

ПРИРОДА ПОЗДНЕМЕЗОЗОЙСКИХ РУДНОМАГМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ АЛДАНСКОГО ЩИТА

©2016 г. В. Г. Хомич***, Н. Г. Борискина*

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН
690022, г. Владивосток, просп. 100 лет Владивостоку, 159

**Инженерная школа, Дальневосточный федеральный университет
690950, г. Владивосток, ул. Суханова, 8
E-mail: khomich79@mail.ru

Поступила в редакцию 02.03.2015 г.

Принята к печати 27.02.2016 г.

Первопричиной позднемезозойских тектоно-магматических и минерогенических активизационных процессов на докембрийском Алданском щите стало появление в транзитной зоне мантии стагнированного океанического слэба. Дегидратация пород слэба (особенно у его границ) и сопутствующие этому явления способствовали вовлечению производных нижней мантии в восходящие верхнемантийные потоки (плюмы) и формированию в земной коре продуктивных рудно-магматических систем.

Ключевые слова: *кратон, слэб, активизация, платина, золото, уран.*

ВВЕДЕНИЕ

Исследование условий формирования продуктивных рудно-магматических систем ориентировано, как правило, на совершенствование знаний о закономерностях размещения поясов, районов и узлов сосредоточения полезных ископаемых (МПИ). Поэтому анализ проблем идентификации обстановок формирования упомянутых минерогенических таксонов, особенно с месторождениями высоколиквидных металлов (U, Au, МПГ, РЗЭ и др.), приобрел особую актуальность в настоящее время.

Современные взгляды на минерогенические исследования, методологию выделения разноранговых рудоносных объектов, базирующиеся на концепциях тектоники плит и террейнового анализа, учитывают многообразие условий, в которых такие объекты формировались (коллизии, аккреции, оро- и рифтогенеза и др.) Очевидно, поэтому плейт-тектонистами выделено на Востоке России значительно больше региональных и локальных рудоносных систем, чем предлагалось прежде адептами фиксизма [45]. Впрочем, главные принципы новой трактовки общей, региональной и специальной металлогении, как и прежде, сводятся к учету одновозрастности, пространственной ассоциируемости, однотипности (но не формационно-генетической, а эвристически-модельной) и иной общности МПИ. К первейшим среди принципов типизации оруденения относится и единство геодинамических обстановок его формирования при обязательном условии соответствия между геологическими и минерогеническими подразделениями, когда “наименование, гра-

ницы и внутреннее содержание каждого металлогенического пояса” должны отвечать “...таковым вмещающих геологических структур и входящих в состав пояса серий рудных месторождений” [45, с. 31]. В процитированном “основополагающем” принципе содержится определенная “недосказанность”, не учитывающая возможность влияния глубинной геодинамики на формирование оруденения во внутриплитных обстановках, где однотипные и одновозрастные месторождения могут размещаться в разных геологических структурах. Устранению отмеченного недостатка могут способствовать материалы сейсмотомографии, раскрывающие особенности строения не только литосферы, астеносферной мантии, но и ее более глубоких уровней.

Необходимость поиска решений проблемы надежной идентификации геодинамических обстановок формирования оруденения и устранения отмеченных “пробелов” в современной методологии минерогенического анализа становится очевидной на фоне неуклонно быстрого погашения ранее разведанных запасов многих металлов и сокращения ассигнований на проведение прогнозно-поисковых работ по наращиванию соответствующей минерально-сырьевой базы (МСБ). Дефицит внимания инвесторов к подготовке МСБ острее всего ощущается при планировании и организации исследований в труднодоступных районах Сибири и Дальнего Востока, где, вероятнее всего, и находятся потенциально перспективные площади. К числу последних принадлежат многие кратонные террейны, рассматриваемые в последние годы в качестве своеобразных “островов сокровищ” [42]. Один из таких “островов” – Ал-

данский щит протяженностью более 2500 км при ширине до 500–600 км у южной окраины Северо-Азиатского кратона. Он знаменит рудными районами, обладающими широким спектром дефицитных полезных ископаемых, в том числе крупными и суперкрупными месторождениями урана, золота, платиноидов, редких, цветных и черных металлов громадного возрастного диапазона формирования: от раннего докембрия до позднего мезозоя.

Причинность существования среди докембрийских комплексов щита позднемезозойских рудно-магматических систем давно привлекает внимание исследователей. Поисками научного объяснения этого “парадокса” занимались несколько поколений ученых (А.Д. Щеглов, В.И. Казанский, М.Н. Ициксон, Л.И. Красный, М.С. Нагибина, Е.Д. Карпова, Е.Т. Шаталов, Г.А. Шатков и др.). Во второй половине XX в. исследователи пришли к выводу о его причинно-следственной связи с процессами ревивации, или тектоно-магматической активизации (ТМА). Эти процессы рассматривались в качестве автономных или отраженных, резонансных, интерференционных при воздействии циркум-тихоокеанских движений на восточную окраину Азиатского континента и даже его Центрально-Азиатский сегмент. Подобные процессы, не обнаруживающие генетического единства с предшествующими (докембрийским, палеозойскими) этапами геологической истории, сторонники мобилизма связывают с явлениями внутриконтинентального рифтогенеза. Многие из названных вариантов трактовки “парадокса” объективно верны, но не в полной мере конкретны, поскольку оставляют открытыми вопросы масштабности и пространственно-возрастных ограничений ТМА.

Цель настоящей статьи – выяснить вероятность влияния глубинной геодинамики на особенности размещения позднемезозойских рудоносных образований на южной окраине Северо-Азиатского кратона. В соответствии с намеченной целью, основные задачи авторов заключались в последовательном анализе и синтезе комплекса современных данных по минерации рудных районов и узлов соответствующего возраста, выявленных на Алданском щите и его флангах. Предполагалось также использование опубликованных материалов по сейсмографии восточной Азии, глубинному строению щита, геодинамике, тектонике, геологии его реперных рудно-магматических систем, геохронологии их формирования и специфическим особенностям минерации.

КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ И МИНЕРАГЕНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АЛДАНСКОГО ЩИТА

Начиная с позднего докембрия Алданский щит слагает окраину протоконтинента, известного под

названием Северо-Азиатский кратон [36]. Современные границы щита выражены в геофизических полях крупными субширотными градиентными зонами поля силы тяжести [48], соответствующими в первом приближении границе распространения стратифицированных отложений чехла Сибирской платформы и мощной зоне тектонического меланжа (рис. 1). Последняя отделяет щит от Становой складчато-глыбовой системы [3].

Две другие границы Алданского щита совмещаются с субмеридиональными разломными зонами, отделяющими его от перикратонных складчато-надвиговых систем: Байкало-Патомской на западе и Аянской на востоке, у побережья Охотского моря [48].

В строении Алданского щита участвуют глубоко метаморфизованные комплексы гранулитовой и, в меньшей степени, амфиболитовой и зеленосланцевой фаций, принадлежащие фундаменту Сибирской платформы. Наиболее древними (>2.6 млрд лет) являются гранит-зеленокаменные (тоналит-трондьемитогнейсовые) относительно слабометаморфизованные комплексы. Основной метаморфизм пород щита проявился преимущественно в раннем протерозое, в интервале 2.0–1.8 млрд лет [36]. По распространенности магматических и метаморфических образований разного состава и разной степени преобразованности его разделяют на несколько мегаблоков (называемых также, по плейт-тектонической терминологии, супертеррейнами, составными террейнами и просто террейнами): Чара-Олёкминский (Западно-Алданский), Алдан-Тимптонский (Центрально-Алданский), Тимптоно-Учурский (Восточно-Алданский) и Батомгский (рис. 2). Межблоковые границы представлены субмеридиональными Амгинской и Тынкандинской зонами тектонического меланжа, состоящими из линейных участков сосредоточения хрупко-пластических деформаций, претерпевших синхронные структурно-метаморфические изменения. Каждая из зон хорошо проявлена в аномальном магнитном поле [38].

Возраст формирования перекрывающих (протоплатформенных) и сшивающих (интрузивных) комплексов в Чара-Олёкминском мегаблоке приходится на интервалы 2.2–2.0 и 2.0–1.7 млрд лет соответственно. К первым принадлежат накопления эпикратонных впадин из стратиформных отложений угуйской и удоканской серий, ко второй – чародоканский позднеархейский и кодарский раннепротерозойский комплексы [45]. Примерно такой же дорифейский (1.87–1.7 млрд лет) возраст имеют осадочно-вулканогенные толщи улканского комплекса [45], сосредоточенные в одноименной впадине, между Батомгским и Тимптоно-Учурским мегаблоками на восточной окраине Алданского щита (см. рис. 2). У северной границы последнего архейские метаморфические комплексы перекрыты многоярусным чехлом стратифицированных

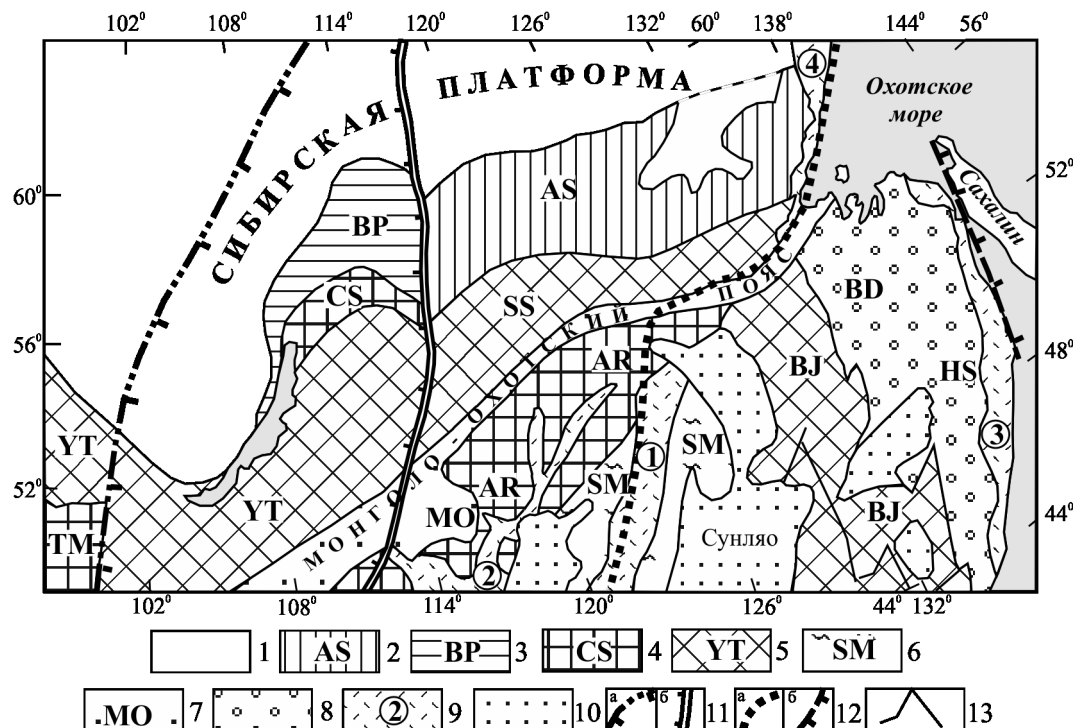


Рис. 1. Положение Алданского щита среди геологических структур Юго-Востока России по [35, 48] с изменениями.

1 – Сибирская платформа; 2 – Алданский щит; 3 – опущенная окраина Северо-Азиатского кратона (BP – Байкало-Патомский складчато-надвиговый пояс); 4–8 – разновозрастные орогенные пояса обрамления кратона и их фрагменты: 4 – позднерифейские (750–650 млн лет): Аргунский (AR), Циркум-Сибирский (CS) и Тувино-Монгольский (TM); 5 – раннепалеозойские: Енисей-Забайкальский (YT), Буреинско-Цзямусинский (BJ), Становой (SS); 6 – позднепалеозойский Южно-Монголо-Хинганский (SM); 7 – позднепалеозойско-мезозойский (290–140 млн лет) Монголо-Охотский (MO); 8 – позднеюрско-раннемеловые (140–95 млн лет): Баджалский (BD), Хонсю-Сихотэ-Алинский (HS); 9 – крупные вулcano-плутонические пояса (цифры в кружках): 1 – Большехинганский, 2 – Монголо-Забайкальский, 3 – Восточно-Сихотэ-Алинский, 4 – Охотско-Чукотский; 10 – крупные эпифтогенные бассейны; 11–12 – глубинные георазделы: 11 – зона Вибирс и ее западная (а) и восточная (б) границы; 12 – крупные гравитационные ступени поля силы тяжести: а – Хингано-Охотская, б – Прибрежная; 13 – некоторые крупные разломы.

Fig. 1. Position of Aldan Shield among geological structures of South-East Russia after [35, 48] with modifications.

1 – Siberian Platform; 2 – Aldan Shield; 3 – subsided margin of the North-Asian craton (BP – Baikal-Patomsky fold-thrust belt); 4–8 – different-age orogenic belts of the craton surroundings and their fragments: 4 – Late Riphean (750–650 Ma): Argunsky (AR), Circum-Siberian (CS), and Tuvino-Mongolsky (TM); 5 – Early Paleozoic: Yenisei-Transbaikalian (YT), Bureija-Jamusinsky (BJ), Stanovoi (SS); 6 – Late Paleozoic South-Mongol-Khingansky (SM); 7 – Late Paleozoic-Mesozoic (290–140 Ma) Mongol-Okhotsky (MO); 8 – Late Jurassic-Early Cretaceous (140–95 Ma): Badzhalsky (BD), Honshu-Sikhote-Alinsky (HS); 9 – large volcano-plutonic belts (figures in circles): 1 – Bolshekhingansky, 2 – Mongol-Transbaikalian, 3 – East-Sikhote-Alinsky, 4 – Okhotsk-Chukotsky; 10 – large epirifting basins; 11–12 – deep-seated geodivisions: 11 – Vebirs zone and its western (a) and eastern (b) boundaries; 12 – big gravitation steps of the gravity field: a – Khingan-Okhotskaya, b – Pribrezhnaya; 13 – some big faults.

рифейско-фанерозойских терригенно-карбонатных отложений. Верхний предел времени стабилизации кратона приходится на венд [36].

Алданский щит – одна из крупнейших рудных провинций Северной Азии. Значительная часть крупных и уникальных месторождений черных, цветных и редких металлов докембрийского возраста сосредоточена на его площади в раннепротерозойских поясах: коллизионном Каларо-Учурском и постамальгационном рифтогенном Чара-Учурском [36, 45]. В Чара-Олекминской и Алдан-Тимптонской минерагенических областях находятся

рудные районы с месторождениями легко обогащаемых железистых кварцитов, запасы которых превышают 1 млрд т, т.е. во многом сопоставимы с объектами Криворожского бассейна (Украинский щит) и Курской магнитной аномалии (европейская часть России). В Южно-Алданском железорудном районе разведаны месторождения силикатно-магнетитовых руд в скарнах (Таежное, Десовское и др.), содержащие людвигит-ашаритовые прослои и вкрапленность пирротина, пирита и халькопирита с Au. В западной части Алданского щита на площади Удоканского прогиба разведаны месторождения



Рис. 2. Схема мегаблоков (террейнов) Алданского щита по [9, 36, 45] с изменениями.

1–4 – стратифицированные отложения: 1 – наложенных впадин (I_3 – K_1), 2 – венд-кембрийского платформенного чехла, 3 – позднепротерозойских внутрикратонных прогибов (UD – Удоканский, UG – Угуйский, UL – Улканский); 4 – палеозойские складчатые сооружения Южно-Верхоянского орогенного пояса (а – Юдомо-Майское краевое поднятие, б – Аллах-Юньский синклиниорий); 5–7 – супертеррейны: 5 – гранит-зеленокаменные, тоналит-трондьемито-гнейсовые (WA – Западно-Алданский, EBT – Батомгский); 6 – гранулит-ортогнейсовые (ANM – Нимнырский, KL – Каларский, CHR – Чарский, CHG – Чогарский); 7 – гранулит-парагнейсовые (AST – Сутамский, EUC – Учурский); 8 – зоны тектонического меланжа (am – Амгинская, kl – Каларская, tr – Тиркандинская); 9 – вулканоплутонические пояса; 10 – юрско-меловые субщелочные и щелочные, интрузивные и субинтрузивные образования; 11 – локальные тектономагматические поднятия; 12 – карбонатитовые щелочно-ультрамафитовые массивы; 13 – концентрически зональные (с дунитовым ядром) массивы; 14 – крупные кимберлитовые трубки; 15 – некоторые крупные разломы; 16 – осевая зона Кондер-Феклистовского пояса.

Fig. 2. Scheme of megablocks (terrains) of Aldan Shield after [9, 36, 45] with modifications.

1–4 – stratified deposits of: 1 – superposed depressions (I_3 – K_1), 2 – Vendian-Cambrian platform cover, 3 – Late Proterozoic intracraton troughs (UD – Udokansky, UG – Uguy, UL – Ulkansky); 4 – Paleozoic folded constructions of the South-Verkhoyansk orogenic belt (a – Yudom-Maiskoe marginal rise, b – Allakh-Yun'sky synclinorium); 5–7 – superterrains: 5 – granite-greenstone, tonalite-trondhjemite-gneissic (WA – west Aldan, EBT – Batomgsky), 6 – granulite-orthogneissic (ANM – Nimnyrsky, KL – Kalarsky, CHR – Charsky, CHG – Chogarsky), 7 – granulite-paragneissic (AST – Sutamsky, EUC – Uchursky); 8 – zones of tectonic mélangé (am – Amginskaya, kl – Kalarskaya, tr – Tyrkandinskaya); 9 – volcano-plutonic belts; 10 – Jurassic-Cretaceous subalkaline and alkaline, intrusive and subintrusive formations; 11 – local tectonomagmatic uplifts; 12 – carbonatite alkali-ultramafite massifs; 13 – concentrically zoned (with a dunite core) massifs; 14 – large kimberlite pipes; 15 – some big faults; 16 – axial zone of Konder-Feklistovsky belt.

V-Ti руд в габбро-анортозитовых расслоенных массивах (Чиней, Куранах и др.) и гигантские месторождения медистых песчаников, а также редких металлов [4]. В Улканском раннепротерозойском прогибе Алданского щита выявлены редкометалльно-редкоземельные, уран-молибденовые, а также золоторудные проявления, ассоциирующие с рапакиви-гранитным плутоном [33].

В последние десятилетия в южной части Алдано-Тимптонской минерагенической области на

площади Эвотинского (Верхнимимнырского) рудного района обнаружены месторождения Au жильково-вкрапленного типа (Кур, Притрассовое и др.) и линзовидных полиминерально-сульфидных залежей среди раннепротерозойских габбро-норитов. Оруденение в виде пакета (шириной от 200 до 1200 м) пластообразных тел выдержанной мощности (протяженностью до 90 км) содержат скопления (5–10 иногда до 50–60%) пирротина, пирита, реже халькопирита, арсенопирита, леллингита, а

иногда висмутита, самородного **Bi**, **кобальтина**, **молибденита**, **галенита**, **сфалерита** [20]. Подобные же проявления **Au** (Лемочи, Олондо и др.) с кварцевой жильно-прожилковой минерализацией среди кварц-турмалиновых метасоматитов в катаклазированных пирротинсодержащих метабазах и метагипербазитах выявлены и в Чара-Олекминской области. Некоторые из проявлений **Au** **содержат элементы платиновой группы (ЭПГ)** [36].

Практически во всех зонах тектонического меланжа (Амгинской, Каларо-Становой, Тыркандинской и др.) среди бластомилонитов обнаружена рассеянная золотая минерализация [38]. Подобная минерализация задокументирована и в базальных отложениях Учуро-Майского прогиба [7].

Однако главная минерагеническая специфика Алданского щита, отличающая его от классических щитов Австралии, Бразилии и Канады, заключается в присутствии на его площади не только докембрийских, но и позднемезозойских месторождений **PGE**, **Au**, **U** и **Mo**, сосредоточенных в Чара-Алданском, Южно-Якутском, Инагли-Кондер-Феклистовском поясах и иных металлогенических зонах [5, 6, 19, 30, 36, 46, 47, 55, 56].

Детальные геологические, петролого-геохимические и геохронологические исследования рудоносных комплексов, особенно обладающих “узнаваемыми” специфическими особенностями, способствовали выделению на его площади разномастных минерагенических таксонов. Так, среди упоминавшихся выше зон тектонического меланжа с проявлениями **Au** в бластомилонитах размещена основная (>50%) часть золотоносных (россыпных) районов Алданской провинции [36, 38].

Относительно широко распространены на Алданском щите не только тектонические, но и специфические магматические образования. Например, кольцевые ультрамафит-щелочные (с карбонатами) и щелочно-ультраосновные (с дунитовыми ядрами) плутоны, кимберлитоподобные и собственно кимберлитовые тела. Наличие подобных изометричных интрузивов разного облика, возраста и геохимической специализации способствует, по мнению авторов, идентификации геологических и геодинамических обстановок формирования рудоносных узлов, районов, металлогенических зон и поясов. Наиболее древними – предвендскими (~650 млн лет) и достаточно крупными (до 40 км²) среди кольцевых (с карбонатами) плутонов являются Ингилийский и Арбарастахский, расположенные в восточной краевой части Алданского щита [14, 15, 26, 51]. Они содержат значительные ресурсы уран-редкометалльных (**Nb**, **Ta**), **редкоземельных** элементов цериевой группы, стронция и апатит-магнетитовых руд [8]. Геодинамическая позиция названных массивов определяется приуроченностью к борту палеорифта, расчленившего в свое время (под влиянием суперплюма) лавразий-

скую часть Родинии [25]. Современное простиражение металлогенических зон с такими плутонами: у Арбарастах-Ингилийской зоны – северо-восточное, у Нимнырской, в Центрально-Алданском супертеррейне – субмеридиональное [15, 36].

Совсем иное, запад-северо-западное, простираение имеет пояс, в котором сосредоточены позднемезозойские щелочно-ультраосновные (с дунитовым ядром) концентрически зональные плутоны, специализированные на **Cr-ЭПГ** элементы [45]. Как выяснилось в последние годы, они принадлежат Инагли-Кондер-Феклистовскому (ИКФ) платиноносному поясу. Благодаря сейсмотомографическим исследованиям [62, 63] определена размещенность ИКФ пояса над одной из палеотрансформных границ океанического слэба стагнированного в транзитной зоне мантии [46, 54].

Отмеченные кольцевые щелочно-ультраосновные массивы (с дунитовым ядром) в совокупности с другими ассоциирующими с ними магматическими образованиями разной геохимической специализации и отождествляемые с разными металлогеническими поясами имеют и некоторые другие достаточно отчетливо выраженные отличия от карбонатитоносных интрузивов. По М.В. Горошко и В.А. Гурьянову [8], для последних характерна дискретность перехода от ранних ультрамафит-щелочных к поздним собственно щелочным образованиям. Иная, последовательная, смена имеет место у “гетерогенных” (с дунитовым ядром) массивов. У них ранние щелочноземельные фазы последовательно сменяются поздними – щелочными. В дальнейшем изложении авторами приводятся материалы, относящиеся только к щелочно-ультраосновным массивам с дунитовым ядром. В этой связи подчеркнем, что вывод А.А. Маракушева, И.Я. Некрасова и их соавторов [29, 34] об образовании практически всех пород кольцевых массивов (с дунитовым ядром) из единого расплава, в процессе кристаллизационной дифференциации, имеет весьма важное значение. Согласно этому выводу, дуниты представляют собой типичные кумуляты, а более поздние, известково-щелочные, а затем субщелочные и щелочные породы натриевого и калиевого рядов являются продуктами кристаллизации остаточных расплавов, насыщенных газо-водосолевыми флюидами.

Для ранее названных минерагенических областей Алданского щита характерно наличие нескольких крупных разобщенных ареалов позднемезозойских (**J-K**) **магматических образований** повышенной щелочности, с которым совмещены многие рудные районы (рис. 3). Наиболее изученным из ареалов (и районов) является Центрально-Алданский (рис. 4). Существует несколько схем возрастного и формационного расчленения магматитов ареала и Алданской плутоновой системы в целом [28]. Считается, что “изначально щелочно-базальтовый корово-мантийный вулкано-

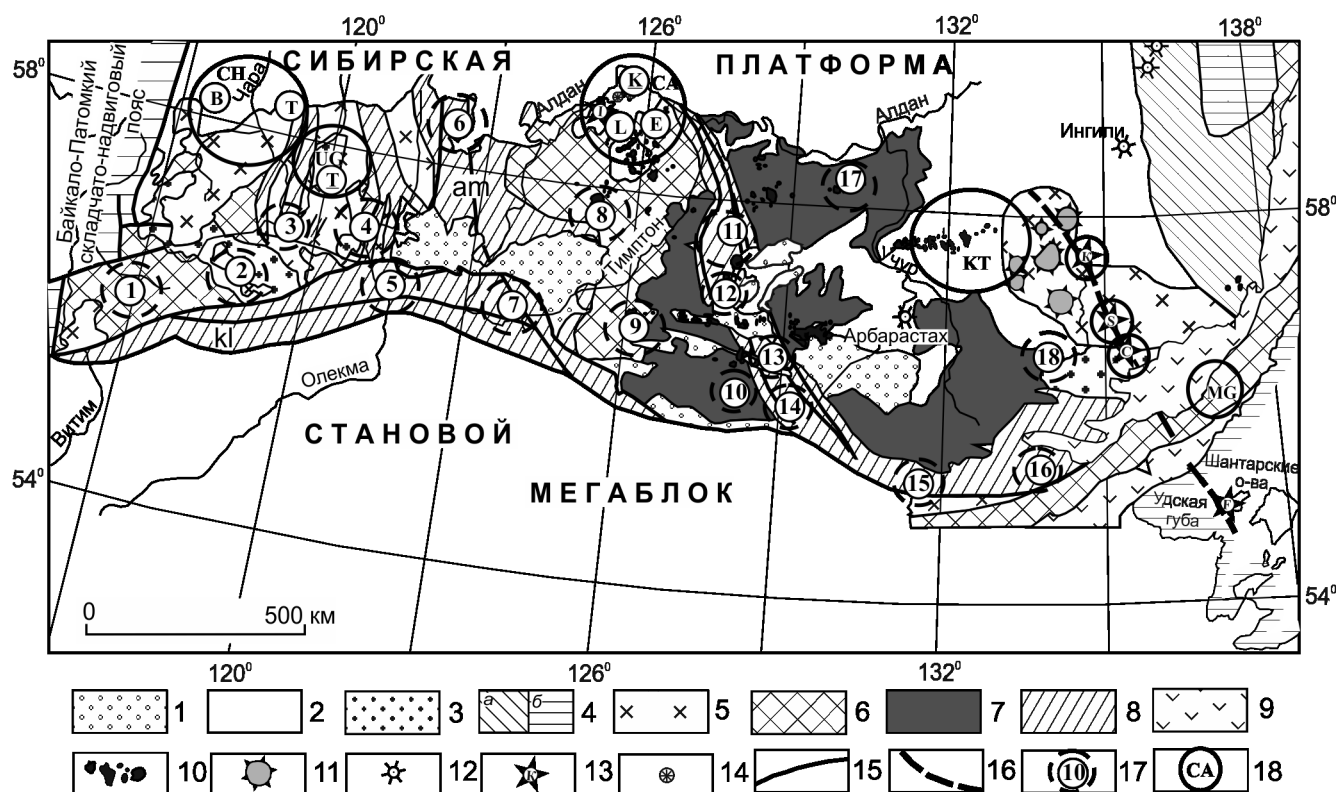


Рис. 3. Схема размещения рудных районов и узлов на площади Алданского щита по [20, 38, 41] с упрощениями и дополнениями.

1–16 – см. рис. 2; 17–18 – металлогенические таксоны: 17 – раннедокембрийские (цифры в кругах: 1 – Кадарский, 2 – Удоканский, 3 – Ханинский, 4 – Олдонгсинский, 5 – Олекма-Куртахский, 6 – Верхнеамгинский, 7 – Верхнетимптонский, 8 – Верхненимнырский (Эвотинский), 9 – Гувилгринский, 10 – Атугейский, 11 – Тыркандинский, 12 – Ломамский, 13 – Алтан-Чайдахский, 14 – Верхнетокский, 15 – Купури-Майский, 16 – Джанинский, 17 – Мегюсканский, 18 – Уянский); 18 – позднемезозойские: СН – Чарский, УГ – Угуйский, СА – Центрально-Алданский, КТ – Кеткапско-Томптоканский, МГ – Магейский; узлы: I – Инаглинский, К – Кондерский, С – Чадский, F – Феклистовский, S – Сыбах, В – Березовский, Т – Торгойский, К – Куранахский, Е – Эльконский, L – Лебединский, Т – Таборный.

Fig. 3. Scheme of distribution of ore districts and nodes on the Aldan Shield area after [20, 38, 41] with simplifications and additions.

1–16 – see Fig. 2; 17–18 – metallogenic taxa: 17 – Early Pre-Cambrian (figures in circles: 1 – Kadarsky, 2 – Udokansky, 3 – Khaninsky, 4 – Oldongsinsky, 5 – Olekma-Kurtakhsy, 6 – Verkhneamginsky, 7 – Verkhnetimptonsky, 8 – Verkhnenimnysky (Evotinsky), 9 – Guvilgrinsky, 10 – Atugeisky, 11 – Tyrkandinsky, 12 – Lomamsky, 13 – Altan-Chaidakhsy, 14 – Verkhnetoksky, 15 – Kupuri-Maisky, 16 – Dzhaniinsky, 17 – Megyuskansky, 18 – Uyansky); 18 – Late Mesozoic districts: CH – Charsky, UG – Uguisky, CA – Central Aldansky, KT – Ketkapsko-Tomptokansky, MG – Mageisky; nodes: I – Inaglininsky, K – Kondersky, S – Chadsky, F – Feklistovsky, S – Sybakh, B – Berezovsky, T – Torgoisky, K – Kuranakhsy, E – El'konsky, L – Lebedinsky, T – Tabornyy.

плутонический алданский комплекс сформировался в режиме пульсации (4–5 этапов и множество фаз внедрения) и дифференциации магм в зрелой континентальной коре, включая малоомощный чехол» [6, с. 472]. В алданском комплексе выделяют несколько ассоциаций: известково-щелочную трахиандезит-диорит-гранодиоритовую, субщелочную монцонит-сиенитовую, калий-натриевую фonoлит-щелочносиенитовую, калиевые шонкинит-щелочно-пикритовую и лейцитит-щелочно-сиенитовую. Подобные ассоциации (трахиандезит-диорит-гранодиоритовая, тефрит-фолит-щелочнотрахитовая с сиенитами, фойдо-щелочно-сиени-

товая и монцонит-сиенитовая) диагностированы и на востоке Алданского щита, в Кеткапско-Юнской и Томптоканской зонах [27, 37]. Распространены они и в западной, Чара-Олекминской, области [41].

ОСОБЕННОСТИ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ АЛДАНСКОГО ЩИТА

Согласно схеме глубинного строения Юго-Востока России, созданной на основе 5-миллигальной гравиметрической карты масштаба 1 : 2 500 000 и материалов сейсмического профилирования, Алданский щит представляет обособленное сооружение,

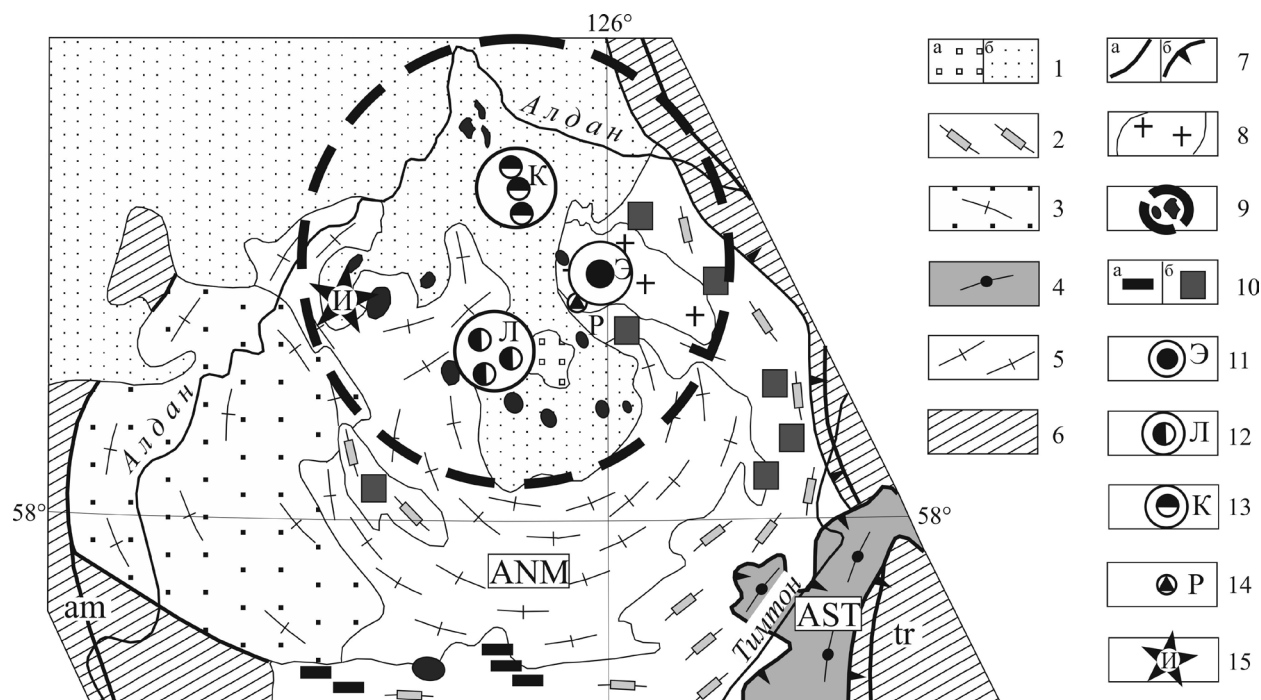


Рис. 4. Схематическая карта Алдан-Тимптонской (Центрально-Алданской) минерагенической области по [18, 36] с изменениями.

Террейны: ANM – Нимнырский, гранулит-ортогнейсовый; AST – Сутамский, гранулит-парагнейсовый. 1 – чехол Сибирской платформы: а – юрский терригенный (эпиplatformный), б – венд-кембрийский, преимущественно карбонатный; 2 – плагиогнейсы, реже сланцы с прослоями и линзами флогопит-диопсидовых пород и кальцифиров (федоровская толща); 3 – кварциты и высокоглиноземистые гнейсы, гранито-гнейсы (курумканская толща); 4 – гнейсы и плагиогнейсы (сеймская толща); 5 – гранито-, чарнокито-, эндербито-гнейсы (ингрский, нимнырский комплексы); 6 – зоны тектонического меланжа: am – Амгинская, tr – Тыркандинская; 7 – крутопадающие разломы (а) и надвиги (б); 8 – Эльконское (Якут – Ыллымахское) поле гранитизации; 9 – условная внешняя граница Центрально-Алданского магматогена и крупные мезозойские известково-щелочные и щелочные массивы; 10 – докембрийские месторождения: а – магнетита в скалах, б – флогопита; 11–15 – главные благороднометалльные узлы и поля: 11 – Эльконский (Au-U); 12 – Лебединский (Au), 13 – Куранахский (Au), 14 – Рябиновское (Au, Mo), 15 – Инаглинский (МПГ).

Fig. 4. Schematic map of Aldan-Timpton (Central-Aldan) mineragenic area after [18, 36] with modifications.

Terranes: ANM – Nimnysky, granulite-orthogneissic; AST – Sutamsky, granulite-paragneissic. 1 – cover of the Siberian Platform: a – Jurassic terrigenous (epiplatform), b – Vendian-Cambrian, predominantly carbonaceous; 2 – plagiogneisses, rarely shales with interlayers and lenses of phlogopite-diopside rocks and calciphyres (Fedorovskaya strata); 3 – quartzites and high-alumina gneisses, granite-gneisses (Kurumkanskaya strata); 4 – gneisses and plagiogneisses (Seimskaya strata); 5 – granite-, charnockite-, enderbite-gneisses (Iengrsky, Nimnysky complexes); 6 – zones of tectonic melange: am – Amginskaya, tr – Tyrkandinskaya; 7 – steeply dipping faults (a) and thrust faults (b); 8 – Elkon'skoe (Yakut-Yllymakhscoe) field of granitization; 9 – conventional outer boundary of Central Aldan magmatogen and large Mesozoic calc-alkaline and alkaline massifs; 10 – Precambrian deposits: a – magnetite in skarns, b – phlogopite; 11–15 – main precious-metal nodes and fields: 11 – Elkon'sky (Au-U); 12 – Lebedinsky (Au), 13 – Kuranakhsky (Au), 14 – Ryabinovskoe (Au, Mo), 15 – Inagil'sky (PGE).

которому соответствует глобальный минимум Δg I порядка [48]. В осевой части минимума выделяется широтная Южно-Алданская зона низкого гравитационного поля (минимум Δg II порядка). По обе стороны от осевого минимума расположены аномальные области относительных поднятий с более плотной корой и несколько повышенным слабоградиентным полем. Геофизические данные свидетельствуют о вероятности плотностной инверсии и региональном объемном глубинном разуплотнении земной коры и верхней мантии под этим полем. Низкий вертикальный градиент плотности воспринимается как указатель силичности земной коры к югу

от Алданского щита. В пределах последнего выделяются ортогонально ориентированные к осевому минимуму аномалии плотности III порядка, в том числе и Олекма-Становая сейсмоактивная зона.

Мощность литосферы Алданского щита оценивается в 140–170 км, а земной коры – в 35–40 км [45]. При этом плотностному максимуму в литосфере и земной коре соответствует относительное понижение плотности литосферной мантии. По мнению геофизиков, "...такое распределение масс может быть связано с мантийным диапиризмом" [45, с. 60].

О более глубинных, подлитосферных, уровнях, соответствующих астеносферной, средней и ниж-

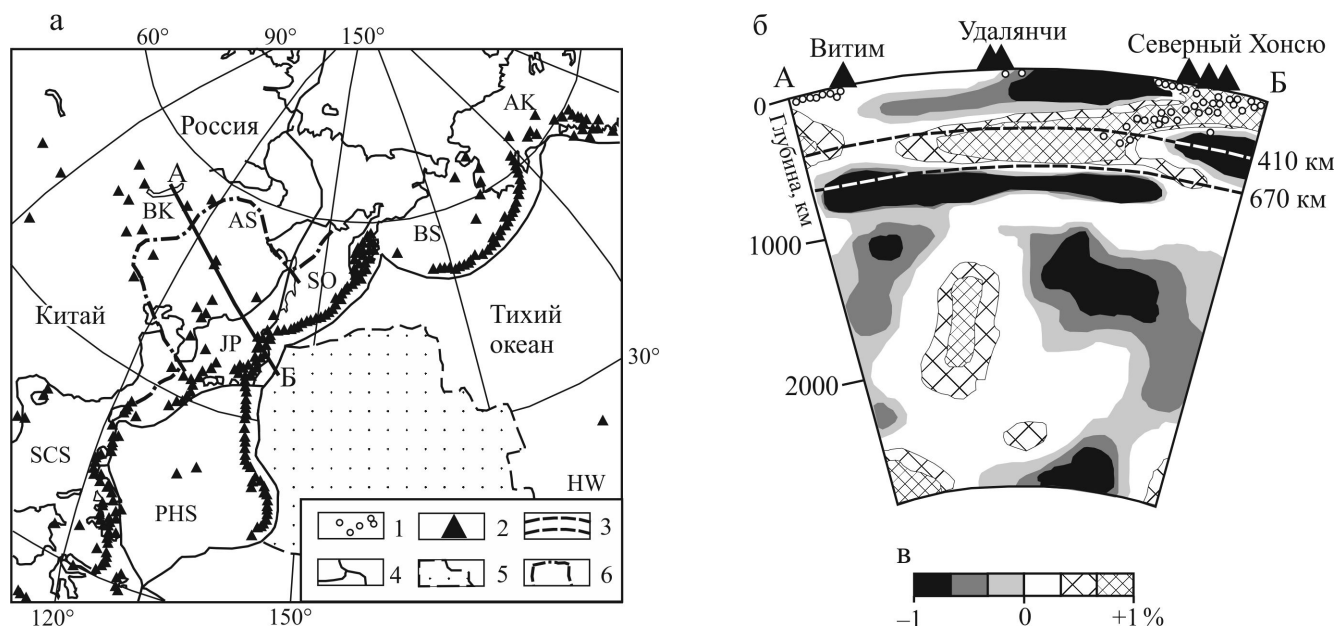


Рис. 5. Фрагмент Азиатско-Тихоокеанской мегазоны конвергенции (а), разрез мантии вдоль профиля АБ (б) и шкала скоростей распространения продольных сейсмических волн (в) (интенсивность цвета и штриховка разной густоты отражают скорость распространения сейсмических волн по [16, 63] с изменениями и дополнениями).

1 – гипоцентры землетрясений (в зоне ± 100 км от профиля), 2 – активные вулканы, 3 – интервал скачкообразного изменения сейсмических свойств на глубинах 410 и 670 км (транзитная зона), 4 – границы плит, 5 – древняя часть океанической плиты (возраст > 95 млн лет) [12], 6 – контуры стагнированного Приморского слэба на глубине 550 км. АК – Аляска, AS – Алданский щит, BK – оз. Байкал, BS – Берингово, JP – Японское, PHS – Филиппинское, SCS – Южно-Китайское, SO – Охотское моря; HW – Гавайские острова.

Fig. 5. A fragment of the Asia-Pacific convergence megazone (a), section of mantle along profile AB (б), and a scale of the propagation velocities of longitudinal seismic waves (в) after [16, 63] with modifications and additions (the intensity of color, mottling, and shading reflect the differences of the propagation of seismic waves velocities).

1 – Hypocenters of earthquakes (in the area of ± 100 km from the profile), 2 – active volcanoes, 3 – interval of abrupt change of seismic properties at the depth 410 and 670 km (transit zone), 4 – plate boundaries, 5 – ancient part of the oceanic plates (age > 95 Ma) [12], 6 – stagnant Primorsky slab at the depth 550 km. AK – Alaska, AS – Aldan shield, BK – Lake Baikal; Seas: BS – Bering, JP – Japan, PHS – Philippine, SCS – South China, SO – Okhotsk; HW – Hawaiian Islands.

ней мантии можно судить по опубликованным материалам сейсмотомографических исследований [16, 57, 58, 61–63]. Они свидетельствуют о том, что под юго-восточной и центральной частью Алданского щита в переходной (транзитной) зоне мантии, на глубинах 410–670 км, находится палеотрансформный разлом, ограничивающий с северо-востока стагнированный океанический слэб, названный нами ранее Приморским. Его фронтальная граница проецируется на междуречье рр. Алдана и Олекмы и верховья последней [46] (рис. 5).

ПОЗДНЕМЕЗОZOЙСКАЯ РУДОНОСНОСТЬ АЛДАНСКОГО ЩИТА И ГЕОХРОНОЛОГИЯ ЕЕ ФОРМИРОВАНИЯ

Наиболее изученная минерагеническая область Алданского щита – Алдан-Тимптонская, в которой главенствующее положение занимает Центрально-Алданский рудный район. Он расположен на площа-

ди Нимнырского гранулит-ортогнейсового террейна (см. рис. 4), характерными структурными формами которого являются гранито-гнейсовые купола [36]. Район многие десятилетия считался эталоном позднемезозойской “отраженной”, или “автономной”, активизации древнего щита [17]. В настоящее время его рассматривают в качестве примера проявленности внутриконтинентальных процессов рифтогенеза, магматизма и рудообразования [45]. Наиболее значимым событием таких процессов явилось становление вулканоплутонических образований алданского мафит-щелочно-сиенитового комплекса (называемого также щелочноземельно-щелочным, щелочно-базальтовым) в виде крупного магматического ареала (“магматогена”, по Е.П. Максимова) диаметром около 120 км из вулканических, субвулканических, интрузивных тел и сопряженных с ними проявлений эндогенного оруденения (см. рис. 4). Алданскому магматогену соответствует высокоомная воронка, корни которой располагаются в верхней мантии.

Результаты магнито-теллурического зондирования свидетельствуют, по В.А. Абрамову [1], о вероятности существования палеомагматических очагов на глубинах 200, 100 и 50 км. Диапазон формирования магматитов на основании многочисленных определений абсолютного возраста приходится на 165–155, 145–140, 135–130 млн лет [18, 19, 23, 24]. Самыми молодыми (110–100 млн лет) считаются дайки щелочных пород (сиенит-порфиров, грорудитов, тингуаитов), пересекающие рудоносные линейные штокверки. Такой временной размах подтверждается в целом данными новых исследований локальных рудно-магматических систем района [49].

На площади района размещены крупные золоторудные узлы (Куранахский, Лебединский, Эльконский) с месторождениями разных геолого-генетических типов (золото-джаспероидного, золото-скарноидного, золото-сульфидного, золото-порфирового, золото-уранового и др.), возникших в единую – позднемезозойскую – металлогеническую эпоху [5, 6, 18]. Перечисленные типы оруденения размещены среди пород разных структурных этажей. В гранито-гнейсах распространена золото-браннеритовая минерализация Эльконского узла, в карбонатных толщах чехла – субсогласные лентовидные залежи золото-сульфидной (низы разреза) и золото-джаспероидной (верхи разреза) минерализации Лебединского и Куранахского узлов соответственно.

Золото-урановое оруденение, сосредоточенное в кристаллических породах основания, контролируется крупными протяженными (десятки километров) омоложенными разломами древнего заложения. В них дайки раннепротерозойских микродиоритов, чередуясь с бластокатаклазитами и бластомилонитами, окружены кварц-микроклиновыми и пирит-карбонат-калишпатовыми метасоматитами мощностью до 40 м [5]. Возраст метасоматитов (К-Ag метод) – 150–130 млн лет, браннерита (U-Pb метод) – 135–130 млн лет, а послерудных даек щелочных пород – 125–103 млн лет [18]. Основная часть Au сосредоточена в пиритах метасоматитов, а его зерна (30–50 мкм) пробностью 700‰ встречаются в поздней кальцит-адуляровой ассоциации [5].

Металлогеническая специализация Алданского района определяется не только золотом и ураном, но также платиноидами и молибденом (Минеевское месторождение). В западной части района, среди мафит-ультрамафитов Инаглинского плутона (с дунитовым ядром), разведаны коренные проявления и россыпи МПГ Инаглинского узла (рис. 6). Платиноиды (мончеит, эрликманит) выявлены и в рудах золото-медно-порфировых месторождений [21]. Вообще, минералы платиновой группы (МПГ) встречены в районе во многих россыпных месторождениях Au [39].

К западу от Алдан-Тимптонской, в Чара-Олекминской минерагенической области, наиболее из-

вестные проявления разнотипной минерализации позднемезозойского возраста сосредоточены в Чарском и Угуйском рудных районах [10, 20, 38, 41]. В Чарском районе привлекает всеобщее внимание Торгойский рудный узел, расположенный на сопряжении метаморфических комплексов раннего докембрия и терригенно-карбонатных толщ чехла (рис. 7). Здесь среди щелочных пород крупного (130 км²) Мурунского массива (алданский комплекс, 130–115 млн лет), а также в его эндо- и экзо-контактах, оценены месторождения радиоактивного, калий-алюминиевого, керамического, камнесамоцветного сырья, барий-стронциевых карбонатов, черных (V, Ti), **цветных и благородных металлов** [31, 41]. Рудоносные зоны Торгойского U-Th-P3Э месторождения, вскрытые среди интенсивно метасоматически преобразованных суперкальцевых (кальсилитовых) нефелиновых сиенитов, содержат браннерит, настуран, уранинит, коффинит, торит, торбернит, монацит, отенит и другие радиоактивные минералы. На некоторые его ураноносные зоны, как и на Алданской площади, наложены кварц-гематитовая, платиноидная, золото-кварц-сульфидная и золото-серебряная (Au-МПГ-Ag) минерализация. Благородные металлы в таких зонах представлены самородным золотом, сперритом, соболевскимитом, садбериитом, фрудитом, канфильдитом [31].

В Угуйском рудном районе также выявлено несколько рудопроявлений Au и **месторождение Таборное** [10]. Оно локализовано в приконтактовой тектонически нарушенной зоне осадочных пород нижнего протерозоя с архейскими гнейсами (рис. 8). Стратиформная золотоносная зона содержит синформные дайки позднеюрских сиенит-порфиров. Она находится среди обширного ореола гидротермально-метасоматических изменений, претерпевших у поверхности интенсивный гипергенез. По опубликованным данным [10], калишпатовые метасоматические преобразования песчаников и вкрапленно-прожилковая минерализация в сиенит-порфирах возникли в единый позднемезозойский этап рудообразования. Выявлено несколько ассоциаций: калишпатовая, адуляр-кварцевая, золото-пирит-кварцевая, золото-сульфидно-кварцевая и др. Сульфиды (около 1 об. %) обычно представлены пиритом, халькопиритом, галенитом и сфалеритом. В наиболее поздней галенит-молибденит-кварцевой ассоциации выявлены вкрапления акантита и самородного серебра.

Тимптон-Учурская (Восточно-Алданская) минерагеническая область по сравнению с Чара-Олекминской характеризуется более существенной золотоносностью, сосредоточенной в нескольких рудороссыпных районах и узлах, таких как Томпоканский (Au), Дарьинский (Au-Ag), Даньский (Au), Омнинско-Одолинский (Au), Юньский (Au), Юртовый (Au), Улаханский (Au-Ag), Чадский (Au-Pt),

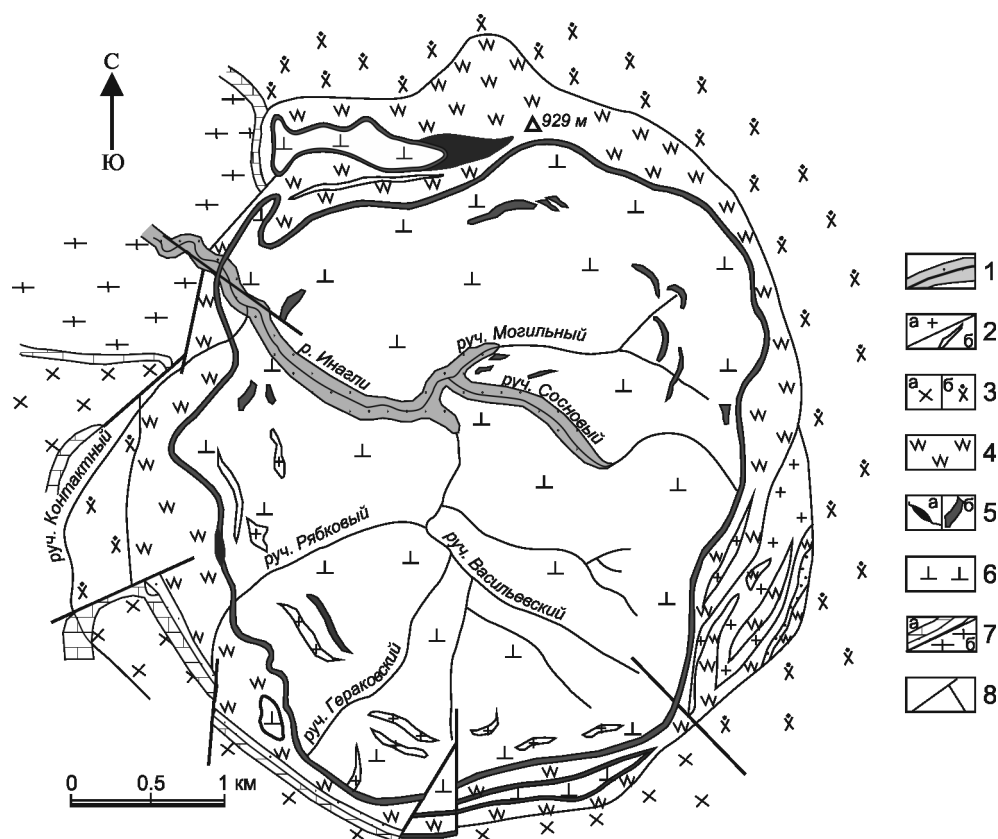


Рис. 6. Схема геологического строения Инаглинского платиноносного рудно-россыпного узла по [24] с дополнениями.

1 – платиноносные аллювиальные отложения; 2–3 – крупные тела и дайки: 2 – щелочных сиенитов (а), щелочных пегматитов (б), 3 – сиенит-порфиров (а), сиенит-диорит-порфиров (б); 4 – шонкиниты и малиниты; 5 – оливиновые клинопироксениты (аподунитовые) и слюдиты (а), калиевые перидотиты (б); 6 – дуниты платино-хромитовые; 7 – мраморизованные известняки, гравелиты и песчаники рифея (а), граниты, кристаллические сланцы и гнейсы архея (б); 8 – разломы.

Fig. 6. Scheme of geological structure of Inaglinsky platinum-bearing ore-placer node after [24] with additions.

1 – platinum-bearing alluvial deposits; 2–3 – big bodies and dikes: 2 – alkaline syenites (a), alkaline pegmatites (b), 3 – syenite-porphyrates (a), syenite-diorite-porphyrates (b); 4 – shonkinites and malignites; 5 – olivine clinopyroxenites (apodunite) and glimmerites (a), potassic peridotites (b); 6 – platinum-chromite-bearing dunites; 7 – marbled limestones, gritstones, and sandstones of Riphean (a) and granites, crystalline schists and gneisses of Archean (b); 8 – faults.

Кондерский (Pt) и др. [13] (рис. 9). Новейшие определения возраста магматитов разными методами (K-Ar, U-Pb по цирконам и сфенам), с которыми ассоциируют проявления благороднометалльного оруденения Кеткарско-Юнской и Томптоканской площадей, свидетельствуют о их формировании в возрастном диапазоне 125.8–120.1 млн лет [37].

Среди платиноносных зональных (с дунитовым ядром) массивов, размещенных на Омнинско-Батомском поднятии и по его обрамлению [46], наиболее известным является Кондерский (рис. 10). В рельефе ему соответствует классическая циркообразная котловина, окруженная одноименным кольцевым хребтом. Именно здесь, в этой долине, разведаны богатые россыпи минералов платиновой группы. В плотике россыпей среди выветрелых трещиноватых пород массива встречаются по-

вышенные количества зерен платины. Прямое датирование россыпной ферроплатины (112 ± 7 млн лет) [50] вполне согласуется с возрастом платиноносного дунита (U-Pb метод) системы “бадделит-циркон” (124.9 ± 1.9 млн лет и 125.8 ± 3.8 млн лет) соответственно [40].

В сростках платины с другими минералами россыпей определены хромит, титаномagnetит, оливин, хромдиопсид. Преобладающей минеральной примесью являются хромшпинелиды. Особенности распределения РЗЭ во включениях хромшпинелидов свидетельствуют об участии в их генезе щелочных водосодержащих высокотемпературных ультраосновных (пикритовых) расплавов [43], что вполне определенно указывает на влияние мантийного плюма при образовании дунитового ядра платиноносного массива. Производными подобных распла-

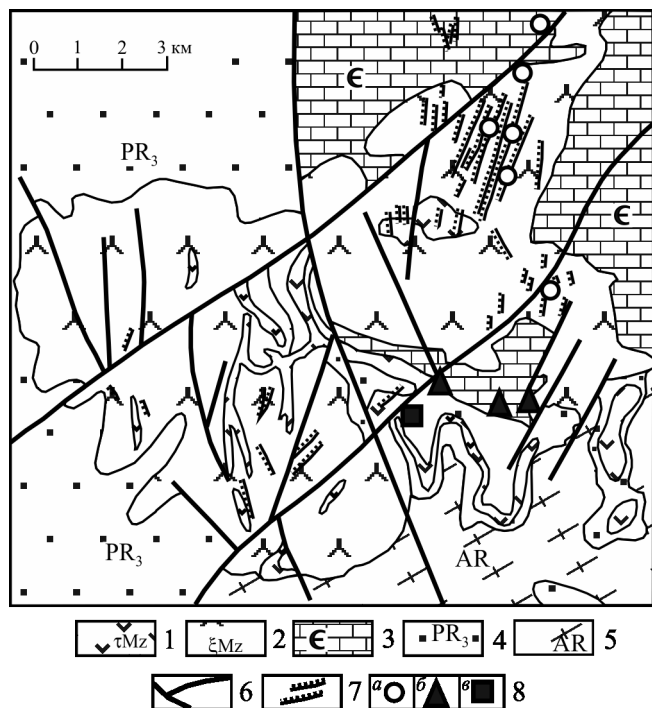


Рис. 7. Схематическая геологическая карта Торгойского рудного узла по [41].

1–2 – позднемезозойские магматические образования Мурунского массива: 1 – трахиты, τMz ; 2 – нефелиновые сиениты, шонкиниты, нерасчлененные, ξMz ; 3–4 – платформенный чехол: 3 – известняки, доломиты, €; 4 – терригенные отложения, PR_3 ; 5 – архейские гранитогнейсы, AR; 6 – крупные разломы; 7 – ураноносные зоны; 8 – проявления и месторождения золота (а), чароита (б), карбонатитов (в).

Fig. 7. Schematic geological map of Torgoisky ore node after [41].

1–2 – Late Mesozoic magmatic formations of Murunsky massif: 1 – trachytes, τMz ; 2 – nepheline syenites, shonkinites, not dismembered, ξMz ; 3–4 – platform cover: 3 – limestones, dolomites, €; 4 – terrigenous deposits, PR_3 ; 5 – Archean granite-gneisses, AR; 6 – big faults; 7 – uranium-bearing zones; 8 – manifestations and deposits of gold (a), charoite (б), carbonatites (в).

вов, по заключению А.А. Маракушева и его коллег [29], являются и гранитоидные образования повышенной щелочности (в том числе нефелиновые сиениты), распространенные в обрамлении плутона.

У южной окраины Омнинско-Батомского поднятия на площади верхнепротерозойского Улканского прогиба, в 125 км к югу от Кондерского, расположен Чадский щелочно-ультраосновной кольцевой массив (рис. 11). Обладая существенно меньшими размерами, он является источником комплексной россыпи, в которой учтенные запасы МПГ почти в 9 раз больше, чем Au.

Завершая краткую геологическую и минерагическую характеристику позднемезозойских проявлений эндогенного оруденения Алданского щита,

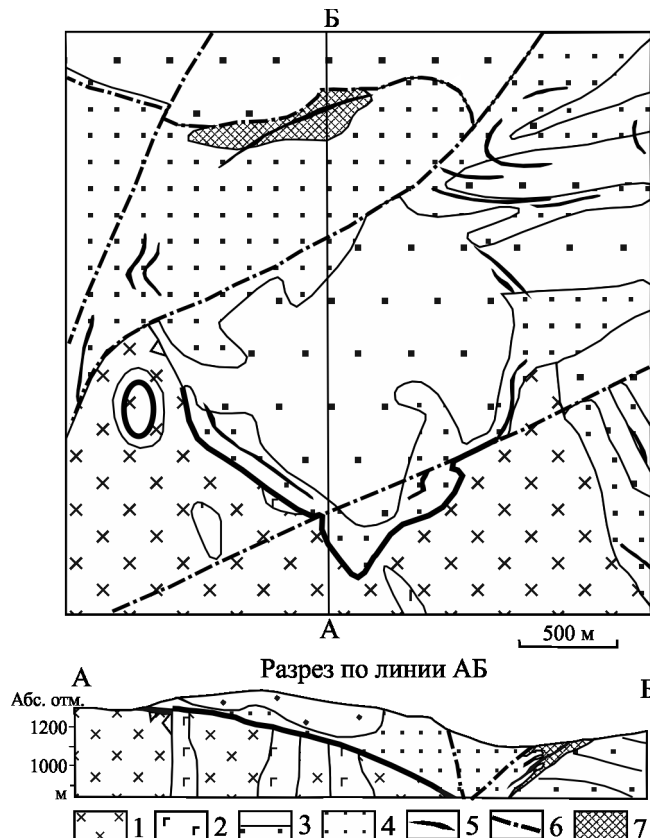


Рис. 8. Схематическая геологическая карта рудного поля Таборное по [10] с изменениями.

1 – архейские гранитогнейсы и граниты; 2 – штоки габбро, vPR_1 ; 3–4 – нижнепротерозойские терригенные отложения, PR_1 (песчаники): 3 – неизмененные, 4 – калишпатизированные; 5 – силлы и дайки сиенит-порфиров, ξJ_3 ; 6 – разрывные нарушения; 7 – рудная залежь.

Fig. 8. Schematic geological map of Tabornoe ore field after [10] with modifications.

1 – Archean granite-gneisses and granites; 2 – stocks of gabbro, vPR_1 ; 3–4 – Lower Proterozoic terrigenous deposits, PR_1 (sandstones): 3 – not altered, 4 – with kalifeldspathization; 5 – sills and dikes of syenite-porphyrates, ξJ_3 ; 6 – rupture dislocations; 7 – ore bed.

та, отметим, что, во-первых, основная их часть формировалась в возрастном диапазоне 130–110 млн лет, т.е. в барреме–апте, в тесной пространственно-временной ассоциации с магматическими образованиями повышенной щелочности. Во-вторых, все выявленные раннемеловые месторождения МПГ, Au, U размещаются в северной части Алданского щита, у границы с терригенно-карбонатными толщами чехла Сибирской платформы. И, в-третьих, платиноносные щелочно-ультраосновные (с дунитовым ядром) массивы кондерского типа не обнаружены в Чаро-Олекминском мегаблоке, под литосферой которого отсутствует стагнированный океанический слэб.

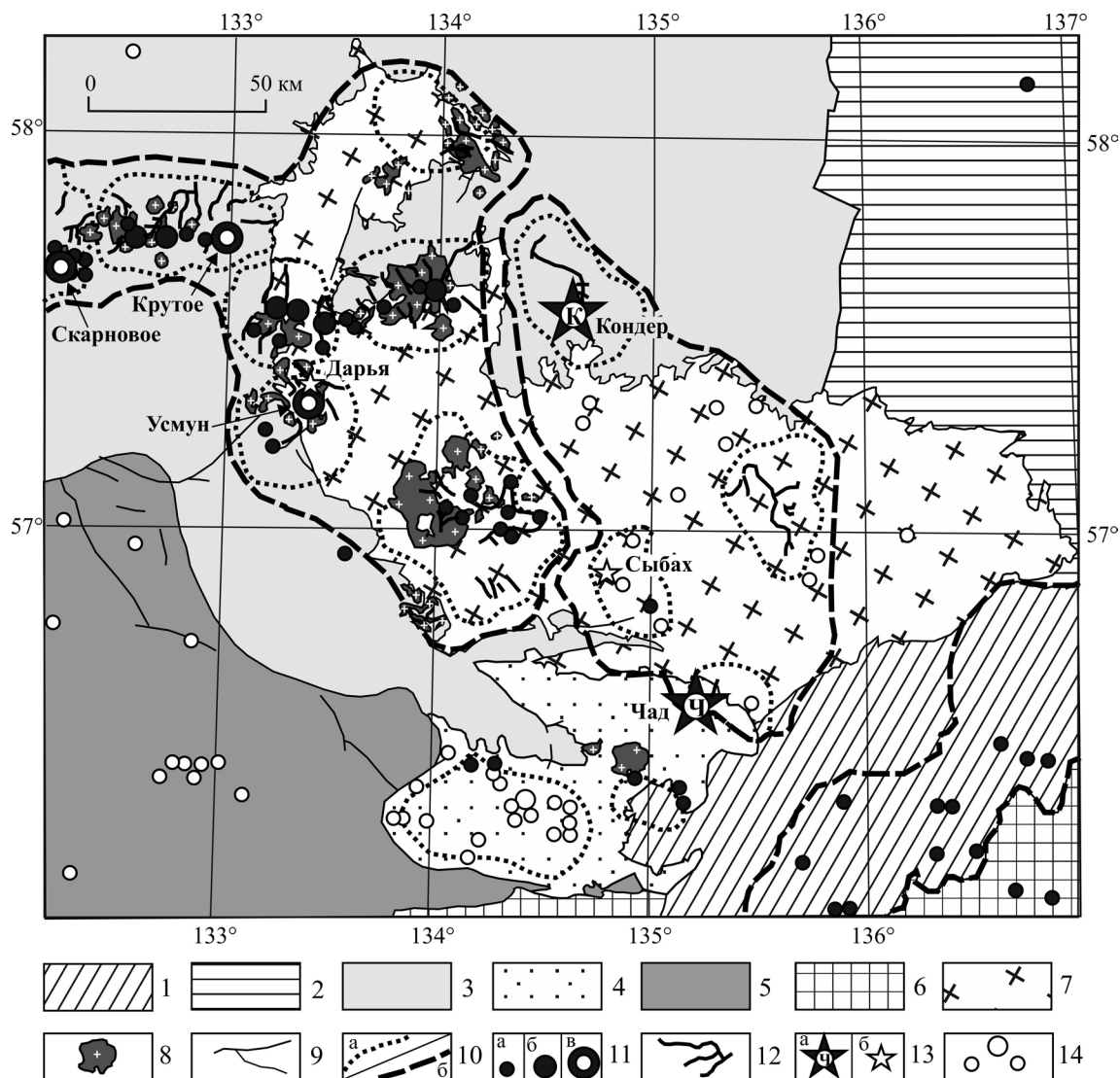


Рис. 9. Тектоно-минерагеническая карта Тимптон-Учурской (Восточно-Алданской) области Алданского щита по [13] с изменениями.

1 – фрагмент Охотско-Чукотского вулканического пояса, J_3-K_1 (Преддзугджурский вулканогенный прогиб); 2 – фрагмент Верхояно-Колымской складчато-надвиговой системы, C_1-P_1 (Кыллахская и Сетте-Дабанская подзоны); 3–4 – стратифицированные отложения чехла Северо-Азиатского кратона, PR–Є: 3 – терригенно-карбонатные толщи Учуро-Майской впадины, 4 – терригенно-вулканогенные толщи Улканского прогиба, RF; 5 – фрагмент учурской системы блоков раннего докембрия; 6 – Становая складчато-глыбовая система, AR-PR; 7 – гранит-зеленокаменные образования (Оминско-Батомское сводовое поднятие) фундамента кратона; 8 – раннемеловые интрузивные и субинтрузивные образования повышенной щелочности, нерасчлененные; 9 – некоторые разломы; 10 – границы минерагенических таксонов: а – узлов, б – районов; 11 – известные золоторудные объекты: а – рудопоявления; б, в – месторождения: б – мелкие, в – средние; 12 – россыпи Au; 13 – платиноносные щелочно-ультраосновные плутоны (с дунитовым ядром): а – крупные с россыпями Pt, б – мелкие; 14 – проявления других полезных ископаемых.

Fig. 9. Tectono-mineragenic map of Timpton-Uchurskaya (East Aldan) area of Aldan Shield after [13] with modifications.

1 – a fragment of Okhotsk-Chukotka volcanic belt, I_3-K_1 (Pre-Dzhugdzhursky volcanogene trough); 2 – a fragment of the Verkhoyansk-Kolyma folded-thrust system, C_1-P_1 (Kyllakhskaya and Sette-Dabanskaya subzones); 3–4 – stratified sediments of the North-Asian craton cover, PR–Є: 3 – terrigenous-carbonaceous strata of Uchuro-Maiskaya depression, 4 – terrigenous-volcanogenic strata of Ulkansky trough, RF; 5 – a fragment of Uchurskaya system of the Early Precambrian blocks; 6 – Stanovaya folded-block system, AR-PR; 7 – granite-greenstone formations (Omninsko-Batomsky arched uplift) of the craton basement; 8 – Early Cretaceous intrusive and subintrusive formations of higher alkalinity, not dismembered; 9 – some faults; 10 – boundaries of mineragenic taxons: a – nodes, б – districts; 11 – known gold-ore objects: а – ore manifestations; б, в – deposits: б – small, в – medium; 12 – Au placers; 13 – platinum-bearing alkali-ultrabasic plutons (with a dunite core): а – large with Pt placers, б – small; 14 – occurrences of other useful minerals.

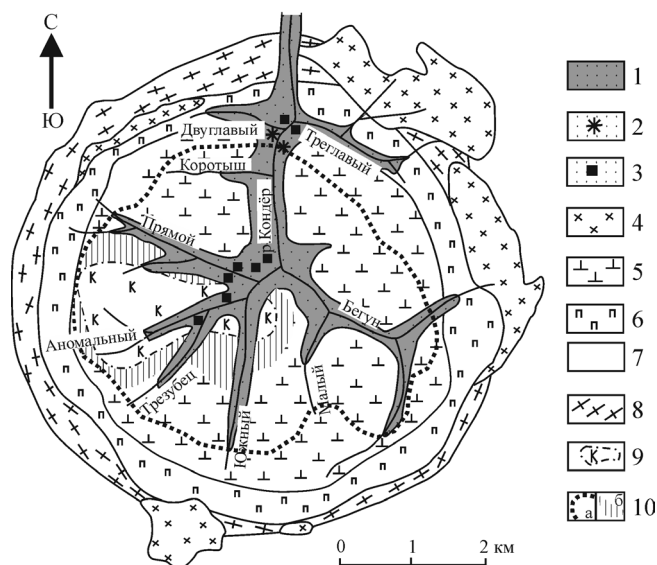


Рис. 10. Генерализованная схема геологического строения Кондерского рудно-россыпного узла по [44].

1–3 – платиноносные аллювиальные отложения: 1 – золото-платиновые россыпи, 2 – места обнаружения уникальных самородков платины массой более 1.5 кг, 3 – участки скопления мелких платиновых самородков кристаллической формы; 4 – диориты, монцодиориты, гранодиориты нерасчлененные (алданский комплекс); 5 – дуниты (преимущественно порфировидные) платино-хромитовые; 6 – пироксениты (оливиновые и магнетитсодержащие) и меланогаббро; 7 – рифейские, слабдеформированные карбонатно-терригенные отложения; 8 – гнейсированные роговики по карбонатно-терригенным отложениям рифея, гнейсы, мигматиты, гнейсовидные плагиограниты; 9–10 – контуры: 9 – поля развития даек флогопит-магнетитовых клинопироксенитов (косьвитов) среди дунитов, 10 – участков повышенных содержаний платиноидов: мелких и пылевидных (а), более крупных (б).

Fig. 10. Generalized scheme of geological structure of Konderskiy ore-placer node after [44].

1–3 – platinum-bearing alluvial sediments: 1 – gold-platinum placers, 2 – sites where unique platinum nuggets more than 1.5 kg were found, 3 – areas of accumulation of small platinum nuggets of crystalline form; 4 – diorites, monzodiorites, granodiorites, not dismembered (aldansky complex); 5 – platinum-chromite-bearing dunites (predominantly porphyry-like); 6 – pyroxenites (olivine and magnetite-bearing) and melanogabbro; 7 – Riphean weakly deformed carbonate-terrigeneous sediments; 8 – gneissic hornfels over carbonaceous-terrigeneous deposits of Riphean, gneisses, migmatite, gneissoid plagiogranites; 9–10 – contours: 9 – dikes fields of phlogopite-magnetite clinopyroxenites (kos'vit) among dunite, 10 – areas with higher contents of platinoids: small and dust-like (a), larger (b).

ОБСУЖДЕНИЕ

Современные тенденции создания на завершающей стадии научных исследований непротиворечивых геодинамических моделей формирования

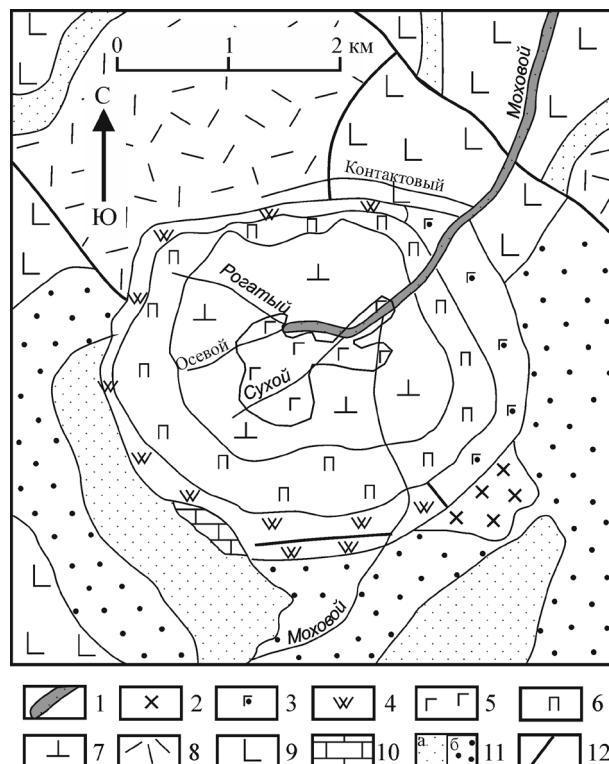


Рис. 11. Схема геологического строения Чадского золото-платинometалльного рудно-россыпного узла по [32].

1 – золото-платинometалльная россыпь; 2–4 – поздне-мезозойские магматические образования (алданский комплекс): 2 – диориты и гранодиориты, 3 – оливиновые габбро, габбро-нориты, 4 – кенталлениты, шонкиниты и сиениты; 5 – шток габбро-диабазов; 6 – аподунитовые пироксениты (оливин-клинопироксеновые и магнетит-оливин-клинопироксеновые); 7 – дуниты платино-хромитовые; 8–9 – силлы: 8 – порфири-тов, 9 – диабазов; 10–11 – верхнепротерозойские отложения: 10 – мраморы, доломиты, известняки (юдомская свита), 11 – конгломераты, песчаники, алевролиты эннинской (а) и гонамской (б) свит; 12 – разломы.

Fig. 11. Scheme of geological structure of Chadsky gold-platinum-metal ore-placer node after [32].

1 – gold-platinum-metal placer; 2–4 – Late Mesozoic magmatic formations (aldansky complex): 2 – diorites and granodiorites, 3 – olivine gabbro, gabbro-norites, 4 – kentallenites, shonkinites, and syenites; 5 – gabbro-diabases stock; 6 – apodunite pyroxenites (olivine-clinopyroxene and magnetite-olivine-clinopyroxene); 7 – platinum-chromite-bearing dunites; 8–9 – sills: 8 – porphyrites, 9 – diabases; 10–11 – Upper Proterozoic sediments: 10 – marbles, dolomites, limestones (Yudomskaya suite); 11 – conglomerates, sandstones, siltstones of Enninskaya (a) and Gonamskaya (b) suites; 12 – faults.

рудноносных объектов отражены во многих публикациях последних десятилетий. Во введении упоминалось о взглядах предшественников на причины возникновения позднемезозойской активизации на площади Алданского щита и обращалось внима-

ние на известную неконкретность объяснения “масштабности” и пространственно возрастных ограничений ТМА. Остановимся подробнее на этих вопросах. Ответы, устраняющие пробелы и неясности в трактовке природы ТМА и ее производных, предлагались и ранее. Геофизики привлекли внимание к Пограничной (Дахинган-Тайханской или Хингано-Охотской, Главной) трансрегиональной гравитационной ступени в качестве фронтальной линии воздействия Тихоокеанской океанической литосферы на Азиатскую континентальную. Степень фиксирует существенный (в 10–12 км) перепад мощности земной коры к востоку за счет редуцирования ее низов [11, 48, 53]. Хингано-Охотский фрагмент планетарной Индокитай-Чукотской гравитационной ступени мантийного заложения (шириной до 150 км при перепаде в 50–100 мГал) рассматривается ими как результат сложного и длительного воздействия тихоокеанской мегаплиты на окраину Азии. С фрагментом ступени на территории КНР и РФ совмещаются Большехинганский глубинный разлом и одноименный вулканический пояс (см. рис. 1).

Раньше геофизиков “геологическое” мнение по проблеме взаимодействия подвижных поясов высказали Ю.В. Комаров с соавторами [22]. Они выделили между побережьями Индийского и Ледовитого океанов протяженную субмеридиональную Верхояно-Бирманскую зону сочленения центрально- и восточноазиатских структур и дали ей сокращенное название “Вебирс”. Ширина этой трансконтинентальной зоны составляет 500–800 км (на траверзе оз. Байкал). По ряду геолого-геофизических и минерагенических критериев она рассматривалась в качестве западного “ограничителя” влияний тихоокеанских (подвижного и металлогенического) мегапоясов на Азиатский континент. На территории Прибайкалья и Забайкалья осевая часть зоны совмещается с Байкалом, а ее восточная граница – с западной окраиной Алданского щита, Жуинским глубинным разломом долготной ориентировки, Агинской “сигмидой” и т.д. [48]. Примечательна конформность Вебирс-Индокитай-Чукотской ступени ее Хинган-Тайханскому фрагменту, отстоящему от восточной границы зоны примерно на 500 км (рис. 12).

Наши предшественники допускали участие мантии в процессах ТМА, обусловивших развитие как специфического (сводово-глыбового) тектогенеза, так и специфического мафит-ультрамафитового магматизма повышенной щелочности. Правомерность предположений предшественников доказывается современными, уже упоминавшимися, петролого-геохимическими исследованиями разных минералов, в том числе хромшпинелидов, из дунитовых ядер щелочно-ультраосновных массивов [43]. И все же объективная причина возникновения активизационных процессов на площади щита оставалась не в полной мере выясненной.

Сторонники плейт-тектонической концепции развития геоструктур земной коры связывали ТМА с планетарными процессами субдукции в мегазонах конвергенции континентальных и океанических плит, повлиявшими на приуроченность ультрамафитовых массивов “...к фронтальной части конвергентного клина” [2, с. 31]. По этой версии, на флангах клина должны располагаться зоны кимберлитобразования и щелочно-ультраосновных пород, а в тылу – корового гранитоидного магматизма.

В качестве доказательства правомерности такой трактовки положения магматических образований обычно приводился Становой юрско-меловой магматический пояс, иногда называемый “плутоногенной системой”, протяженностью более 1200 км [48]. В его пределах образования диорит-гранодиоритовой, гранодиорит-граносиенитовой, сиенит-гранодиоритовой (и риолитовой) формаций распространены преимущественно в осевой части, а по сторонам от нее – андезитовые вулканические поля [45]. В трактовке Л.М. Парфенова с соавторами [35], развитие ТМА Алданского щита произошло вследствие преобразования Монголо-Охотской шовной зоны трансформного типа в активную континентальную окраину. Подобная трансформация привела к развитию известково-щелочного магматизма на Становом поднятии, а далее, к северу от него (на Алданском щите), – субщелочных и щелочных субинтрузивных, субвулканических образований. При этом юрско-нижнемеловые угленосные Чульманская и Токинская впадины рассматривались в качестве фрагментов тылового прогиба. В более поздней интерпретации тектонистов [45], юрско-меловые магматиты Станового пояса были отнесены к производным трансформной континентальной окраины, а Кеткарско-Юнской, Томптонской, Центрально-Алданской зон – к проявлениям внутриплитного магматизма.

Приведенные сведения позволяют констатировать, что решение проблем идентификации геодинамических обстановок формирования благороднометалльных (Au, МПГ) месторождений, узлов и районов Алданского щита, в том числе ассоциирующих с зональными щелочно-ультраосновными интрузивами и их производными, более 50 лет не могла быть решена из-за неопределенности многих основополагающих данных. Речь идет о вероятной глубинности зарождения флюидно-магматических колонн, обеспечивших возникновение мафит-ультрамафитовых массивов: причинах “гетерогенности” магматических образований, ассоциирующих с такими массивами; ограниченности данных по относительной и абсолютной хронологии становления интрузивных, субинтрузивных, субвулканических и экструзивных тел из соответствующих систем, ареалов и сопутствующих им продуктивных минеральных комплексов.

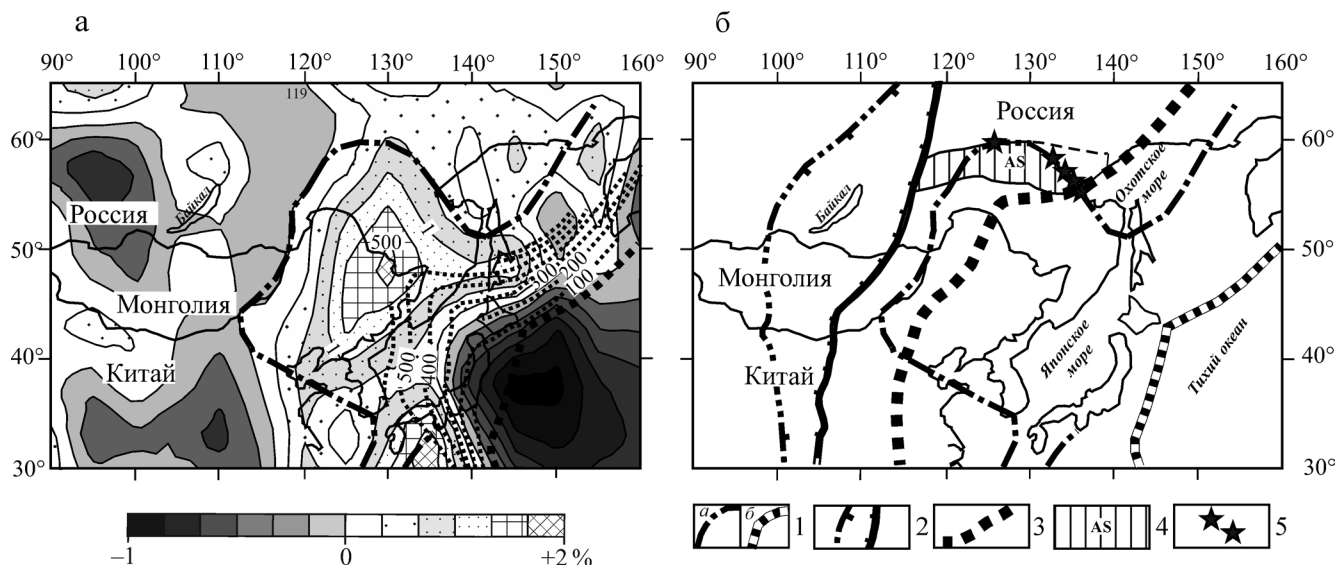


Рис. 12. Фрагмент Азиатско-Тихоокеанской мегазоны конвергенции со шкалой скоростей распространения продольных сейсмических волн (а) и положение Алданского щита на схеме размещения глубинных георазделов (б) по [16, 63] с изменениями и дополнениями.

1 – периметр стагнированного слэба (а) и ось глубоководного желоба (б); 2–3 – глубинные георазделы: 2 – зона Вебирс (западная и восточная граница), 3 – пограничная (Главная) гравитационная ступень; 4 – Алданский щит; 5 – платиноносные щелочно-ультраосновные массивы с дунитовым ядром.

Fig. 12. Fragment of Asia-Pacific megazone of convergence with a scale of velocities of propagation of longitudinal seismic waves (a) and position of Aldan Shield on the scheme of distribution of deep-seated geodivisions (b) after [16, 63] with modifications and additions.

1 – perimeter of stagnant slab (a) and axis of deep-sea trench (б); 2–3 – deep-seated geodivisions: 2 – Vebirs zone (western and eastern boundaries), 3 – boundary gravitation step; 4 – Aldan Shield; 5 – platinum-bearing alkali-ultrabasic massifs with a dunite core.

Привлечение данных сейсмотомографии к выяснению особенностей глубинного строения региона существенно продвинуло решение проблемы природы ТМА Алданского щита, как и всего северо-востока Азии [46, 54]. Оказалось, что значительная часть Алданского щита совмещается (на проекции) с палеотрансформным разломом, ограничивающим с северо-востока в транзитной зоне мантии Приморский стагнированный океанический слэб (см. рис. 12).

Таким образом, предполагавшееся прежде участие субдукционных процессов и мантии в развитии ТМА Алданского щита получило вполне реальное подтверждение, благодаря сейсмотомографическим исследованиям.

Объясняя природу позднемезозойского магматизма воздействием глубинной геодинамики, мы опираемся на ее усовершенствованную модель [53, 63, 64]. Согласно этой модели, глубинная дегидратация океанического слэба в переходной зоне мантии приводила к апвеллингу астеносферного материала и последующим деформациям литосферы, реактивации краевых частей кратонов (в том числе и по ранее заложенным тектоническим зонам), развитию магматизма, рудообразующих процессов и возникновению месторождений полезных ископа-

емых. Высокие концентрации LILE (K, Ba, Rb, Cs) в позднемезозойских калиевых породах Центрального Алдана [23] и их почти полное соответствие таковым глубоководных осадков [59] расцениваются авторами как веское доказательство мантийности флюидов, порожденных упомянутой дегидратацией (рис. 13). Один из палеотрансформных разломов, ограничивающий с северо-востока стагнированный Приморский слэб, совмещается с осевой зоной Инагли-Кондер-Феклистовского магма-металлогенического пояса. Важно подчеркнуть, что, согласно обсуждаемой модели, около линейных (фланговых) ограничений слэба, соответствующих палеотрансформным разломам, могли возникать возвратные потоки, в которых вещество нижней мантии, перемещаясь вверх "...под воздействием глубинного флюидно-теплового потока, проводником которого служила колонна мантийных щелочнобазитовых магм" [37, с. 86], достигало астеносферы и совместно с ней подвергалось последующим преобразованиям.

Таким образом, результаты сейсмотомографических, геодинамических, геофизических, петрологических, изотопно-геохимических исследований последних десятилетий позволили раскрыть многие особенности и глубинного строения недр,

и эволюционной направленности дифференциации магматических расплавов. Вместе с новыми прецизионными согласующимися между собой определениями абсолютного возраста пород и рудных минералов (из массивов и ареалов) появилась возможность более обоснованной интерпретации накопившейся за полвека разнообразной геологической информации. На ее основе возможно создание более совершенных интеграционных геолого-генетических моделей формирования позднемезозойских рудно-магматических систем на Алданском щите.

Предполагавшееся прежде [2, 9] участие мантии в развитии ТМА и последующем воздействии восходящих мантийных потоков на разрушение окраины Северо-Азиатского кратона, формирование кольцевых платиноносных интрузий находит определенное подтверждение в приводимой модели, опирающейся на данные сейсмической томографии. Таким образом, появляется возможность объяснить дискретное развитие ареалов позднемезозойского магматизма и оруденения у северной границы Алданского щита действием глубинной геодинамики. Возможно, этими же причинами – существованием глубинных георазделов в виде Приморского стагнированного слэба, Главной гравитационной ступени и зоны Вебирс – объясняются основные закономерности размещения позднемезозойских магматических и рудных образований на Алданском щите и по его обрамлению. В частности, отсутствие в Чаро-Олекминском мегаблоке платиноносных щелочно-ультраосновных массивов, но существование позднемезозойских проявлений U-Th-PЗЭ и МПГ, Au, Ag минерализации обусловлено, вероятно, пролонгированным воздействием палеотрансформного разлома, ограничившего с северо-востока стагнированный океанический слэб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Геологические, геофизические и геохронологические данные об особенностях размещения и времени формирования щелочно-ультраосновных, щелочноземельно-щелочных магматических образований Алданского щита и ассоциирующего с ними МПГ, Au, U позднеюрско-раннемелового оруденения в совокупности с материалами сейсмической томографии позволили конкретизировать причины возникновения и развития процессов ТМА в регионе. Такие процессы предопределены не просто субдукцией, активно проявившейся в Азиатско-Тихоокеанской мегазоне конвергенции в позднем мезозое, но возникновением в транзитной зоне мантии стагнированного океанического слэба. Его глубинная дегидратация привела к апвеллингу астеносферного вещества мантии, последующим деформациям литосферы, развитию сводово-

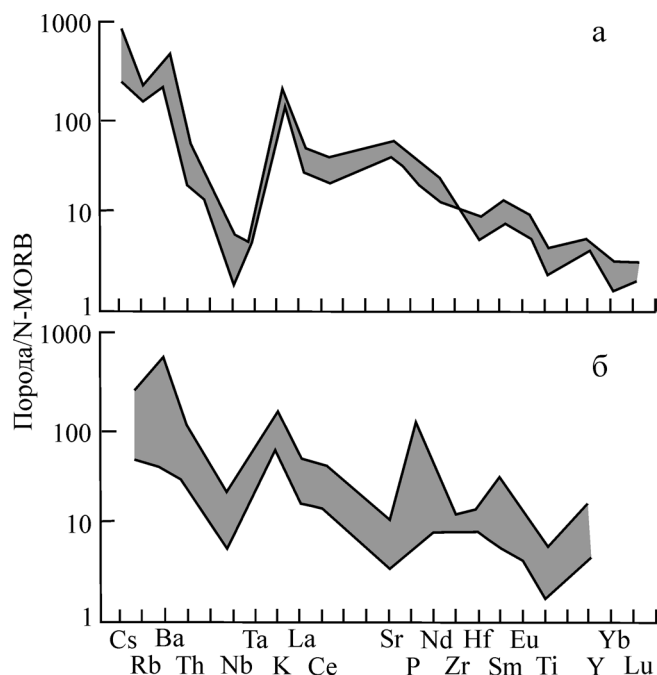


Рис. 13. Распределение несовместимых элементов, нормализованных по примитивной мантии [60].

а – слабодифференцированные разновидности калиевых пород (лампроит, лейцитит, шонкинит, мезократовый щелочный сиенит) Центрального Алдана по [23]; б – глубоководные осадки по [59].

Fig. 13. Distribution of incompatible elements normalized to the primitive mantle [60].

а – poorly differentiated varieties of potassic rocks (lamproite, leucite, shonkinite, mesocratic alkaline syenite) of Central Aldan, after [23]; б – deep-sea sediments, after [59].

глыбового тектогенеза в земной коре, а затем – к многоэтапному магматизму, рудообразованию и формированию месторождений полезных ископаемых. Особенно активно перечисленные процессы проявились по периметру слэба, фланговые границы которого совпали с палеотрансформными разломами. Над одним из таких разломов на Алданском щите возник Инагли-Кондер-Феклистовский магма-металлогенический пояс. В его составе самыми известными являются Центрально-Алданский и Учуро-Кет-Капский рудные районы. Над западным (транслированным) продолжением палеотрансформного разлома расположены Угуйский и Чарский рудные районы, характеризующиеся той же металлогенической специализацией, что и вышеперечисленные, но меньшей интенсивности.

Таким образом, представленные материалы по геологии, позднемезозойской металлогении Алданского щита, характеризующие также некоторые особенности строения подлитосферной мантии Востока Азии, более полно раскрывают причины развития процессов тектоно-магматической ак-

тивизации региона и способствуют формированию объективных взглядов на их природу.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований ДВО РАН "Дальний Восток", грант № 15-I-2-019.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов В.А. (1985) Глубинное строение Центрально-Алданского района. Владивосток: Дальнаука, 180 с.
2. Авдонцев С.Н., Малич К.Н. (1989) Геодинамическая модель образования массивов кондерского комплекса. *Геология и геофизика*. **30**(7), 27-32.
3. Алакшин А.М., Карсаков Л.П. (1985) Глубинное строение зоны Станового структурного шва. *Тихоокеан. геология*. **26**(1), 70-80.
4. Архангельская В.В., Быков Ю.В., Володин Р.Н., Наркелюн Л.Ф., Скурский М.Д., Трубачев А.И., Четкин В.С. (2004) Удоканское медное и Катугинское редкометальное месторождения в Читинской области России. Чита: Читинский государственный университет, 520 с.
5. Бойцов В.Е., Пилипенко Г.Н. (1998) Золото и уран в мезозойских гидротермальных месторождениях Центрального Алдана (Россия). *Геология руд. месторождений*. **40**(4), 354-369.
6. Ветлужских В.Г., Казанский В.И., Кочетков А.Я., Яновский В.М. (2002) Золоторудные месторождения Центрального Алдана. *Геология руд. месторождений*. **44**(6), 467-499.
7. Горошко М.В., Гильманова Г.С. (2013) Литолого-структурные условия локализации рудных месторождений Учуро-Майской мезо-неопротерозойской впадины (Сибирская платформа). *Тихоокеан. геология*. **32**(4), 52-67.
8. Горошко М.В., Гурьянов В.А. (2004) Уран-редкометальное оруденение в массивах ультраосновных щелочных пород юго-востока Сибирской платформы. *Тихоокеан. геология*. **19**(2), 76-91.
9. Гурович В.Г., Землянухин В.Н., Емельяненко Е.П., Каретников А.С., Квасов А.И., Лазаренков В.Г., Малич К.Н., Мочалов А.Г., Приходько В.С., Степашко А.А. (1994) Геология, петрология и рудоносность Кондерского массива. М.: Наука, 176 с.
10. Двуреченская С.С., Кряжев С.Г. (2005) Минерально-геохимические особенности пород и руд месторождения Табарное, западная часть Алданского щита. *Руды и металлы*. (2), 28-36.
11. Диденко А.И., Малышев Ю.Ф., Саксин Б.Г. (2010) Глубинное строение и металлогения Восточной Азии. Владивосток: Дальнаука, 232 с.
12. Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А. (2001) Глубинная геодинамика. Новосибирск: СО РАН, филиал «ГЕО», 409 с.
13. Дымович В.А., Васькин А.Ф., Опалихина Е.С., Кисляков С.Г. (2012) Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Дальневосточная. Лист О-53 – Нелькан. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 364 с.
14. Ельянов А.А., Андреев Г.В. (1991) Магматизм и металлогения платформенных областей многоэтапной активизации. Новосибирск: Наука, 168 с.
15. Ельянов А.А., Моралев В.М. (1973) О возрасте массивов ультраосновных-щелочных пород Алданской и Южноверхоанской провинций. *Изв. вузов. Геология и разведка*. (10), 15-23.
16. Зорин Ю.А., Турутанов Е.Х., Кожевников В.М., Рассказов С.В., Иванов А.В. (2006) О природе кайнозойских верхнемантийных плюмов в Восточной Сибири (Россия) и Центральной Монголии. *Геология и геофизика*. **47**(10), 1060-1074.
17. Казанский В.И. (1972) Рудоносные тектонические структуры активизированных областей. М.: Недра, 240 с.
18. Казанский В.И. (2004) Уникальный Центрально-Алданский золото-урановый рудный район (Россия). *Геология руд. месторождений*. **46**(3), 195-211.
19. Казанский В.И., Максимов Е.П. (2000) Геологическая позиция и история формирования Эльконского урановорудного района (Алданский щит, Россия). *Геология руд. месторождений*. **42**(3), 211-230.
20. Казанский В.И., Яновский В.М. (2006) Сопоставление мезозойских золоторудных районов Сино-Корейского и Алдано-Станового щитов. *Геология руд. месторождений*. **48**(1), 51-70.
21. Коваленкер В.А., Мызников И.К., Кочетков А.Я., Наумов В.Б. (1996) Платиноносное золото-сульфидное оруденение Рябинового щелочного массива (Центральный Алдан, Россия). *Геология руд. месторождений*. **38**(4), 333-343.
22. Комаров Ю.В., Беличенко В.Г., Мишарина Л.А., Петров П.А. (1978) Верхояно-Бирманская зона сочленения Центрально- и Восточно-Азиатских структур (зона Вебирс). Трансазиатская континентальная зона Вебирс. Иркутск: Восточно-Сибирский филиал СО АН СССР, 5-24.
23. Кононова В.А., Первов В.А., Богатиков О.А., Мюс-Шумахер У., Келлер Й. (1995) Мезозойский калиевый магматизм Центрального Алдана: Геодинамика и генезис. *Геотектоника*. (3), 35-45.
24. Корчагин А.М. (1996) Инаглинский плутон и его полезные ископаемые. М.: Недра, 157 с.
25. Кузьмин М.И., Ярмолюк В.В. (2014) Мантийные плюмы Северо-Восточной Азии и их роль в формировании эндогенных месторождений. *Геология и геофизика*. **55**(2), 153-184.
26. Ленников А.М., Октябрьский Р.А., Вржосек А.А., Иванов В.В., Мишкин М.А. (2013) Петролого-геохимические особенности и рудоносность базит-гипербазитовых комплексов юга Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 141 с.
27. Максимов Е.П. (1972) Мезозойские кольцевые магматические комплексы Алданского щита. *Изв. АН СССР. Сер. геол.* (3), 33-44.
28. Максимов Е.П. (2003) Мезозойские рудоносные магматогенные системы Алдано-Станового щита. Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. Якутск, 44 с.
29. Маракушев А.А., Емельяненко Е.П., Некрасов И.Я., Масловский А.Н., Залищак Б.Л. (1990) Формирование концентрически-зональной структуры Кондерского щелочно-ультраосновного массива. *Докл. АН СССР*. **311**(1), 167-170.
30. Мигута А.К. (2001) Урановые месторождения Эльконского рудного района на Алданском щите. *Геология*

- логия руд. месторождений. **43**(2), 129-151.
31. Минеева И.Г., Макаров А.И., Одерова А.В. (2013) Новая методология глубинных поисков U и Au-U месторождений в палеорифтовых структурах. *Разведка и охрана недр*. (7), 3-11.
 32. Моисеенко В.Г., Степанов В.А., Эйриш Л.В., Мельников А.В. (2004) Платиноносность Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 176 с.
 33. Недашковский П.Г., Кириллов В.Е., Гурьянов В.А., Пахомова В.А. (2000) Геологическое строение и металлогения Улканского вулканического прогиба. Владивосток: Дальнаука, 68 с.
 34. Некрасов И.Я., Ленников А.М., Октябрьский Р.А., Залищак Б.Л., Сапин В.И. (1994) Петрология и платиноносность кольцевых щелочных ультраосновных комплексов. М.: Наука, 381 с.
 35. Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И., Бадарч Г., Беличенко В.Г., Булгатов А.Н., Дриль С.И., Кириллова Г.Л., Кузьмин М.И., Ноклеберг У., Проккопьев А.В., Тимофеев В.Ф., Томуртогов О., Янь Х. (2003) Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии. *Тихоокеан. геология*. **22**(6), 7-41.
 36. Парфенов Л.М., Кузьмин М.И. (2001). Тектоника, геодинамика и металлогения Республики Саха (Якутия). М.: МАИК "Наука" Интерпериодика, 571 с.
 37. Полин В.Ф., Мицук В.В., Ханчук А.И., Глебовицкий В.А., Будницкий С.Ю., Ризванова Н.Г., Соляник А.Н., Шишов А.С. (2012) Геохронологические рубежи щщелочного магматизма Кеткарско-Юнской магматической провинции Алданского щита. *Докл. АН*. **442**(1), 83-89.
 38. Попов Н.В., Шапорина М.Н., Амузинский В.А., Смелов А.П., Зедгенизов А.Н. (1999) Металлогения золота Алданской провинции. *Геология и геофизика*. **40**(5), 716-728.
 39. Разин Л.В., Васюков В.С., Избеков Э.Д., Мионов Е.П. (1994) Россыпная платиноносность Центрально-Алданской металлогенической области. Платина России. *Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов*. М.: АО "Геоинформарк", 159-165.
 40. Ронкин Ю.Л., Ефимов А.А., Лепихина Г.А., Родионов Н.В., Маслов А.В. (2013) U-Pb датирование системы "бадделейт-циркон" платиноносного дунита Кондерского массива (Алданский щит): новые данные. *Докл. АН*. **450**(5), 579.
 41. Самович Д.А., Царук И.И., Кокарев А.А., Гаврилов Л.П., Митрофанов Е.А. (2012) Минерально-сырьевая база урана Восточной Сибири. Иркутск: Глазковская типография, 163 с.
 42. Сидоров А.А., Волков А.В. (2011) "Острова сокровищ". *Вестн. АН*. **81**(4), 316-324.
 43. Симонов В.А., Приходько В.С., Ковязин С.В. (2011) Условия формирования платиноносных ультраосновных массивов Юго-Востока Сибирской платформы. *Петрология*. **19**(6), 579-598.
 44. Сушкин Л.Б. (1995) Характерные черты самородных элементов месторождения Кондер. *Тихоокеан. геология*. **14**(5), 97-102.
 45. Ханчук А.И. (2006). Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. В 2 кн. Владивосток: Дальнаука, 981 с.
 46. Хомич В.Г., Борискина Н.Г. (2010) Структурная позиция крупных золоторудных районов Центрально-Алданского (Якутия) и Аргунского (Забайкалье) супертеррейнов. *Геология и геофизика*. **51**(6), 849-862.
 47. Хомич В.Г., Борискина Н.Г. (2013) Глубинная геодинамика Юго-Востока России и позиция платиноносных базит-гипербазитовых массивов. *Вулканология и сейсмология*. (5), 40-50.
 48. Шатков Г.А., Вольский А.С. (2004). Тектоника, глубинное строение и минералогия Приамурья и сопредельных территорий. СПб: ВСЕГЕИ, 190 с.
 49. Шатов В.В., Молчанов А.В., Шатова Н.В., Сергеев С.А., Белова В.Н., Терехов А.В., Радьков А.В., Соловьев О.Л. (2012) Петрография, геохимия и изотопное (U-Pb и Rb-Sr) датирование щелочных магматических пород Рябинового массива (Южная Якутия). *Регион. геология и металлогения*. (51), 62-78.
 50. Шуколюков Ю.А., Якубович О.В., Мочалов А.Г., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Яковлева С.З., Корнеев С.И., Гороховский Б.М. (2012) Новый изотопный геохронометр для прямого датирования самородных минералов платины (¹⁹⁰Pt-⁴He метод). *Петрология*. **20**(6), 545-559.
 51. Ярмолук В.В., Коваленко В.И., Сальникова Е.Б., Никифоров А.В., Котов А.Б., Владыкин Н.В. (2005) Позднерифейский рифтогенез и распад Лавразии: данные геохронологических исследований щелочно-ультраосновных комплексов южного обрамления Сибирской платформы. *Докл. АН*. **404**(3), 400-406.
 52. Goldfarb R.J., Santosh M. (2014) The dilemma of the Jiaodong gold deposits: Are they unique? *Geoscience Frontiers*. **5**(2), 139-153. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gsf.2013.11.001>
 53. Griffin W.L., Zhang A., O'Reilly S.Y., Ryan C.G. (1998) Phanerozoic evolution of the lithosphere beneath the Sino-Korean craton. Mantle dynamics and plate interactions in East Asia. *Geodynamics*. (27), 107-126.
 54. Khomich V.G., Boriskina N.G. (2012) Deep-seated geodynamics and position of platinum-bearing basite-ultrabasic massifs of South-East Russia. *Global Geol.* (15), 204-209. DOI: 10.3969/j.issn.1673-9736.2012.03.02
 55. Khomich V.G., Boriskina N.G., Santosh M. (2014) A geodynamic perspective of world-class gold deposits in East Asia. *Gondwana Res.* 26(3-4), 816-833. DOI: 10.1016/j.gr.2014.05.007
 56. Khomich V.G., Boriskina N.G., Santosh M. (2015) Geodynamics of Late Mesozoic PGE, Au, and U mineralization in the Aldan Shield, North Asian Craton. *Ore Geol. Rev.* **68**, 30-42. DOI:10.1016/j.oregeorev.2015.01.007
 57. Li C., van der Hilst R.D. (2010) Structure of the upper mantle and transition zone beneath Southeast Asia from traveltimes tomography. *J. Geophys. Res.* **115**(B7), DOI: 10.1029/2009JB006882
 58. Maruyama S., Santosh M., Zhao D. (2007) Superplume, supercontinent, and post-perovskite: Mantle dynamics and antiplate tectonics on the Core-Mantle Boundary. *Gondwana Res.* **11**(1-2), 7-37. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gr.2006.06.003>
 59. Nelson D.R. (1992) Isotopic characteristics of potassic rocks: evidence for the involvement of subducted sediments in magma genesis. *Lithos*. **28**(3/6), 403-420.
 60. Sun S.S., McDonough W.F. (1989) Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: Implications for man-

- the composition and processes. *Magmatism in the ocean basins*. Blackwell, Oxford, 313-345.
61. Zhao D. (2001) Seismic structure and origin of hotspots and mantle plumes. *Earth Planet. Sci. Lett.* **192**(3-4), 251-265.
 62. Zhao D., Hasegawa A., Horiuchi S. (1992) Tomographic imaging of P and S wave velocity structure beneath northeastern Japan. *J. Geophys. Res.* **97**(B13), 19909-19928. DOI: 10.1029/92JB00603
 63. Zhao D., Pirajno F., Dobretsov N.L., Liu L. (2010) Mantle structure and dynamics under East Russia and adjacent regions. *Russ. Geol. Geophys.* **51**(9), 925-938. DOI: 10.1016/j.rgg.2010.08.003
 64. Zhao D., Tian Y., Lei J., Liu L., Zhenget S. (2009) Seismic image and origin of the Changbai intraplate volcano in East Asia: role of big mantle wedge above the stagnant Pacific slab. *Phys. Earth Planet. In.* **173**(3-4), 197-206. DOI:10.1016/j.pepi.2008.11.009

Essence of the Late Mesozoic ore-magmatic systems of Aldan Shield

V. G. Khomich, N. G. Boriskina

Far East Geological institute, Far East Branch of RAS

The original cause of the Late Mesozoic tectonic-magmatic and mineragenic activation at the Pre-Cambrian Aldan Shield was the existence of the stagnated oceanic slab in the mantle transitional zone. Dehydration of the slab rocks (especially those on its boundaries) and accompanying events promoted the lower mantle derivatives to be involved into the ascending upper mantle flows (plumes) and favored the formation of the productive ore-magmatic systems.

Key words: *craton, slab, activation, platinum, gold, uranium.*

REFERENCES

1. Abramov V.A. (1995) *Glubinnoe stroenie Tsentral'no-Aldanskogo rajona* [Deep structure of the Central Aldan region]. Vladivostok: Dal'nauka Publ., 180 p. (In Russian).
2. Avdontsev S.N., Malitch K.N. (1989) [Geodynamic model of the formation of Kondersky complex massifs]. *Geologiya i geofizika.* **30**(7), 27-32. (In Russian).
3. Alakshin A.M., Karsakov L.P. (1985) [Deep-seated structure of zone of the Stanovoy structural suture]. *Tikhookean. Geol.* **26**(1), 70-80. (In Russian).
4. Arkhangel'skaja V.V., Bykov Yu.V., Volodin R.N., Narkelyun L.F., Skursky M.D., Trubachev A.I., Chechetkin V.S. (2004). *Udokanskoe mednoe i Katuginskoe redkometal'noe mestorozhdenija v Chitinskoj oblasti Rossii* [Udokanskoe copper and Katuginskoe rare-metal deposits in Chita area of Russia]. Chita: Chita Univers. Publ., 520 p. (In Russian).
5. Boitsov V.E., Pilipenko G.N. (1998) [Gold and uranium in the Mesozoic hydrothermal deposits of the Central Aldan region (Russia)]. *Geol. Rudn. Mestorozhd.* **40**(4), 354-369. (In Russian).
6. Vetluzhskikh V.G., Kazansky V.I., Kochetkov A.Ya., Janovsky V.M. (2002) [Central Aldan gold deposits]. *Geol. Ore Deposits.* **44.** (6), 405-434.
7. Goroshko M.V., Gil'manova G.S. (2013) [Lithological and structural prerequisites for localization of ore deposits in the Mesoproterozoic-Neoproterozoic Uchur-Maya depression (Siberian platform)]. *Russ. J. Pac. Geol.* **7**(4), 262-276. doi: 10.1134/S1819714013040039
8. Goroshko M.V., Gur'janov V.A. (2004) [Uranium-rare metal mineralization in massifs of ultrabasic alkaline rocks of the South-East Siberian platform]. *Tikhookean. Geol.* **19**(2), 76-91. (In Russian).
9. Gurovich V.G., Zemlyanukhin V.N., Emel'yanenko E.P., Karetnikov A.S., Kvasov A.I., Lazarenkov V.G., Malitch K.N., Mochalov A.G., Prihod'ko V.S., Stepashko A.A. (1994) *Geologiya, petrologiya i rudonosnost' Konderskogo massiva* [Geology, Petrology, and Mineralization of the Konders Pluton]. Moscow: Nauka Publ., 176 p. (In Russian).
10. Dvurechenskaja S.S., Krjazhev S.G. (2005) [Mineral-geochemical features of rocks and ores of Tabarnoe deposit, western part of Aldan Shield]. *Rudy i metally.* (2), 28-36. (In Russian).
11. Didenko A.I., Malyshev Yu.F., Saksin B.G. (2010) *Glubinnoe stroenie i metallogenija Vostochnoj Azii* [Deep structure and metallogeny of East Asia]. Vladivostok: Dal'nauka Publ., 232 p. (In Russian).
12. Dobretsov N.L., Kirdjashkin A.G., Kirdjashkin A.A., (2001). *Glubinnoj geodinamika* [Deep-seated geodynamics]. Novosibirsk: SO RAN, "GEO" Publ., 409 p. (In Russian).
13. Dymovich V.A., Vas'kin A.F., Opalikhina E.S., Kisljakov S.G. (2012) *Gosudarstvennaja geologicheskaja karta Rossijskoj Federatsii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie). Serija Dal'nevostochnaja. List O-53-Nel'kan. Ob'jasnitel'naja zapiska* [State geological map of the Russian Federation. Scale 1 : 1 000 000 (the third generation). The Far East series. Sheet O-53-Nel'kan. Explanatory note]. St.Petersburg: Cartograficheskaja fabrika VSEGEI Publ., 364 p. (In Russian).
14. Eljanov A.A., Andreev G.V. (1991) *Magmatizm i metallogenija platformnykh oblastej mnogoetapnoj aktivizatsii* [Magmatism and metallogeny of multistage activation platform regions]. Novosibirsk: Nauka Publ., 168 p. (In Russian).

15. Eljanov A.A., Moralev V.M. (1973). [About age of massifs of ultrabasic-alkaline rocks of Aldanskaya and Yuzhnoverkhoyanskaya provinces]. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Geologiya i razvedka*. (10), 15-23. (In Russian).
16. Zorin Yu.A., Turutanov E.Kh., Kozhevnikov V.M., Rasskazov S.V., Ivanov A.V. (2006) [On the origin of Cenozoic upper mantle plumes in East Siberia, Russia and in Central Mongolia]. *Geol. i geofiz.* **47**(10), 1060-1074. (In Russian).
17. Kazansky V.I. (1972). *Rudonosnye tektonicheskie struktury aktivizirovannykh oblastej* [Ore-bearing tectonic structures of activated areas]. Moscow: Nedra Publ., 240 p. (In Russian).
18. Kazansky V.I. (2004) [The unique Central Aldan gold-uranium ore district (Russia)]. *Geol. Ore Deposits*. **46**(3), 167-181.
19. Kazansky V.I., Maksimov E.P. (2000) [Geological setting and development history of the El'kon uranium ore district (Aldan shield, Russia)]. *Geol. Ore Deposits*. **42**(3), 189-204.
20. Kazansky V.I., Yanovsky V.M. (2006) [The correlation of Mesozoic gold ore districts at the Sino-Korean and Aldan-Stanovoi shields]. *Geol. Ore Deposits*. **48**(1), 43-60. doi: 10.1134/S107570150601003X
21. Kovalenker V.A., Myznikov I.K., Kochetkov A.Ya., Naumov V.B. (1996) [PGE-bearing gold-sulfide mineralization in the Ryabinovyi alkaline massif, Central Aldan, Russia]. *Geol. Ore Deposits*. **38**(4), 307-317.
22. Komarov Yu.V., Belichenko V.G., Misharina V.G., Misharina L.A., Petrov P.A. (1978) [Verkhoyano-Birmanskaya zone of joint of Central- and East-Asian structures (Vebirs zone)]. *Trans-Asian continental zone Vebirs*. Irkutsk: Vostochno-Sibirskij filial SO AN SSSR Publ., 5-24. (In Russian).
23. Kononova V.A., Pervov V.A., Bogatkov O.A., Myus-Shumacher U., Keller Y. (1995) [Mesozoic potassic magmatism of Central Aldan: geodynamics and genesis]. *Geotektonika*. (3), 35-45. (In Russian).
24. Korchagin A.M. (1996) *Inaglinskij pluton i ego poleznye iskopaemae* [Inagli pluton and its mineral resources]. Moscow: Nedra Publ., 157 p. (In Russian).
25. Kuzmin M.I., Yarmolyuk V.V. (2014) [Mantle plumes of Central Asia (Northeast Asia) and their role in forming endogenous deposits]. *Russ. Geol. Geophys.* **55**(2), 120-143. doi: 10.1016/j.rgg.2014.01.002
26. Lennikov A.M., Oktjabr'skij R.A., Vrzhosek A.A., Ivanov V.V., Mishkin M.A. (2013) *Petrologo-geokhimicheskie osobennosti i rudonosnost' bazit-giperbazitovykh kompleksov yuga Dal'nego Vostoka* [Petrological and geochemical features and ore potential of the basic-ultrabasic complexes in the south Far East]. Vladivostok: Dal'nauka Publ. 141 p. (In Russian).
27. Maksimov E.P. (1972) [Mesozoic circular magmatic complexes of the Aldan Shield]. *Izv. Akad. Nauk SSSR. Ser. Geol.* (3), 33-44. (In Russian).
28. Maksimov E.P. (2003) *Mezozojskie rudonosnye magmatogennye sistemy Aldano-Stanovogo shchita* [Mesozoic ore-bearing magmatogenic systems of the Aldan-Stanovoi Shield. Abstr. diss. dokt. geol.-min nauk]. Yakutsk: SO RAN, 44 p. (In Russian).
29. Marakushev A.A., Emel'yanenko E.P., Nekrasov I.Ya., Maslovsky A.N., Zalishchak B.L. (1990) [Formation of concentrically-zoned structure of Konder alkali-ultrabasic massif]. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*. **311**(1), 167-170. (In Russian).
30. Miguta A.K. (2001) [Uranium deposits of the El'kon ore district in the Aldan shield]. *Geol. Ore Deposits*. **43**(2), 117-135.
31. Mineeva I.G., Makarov A.I., Oderova A.V. (2013) [New methodology of deep searches of U and Au-U of deposits in Paleo riftogeneous structures]. *Razvedka i okhrana nedr.* (7), 3-11. (In Russian with English abstract).
32. Moiseenko V.G., Stepanov V.A., Eirish L.V., Mel'nikov A.V. (2004) *Platinosnost' Dal'nego Vostoka* [Platinum content of the Far East]. Vladivostok: Dal'nauka Publ., 176 p. (In Russian).
33. Nedashkovskij P.G., Kirillov V.E., Gur'janov V.A., Pakhomova V.A. (2000) *Geologicheskoe stroenie i metallogenija Ulkanskogo vulkanicheskogo progiba* [Geological structure and metallogeny of Ulkan volcanogenic trough (south-east of Aldan shield)]. Vladivostok: Dal'nauka Publ., 68 p. (In Russian).
34. Nekrasov I.Ja., Lennikov A.M., Oktyabr'skij R.A., Zalishchak B.L., Sapin V.I. (1994) *Petrologiya i platinosnost' kol'tsevykh shchelochnykh ul'traosnovnykh kompleksov* [Petrology and platinum content of ring alkaline ultrabasic complexes]. Moscow: Nauka Publ., 381 p. (In Russian).
35. Parfenov L.M., Berzin N.A., Khanchuk A.I., Badarch G., Belichenko V.G., Bulgatov, A.N., Dril' S.I., Kirillova G.L., Kuzmin M.I., Nokleberg U., Prokopyev A.V., Timofeev V.F., Tomurtogoo O., Yan' H. (2003) [Formations model of the orogenic belts of Central and North-East Asia]. *Tikhookean. Geol.* **22**(6), 7-41. (In Russian).
36. Parfenov L.M., Kuz'min M.I. (2001) *Tektonika, geodinamika i metallogenija respubliki Sakha (Jakutija)* [Tectonics, geodynamics, and metallogeny of the area of republic of Sakha (Yakutiya)]. Moscow: Nauka Publ., 571 p. (In Russian).
37. Polin V.F., Khanchuk A.I., Budnitskij S.Yu., Solyanik A.N., Shishov A.S., Mitsuk V.V., Glebovitskii V.A., Rizvanova N.G. (2012) [Geochronological limits of subalkaline magmatism in the Ketkap-Yuna igneous province, Aldan Shield]. *Dokl. Earth Sci.* **442**, 17-23. doi: 10.1134/S1028334X12010096
38. Popov N.V., Shaporina M.N., Amuzinskij V.A., Smelev A.P., Zedgenizov A.N. (1999) [Metallogeny of gold of Aldan province]. *Geol. geofiz.* **40**(5), 716-728. (In Russian).
39. Razin L.V., Vasyukov V.S., Izbekov E.D., Mironov E.P. (1994) [Placer platinum content of Central-Aldan metallogenic area]. *Platina Rossii. Problemy razvitiya mineral'no-syr'evoy bazy platinovykh metallov*. Moscow: AO Geoinformark Publ., 159-165. (In Russian).
40. Ronkin Yu.L., Efimov A.A., Lepikhina G.A., Rodionov N.V., Maslov A.V. (2013) [U-Pb dating of the baddeleyite-zircon system from Pt-bearing dunite of the Konder massif, Aldan shield: New data]. *Dokl. Earth Sci.* **450**(2), 607-612. doi: 10.1134/S1028334X13060135
41. Samovich D.A., Tsaruk I.I., Kokarev A.A., Gavrilov L.P., Mitrofanov E.A. (2012) *Mineral'no-syr'evaja baza urana Vostochnoj Sibiri* [Uranium mineral-raw material base of East Siberia]. Irkutsk: Baikalskiy filial Sostavgeologiya Publ., 163 p. (In Russian).
42. Sidorov A.A., Volkov A.V. (2011) ["Treasure islands"]. *Herald Ross. Akad. Sci.* **81**(4), 133-140. doi: 10.1134/S1019331611020171
43. Simonov V.A., Prihod'ko V.S., Kovyazin S.V.

- (2011) [Genesis of platiniferous massifs in the South-eastern Siberian platform]. *Petrology*. **19**(6), 549-567. doi:10.1134/S0869591111050043
44. Sushkin L.B. (1995) [Characteristic features of native elements of Konder deposit]. *Tikhookean. Geol.* **14**(5), 97-102. (In Russian).
 45. Khanchuk A.I. (2006) *Geodinamika, magmatizm i metallogenija Vostoka Rossii* [Geodynamics, magmatism, and metallogeny of the Russian East]. Vladivostok: Dal'nauka Publ., 981 p. (In Russian).
 46. Khomich V.G., Boriskina N.G. (2013) [The deep geodynamics of Southeast Russia and the setting of platinum-bearing basite-hyperbasite massifs]. *J. Volcanol. Seismol.* **7**(5), 328-337. doi: 10.1134/S0742046313040040
 47. Khomich V.G., Boriskina N.G. (2010) [Structural position of large gold ore districts in the Central Aldan (Yakutia) and Argun (Transbaikalia) superterrane]. *Russ. Geol. Geophys.* **51**(6), 661-671. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rgg.2010.05.007>
 48. Shatkov G.A., Volsky A.S. (2004) *Tektonika, glubinoe stroenie i mineragenija Priamur'ja i sopredel'nykh territorij* [Tectonics, deep structure, and minerageny of the Amur River region and neighboring areas]. St.Petersburg: VSEGEI Publ., 190 p. (In Russian).
 49. Shatov V.V., Molchanov A.V., Shatova N.V., Sergeev S.A., Belova V.N., Terekhov A.V., Radkov A.V., Soloviev O.L. (2012) [Petrography, geochemistry and isotopic (U-Pb and Rb-Sr) dating of alkaline magmatic rocks of the Ryabinovy stock (Southern Yakutiya)]. *Regional'naja geologija i metallogenija*. (51), 62-78. (In Russian with English abstract).
 50. Shukolyukov Yu.A., Yakubovich O.V., Mochalov A.G., Kotov A.B., Salnikova E.B., Yakovleva S.Z., Gorokhovskiy B.M., Korneev S.I. (2012) [New geochronometer for the direct isotopic dating of native platinum minerals (^{190}Pt - ^4He method)]. *Petrology*. **20**(6), 491-505. doi:10.1134/S0869591112060033
 51. Yarmolyuk V.V., Kovalenko V.I., Nikiforov A.V., Sal'nikova E.B., Kotov A.B., Vladykin N.V. (2005) [Late Riphean rifting and breakup of Laurasia: data on geochronological studies of ultramafic alkaline complexes in the southern framing of the Siberian craton]. *Dokl. Earth Sci.* **404**(7), 1031-1036.
 52. Goldfarb R.J., Santosh M. (2014) The dilemma of the Jiaodong gold deposits: Are they unique? *Geoscience Frontiers*. **5**(2), 139-153. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gsf.2013.11.001>
 53. Griffin W.L., Zhang A., O'Reilly S.Y., Ryan C.G. (1998) Phanerozoic evolution of the lithosphere beneath the Sino-Korean craton. Mantle dynamics and plate interactions in East Asia. *Geodynamics*. **27**, 107-126.
 54. Khomich V.G., Boriskina N.G. (2012) Deep-seated geodynamics and position of platinum-bearing basite-ultrabasic massifs of South-East Russia. *Global Geol.* (15), 204-209. DOI: 10.3969/j.issn.1673-9736.2012.03.02
 55. Khomich V.G., Boriskina N.G., Santosh M. (2014) A geodynamic perspective of world-class gold deposits in East Asia. *Gondwana Res.* **26**(3-4), 816-833. DOI: 10.1016/j.gr.2014.05.007
 56. Khomich V.G., Boriskina N.G., Santosh M. (2015) Geodynamics of Late Mesozoic PGE, Au, and U mineralization in the Aldan Shield, North Asian Craton. *Ore Geol. Rev.* **68**, 30-42. DOI:10.1016/j.oregeorev.2015.01.007
 57. Li C., van der Hilst R.D. (2010) Structure of the upper mantle and transition zone beneath Southeast Asia from traveltimes tomography. *J. Geophys. Res.* **115**(B7), DOI: 10.1029/2009JB006882
 58. Maruyama S., Santosh M., Zhao D. (2007) Superplume, supercontinent, and post-perovskite: Mantle dynamics and antiplate tectonics on the Core-Mantle Boundary. *Gondwana Res.* **11**(1-2), 7-37. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gr.2006.06.003>
 59. Nelson D.R. (1992) Isotopic characteristics of potassic rocks: evidence for the involvement of subducted sediments in magma genesis. *Lithos*. **28**(3/6), 403-420.
 60. Sun S.S., McDonough W.F. (1989) Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. *Magmatism in the ocean basins*. Blackwell, Oxford, 313-345.
 61. Zhao D. (2001) Seismic structure and origin of hotspots and mantle plumes. *Earth Planet. Sci. Lett.* **192**(3-4), 251-265.
 62. Zhao D., Hasegawa A., Horiuchi S. (1992) Tomographic imaging of P and S wave velocity structure beneath northeastern Japan. *J. Geophys. Res.* **97**(B13), 19909-19928. DOI: 10.1029/92JB00603
 63. Zhao D., Pirajno F., Dobretsov N.L., Liu L. (2010) Mantle structure and dynamics under East Russia and adjacent regions. *Russ. Geol. Geophys.* **51**(9), 925-938. DOI: 10.1016/j.rgg.2010.08.003
 64. Zhao D., Tian Y., Lei J., Liu L., Zhenget S. (2009) Seismic image and origin of the Changbai intraplate volcano in East Asia: role of big mantle wedge above the stagnant Pacific slab. *Phys. Earth Planet. In.* **173**(3-4), 197-206. DOI:10.1016/j.pepi.2008.11.009