⁺⁴	U/K, 10 ⁻⁴	
Континентальная кора, СС	0.23	0.26	0.85	[28, 36]
Гранитно-метаморфический слой	0.25	0.20	1.28	[37]
Гранулитно-базитовый слой	0.33	0.50	0.66	[37]
Деплетированная мантия, DM	0.40	0.53	0.80	[36, 41]
Обогащенный источник, HIMU	0.24	0.13	1.92–2.5	[45]
Обогащенный источник, EM I	0.08	0.17	0.45	[48]
Обогащенный источник, EM II	0.49	0.49	1.00	[49]
Ультраосновные породы	0.37	1.87	0.20	[6]
Щелочные породы (ийолиты-мельтейгиты, нефелиновые сиениты и др.)	0.27–0.50	0.18–0.28	1.45–2.04	[6]
Гранитоиды нормальной щелочности, I-тип	0.25	0.14	1.73	[44]
Гранитоиды нормальной щелочности, S-тип	0.26	0.18	1.47	[44]
Гранитоиды нормальной щелочности, A-тип	0.21	0.16	1.31	[44]
Лейкограниты (Забайкалье), A-тип	0.12	0.16	0.76	[42]
Монцитониты (Забайкалье), A-тип	0.11	0.17	0.66	[42]
Кварцевые сиениты (Забайкалье), A-тип	0.16	0.08	0.16	[42]
Средние характеристики по островным дугам мира				
Толитовая серия, AWB	0.44	0.68	0.65	[28]
Известково-щелочная серия, AWB	0.43	0.76	0.56	[28]
Высококальцевая известково-щелочная серия, AWB	0.44	0.36	1.24	[28]
Породы кислого состава пониженной щелочности, западно-тихоокеанский M-тип (Курилы)	0.20	0.30	0.65	[35]

руется под суммарным влиянием мантийных и коровых источников. Весьма возможны также региональные вариации состава верхней мантии.

2. Не вполне ясно, как соотносятся анорогенные (внутриплитные А-типа) и мантийные (М-типа) источники, полностью совпадающие по уран-кальцевому критерию. Источники М-типа [33, 44] описаны как мантийные (не обязательно анорогенные). Классический М-источник впервые определен [9] по характеристикам **U/K-критерия островодужных вулканитов западно-тихоокеанского типа (Курил)**. На Курилах автором выделялись МК двух стадий (условно субдукционной и островодужной), их величины отношений ЕРЭ создают классический тренд **I–A(М)-типа**. Следует отметить, что авторский тренд **U/K-критерия вулканитов Курил [9]** прямо противоположен среднему по островным дугам мира (см. табл. 2), выделенному О.Н. Николаевой [28]. Возможная причина несоответствия – сложное тектоническое строение или наличие в системе Курил двух дуг – Большой и Малой. При погружении Тихоокеанской плиты в зоне субдукции вначале возникла Малая Курильская дуга с широким развитием магматических комплексов кислого состава, которая могла существенно влиять на состав магматических источников при становлении более поздней Большой Курильской дуги.

С учетом новых данных по геохимическому составу вулканитов еще более сложная стадийность вулканитов Курило-Камчатской дуги, с

выделением нескольких классов субдукционного магматизма, отмечается Г.П. Авдейко с соавторами [1], которые считают, что островные дуги Западно-Тихоокеанской области могут образовываться в различных геодинамических условиях и варьировать по составу вулканитов, причем они разработали несколько типичных моделей их формирования.

3. Характеристики отношений ЕРЭ обогащенных мантийных резервуаров HIMU–EM II–EM I аномальны по отношению к тренду золота, который описывается значением $K/Th = 0.31 = \text{const}$. Обогащенные мантийные источники по величинам отношений ЕРЭ значительно отличаются от среднестатистических характеристик тектоносферы или литосферы, что подчеркивает иную (как минимум астеносферную) природу плюмов. Аномалии отношений ЕРЭ могут быть двух типов: фигуративные точки существенно отклоняются от трендов магматизма либо они на двух графиках попадают в разные кластеры (рис. 3). Резервуары HIMU, EM II создают аномалию 1-го типа (не попадают ни в один из кластеров), резервуар EM I – **дает аномалию 2-го типа** (характеристики попадают в разные кластеры). Таким образом, тренды рудных типов и магматизма, а также СВК и МК с аномальными значениями отношений ЕРЭ определяются особенностями глубинного строения, для изучения которых эффективно использование комплекса глубинных геофизических методов.

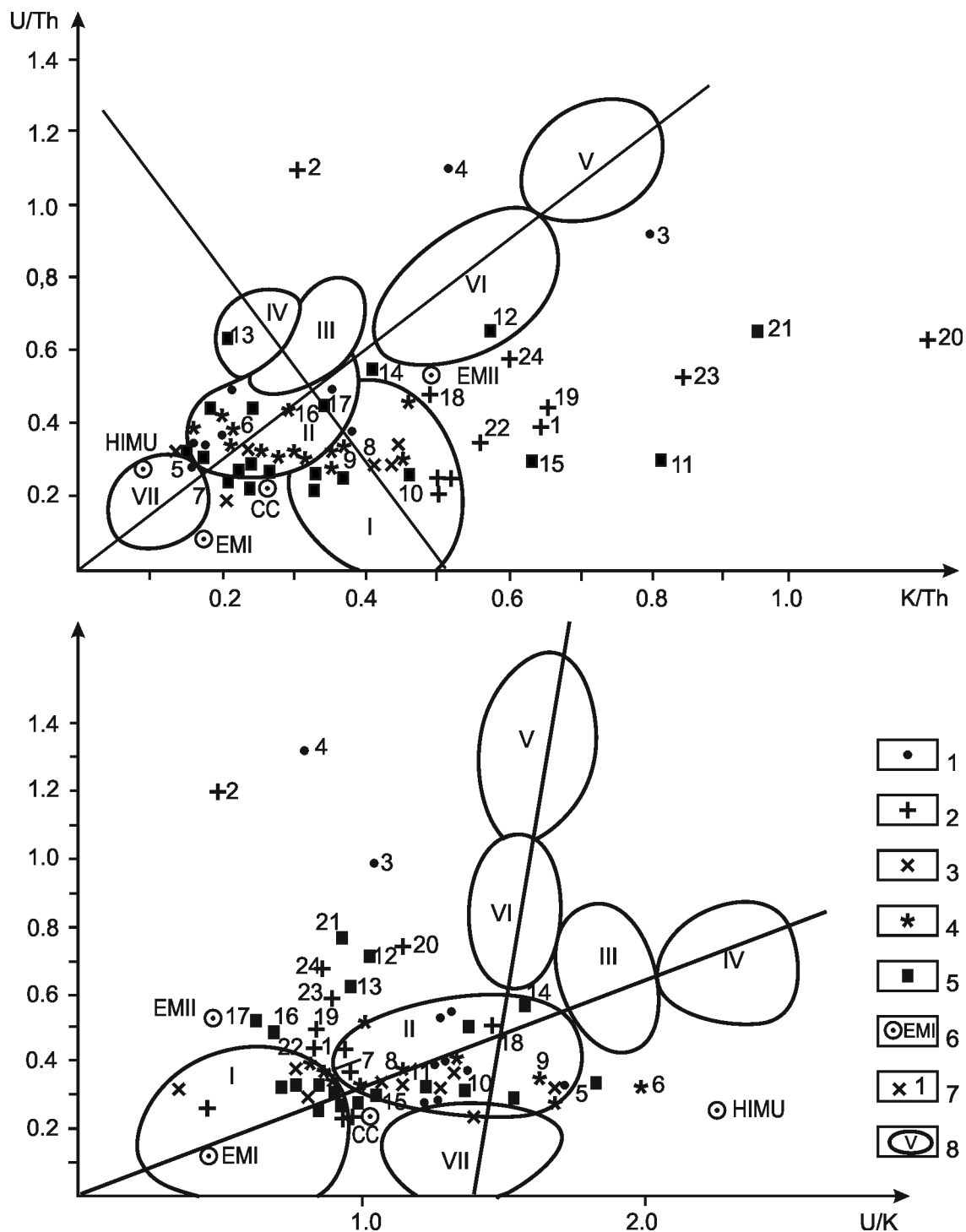


Рис. 3. Тренды значений отношений ЕРЭ древнейших магматических комплексов (с учетом [10]).

1–5 – характеристики СВК и МК различных этапов: 1 – ранне-позднегерцинского, 2 – каледонского, 3 – раннепротерозойского, 4 – позднеархейского, 5 – раннеархейского. Характеристики отношений ЕРЭ: 6 – мантийных резервуаров EM I, EM II, HIMU; континентальной коры (CC); 7 – аномальные точки и их номера; 8 – кластеры разных рудных типов и их номера.

Fig. 3. Trends of naturale radioactive elemente (NRE) ratio values in the most ancient magmatic complexes (take into account [10]).

1–5 – characteristics of SSCs and MC at different stages: 1 – Early-Late Hercynian, 2 – Caledonian, 3 – Early Proterozoic, 4 – Late Archean, 5 – Early Archean. Characteristics of NRE ratios : 6 – in the mantle reservoirs EM I, EM II, HIMU; of continental crust (CC); 7 – anomalous points and their numbers; 8 – clusters of different ore types and their numbers.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С юга на север субмеридиональный профиль Джалинда–Томмот (см. рис. 1, 2) пересекает Центральную-Азиатскую складчатую область (ЦАСП), Монголо-Охотский орогенный пояс, Селенга-Становой орогенный пояс, Становую гранит-зеленокаменную область, Холодниканский зеленокаменный пояс, Пристановую складчато-надвиговую область, Алдано-Становой щит [14, 20, 24, 30, 40, 43, 47]. Для построения кривых значений отношений и градиентов отношений ЕРЭ автором использованы результаты аэрогеофизической съемки масштаба 1 : 200 000 с аппаратурой СКАТ-77; масштаб отчетных карт 1 : 500 000. Анализируются среднеаномальные величины отношений ЕРЭ (табл. 3) метаморфических нижеархейских (mcA_1) и вышеархейских (mcA_2) комплексов, а также постколлизийные (pcP_1 , pcP_1^1), комплексы активных (amM_1 , amM_2) и пассивных (pmM_1) континентальных окраин, осадочных бассейнов платформ (pbC_1) и аккреционные (awH_2) комплексы [40, 47]. (Латинскими буквами в тексте, на рис. 2 и в табл. 1, 3 обозначены тектонические этапы с карты Л.П. Карсакова с соавторами [47], в том числе архейды A_1 , A_2 , каледониды C_1 , герциниды H_1 , H_2 , этапы магматической активности удоканский P_1^1 , яньшанские M_1 и M_2 , а также геодинамическая принадлежность различных комплексов: пассивных (pm) и активных (am) окраин, постколлизийных (pc) и аккреционных (aw) образований и метаморфических (mc) комплексов).

Для комплексного анализа данных табл. 3 используются двухмерные сейсмогравитационные и тепловые модели литосферы (на основе измерения гравитационного поля, МОВЗ и теплового потока по профилю Джалинда–Томмот), а также предварительные модели, построенные на основании данных ГСЗ и МТЗ [14–16, 30, 43].

На профиле Джалинда–Томмот абсолютное большинство аномалий отношений ЕРЭ связано с зонами глубинных разломов; стратиграфические контакты, как правило, аномалиями отношений ЕРЭ не выделяются (см. рис. 2). В зонах глубинных разломов преобладают минимумы, реже отмечаются максимумы отношений ЕРЭ. Вероятно, здесь развиты процессы катаклаза и милонитизации, сопровождающиеся выносом ЕРЭ, особенно легко мигрирующего урана (хотя могут быть и другие причины этого эффекта). Максимумы отношений ЕРЭ в зонах глубинных разломов фиксируют широко развитые зоны региональных изменений. С учетом данных глубинного моделирования подавляющее большинство глубинных разломов достигает верхов мантии (30–50 км), а иногда проникают в литосферу до глубин 90–120 км [14].

Тектонические блоки в табл. 3 сопоставимы с СФЗ; все аномальные характеристики значений от-

ношений ЕРЭ в них описывают комплексы более поздних (очень редко в зонах разломов – ранних) тектоно-магматических циклов. Когда аномалиями отношений ЕРЭ характеризуются магматические тела, они обычно относятся к эпохам постколлизийного и внутриплитного магматизма. Пласты небольшой горизонтальной мощности с аномальными характеристиками отношений ЕРЭ практически всегда примыкают к глубинным разломам и характеризуются экзотическим составом; например, так выражены пласты мрамор-двупироксеновых кристаллических сланцев, по-видимому претерпевшие в зонах разломов интенсивные площадные изменения. Таким образом, отмечаются два типа аномалий отношений ЕРЭ: непосредственно связанные с зонами глубинных разломов, значительно реже – с магматическими телами в зонах контактов.

Графики градиентов отношений ЕРЭ построены по методике конечных разностей; для анализа использован порог значимости $\pm 2\sigma$, где σ – среднеквадратическая погрешность значений отношений ЕРЭ (рис. 4). Порог значимости определяет абсолютную величину максимального превышения отношений ЕРЭ на расстояние 1 км; все значения выше порога значимости выделяются как аномалии градиента отношений ЕРЭ, прочие связываются с погрешностями измерений. Таким образом, аномальными считаются значения градиентов более 2σ (0.1 ед/км для $\Delta U/Th$, $\Delta K/Th$; 0.25 для $\Delta U/K$).

Подавляющая часть аномалий градиента отношений ЕРЭ связана с зонами разломов; как правило, они характеризуются двумя сопряженными (разного знака, но сопоставимыми по интенсивности и ширине) аномалиями градиентов отношений ЕРЭ. Расстояние между парой сопряженных аномалий характеризует ширину зоны (известно, что глубинные разломы могут иметь ширину до 10–20 км). Важный вывод: аномалии отношений, тем более градиентов отношений ЕРЭ, четко связаны с глубинными источниками; связь с ареалами поверхностных вторичных изменений практически отсутствует. Следует отметить, что часть аномалий отношений ЕРЭ, которые ранее ассоциировались с поверхностными (техногенными) процессами, по градиентам отношений ЕРЭ, также коррелируется с разломами глубокого заложения. Таким образом, метод градиентов отношений ЕРЭ представляется особо перспективным именно при изучении глубинных процессов, он контрастно подчеркивает даже нечеткие, небольшой интенсивности аномалии отношений ЕРЭ.

Как известно, весьма популярен сейчас метод видеотепловизионной генерализации Мухамедярова (МВТГМ) [17, 27]. Он основан на дистанционном зондировании Земли с космических и авиационных носителей и позволяет с использованием компьютерного моделирования изучать тепловые потоки, их плотности, основные направления

Таблица 3. Характеристики отношений ЕРЭ пород по профилю Джалинда–Томмот [40, 47]
Table 3. The NRE ratio characteristics for the rocks studied along the profile Dzhalinda–Tommot [40, 47]

Состав комплексов, тектонический индекс	Значения отношений ЕРЭ		Состав комплексов, тектонический индекс	Значения отношений ЕРЭ		
	U/Th	K/Th, 10 ⁻⁴ %		U/Th	K/Th, 10 ⁻⁴ %	
Аргуно-Мамынский массив. Верхне-Амурский прогиб. Ольдойский прогиб						
Терригенный, <i>rmM</i> ₁ Гнейсо-граниты, <i>psP</i> ₁	0.2–0.3**–0.16 (0.22)	0.50**–0.2* (0.35)	Гранито-гнейсы, <i>msA</i> ₁ Гранито-гнейсы, <i>msA</i> ₁ Молассы углесодержащие, <i>amM</i> ₁ Гранито-гнейсы, <i>msA</i> ₁ Кварцито-гнейсы, <i>msA</i> ₁ Молассы углесодержащие, <i>amM</i> ₁ Гранито-гнейсы, <i>msA</i> ₁ Молассы углесодержащие, <i>amM</i> ₁ Молассы углесодержащие, <i>amM</i> ₁	0.18*–0.32* (0.25)	0.16–0.18 (0.17)	1.75–1.8 (1.78)
	0.16–0.24–0.20 (0.20)	0.2 (0.2)		0.18*–0.32* (0.25)	0.14–0.24* (0.19)	0.9*–1.8* (1.35)
	0.20–0.26 (0.23)	0.18–0.22 (0.20)		1.15–2.15**–1.0* (1.43)	0.16*–0.26* (0.21)	0.25*–0.36* (0.31)
Терригенный, <i>rmM</i> ₁				0.24*–0.2**–0.28* (0.24)	0.3*–0.36**–0.60* (0.42)	1.5*–1.9**–0.85* (1.42)
Карбонатно-терригенный, <i>rmH</i> ₁	0.24*–0.38** (0.31)	0.18–0.22 (0.20)	Кварцито-гнейсы, <i>msA</i> ₁ Молассы углесодержащие, <i>amM</i> ₁ Гранито-гнейсы, <i>msA</i> ₁	0.26 (0.26)	0.22*–0.50* (0.36)	0.75–0.80 (0.78)
		0.14–0.18 (0.16)		0.22–0.26 (0.24)	0.2*–1.36* (0.78)	0.85–2.4* (1.63)
Монголо-Охотский складчатый пояс						
Габбро-амфиболиты, <i>avH</i> ₂ Метаулканогенно-силикатно-терригенный, <i>avH</i> ₂ Флиш, <i>rmM</i> ₁	0.23 (0.23)	0.17 (0.17)	Молассы углесодержащие, <i>amM</i> ₁ Молассы углесодержащие, <i>amM</i> ₁	0.24*–0.36* (0.30)	1.32**–0.32* (0.82)	1.05*–2.3* (1.68)
	0.26 (0.26)	0.18 (0.18)		0.24–0.36*–0.50* (0.37)	0.32*–0.50**–0.60* (0.47)	0.5–0.8**–1.75* (1.02)
Моласса, <i>amM</i> ₂	0.28 (0.28)	0.22 (0.22)	Молассы углесодержащие, <i>amM</i> ₁	0.32**–0.50**–0.58* (0.47)	0.36*–0.58**–1.52** (0.82)	0.3*–1.0**–1.35**–1.8* (1.11)
	0.3*–0.42** (0.36)	0.22 (0.22)				
Диориты, гранодиориты, <i>amM</i> ₂	0.3*–0.42** (0.36)	0.26 (0.26)				
Алдано-Становой щит. Алданский блок						
Доломиты, <i>pbC</i> ₁ Габбро-амфиболиты, <i>msA</i> ₁ Гранито-граносиениты, монзониты, сиениты, <i>amM</i> ₂ Габбро-амфиболиты, <i>msA</i> ₁	0.24*–1.1* (0.67)	0.36**–0.56*–0.78* (0.57)	Доломиты, <i>pbC</i> ₁ Габбро-амфиболиты, <i>msA</i> ₁ Гранито-граносиениты, монзониты, сиениты, <i>amM</i> ₂ Габбро-амфиболиты, <i>msA</i> ₁	0.26*–0.56* (0.41)	0.36**–0.56*–0.78* (0.57)	0.25–0.55–1.85* (0.88)
	0.26**–1.2–0.9*–(1.23)	0.22 (0.22)		0.26*–0.56**–0.24* (0.45)	0.2–0.26 (0.23)	0.85**–1.55**–1.9* (1.43)
Селенга-Становой орогенный пояс. Уркская зона	0.26–0.34 (0.30)	0.26–0.28 (0.27)	Габбро-амфиболиты, <i>msA</i> ₁ Высокоглиноземистые граниты, <i>psA</i> ₂ Мрамор-двуликсеновые кристаллические сланцы, <i>msA</i> ₂ Гнейсо-граниты, <i>psP</i> ₁ Мрамор-двуликсеновые кристаллические сланцы, <i>msA</i> ₂ Гнейсо-граниты, <i>psP</i> ₁ Мрамор-двуликсеновые кристаллические сланцы, <i>msA</i> ₂ Гранито-гнейсы, <i>msA</i> ₂ Гнейсо-граниты, <i>psP</i> ₁	0.22–0.28 (0.25)	0.22*–0.28**–0.24* (0.25)	0.7**–1.0*–1.55* (1.08)
	0.24–0.30 (0.27)	0.18–0.26 (0.22)		0.20–0.26 (0.23)	0.20*–0.22–0.52** (0.31)	1.0*–0.75**–1.05* (0.93)
Диоритовые гнейсы, <i>msA</i> ₂ Гнейсо-граниты, <i>psP</i> ₁	0.22–0.26–0.46* (0.34)	0.18–0.22 (0.20)	Габбро-амфиболиты, <i>msA</i> ₁ Высокоглиноземистые граниты, <i>psA</i> ₂ Мрамор-двуликсеновые кристаллические сланцы, <i>msA</i> ₂ Гнейсо-граниты, <i>psP</i> ₁ Мрамор-двуликсеновые кристаллические сланцы, <i>msA</i> ₂ Гнейсо-граниты, <i>psP</i> ₁ Мрамор-двуликсеновые кристаллические сланцы, <i>msA</i> ₂ Гранито-гнейсы, <i>msA</i> ₂ Гнейсо-граниты, <i>psP</i> ₁	0.28*–0.58** (0.43)	0.28*–0.28**–0.24* (0.25)	0.22*–0.28**–0.24* (0.25)
	0.18–0.24–0.42* (0.28)	0.14–0.2 (0.17)		0.24–0.26 (0.25)	0.2*–0.44** (0.32)	1.0*–0.75**–1.05* (0.93)
Мрамор-двуликсеновые кристаллические сланцы, <i>msA</i> ₂	0.28*–0.48* (0.38)	0.20 (0.20)	Мрамор-двуликсеновые кристаллические сланцы, <i>msA</i> ₂ Гнейсо-граниты, <i>psP</i> ₁ Мрамор-двуликсеновые кристаллические сланцы, <i>msA</i> ₂ Гранито-гнейсы, <i>msA</i> ₂ Гнейсо-граниты, <i>psP</i> ₁	0.24*–0.52** (0.38)	0.2*–0.48**–0.64* (0.44)	0.85**–1.05**–1.15*–2.0* (1.58)
	0.2–0.28 (0.24)	0.14–0.20 (0.17)		0.16**–0.34*–0.40* (0.30)	0.26*–0.58*–1.0** (0.61)	1.55*–2.0**–0.35* (1.30)
Гнейсо-граниты, <i>psP</i> ₁	0.20–0.28 (0.24)	0.12–0.16 (0.14)	Мрамор-двуликсеновые кристаллические сланцы, <i>msA</i> ₁	0.24*–0.58** (0.41)	0.28* (0.28)	0.35**–1.05**–0.7* (0.7)

Таблица 3. Окончание

Table 3. Ending

Состав комплексов, тектонический индекс	Значения отношений ЕРЭ		Состав комплексов, тектонический индекс	Значения отношений ЕРЭ	
	U/Th	K/Th, 10 ⁻⁴ %		U/Th	K/Th, 10 ⁻⁴ %
Становая гранитно-зеленокаменная область. Иликанский блок			Эндербиты-чарнокиты, <i>mcA₁</i>	0.36*-0.56** 0.4* (0.44)	0.26*-0.4* (0.33)
Гиперстеновые кристаллические сланцы, <i>mcA₁</i>	0.22-0.26 (0.24)	0.16*-0.40* (0.32)	Доломиты, <i>pbC₁</i>	0.56*-0.48** 0.32* (0.45)	0.30*-0.68** 0.32* (0.43)
Гнейсо-граниты, <i>mcA₂</i>	0.24-0.26 (0.25)	0.18*-0.22-0.44* (0.28)	Гранито-граносиениты, монцититы, сиениты, <i>amM₂</i>	0.34*-1.24** 0.4* (0.66)	0.32*-0.94* (0.63)
Гранито-гнейсы, <i>mcA₂</i>	0.30* (0.30)	0.24 (0.24)	Доломиты, <i>pbC₁</i>	0.42-0.40 (0.41)	0.65*-2.3** 0.7-0.8 (0.75)
Диориты, гранодиориты, <i>amM₂</i>	0.26-0.30-0.36** (0.31)	0.20*-0.30-0.46** (0.32)	Терригенные, <i>pbM₁</i>	0.38*-0.28** 0.54* (0.40)	0.60*-0.44** 1.72* (0.92)
Бiotит-горнблендитовые гнейсы, кристаллосланцы, <i>mcA₂</i>	0.26-0.30 (0.28)	0.18-0.20 (0.19)	Гранито-граносиениты, монцититы, сиениты, <i>amM₂</i>	0.56*-0.66** 0.60* (0.61)	1.22*-0.26** 0.42* (0.63)
Диориты, гранодиориты, <i>amM₂</i>	0.22-0.34* (0.28)	0.20*-0.36** (0.28)	Доломиты, <i>pbC₁</i>	0.56*-0.76* (0.66)	1.28*-2.0** 1.1* (1.46)
Бiotит-горнблендитовые гнейсы, кристаллосланцы, <i>mcA₂</i>	0.30-0.32 (0.31)	0.24*-0.36*-0.64** (0.42)	Мрамор-двушпироксеновые кристаллические сланцы, <i>mcA₁</i>	0.74*-0.52* (0.63)	1.08*-1.2** 0.72* (1.00)
Высокоглинозистые граниты, <i>pcP₁</i>	0.26-0.28 (0.27)	0.34*-0.56* (0.45)	Доломиты, <i>pbC₁</i>	0.48*-0.32** 0.30* (0.37)	0.62-0.60** 0.40* (0.54)
Бiotит-горнблендитовые гнейсы, кристаллосланцы, <i>mcA₂</i>	0.26-0.30 (0.28)	0.3*-0.56** (0.43)	Доломиты, <i>pbC₁</i>	0.36*-0.40** 0.70* (0.49)	0.66*-1.04** 0.70* (0.80)
Кварцито-гнейсы, <i>mcA₂</i>	0.24-0.26 (0.25)	0.20*-0.30 0.34* (0.28)	Гранито-граносиениты, монцититы, сиениты, <i>amM₂</i>	0.92*-0.62* (0.77)	0.70*-0.76** 0.60* (0.68)
Алдано-Становой щит. Пристановая область (Чульманская впадина)			Доломиты, <i>pbC₁</i>	0.70*-0.40* (0.55)	1.2*-1.3** 0.50
Бiotит-гиперстеновые гнейсы, <i>mcA₁</i>	0.24-0.26 (0.25)	0.22 (0.22)	Доломиты, <i>pbC₁</i>		1.00
Молассы, <i>amM₁</i>	0.18*-0.32* (0.25)	0.14*-0.24** (0.19)			0.8-0.85** 0.75** 0.80
					0.75*-0.90** (0.83)

Примечание. В скобках даны среднеарифметические значения отношений ЕРЭ по точкам перегиба (среднеаномальные), приближенно равные величине математического ожидания. В целях сокращения табл. 2 характеристики содержаний ЕРЭ (см. рис. 2) не приводятся. Звездочками обозначены аномальные значения отношений ЕРЭ СВК и МК (расхождение значительно больше величины доверительного интервала $\pm 2\sigma$, где σ – среднеквадратическая погрешность, обычно возникают за счет влияния региональных гидротермально-метасоматических процессов): * на контактах тел, в зонах глубинных разломов; ** внутри геологических контуров. Техногенные аномалии на рис. 2 связаны с железными (например, зона БАМ), автомобильными дорогами, населенными пунктами.

Note. The arithmetic mean (average anomalous) NRE ratio values determined from inflexion points of the curve are given in the parentheses. They are approximately equal to the expected values. To reduce Table 2, the NRE content characteristics (see Fig. 2) have not been listed. The asterisks denote the anomalous NRE ratio, SSC and MC values (the discrepancy is significantly exceeding the confidence interval value $\pm 2\sigma$, where σ is the root mean square error), which commonly appear due to the influence of the regional and hydrothermal-metamorphic processes): * at the contacts between the bodies, in deep fault zones; ** inside the geological contours, . Technogeneous anomalies shown in Fig. 2 are associated with railways (for example, the Baikal-Amur railway zone), motorroads and settlements.



Рис. 4. Графики градиентов отношений и значений отношений ЕРЭ по профилю Джалинда–Томмот. Составлены с использованием данных Г.Б. Соломатина, 1994 г. (ПГО “Таежгеология”) и геологических материалов [40, 47].

Составы пород 1–16 (архейские, пострифейские СВК, магматические комплексы) даны на рис. 2; 17–20 – границы раздела (на рис. 2: 21–24); графики: 21 – значений отношений ЕРЭ, 22 – градиентов отношений ЕРЭ, 23 – техногенные аномалии. Результаты геоэлектрического моделирования на профиле Джалинда–Нагорный (часть профиля Джалинда–Томмот) по материалам В.Б. Каплуна [14]; градации величин электрического сопротивления (показаны цифрами): 24 – зоны разломов, $\rho = 0\text{--}200$ (редко до $400\text{ Ом}\cdot\text{м}$); 25 – зоны слабоповышенного сопротивления в нижней части литосферы, $\rho = 130\text{--}600\text{ Ом}\cdot\text{м}$; 26 – зоны низкого сопротивления в кровле астеносферного слоя и вблизи границы Мохо, $\rho = 0\text{--}150$ (редко до $200\text{ Ом}\cdot\text{м}$); 27 – зоны повышенного сопротивления вблизи границы Мохо и в земной коре, $\rho = 300\text{--}600\text{ Ом}\cdot\text{м}$; 28 – блоки высокого сопротивления в земной коре, $\rho = 1000\text{--}10\,000\text{ Ом}\cdot\text{м}$; 29 – ареалы низкого сопротивления в верхней части земной коры (пойма реки, обводненные горизонты), $\rho = 0\text{--}120\text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Fig. 4. Plots showing gradients of NRE and values ratios along the profile Dzhallinda–Tommot. Compiled by T.V. Volod'kova using data obtained by G.B. Solomatin, 1994 (Production Geological Enterprise (PGE) “Taezhgeologiya”) and geological materials by [40, 47].

Rock composition: 1–16 (Archean, Post-Riphean SSCs, magmatic complexes, see legend for Fig. 2); 17–20 – interfaces (faults, contacts) are shown in Fig. 2 as 21–24; plots: 21 – NRE ratio values, 22 – NRE ratio gradients, 23 – technogeneous anomalies.

The results of geoelectrical modeling along the profile Dzhallinda–Nagornyi (part of the profile Dzhallinda–Tommot) from materials obtained by V.B. Kaplun [14]. resistivity value gradations (shown by numbers): 24 – fault zones, $\rho = 0\text{--}200$ (rarely up to $400\text{ Ohm}\cdot\text{m}$); 25 – insufficiently high resistivity zones in the lower lithosphere, $\rho = 130\text{--}600\text{ Ohm}\cdot\text{m}$; 26 – low resistivity zones in the asthenospheric layer roof and near the Moho discontinuity, $\rho = 0\text{--}150$ (rarely up to $200\text{ Ohm}\cdot\text{m}$); 27 – high resistivity zones near the Moho discontinuity and within the crust, $\rho = 300\text{--}600\text{ Ohm}\cdot\text{m}$; 28 – high resistivity blocks in the crust, $\rho = 1000\text{--}10000\text{ Ohm}\cdot\text{m}$; 29 – low resistivity areas in the upper crust (river floodplains, flooded horizons), $\rho = 0\text{--}120\text{ Ohm}\cdot\text{m}$.

и неоднородности. Для лучшей дифференциации слабых эффектов рассчитывались первая и вторая производные, которые характеризовали градиенты изменения температуры и другие параметры. Метод МВТГМ связывает тепловое излучение с разрывными нарушениями, источниками глубинностью от десятка метров до 100 км и позволяет строить вертикальные разрезы.

Можно провести прямые параллели между методом МВТГМ и методикой отношений и градиентов отношений ЕРЭ хотя бы потому, что радиоактивные элементы – основной источник земного тепла, обе эти методики характеризуют флюидопотоки. При этом методика МВТГМ требует изучения опосредованных эффектов, весьма слабых полезных сигналов (теплового излучения глубин Земли), использования сложных технологий обработки космических снимков, а методика отношений и градиентов отношений ЕРЭ весьма проста, эффективно выделяет аномалии отношений и градиентов отношений ЕРЭ на фоне любых помех. Методика отношений ЕРЭ в комплексе с глубинными геофизическими моделями представляется никак не менее перспективной, чем МВТГМ, так как она учитывает более глубинные явления.

Ниже анализируются особенности распределения отношений ЕРЭ на профиле Джалинда–Томмот и их связь с глубинными источниками.

На Аргуно-Мамыньском массиве средние значения отношений ЕРЭ комплексов пассивных континентальных окраин Верхне-Амурской впадины pmM_1 варьируют в пределах 2Δ ($U/Th = 0.22\text{--}0.23$, $K/Th = 0.20$, $U/K = 1.42\text{--}1.43$); в эту же группу входят значения отношений ЕРЭ постколлизийных гнейсо-гранитов pcP_1 ($U/Th = 0.20$, $K/Th = 0.20$,

$U/K = 1.42$). Они незначительно отличаются от соответствующих палеозойских отложений Ольдойской впадины pmH_1 ($U/Th = 0.31$, $K/Th = 0.16$, $U/K = 1.55$). Таким образом, их объединение в единый блок по геологическим данным [40, 47] подтверждается принципами постоянства отношений ЕРЭ. Терригенные мезозойские отложения левого конца профиля аномально отличаются значениями калий-ториевого отношения (K/Th до 0.5). По-видимому, это объясняется влиянием Северо-Хинганского орогенного пояса и его специфического глубинного строения: резким погружением литосферы на глубину до 150 км и максимальным уменьшением мощности земной коры [14, 40, 47].

Среди образований Монголо-Охотского складчатого пояса выделяются аккреционные (awH_2) образования пассивных (pmM_1) и активных (amM_2) континентальных окраин; для вторых типичны повышенные характеристики уран-калиевого отношения (до 1.43), для последних – относительно повышенные уран-ториевые отношения (до 0.36). На стратиграфических контактах между мезозойскими комплексами pmM_1 и amM_2 отсутствуют аномалии U/Th , K/Th , U/K , что подтверждает заключения об их типичности только для зон глубинных разломов.

В Селенга-Становом орогенном поясе широко развиты региональные гидротермально-метасоматические изменения, особенно в зонах глубинных разломов. В Северо-Турунском и Желтулакском разломах отмечаются глубинные поперечные сдвиги, которые ведут к формированию приразломных линейных структур, также проработанных гидротермально-метасоматическими процессами [14, 15, 47]. В связи с этим кривые отношений ЕРЭ очень дифференцированы, что дела-

ет практически невозможным проверку принципов постоянства отношений в пределах блока. Так, непостоянны по характеристикам отношений ЕРЭ широко развитые здесь постколлизийные гнейсограниты pcP_1^I (значения уран-калиевого критерия $U/K = 1.13–1.83$), а также упомянутые мрамор-двупироксеновые кристаллические сланцы mcA_2 ($U/K = 1.6–2.0$). С учетом значения уран-калиевого критерия, Селенга-Становой блок отчетливо делится на две части, соответствующие геоэлектрической модели В.Б. Каплуна [14, с. 95]. На юго-западе преобладают метаморфические и магматические комплексы коллизийной (постколлизийной) природы ($U/K = 1.05–1.42$); **комплексы, примыкающие к зоне Желтулакского разлома, относятся к I-типу ($U/K = 1.7–2.0$).** Соответственно, по геоэлектрической модели, в юго-западной части блока выделяется однородный коровый слой с повышенными значениями сопротивлений, достигающий поверхности Мохо; зона Желтулакского мантийного разлома уходит корнями на глубину до 70 км. Следовательно, значения уран-калиевого критерия, без сомнения, подчеркивают особенности строения мантийной части литосферы.

В Иликанском блоке Становой гранит-зеленокаменной области интенсивные скачки значений отношений ЕРЭ в зонах разломов отмечаются сравнительно редко, упомянутые мрамор-двупироксеновые кристаллические сланцы mcA_2 отсутствуют; породы блока слабее проработаны процессами метасоматоза. Магматические комплексы поздних тектономагматических циклов представлены диоритами и гранодиоритами amM_2 и постколлизийными высокоглиноземистыми гранитами pcP_1^I . В согласии с принципами постоянства отношений ЕРЭ два типа гранитоидов блока четко различаются по величине калий-ториевого отношения: для мезозойских гранитоидов значение $K/Th = 0.29–0.33$, для протерозойских – $K/Th = 0.45$, хотя они близки по значению уран-ториевого отношения ($U/Th = 0.27–0.31$). По значению уран-калиевого критерия все эти гранитоиды описываются преимущественно как постколлизийные-синколлизийные ($U/K = 0.93–1.05–1.35$), что соответствует геологическим данным [47]. В зоне Желтулакского разлома выделяются гиперстеновые кристаллические сланцы нижнеархейского возраста mcA_1 ($U/Th = 0.24$, $K/Th = 0.32$, $U/K = 0.88$); прочие метаморфические комплексы относятся к верхнему архею mcA_2 , довольно широко изменяются по составу и являются подходящим объектом для проверки принципов постоянства отношений. Действительно, все метаморфические комплексы mcA_2 близки по значениям отношений ЕРЭ ($U/Th = 0.25–0.31$, $K/Th = 0.19–0.28$, $U/K = 0.78–1.15$). Интенсивные аномалии ЕРЭ отмечаются только в приразломной зоне сочленения Станового и Южно-Якутского разломов, где картируются верхнеархейские кварцито-

гнейсы с аномальными значениями отношений ЕРЭ ($U/K = 1.67$), которые соответствуют одному из структурных этажей Холодниканского зеленокаменного пояса [20, 43]. На вертикальном разрезе Иликанского блока, согласно модели МТЗ В.Б. Каплуна [14], выделяется несколько субгоризонтальных корово-верхнемантийных слоев, контрастно различающихся значениями сопротивления; разломы мантийного заложения, зоны которых характеризуются низкими сопротивлениями, отмечаются только на границах блока. По данным сейсмогравитационного моделирования В.Я. Подгорного, Иликанскому блоку соответствует крупный прогиб кровли астеносферы, на границах блока отмечаются резкие подъемы кровли астеносферы [14].

Метаморфические комплексы mcA_2 с аномальными характеристиками отношений ЕРЭ отмечаются также в зонах контактов с более поздними интрузивными телами; по-видимому, так картируются контактово-метасоматические изменения, связанные с внедрением интрузий гранитоидов. Так, в зоне контакта гранито-гнейсов mcA_2 с диоритами, гранодиоритами amM_2 отмечается уран-калиевая аномалия (U/K до 1.45), что нетипично для этих пород во всех остальных случаях. В контактовых зонах присутствуют биотит-горнблендитовые гнейсы, кристаллосланцы, характеристики отношений ЕРЭ которых существенно варьируют ($U/Th = 0.28–0.38$, $K/Th = 0.19–0.43$, $U/K = 0.92–1.15$).

По данным глубинного моделирования, Пристановая зона отличается особенно сложным строением: здесь расположена крупная мезозойская Чульманская впадина, под которой отмечается резкий подъем астеносферы, широко развиты тепловые аномалии, проявлены процессы плюмообразования; в ее обрамлении вероятны комплексы, образованные в условиях древней коллизии [14, 20, 40, 43, 47]. Осадки Чульманской впадины и палеозойские доломиты, прилегающие к ней, характеризуются дифференцированными интенсивными аномалиями значений отношений ЕРЭ. Нижнеархейские гнейсы различного состава описываются значениями уран-калиевого критерия от 0.92–1.35 до 1.58–1.78, некоторая часть их относится к I-типу; эти комплексы отражают все стадии коллизии (от предколлизийной до постколлизийной). Эти же особенности характерны для углесодержащих моласс ($U/K = 0.78–1.63$). **При определении геодинамического типа пород по уран-калиевому критерию значения отношений U/Th и K/Th в идеале должны быть стабильны и близки к показателям гранитно-метаморфического слоя ($U/Th = 0.25$, $K/Th = 0.20$, см. табл. 2); наличие интенсивных аномалий свидетельствует о высоком искажающем влиянии процессов метасоматоза, в том числе глубинного.** В северной части Пристановой зоны значения K/Th достигают 0.78–0.82, что определяется как интенсивная флюидизация в зонах глубинных разломов. Эти

факты хорошо коррелируются с упомянутыми особенностями глубинного строения.

В Алданской гранитно-гнейсовой области развиты нижнеархейские метаморфические комплексы различного состава, прорванные более молодыми гранитоидами постколлизийного и анорогенного типов, в том числе повышенной щелочности; развиты многочисленные зоны разломов. Значения отношений ЕРЭ пород блока сильно варьируют; преобладают метаморфические породы с аномальными характеристиками отношений ЕРЭ. Эффект связывается с широким развитием контактово-метасоматических процессов в эндоэкзоконтактных зонах гранитоидов и региональных метасоматитов в приразломных комплексах. Значения отношений ЕРЭ нижнеархейских метаморфических комплексов, за исключением характеристик приразломных комплексов пород, составляют: $U/Th = 0.25-0.30$, $K/Th = 0.20-0.31$, $U/K = 0.70-1.05$, редко до 1.43 (в зонах регионального метасоматоза). Средние значения отношений ЕРЭ более поздних гранито-граносиенитов, монзонитов, сиенитов и высокоглиноземистых гранитов существенно отличаются ($U/Th = 0.45$, $K/Th = 0.25$, $U/K = 1.08$); все сказанное также является определенным подтверждением принципов постоянства отношений. По данным сейсмогравитационного моделирования В.Я. Подгорного [14], кровля астеносферы резко углубляется в северо-восточном направлении и составляет от 100 км в юго-западной части блока до более 150 км в северо-восточной части. Соответственно, на северо-восточном фланге преобладают экзотические мрамор-двупироксеновые кристаллические сланцы ($U/Th = 0.38-0.43$, $K/Th = 0.20-0.44$, $U/K = 0.70-1.58$) и **эндербит-чарнокиты с аномальными характеристиками** ($U/Th = 0.30-0.44$, $K/Th = 0.35-0.61$, $U/K = 0.65-1.30$). **Эти факты хорошо доказывают влияние процессов в верхней мантии и регионального метасоматоза на характеристики отношений ЕРЭ.**

На Алданской плите развиты доломиты и терригенные образования, вплоть до мезозойских, интенсивно метасоматически измененные в зонах разломов, за счет чего кривые отношений ЕРЭ крайне дифференцированы. Здесь профиль пересекает Центральную-Алданскую (Якутскую) структуру центрального типа и одноименный глубинный разлом. В зоне разлома глубина до кровли астеносферы максимальна (порядка 180 км). С Якутской структурой связаны крупнейшие рудные районы и месторождения золота, урана и других металлов. Здесь во множестве картируются небольшие дайки и штоки позднемезозойских гранито-граносиенитов, монзонитов, сиенитов, характеристики отношений ЕРЭ которых в связи с их высокой щелочностью аномальны [16, 40, 43, 47].

На линии трендов рудных типов и магматизма (см. рис. 3) вынесены характеристики отноше-

ний ЕРЭ древнейших комплексов Приамурья позднегерцинского-алданского (палеоархей) этапов; в выборку входили как среднестатистические ($n = 18$ [7]), так и среднеаномальные ($n = 42$, табл. 3) значения отношений ЕРЭ, а также данные табл. 1. Среднестатистические, а также грубо рассчитанные по нескольким точкам перегиба кривых среднеаномальные значения отношений ЕРЭ, соизмеримы для всех комплексов, кроме экзотических приразломных. В результате построены тренды магматизма древнейших метаморфических комплексов алюмо-силикатного состава (см. рис. 3) и доказана их универсальность: величины отношений ЕРЭ этих пород сосредоточены в пределах кластеров I-II, что типично для мезозойско-кайнозойских СВК [10]. Среди древних метаморфических комплексов алюмо-силикатные кристаллические сланцы, гнейсы, гранито-гнейсы преобладают. Кроме них в поле корреляции отмечается достаточно много значений отношений ЕРЭ, не соответствующих тренду магматизма: точки 1-4 входят в выборку среднестатистических, точки 5-24 – в выборку среднеаномальных расчетов. Аномальные значения в обеих выборках характеризуют комплексы карбонатной природы (доломиты, карбонаты, мрамор-двупироксеновые кристаллические сланцы), МК повышенной щелочности (монцодиориты, лейкократовые сиениты), либо интенсивно вторично измененные приразломные комплексы (метагabbро, биотит-горнблендитовые гнейсы, кварцито-гнейсы, эндербиты-чарнокиты). Приразломные комплексы отмечаются, как правило, в зонах разломов мантийного заложения, аномального глубинного строения либо связаны со специфическими структурами (например, Холодниканским зеленокаменным поясом). Соответствие характеристик отношений ЕРЭ древнейших алюмо-силикатных комплексов тренду магматизма теоретически позволяет определить их геодинамический тип по уран-калиевому критерию.

Для достоверного определения геодинамического типа более молодых пород необходимо преимущественное использование значений отношений ЕРЭ гранитоидных комплексов нормального состава. Характеристики постколлизийных протерозойских гнейсо-гранитов pcP_1 на Аргуно-Мамыньском массиве завышены (U/K до 1.23), **хотя по отношению к вмещающим породам они минимальны.** Комплекс pcP_1 связан с небольшой тектонической пластиной, здесь вероятно влияние вторичных процессов. Значения отношений ЕРЭ Джалинского массива диоритов, гранодиоритов в зоне Северо-Тукурингского разлома близки к коллизийным ($U/K = 1.23$), **что вполне допустимо.** С массивом связано известное месторождение золота Джалинда (Кировское).

В Урканской зоне значения отношений ЕРЭ постколлизийных гнейсо-гранитов pcP_1^1 ($U/K = 1.13$) и коллизийных позднеархейских гнейсов, гней-

согранитов различного состава ($U/K = 1.05\text{--}1.42$) также близки к норме. Исключение составляют постколлизийные гнейсо-граниты pcP_1^I и верхнеархейские гранито-гнейсы mcA_2 , примыкающие к зоне Желтулакского разлома ($U/K = 1.7\text{--}1.83$), по-видимому интенсивно измененные. В связи с большой глубиной Желтулакского разлома такие характеристики могут служить свидетельством влияния на региональные вторичные изменения глубинных процессов, в том числе мантийного источника HIMU [8, 10, 14, 15]. В Илканском блоке, в полном соответствии с реальностью, диориты и гранодиориты amM_2 отвечают коллизийному типу ($U/K = 1.05\text{--}1.35$), высокоглиноземистые граниты pcP_1^I ($U/K = 0.93$) и верхнеархейские гнейсы, гранито-гнейсы различного состава ($U/K = 0.78\text{--}1.45$) – соответственно постколлизийному и коллизийному типам.

Контакты Чульманской впадины, а также зоны скрытых глубинных разломов в ее пределах интенсивно проработаны процессами глубинной (плюмовой) флюидизации; к ним приурочены крупнейшие месторождения угля Нерюнгри, Чульманское и др. Аномальные значения отношений ЕРЭ могут служить показателями интенсивности флюидизации; возможно воздействие обогащенного источника HIMU [8, 10], на что указывают характеристики нижнеархейских гранито-гнейсов (U/K до 1.78).

Вблизи южного контакта Алданского тектонического блока с Чульманской впадиной известны крупные месторождения железа (Магнетитовое, Гематитовое и др.). Постколлизийные высокоглиноземистые граниты Алданского блока pcA_2 обладают типичными для них, минимальными в пределах блока значениями отношений ЕРЭ ($U/K = 0.34$); прочие интрузивные и метаморфические комплексы mcA_1 по значениям уран-калиевого критерия также близки к постколлизийному и позднеколлизийному типам. Достоверное определение геодинамического типа СВК и МК Алданской плиты все же невозможно, хотя формально по уран-калиевому критерию они выделяются вполне отчетливо как постколлизийные и внутриплитные (обычно $U/K \leq 1.00$). Эти магматические породы обладают повышенной щелочностью, терригенные комплексы интенсивно метасоматически проработаны; все породы высокоаномальны по трем значениям отношений ЕРЭ. На Алданской плите профиль Джалинда–Томмот пересекает рудные районы с крупнейшими месторождениями золота – Куранах, урана – Элькон и других полезных ископаемых (Куранахский, Эльконский рудные районы), обладающие аномальным глубинным строением [14, 16, 24, 40, 47].

ВЫВОДЫ

Анализ данных по профилю Джалинда–Томмот позволяет сделать важные выводы.

1. Получены новые, пока немногочисленные факты, подтверждающие верность принципа постоянства отношений ЕРЭ для архейских структурно-вещественных и магматических комплексов. Практически все аномалии отношений ЕРЭ сосредоточены в зонах глубинных разломов и приразломных комплексах и характеризуют широко развитые здесь региональные метасоматические изменения, редко – внутриплитные магматические комплексы повышенной щелочности.

2. Показана возможность определения геодинамического типа по уран-калиевому критерию не только для нормальных МК разного возраста, но также для архейских алюмо-силикатных метаморфических комплексов. Все эти комплексы подчиняются тренду магматизма, выявленному ранее для неизмененных мезозойско-кайнозойских МК в вулканно-плутонических поясах [10, 11]. Для древних метаморфических комплексов алюмо-силикатного состава типично значение уран-калиевого критерия $1.0 \leq U/K \leq 1.5$, величины отношений U/Th и U/K приближаются к характеристикам гранитно-метаморфического слоя. При этом большинство нижнепротерозойских пород и все более молодые породы среди них являются постколлизийными (анорогенными) с соответствующими изменениями величины уран-калиевого критерия до $U/K \leq 1.0$. Таким образом, тренд магматизма универсален для большинства СФК и МК юга Дальневосточного региона России, хотя для древнейших осадочно-метаморфогенных комплексов Приамурья он верен только в областях мощной гранитизации и развития пород алюмо-силикатного состава.

3. Комплексы с аномальными характеристиками отношений ЕРЭ, как правило, коррелируют с ареалами интенсивных региональных (шириной до десятков, реже первых сотен километров) изменений. Региональные гидротермально-метасоматические и контактово-метаморфические изменения обычно отмечаются в зонах глубинных разломов (очень редко – на контактах с крупными интрузивными телами); такие комплексы пород названы приразломными. Для таких пород типичны интенсивные аномалии значений отношений U/Th , K/Th , до 0.8 и выше, не соответствующие характеристикам гранитно-метаморфического слоя (см. табл. 2). Иногда приразломные образования отмечаются в зонах скрытых глубинных разломов в осадочных бассейнах (Чульманская впадина, Сибирская платформа). Сопряженные аномалии градиентов отношений ЕРЭ коррелируют только с приразломными комплексами, не связаны с поверхностными гидротермально-метасоматическими изменениями и определенно доказывают глубинную природу ареалов региональных изменений. Резкий рост значений U/Th , K/Th приразломных комплексов объясняется влиянием глубинных (ювенильных) флю-

идов. Среди метаморфических пород в приразломных (редко контактовых) зонах под воздействием ювенильных флюидов и регионального метасоматоза возникают комплексы специфического состава (мрамор-двупироксеновые кристаллические сланцы, биотит-горнблендитовые гнейсы, кристаллосланцы) с аномальными характеристиками отношений ЕРЭ. По моделям МТЗ, глубина заложения разломов, с которыми связаны интенсивные региональные изменения, иногда достигает 120 км; вероятно, что региональные изменения формируются под воздействием глубинных флюидов, связанных с обогащенными мантийными резервуарами. Ареалы максимального сосредоточения комплексов с аномальными характеристиками отношений ЕРЭ полностью соответствуют областям плюмового магматизма и крупнейшим рудным районам (Чульманская впадина, Алданская плита на профиле Джалинда–Томмот).

4. Высокая степень связи комплексов, обладающих аномальными значениями отношений ЕРЭ, с глубинным строением региона подтверждена результатами глубинного моделирования. Они четко коррелируют с деталями строения верхней мантии региона, определенными по моделям МТЗ (В.Б. Каплун), а также на основе двумерного сейсмогравитационного моделирования (В.Я. Подгорный) [14]. Особенно интенсивно значения отношений ЕРЭ МК и СВК меняются в интервалах профиля Джалинда–Томмот, где, по данным глубинного моделирования, отмечается аномальное глубинное строение (обычно резкий подъем или заглубление кровли астеносферы, иногда границы Мохо, наличие литосферного корня и других признаков плюмовой активности). Чаще всего такие аномалии связаны именно с проявлением плюмового магматизма, реже мантийного магматизма вулканоплутонических зон. Аномалии отношений ЕРЭ коррелируются с особенностями глубинного строения на основе моделирования МТЗ, реже – сейсмо-гравитационного моделирования. По данным интерпретации графиков градиентов отношений ЕРЭ, приразломные комплексы коррелируются только с зонами инверсий или глубинными областями пониженного сопротивления по данным МТЗ (см. рис. 4). Их связь с результатами моделирования по сейсмогравитационным данным, тем более по геотермическим разрезам, почти несущественна. Такое заключение объясняется в первую очередь разной детальностью методов. Так, сейсмо-гравитационные модели построены по данным интерпретации карт гравитационного поля масштаба 1 : 2 500 000, редко – 1 : 1 000 000; результаты измерения теплового потока соответствуют масштабу 1 : 2 500 000–1 : 5 000 000. Между тем данные МТЗ и аэрогаммаспектрометрии значительно более детальны и сопоставимы, причем графики градиентов отношений обладают максимальной детально-

стью. Сопряженные аномалии градиентов отношений ЕРЭ тесно коррелируют с аномалиями пониженного сопротивления МТЗ в зонах глубинных разломов и со всеми особенностями подъема кровли таких аномалий, иногда не только в литосфере, но и вблизи границы Мохо (см. рис. 4).

Исходя из приведенных данных, мы приходим к заключению о том, что комплексы с аномальными характеристиками отношений ЕРЭ, не соответствующие тренду магматизма и рудных типов, возникают под воздействием глубинных процессов (обычно плюмового магматизма) в литосферной части мантии, на ее границе с астеносферой, редко на границе Мохо. По данным совместной интерпретации графиков отношений, градиентов отношений ЕРЭ и моделей МТЗ, выделяются глубинные зоны пониженного сопротивления и вязкости (вероятно, области магомгенерации под влиянием обогащенных мантийных резервуаров). Именно в областях максимальной концентрации аномальных приразломных комплексов сосредоточены крупные рудные районы и уникальные месторождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдейко Г.П., Кувикас О.В., Палуева А.А. (2012) Типы вулканизма современных зон субдукции: геодинамические условия образования, геохимические характеристики. *Современные проблемы магматизма и метаморфизма: мат-лы Всерос. конф., посвящ. 150-летию акад. Ф.Ю. Левинсона-Лессинга и 100-летию проф. Г.М. Саранчиной*. СПб.: СПбГУ. Т. 1, 18-21.
2. Актуальные проблемы рудообразования и металлогении: Тез. докл. на Междунар. совещ. (2006) Новосибирск: Гео, 268 с.
3. Альтшулер М.И., Кузьмин Г.И. (1993) Крупномасштабный прогноз золоторудных объектов по комплексным аэрогеофизическим данным. СПб: Роскомнедра–ВИРГ Рудгеофизика, 160 с.
4. Аэрогамма-спектрометрия в геологии. (1982) Л.Н. Вавилин, В.П. Воробьев, А.В. Ефимов и др. Л.: Недра, 271 с.
5. Бабаянц П.С., Блох Ю.И., Зубов Е.И., Лаврова Т.Ю., Трусов А.А. (2006) Интерпретация аэрогеофизических данных при поисках месторождений твердых полезных ископаемых. *Разведка и охрана недр*. (5), 18-26.
6. Базилевский А.Т. (1985) К-U-Th систематика вещества планетных тел Солнечной системы. *Геохимия*. (2), 131-141.
7. Володькова Т.В. (1999) Гамма-спектральные поля и распределение золото-редкометалльного оруденения в Нижне-Амурском регионе. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 28 с.
8. Володькова Т.В. (2006) Аномалии отношений радиоактивных элементов и природа рудной минерализации Приамурья. *Тихоокеан. геология*. (4), 54-68.
9. Володькова Т.В. (2007) Особенности магматизма острова Кунашир (Курильская дуга) по аэрогеофи-

- зическим данным. *Тихоокеан. геология*. **26**(6), 15-37.
10. Володькова Т.В. (2012) Тренды отношений радиоактивных элементов и природа магматогенных месторождений Приамурья *Литосфера*. (2), 67-89.
 11. Вулканические пояса Востока Азии. (1984). М.: Наука, 504 с.
 12. Гамянин Г.И., Горячев Н.А. (2003) Условия зарождения и эволюции гранитоидных золото-магматических систем в мезозоидах Северо-Востока Азии. Магадан: СВКНИИ, 197 с.
 13. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Кн. 2. (2006) (Под ред. А.И. Ханчука). Владивосток: Дальнаука, 981 с.
 14. Глубинное строение и металлогения Восточной Азии (2010) (Отв. ред. А.Н. Диденко, Ю.Ф. Малышев, Б.Г. Саксин). Владивосток: Дальнаука, 332 с.
 15. Горошко М.В., Каплун В.Б., Малышев Ю.Ф. (2010) Желтулакский разлом: глубинное строение, эволюция, металлогения. *Литосфера*. (6), 38-54.
 16. Горошко М.В., Каплун В.Б., Малышев Ю.Ф., Романовский Н.П., Гурович В.Г. (2010) Глубинное строение, магматизм, металлогения Центрально-Алданского блока Алдано-Станового щита. *Тихоокеан. геология*. **29**(4), 3-18.
 17. Каримов К.М., Онегов В.Л., Кокутин С.Н., Соколов В.Н., Васев В.Ф. (2009) Дистанционное тепловизионное зондирование Земли при решении геологических задач. *Георесурсы*. **29**(1), 38-42.
 18. Конторович Р.С., Бабаянц П.С. (2011) Аэрогеофизика – эффективный инструмент решения геолого-поисковых задач. *Разведка и охрана недр*. (7), 3-10.
 19. Кременецкий А.А., Минцер Э.Ф., Исламов Ф.И. (1996) Эволюция рудно-магматических систем – основа прогноза, поисков и оценки золото-редкометалльных месторождений. *Разведка и охрана недр*. (8), 29-34.
 20. Лаврик С.Н., Мишкин М.А., Моисеенко В.Г., Журавлев Д.З. (2002) Первые данные по Sm-Nd изотопной систематике метавулканитов Холодниканского зеленокаменного пояса юга Алданского щита. *Докл. АН*. **382**(1), 97-100.
 21. Лазарев Ф.Д., Ромашко В.В., Мельников П.В., Шнейдер Г.В. (2009) 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: STT, 306-311.
 22. Малышев Ю.Ф., Горнов П.Ю., Корсаков Л.П., Лу Цзаосунь, Манилов Ф.И., Подгорный В.Я., Романовский Н.П., Шевченко Б.Ф. (2002) Литосфера области сочленения Тихоокеанского и Центрально-Азиатского складчатых поясов. *Тектоника и геофизика литосферы: мат-лы XXXV Тектон. совещ. Т.1*. М.: ГЕОС, 325-328.
 23. Малышев Ю.Ф., Горошко М.В., Родионов С.В., Романовский Н.П. (2004) 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, 423-430.
 24. Мартынюк М.В., Рямов С.А., Кондратьев В.А. (1990) Объяснительная записка к схеме расчленения и корреляции магматических комплексов Хабаровского края и Амурской области (Отчет по теме № 330 за 1987–1990 гг.). Хабаровск: Изд-во МинГео СССР, 216 с.
 25. Материков М.П. (1974) Закономерности размещения и геолого-генетические группы оловянных месторождений СССР. М.: Недра, 144 с.
 26. Моисеенко В.Г., Эйриш Л.В. (1996) Золоторудные месторождения Востока России. Владивосток: Дальнаука, 352 с.
 27. Мухамедяров Р.Д. (2002) Метод видеотепловизионной генерализации и его аэрокосмическое аппаратное освещение. *Интервал*. **44**(9), 59-62.
 28. Николаева О.В. (1997) К-U-Th систематика земных магматических пород для планетологических сравнений: вулканические породы океанических островных дуг Земли и материал поверхности Венеры. *Геохимия*. (6), 488-512.
 29. Планета Земля. Энциклопедический справочник. Т. 1: Тектоника и геодинамика (2004) (Под ред. Л.И. Красного, О.В. Петрова, Б.А. Блюмана). СПб.: ВСЕГЕИ, 652 с.
 30. Подгорный В.Я., Малышев Ю.Ф. (2005) Плотностной разрез литосферы Алдано-Станового щита. *Тихоокеан. геология*. **24**(3), 3-21.
 31. Прогноз, поиски, оценка рудных и нерудных месторождений – достижения и перспективы. Сб. тез. докл. науч.-практ. конф. (2008). М.: ЦНИГРИ, 208 с.
 32. Родионов С.М. (2005) Металлогения олова Востока России. М.: Наука, 327 с.
 33. Розен О.М., Федоровский В.С. (2001) Коллизионные гранитоиды и расслоение земной коры. М.: Науч. мир, 187 с.
 34. Российский металлогенический словарь. (2003) СПб.: ВСЕГЕИ, 320 с.
 35. Рыбин А.В., Пискунов Б.Н. (1992) Плагиограниты и гранодиориты о. Кунашир – эволюция состава или петрохимическая зональность? *Тихоокеан. геология*. (2), 31-39.
 36. Рябчиков И.Д. (1997) Состав верхней мантии Земли. *Геохимия*. (5), 467-478.
 37. Смыслов А.А. (1974) Уран и торий в земной коре. Л.: Недра, 231 с.
 38. Строна П.А. (1978) Главные типы рудных формаций. Л.: Недра, 199 с.
 39. Стружков С.Ф. (2003) Закономерности размещения и основы прогноза золото-серебряных месторождений Охотско-Чукотского вулканического пояса. Дис. ... докт. геол.-мин. наук. М.: ЦНИГРИ, 364 с.
 40. Тектоника, глубинное строение, металлогения области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов. Объяснительная записка к Тектонической карте масштаба 1 : 15 000 000. (2005) Владивосток; Хабаровск: ДВО РАН, 264 с.
 41. Хаин В.Е. (2002) Глобальная геодинамика на пороге нового века. Геотектоника. (4), 3-13.
 42. Цыганков А.А., Матуков Д.И., Бережная Н.Г., Ларионов А.Н., Посохов В.Ф., Цыренов Б.Ц., Хромов А.А., Сергеев Ц.А. (2007) Источник магм и этапы становления позднепалеозойских гранитоидов Западного Забайкалья. *Геология и геофизика*. **48**(1), 156-180.
 43. Шевченко Б.Ф., Горошко М.В., Диденко А.Н., Гурьянов В.С., Старосельцев В.С., Сальников А.С.

- (2011) Глубинное строение, мезозойская тектоника и геодинамика области сочленения восточной части Центрально-Азиатского пояса и Сибирской платформ. *Геология и геофизика*. **52**(12), 2122-2131.
44. Chappell B.W., White A.J.R. (1992) I- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt. *Earth Sci. / Trans. Royal Soc. Edinburgh*. **83**, 1-26.
 45. Chlauvel C., Hofman A., Vidal Ph. (1992) HIMU-EM the French Polineesian connection. *Earth Planet. Sci. Lett.* **110**, 99-119.
 46. Geological Map of the Amur Region and adjacent Areas: 1 : 2 500 000: Brief Explanatory Note. (1999) (L.I. Krasnyi, A.S. Volskii, Peng Yunblao). 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. St.Petersburg; Blagoveshchensk; Harbin, 27 p.
 47. Tectonic map of the Central Asian-Pacific belts Junction Area. S. 1 : 1 500 000. (2001) Compiled by L.P. Karsakov, Chunjing Zhao et al. RAS FEB Yu.A. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics; China Geological Survey; Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources. Khabarovsk; Shenyang, 6 sh.
 48. Wilson M., Patterson R. (2001) 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*. **352**, 37-58.
 49. Woodhead J.D., Mc. Culloch M.T. (1989) Ancient sea-floor signals in Pitcairn Island lavas and evidence for large amplitude, small length – scale mantle heterogeneities. *Earth Planet Sci. Lett.* **94**, 257-273.

The nature of trend anomalies of natural radioactive element ratios on the Dzhailinda–Tomot profile

T.V. Volod'kova

Institute of Tectonics and Geophysics, Far Eastern Branch of RAS

In the southern of Far East Russia region, the principles of the constant ratio of natural radioactive elements (NRE) has been formulated by the author using a large volume of statistical data, supported by mathematical computations and affirmed by a long-term field experience. It was developed the basis for determination of geodynamic types of the magmatic (MC) and structural-substantial (SSC) complexes using trends of NRE ratios (trends of the ore type and magmatism). A field experience affirms a lot of anomalous cases that do not adhere to the stated principles; it is necessary to clarify the causes for their occurrence. The characteristics of Archean complexes of the region have almost not been taken into consideration in development of above mentioned principles; therefore, these principles are still not universal and need further improvement. For this purpose, the average values of NRE ratio in MC and SSC obtained along the reference profile Dzhailinda–Tomot are analyzed jointly with the deep modeling data (based on seismogravitational, MTS and geothermal profile data). Particular attention is paid to distinguishing the areas where MC and SSC with anomalous NRE ratio are concentrated; their relationship with the features of the deep structure of the region has been proven. The lowered requirements for the accuracy of the method and relative simplicity of processing allow using the fund materials of the past years airborne geophysical surveying scale of 1 : 200 000–1 : 5 000 000 and simplified methods for estimation of average NRE ratio characteristics.

Key words: airborne geophysics, natural radioactive element values and ratios, structural-substantial complexes, magmatic complexes, the principle of constant NRE ratios, trends of ore types and magmatism.

REFERENCES

1. Avdejko G.P., Kuvikas O.B., Palueva A.A. (2012) [Types of volcanism of contemporary subduction zones: geodynamic conditions of the formation and geochemical characteristics]. *Sovremennye problemy magmatizma i metamorfizma: materialy Vserossijskoj konferentsii posvjashchennoj 150-letiju akademika F.Yu. Levinsona-Lessinga i 100-letiju prof. G.M. Saranchinoy. V. 1*. St. Petersburg: St. Petersburg Univ. Publ., 18-21. (In Russian).
2. *Aktual'nye problemy rudoobrazovaniya i metallogenii* [Topical problems of mineralization and metallogeny]. (2006) Abstracts. *Tezisy dokladov na mezhdunarodnom soveshchani*. Novosibirsk: GEO Publ., 268 p. (In Russian).
3. Al'tshuler M.I., Kuz'min G.I. (1993) *Krupnomasshtabnyj prognoz zolotorudnykh ob'ektov po kompleksnym aerogeofizicheskim dannym* [A large scale forecasting of gold ore objects from complex airborne geophysical data]. St. Petersburg: VIRG Rudgeofizika Publ., 160 p. (In Russian).
4. *Aerogamma-spectrometrija v geologii* [Airborne gamma-spectrometry in geology]. (1982) L.N. Vavilin, V.P. Vorob'ev, A.V. Efimov, D.S. Zelenetskij, A.V. Matveev, V.V. Filimonov. Leningrad: Nedra Publ., 271 p. (In Russian).
5. Babajants P.S., Blokh Yu.I., Zubov E.I., Lavrova T.Yu., Trusov A.A. (2006) [Interpretation of airborne geophysical data for exploration of solid mineral deposits]. *Razvedka i okhrana nedr.* (5), 18-26. (In Russian).
6. Bazilevskij A.T. (1985) [K-U-Th systematics of the

- substance of the planetary bodies of the Solar system]. *Geokhimiya*. (2), 131-141. (In Russian).
7. Volod'kova T.V. (1999) *Gamma-spektral'nye polja i raspredelenie zoloto-redkometall'nogo orudeneniya v Nizhne-Amurskom regione* [Gamma-spectral fields and distribution of gold-rare metal mineralization in the Lower Amur region]. Abstr. diss. ... kand. geol.-min. nauk. Khabarovsk, 28 p. (In Russian).
 8. Volod'kova T.V. (2006) [Anomalies of natural radioactive element (NRE) ratios and the nature of ore mineralization in Priamurye]. *Tikhookean. Geol.* (4), 54-68. (In Russian).
 9. Volod'kova T.V. (2007) [Magmatism of Kunashir Island (Kurile island arc) from airborne geophysical evidence]. *Rus. J. Pac. Geol.* 1(6), 515-536.
 10. Volod'kova T.V. (2012) [Trends of natural radioactive element (NRE) ratios and the nature of magmatogenic deposits in Priamurye]. *Litosfera*. (2), 67-89. (In Russian).
 11. *Vulkanicheskie pojasa Vostoka Azii* [Volcanic belts of Eastern Asia]. (1984) Moscow: Nauka Publ., 504 p. (In Russian).
 12. Gamjanin G.I., Gorjachev N.A. (2003) *Usloviya zarozhdeniya i evolyutsii granitoidnykh zoloto-magmaticheskikh system v mezozoidakh Severo-Vostoka Azii* [Conditions for nucleation and evolution of granitoid gold-magmatic systems in Mesozoidz of north-eastern Asia]. Magadan: SVKNII Publ. 197 p. (In Russian).
 13. *Geodinamika, magmatizm i metallogenija Vostoka Rossii. V 2-kh knigakh* [Geodynamics, magmatism and metallogeny of Eastern Russia: in 2 books]. (2006) Ed. A.I. Khanchuk. Vladivostok: Dal'nauka Publ., book 2. 981 p. (In Russian).
 14. *Glubinnoe stroenie i metallogeniya Vostochnoi Azii* [Deep structure and metallogeny of Eastern Asia]. (2010) Eds. A.N. Didenko, Yu.F. Malyshev, B.G. Saksin. Vladivostok: Dal'nauka Publ., 332 p. (In Russian).
 15. Goroshko M.V., Kaplun V.B., Malyshev Yu.F. (2010) [The Dzeltulak fault: deep structure, evolution and metallogeny]. *Litosfera*. (6), 38-54. (In Russian).
 16. Goroshko M.V., Kaplun V.B., Malyshev Yu.F., Romanovskii N.P., Gurovich V.G. (2010) [The deep structure, magmatism and metallogeny of the Central Aldan block, Aldan-Stanovoy Shield]. *Russ. J. Pac. Geol.* 4(4), 275-288.
 17. Karimov K.M., Onegov V.L., Kokutin S.N., Sokolov V.N., Vasev V.F. (2009) [Remote thermal image sounding of the Earth for geological exploration]. *Georesursy*. 1(29), 38-42. (In Russian).
 18. Kontorovich P.S., Babajants P.S. (2011) [Airborne geophysics as an effective instrument in the solution of the geological prospecting problems]. *Razvedka i okhrana nedr.* (7), 3-10. (In Russian).
 19. Kremenetskij A.A., Mintser E.F., Islamov F.I. (1996) [Evolution of the ore-magmatic systems as the basis for forecast, exploration and evaluation of gold-rare metal deposits]. *Razvedka i okhrana nedr.* (8), 29-34. (In Russian).
 20. Lavrik S.N., Mishkin M.A., Moiseenko V.G., Zhuravlev D.Z. (2002) [First data on Sm-Nd isotope systematics of metavolcanic rocks of the Kholodnikan greestone belt, southern Aldan shield]. *Dokl. Earth Sci.* 382(1), 31-35.
 21. Lazarev F.D., Romashko V.V., Mel'nikov P.V., Shneider G.V. (2009) [Airborne gamma-spectrometric studies as the method for investigation of radioactivity of the surface and its implementation in practice]. *Radioaktivnost' i radioaktivnye elementy v srede obitaniya cheloveka. Materialy III Mezhdynarodnoj konferentsii*. Tomsk: STT Publ., 306-311. (In Russian).
 22. Malyshev Yu.F., Gornov P.Yu., Korsakov L.P., Lu Zhaosun, Manilov F.I., Podgorny V.Ya., Romanovskii N.P., Shevchenko B.F. (2002) [The lithosphere of the Pacific and Central Asian fold belt junction area]. *Tektonika i geofizika litosfery: Materialy XXXV Tektonicheskogo soveshchaniya. V. 1*. Moscow: GEOS Publ., 325-328. (In Russian).
 23. Malyshev Yu.F., Goroshko M.V., Rodionov S.V., Romanovskii N.P. (2004) [The deep structure and prospects of large and super large ore deposit prospecting in the Far East]. *Krupnye i sverkhkrupnye mestorozhdeniya: zakonomernosti razmeshcheniya i usloviya obrazovaniya*. (Ed. D.V. Rundkvist). Moscow: GEOS Publ., 423-430. (In Russian).
 24. Martynyuk M.V., Rjamov S.A., Kondrat'ev V.A. (1990) *Ob'jasnitel'naja zapiska k scheme raschleneniya i korrelyatsii magmaticheskikh kompleksov Khabarovskogo kraya i Amurskoi oblasti. Otchet po teme No. 330 za 1987-1990 gg.* [Explanatory note to the scheme of division and correlation of magmatic complexes of the Khabarovsk Territory and the Amur area]. Khabarovsk: MinGeo SSSR Publ. House, 216 p. (In Russian).
 25. Materikov M.P. (1974) *Zakonomernosti razmeshcheniya i geologo-geneticheskie gruppy olovjannykh mestorozhdenij SSSR* [The distribution regularities and geological genetic groups of tin deposits in the USSR]. Moscow: Nedra Publ., 144 p. (In Russian).
 26. Moiseenko V.G., Eirish L.V. (1996) *Zolotorudnye mestorozhdeniya Vostoka Rossii* [Gold ore deposits of the Russian East]. Vladivostok: Dal'nauka Publ., 352 p. (In Russian).
 27. Mukhamedjarov R.D. (2002) [The method of thermal-vision generalization and its aerospace facilities]. *Interval*. 9(44), 59-62. (In Russian).
 28. Nikolaeva O.V. (1997) [K-U-Th systematics of Earth's igneous rocks for planetological comparisons: oceanic island-arc volcanics on Earth versus rocks on the surface of Venus]. *Geochem. Int.* 35(5), 424-448.
 29. *Planeta Zemlja. Entsiklopedicheskij spravochnik. T. 1. Tektonika i geodinamika* [The Earth Planet. Encyclopedic reference book. V. 1. Tectonics and geodynamics]. (2004) Eds L.I. Krasnyi, O.V. Petrov, B.A. Blyuman. St.Petersburg: VSEGEI Publ. House, 652 p. (In Russian).
 30. Podgorny V.Ya., Malyshev Yu.F. (2005) [Density section of the lithosphere of the Aldan-Stanovoy Shield]. *Tikhookean. Geol.* 24(3), 3-21. (In Russian).
 31. *Prognoz, poiski, otsenka rudnykh i nerudnykh mestorozhdenij – dostizheniya i perspektivy Abstracts. Sbornik tezisov dokladov nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Forecast, exploration and evaluation of ore and non-ore deposits – advances and prospects]. (2008) Moscow: TsNIGRI, 208 p. (In Russian).
 32. Rodionov S.M. (2005) *Metallogenija olova Vostoka Rossii* [Tin metallogeny in the Russian East]. Moscow: Nauka Publ. House, 327 p. (In Russian).
 33. Rozen O.M., Fedorovskij V.S. (2001) *Kollizionnye*

- granitoidy i rassloenie zemnoj kory* [Collosional granitoids and crustal layering]. Moscow: Nauchnyi mir Publ., 187 p. (In Russian).
34. Rossijskij metallogenicheskiy slovar' [The Russian metallogenic dictionary]. (2003) St. Petersburg: VSEGEI Publ. House, 320 p. (In Russian).
 35. Rybin A.V., Piskunov B.N. (1992) [Plagiogranites and granodiorites on Kunashir Island – evolution of the composition or petrochemical zonality?] *Tikhookean. Geol.* (2), 31-39. (In Russian).
 36. Rjabchikov I.D. (1997) [Composition of the Earth's upper mantle]. *Geochem. Int.* (5), 405-415.
 37. Smyslov A.A. (1974). *Uran i torij v zemnoj kore* [Uranium and thorium in the Earth's crust]. Leningrad: Nedra Publ., 231 p. (In Russian).
 38. Strona P.A. (1978) *Glavnye tipy rudnykh formatsij* [Main types of ore formations]. Leningrad: Nedra Publ., 199 p. (In Russian).
 39. Struzhkov S.F. (2003) *Zakonomernosti razmeshchenija i osnovy prognoza zoloto-serebrjanykh mestorozhdenij Okhotsko-Chukotskogo vulkanicheskogo pojasa. Diss. doct. geol.-min. nauk* [The distribution regularities and the basis for forecasting of gold-silver deposits in the Okhotsk-Chukotka volcanic belt. Dr geol. and min sci. diss]. Moscow, 364 p. (In Russian).
 40. *Tektonika, glubinnoe stroenie, metallogeniya oblasti sochlenenija Tsentral'no-Aziatskogo i Tikhookeanskogo pojasov. Ob'jasnitel'naja zapiska k Tektoncheskoj karte masshtaba 1 : 1 500 000* [Tectonics, deep structure and metallogeny of the Central Asian and Pacific belts. Explanatory note to the Tectonic map scale of 1 : 1 500 000]. (2005) Vladivostok; Khabarovsk: DVO RAN Publ., 264 p. (In Russian).
 41. Khain V.E. (2002) [Global geodynamics on the threshold of the new century]. *Geotectonics.* (4), 257-267.
 42. Tsygankov A.A., Matukov D.I., Berezhnaya N.G., Laktionov A.N., Posokhov V.F., Tsyrenov B.Ts., Khromov A.A., Sergeev S.A. (2007) [Late Paleozoic granitoids of Western Transbaikalia: magma sources and stages of formation]. *Russ. Geol. Geophys.* **48**(1), 120-140.
 43. Shevchenko B.F., Goroshko M.V., Didenko A.N., Gur'yanov V.A., Starosel'tsev V.S., Sal'nikov A.S. (2011) [The junction of the central Asian fold belt and the Siberian platform: deep structure and Mesozoic tectonics and geodynamics]. *Russ. Geol. Geophys.* **52**(12), 1672-1679.
 44. Chappell B.W., White A.J.R. (1992) I- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt. *Earth Sciences / Trans. Royal Soc. Edinburgh.* **83**, 1-26.
 45. Chlauvel C., Hofman A., Vidal Ph. (1992) HIMU-EM the French Polineesian connection. *Earth Planet. Sci. Lett.* **110**, 99-119.
 46. Geological Map of the Amur Region and adjacent Areas: 1 : 2 500 000: Brief Explanatory Note. (1999) (L.I. Krasnyi, A.S. Volskii, Peng Yunblao). 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. St.Petersburg; Blagoveshchensk; Harbin, 27 p.
 47. Tectonic map of the Central Asian-Pacific belts Junction Area. S. 1 : 1 500 000. (2001) Compiled by L.P. Karsakov, Chunjing Zhao et al. RAS FEB Yu.A. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics; China Geological Survey; Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources. Khabarovsk; Shenyang, 6 sh.
 48. Wilson M., Patterson R. (2001) 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.* **352**, 37-58.
 49. Woodhead J.D., Mc. Culloch M.T. (1989) Ancient sea-floor signals in Pitcairn Island lavas and evidence for large amplitude, small length – scale mantle heterogeneities. *Earth Planet Sci. Lett.* **94**, 257-273.