Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ ТЕКТОНИКИ И ГЕОФИЗИКИ им. Ю.А. Косыгина
Дальневосточного отделения Российской академии наук

Создан в 1971 г.

Адрес: 680000 Хабаровск, ул. Ким Ю Чена, 65

Тел./факс (421) 222-71-89

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

Директор – к.г.-м.н. Песков Алексей Юрьевич

Заместитель директора по научной работе – к.т.н. Пупатенко Виктор Викторович

Заместитель директора по научной и инновационной работе – к.г.-м.н. Бердников Николай Викторович

Ученый секретарь – Алексеенко Светлана Николаевна

Общая численность сотрудников 90 чел.; н. с. – 41, чл.-корр. РАН – 1, д. н. – 3, к. н. – 26.

Основные научные направления:

- тектоника, глубинное строение, магматизм и эволюция литосферы континента и океана;
- геодинамика, современные движения и напряженное состояние земной коры, сейсмичность, природные катастрофы Азиатско-Тихоокеанского региона;
- осадочные бассейны восточно-азиатской окраины, ее шельфа и континентального склона: закономерности строения, условия формирования, топливно-энергетические ресурсы.

Лаборатории:

– тектоники – к.г.-м.н. А.В. Кудымов
– региональной геофизики и петрофизики – к.г.-м.н. Ю.Ф. Манилов
– сейсмологии и сейсмотектоники – д.ф.-м.н. В.Г. Быков
– тектоники осадочных бассейнов – к.г.-м.н. Е.П. Развозжаева
– физико-химических методов исследования – к.ф.-м.н. И.А. Астапов
– отдел геоинформационных систем и прикладной геофизики – к.г.-м.н. Г.З. Гильманова

Основные научные результаты

Рассчитаны магнитная и плотностная глубинные модели для Малмыжского, Пони-Мулинского и Анаджаканского рудных узлов с медно-порфировой минерализацией, расположенных в северной части Среднеамурского осадочного бассейна (рис. 1). На основе анализа данных по аномальному магнитному полю (магнитная модель) выделена кольцевая структура магматогенного генезиса, определяющая пространственную локализацию минерализации в Малмыжском и Пони-Мулинском рудных узлах. Показано, что подобные структуры в аномальном магнитном поле фиксируются для многих медно-порфировых месторождений. Площадь выделенной структуры может рассматриваться как потенциальный рудный район, перспективный на выявление Au-Cu-порфировой минерализации. В пределах кольцевой структуры дополнительно намечены перспективные площади, связанные с интрузиями гранитоидов и диоритов, развитых по ее периферии и находящихся под чехлом осадков Среднеамурского бассейна. Рассчитаны геофизические модели для отдельных рудных узлов с Au-Cu-порфировой минерализацией, определены глубинные признаки, которые могут быть использованы при региональном металлогеническом прогнозе и выделении потенциальных рудных районов. (Диденко А.Н., Носырев М.Ю., Гильманова Г.З. // Геология и геофизика. 2023.Т. 64, № 5. С. 735–753.)

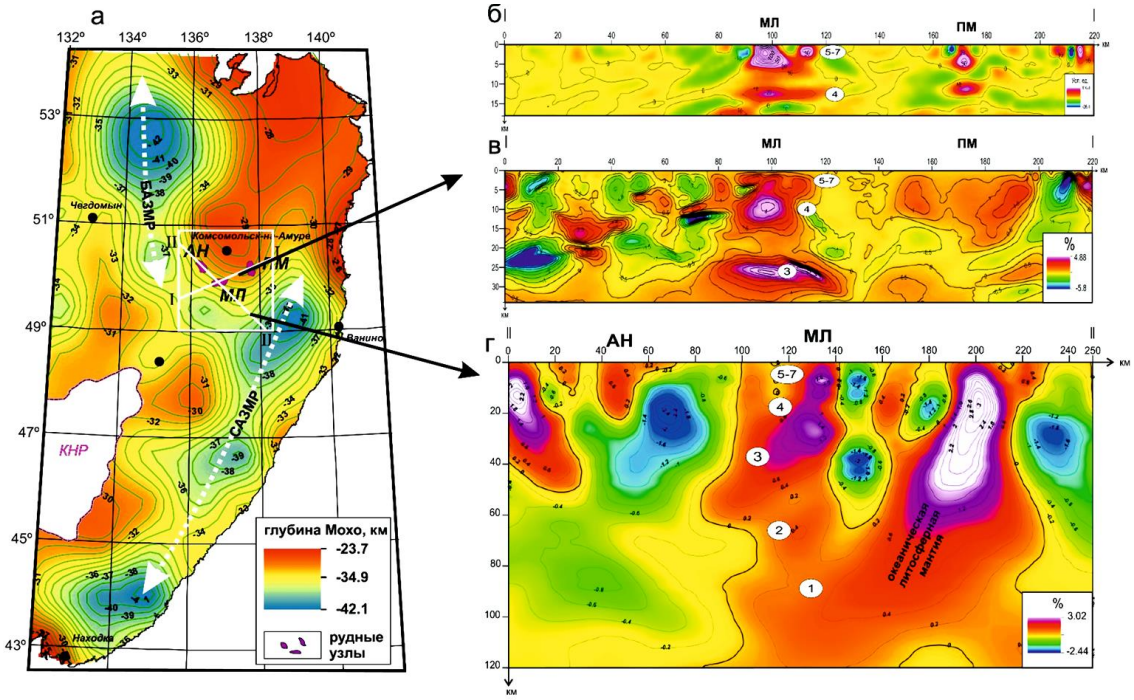

Рис. 1. Глубинная геофизическая модель Анаджаканского (АН), Малмыжского (МЛ) и Пони-Мулинского (ПМ) рудных узлов: а – положение

рудных узлов на карте Мохо Сихотэ-Алинского орогенного пояса и прилегающих территорий; БАЗМР, САМЗР – региональные литосферные отрицательные плотностные аномалии Баджал-Ям-Алинская и Сихотэ-Алинская соответственно; б – глубинный профиль эффективной намагниченности верхней части земной коры (20 км) по линии I-I, пересекающий рудные узлы МЛ и ПМ; в – глубинный профиль относительной плотности земной коры (35 км) по линии I-I, пересекающий рудные узлы МЛ и ПМ; г – глубинный профиль относительной плотности континентальной литосферы (120 км) по линии II-II по модели [Диденко, Носырев, 2020], пересекающей рудные узлы МЛ и ПМ. Цифры в белых овалах – стадии формирования CU-порфировой рудной структуры по [Richards, 2021]

На примере трех месторождений Малохинганского рудного района (ЕАО, Дальний Восток России) изучен новый тип Fe- и Fe-Mn оруденения, связанного с совместным развитием гидротермальных и вулканических процессов. Предполагается, что это оруденение, ранее считавшееся осадочным (вулканогенно-осадочным), сформировалось значительно позже (в конце раннего мела) вмещающих его венд-кембрийских карбонатных толщ. Высокожелезистые флюиды и магмы, участвовавшие в формировании месторождений, образовались в результате полиэтапной субдукции Палеотихоокеанской (Izanagi) плиты под восточную окраину Евразии (рис. 2) и сконцентрировали железо, марганец и ряд других металлов (в частности, золото), входивших в состав субдуцированных морских осадков. (Berdnikov N., Kepezhinskas P., Nevstruev V. et al. // Minerals. 2023. Vol. 13. 1366.)

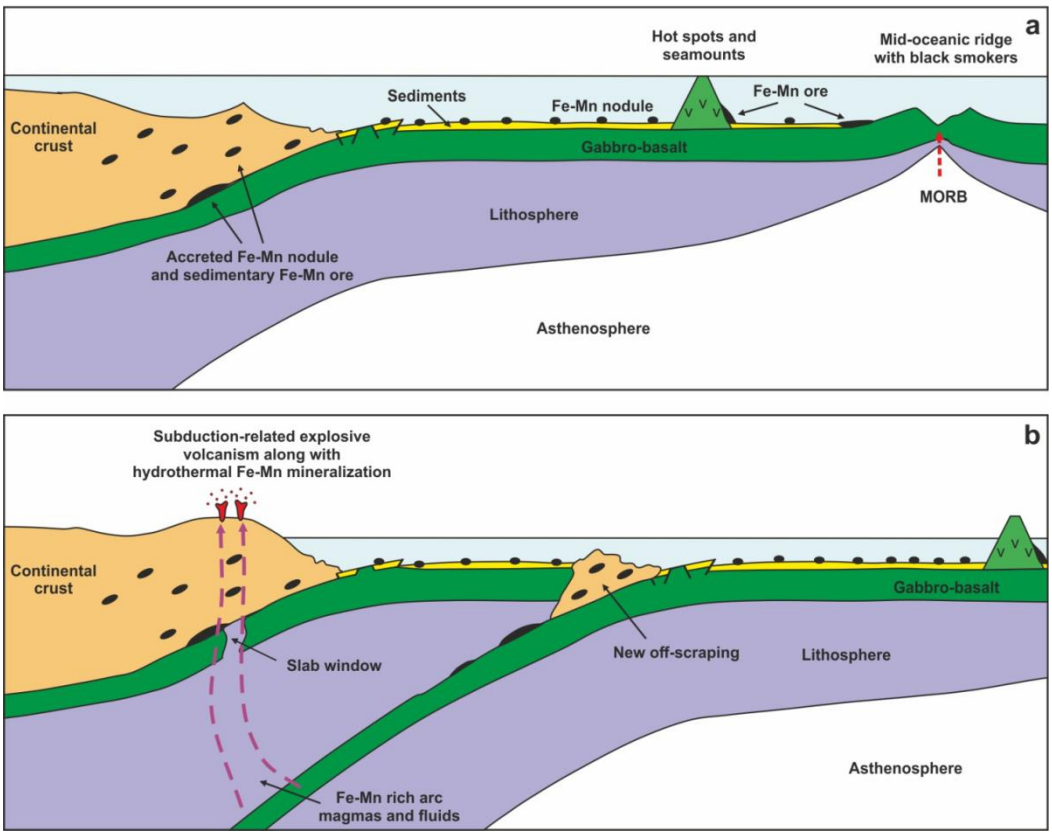

Рис. 2. Модель формирования железо-марганцевой минерализации в Мало-Хинганском рудном районе [по: Nakagawa et al., 2011, с изменениями]. Рисунки а и б иллюстрируют ее различные стадии: а – позднеюрская–раннемеловая [Golozubov, Khanchuk, 2021], б – конец раннего мела [Didenko, Nosyrev, 2018]

На основе петро- и палеомагнитных исследований габбродиоритов 1-й фазы нижнеамурского комплекса Журавлевско-Амурского террейна определено, что Приамурская зона в сеноман-туроне находилась примерно на 10° севернее своего современного положения и располагалась между Центральным Сихотэ-Алинским и Приамурским разломами. Зафиксирован более чем 20-градусный разворот зоны против часовой стрелки относительно континента, что хорошо объясняется в рамках «шарикоподшипниковой» (ball-bearing) тектонической модели при эшелонированном действии Приамурского и Центрального Сихотэ-Алинского левосторонних сдвигов (рис. 3, а). Согласно кинематическим построениям, плита Изанаги в сеномане погружалась в северо-западном направлении под Евразийскую со скоростью 12 см/год, а последняя смещалась на юг со скоростью 3–4 см/год (рис. 3, б). Разнонаправленное перемещение этих плит, одним из компонентов которого

являлось дифференцированное вращение вокруг вертикальной оси, послужило основной причиной активизации левосторонних смещений вдоль системы разломов ССВ простирания. (Диденко А.Н., Архипов М.В., Талтыкин Ю.В. // Тихоокеан. геология. 2023. Т. 42, № 5. С. 66–84.)

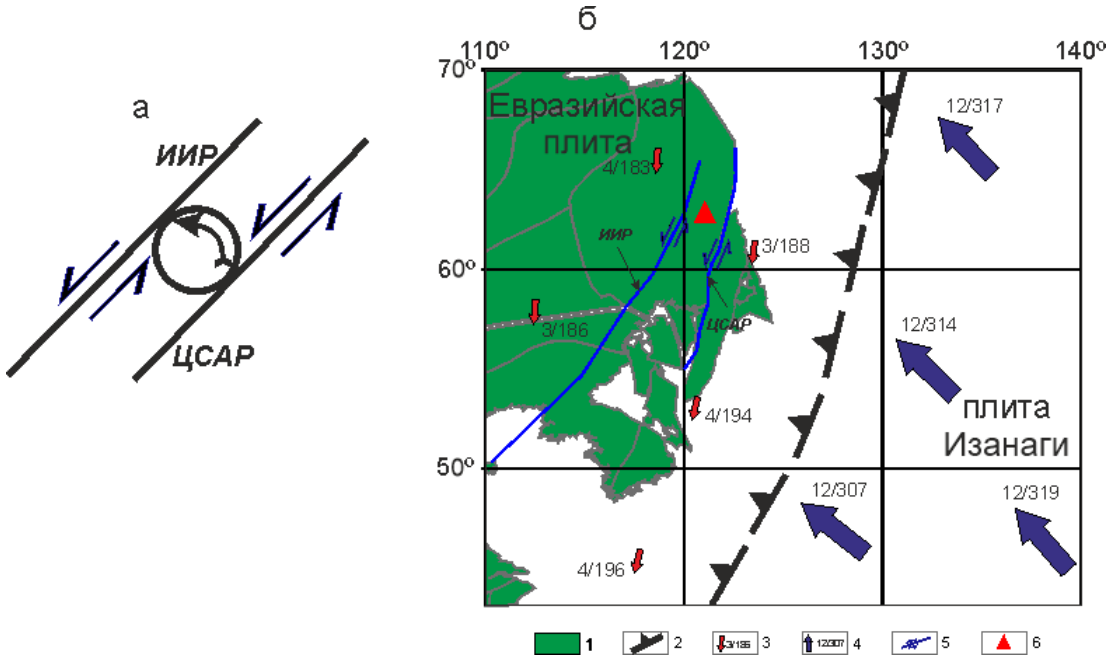

Рис. 3. Тектоническая модель вращения блоков молодой континентальной коры на границе континент–океан (а) и реконструкция положения основных тектонических плит Северо-Западной Пацифики и их кинематическая характеристика (б). 1 – блоки с континентальной корой; 2 – зона субдукции; 3 – скорость (числитель) и угол (знаменатель) движения континентальной плиты; 4 – скорость (числитель) и угол (знаменатель) движения океанической плиты; 5 – разломы с указанием типа смещения (ИИР – Итунь-Иланский, ЦСАР – Центральный Сихотэ-Алинский); 6 – положение изученных габбродиоритов г. Лысая.

Показано, что Тарагайский перидотитовый массив (ЕАО, Дальний Восток России) представляет собой ультраосновную трубку взрыва, прорывающую позднепротерозойские карбонатные отложения и раннепалеозойские граниты на западе Буреинского террейна (рис. 4). На поверхности массив представлен интенсивно денудированной чашеобразной структурой, заполненной дезинтегрированным эксплозивным материалом, в который включены глыбы перидотитов и ксенолиты вмещающих пород. Эксплозивный характер массива подтверждается присутствием в его породах микросферул магнетитового, карбонатно-силикатно-железистого с магнетитом и Cu-Ag-Au составов. Образование массива связывается с воздействием на глубинный перидотитовый материал потока перегретых

восстановленных флюидов в обстановке континентальной окраины трансформного типа. Связь с субдукцией подтверждается и адакитовым характером вмещающих гранодиоритов биробиджанского комплекса. (Бердников Н.В., Невструев В.Г., Кепежинскас П.К., Диденко А.Н. // Докл. РАН. Науки о Земле. 2023. Т. 512, № 1. С. 85–91.)

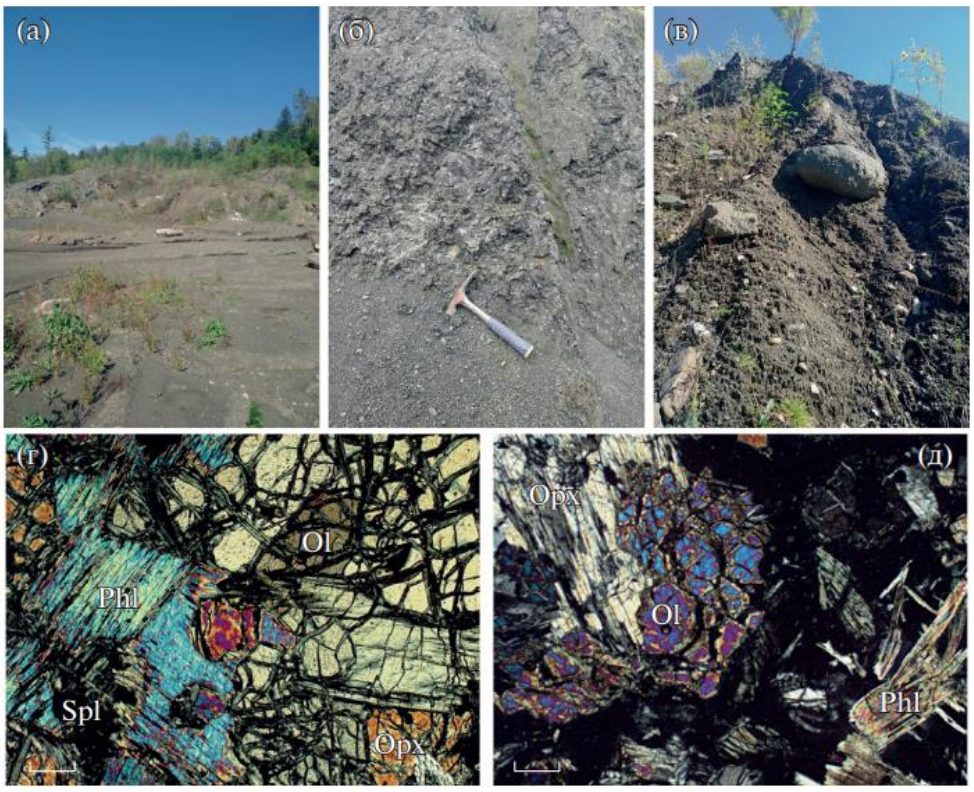

Рис. 4. Морфология Тарагайского массива (а – чашеобразная структура, заполненная дезинтегрированным материалом; б – борт «чаши», сложенный тем же частично сцементированным материалом; в – глыбы перидотитов) и фото шлифов перидотита (г) и дезинтегрированного материала (д). Ol – оливин, Opx – ортопироксен, Spl – шпинель, Phl – флогопит; линейка 20 мкм

Рассмотрены особенности глубинного строения земной коры и литосферной мантии центральной части Нижнеамурской минерагенической зоны и примыкающей с запада территории, включающей Албазинский золоторудный узел. На основе рассчитанных плотностной и магнитной глубинных моделей территории установлены зоны с резкой сменой плотностных и магнитных характеристик, связанные с процессами позднемелового–раннепалеогенового магматизма. Выделена Лимури-Амгуньская кольцевая структура размером ~200 км в поперечнике (рис. 5). Она характеризуется разуплотнением литосферной мантии, плотностными и

магнитными неоднородностями в земной коре, которые связаны с ее высокой насыщенностью интрузивными телами, особенностями их пространственного положения и состава. Проанализирована пространственная связь золоторудных районов, узлов и месторождений с плотностными и магнитными неоднородностями в земной коре и литосферой мантии, показаны основные закономерности в их положении. Предложены новые перспективные площади для поисков месторождений золота; в частности, сделан вывод о недооценке перспектив золотоносности западной части кольцевой структуры южнее месторождения Албазино. (Носырев М.Ю., Диденко А.Н., Гильманова Г.З. // Тихоокеан. геология. 2023. Т. 42, № 3. С. 3–19.)

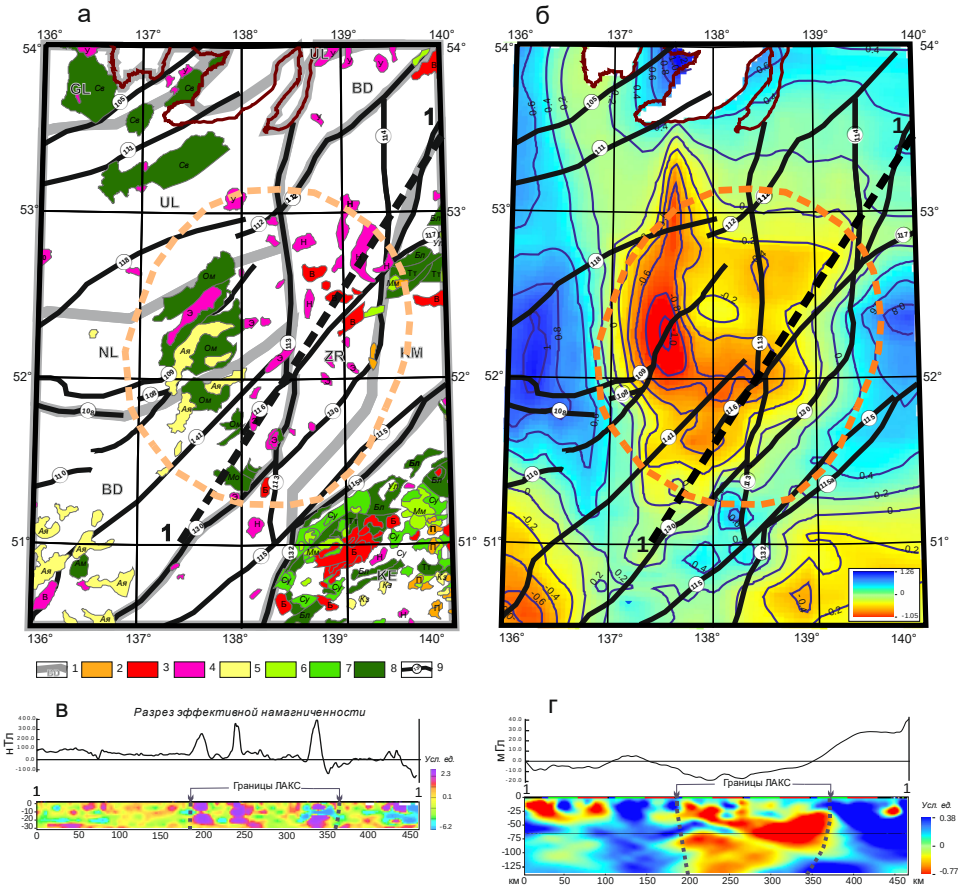

Рис. 5. Геология и глубинное строение Лимури-Амгуньской кольцевой структуры. а – фрагмент схемы тектонического (террейнового) строения Сихотэ-Алинского орогенного пояса [Геодинамика..., 2006] с указанием положения гранитоидов и вулканитов [Государственная карта, 2007а, 2009а] и основных разломов [Забродин и др., 2015]. 1 – границы террейнов (GL – Галамский, BD – Баждальский, NL – Ниланский, UL – Ульбанский, KM – Киселевско-Маноминский, ZR – Журавлевско-Амурский, KE – Кемский); 2–4 – гранитоиды (2 – эоценовые, 3 – палеоценовые, 4 – позднемеловые); 5–8 –

вулканиты (5 – поздненеогеновые, 6 – миоценовые, 7 – палеоценовые, 8 – позднемеловые); 9 – основные разломы (цифры в кружках соответствуют номерам разломов базы данных [Забродин и др., 2015]: 105 – Тугурский, 108 – Пауканский, 109 – Ниланский, 110 – Дукинский, 111 – Ассынииская зона, 112 – Дигдаланский, 113 – Лимурчанский, 114 – Вьюнский, 115 – Приамурский, 115а – Приамурский (Киселевский), 116 – Бичи-Амурский, 117 – Ярки-Акшинский, 118 – Ассыни-Омало-Усалгинский, 130 – Бокторский, 132 – Центральный Сихотэ-Алинский, 141 – Курский). Гранитоидные комплексы: Б – Бекчиулский, В – Верхнеудоминский, М – Мяочанский, Н – Нижнеамурский, П – Прибрежный, У – Ульбанский, Э – Эвурский; вулканические толщи/свиты: Ая – Аякитская, Ам – Амутская, Бл – Больбинская, Кз – Кизинская, Мм – Маломихайловская, Мо – Малоомельдинская, Ом – Омельдинская, Св – Савоякская, Су – Сусанинская, Тт – Татарскинская, Ул – Улакская). б – карта распределения относительной плотности на глубине 100 км [Диденко, Носырев, 2020]. Значения изолиний даны в % от среднего для всей территории (нулевая изолиния). На «а» и «б» использована проекция Гаусса–Крюгера, центральный меридиан 138° в.д. в – разрез эффективной намагниченности с графиком аномального магнитного поля по профилю1-1 [Носырев и др., 2023]. г – разрез эффективной плотности с графиком поля силы тяжести в редукции Буге по профилю 1-1 [Носырев и др., 2023]

На основе данных непрерывных ГНСС наблюдений в Японии, Южной Корее, Северо-Восточном Китае, на Дальнем Востоке России и вязкоупругого 2D моделирования с учетом погружающейся плиты в западной части Тихого океана исследовано воздействие землетрясения Тохоку-Оки (11.03.2011; M_w 9,0) на Северо-Восточную Азию. Установлено, что продолжительность афтерслипа (~ 6 лет) в южной части косейсмического разрыва меньше, чем в северо-западной. Постсейсмическая деформация в Северо-Восточной Азии в основном была вызвана вязкоупругой релаксацией мантии. В дальней зоне северо-восточного Китая погружающаяся плита слабо повлияла на косейсмическое смещение, но вызвала значительное увеличение постсейсмического смещения (рис. 6). Постсейсмические деформации на северо-востоке Китая значительно различались по всей зоне разлома Тан-Лу. Измеренное значение на западной стороне зоны разлома Тан-Лу было меньше смоделированного значения из-за латеральной разницы вязкости мантии по обе стороны зоны разлома (8×10^{18} и 3×10^{19} Па с). (Liu T., Fu G., Bykov V.G., Pupatenko V.V. et al. // Geophysical Journal International. 2023. Vol. 235, N 2. P. 1479–1492.)

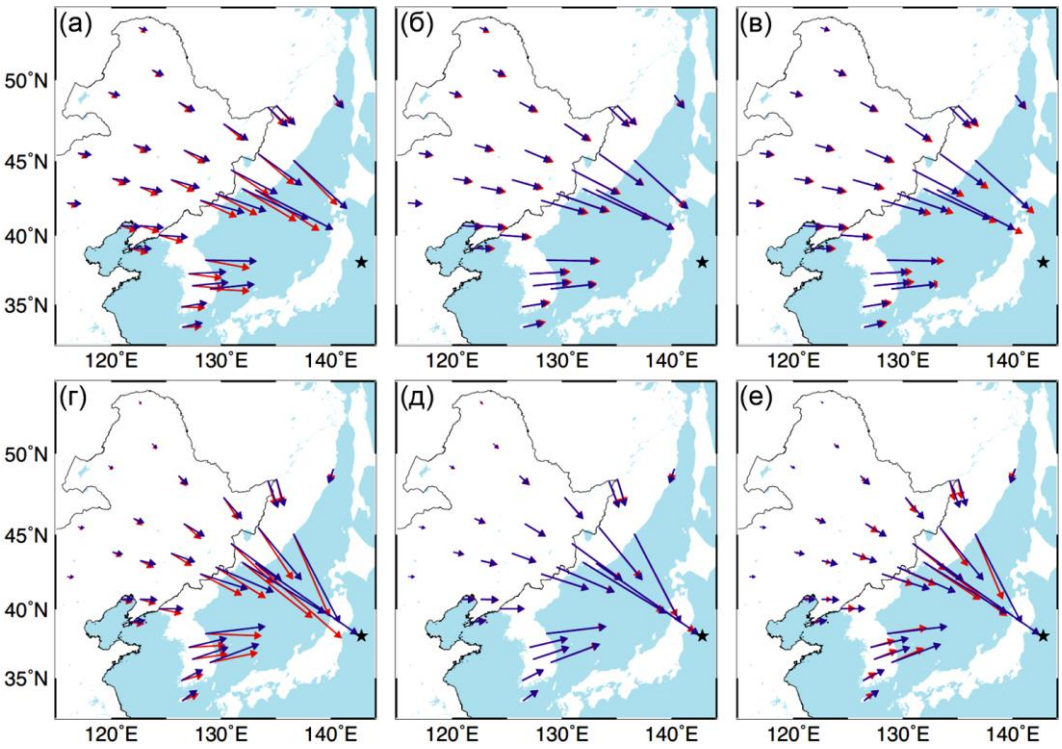

Рис. 6. Моделирование сейсмической деформации в дальней зоне в результате землетрясения Тохоку-Оки (11.03.2011; M_w 9,0). а–в – косейсмическое смещение; г–е – постсейсмическое смещение, вызванное 10-летней вязкоупругой релаксацией. Красные стрелки на (а) и (г) – моделирование по теории дислокаций в полупространстве; красные стрелки на (б) и (д) – моделирование по теории сферических дислокаций; синие стрелки на (а–е) – моделирование методом спектрального элемента; синие и красные стрелки на (в) и (е) – результаты расчетов по модели с учетом и без учета субдукции Тихоокеанской плиты соответственно

Выявлены четыре надежно диагностируемых отличия природных микросферул Cu-Ag-Au от искусственных (рис. 7). Показано, что рельеф поверхности природных микросферул осложнен усадочными деформациями, а у искусственных – имеет «ячеистый» характер, отражая начинающуюся кристаллизацию Cu-Ag-Au сплава. Сплав природных микросферул не несет признаков распада твердых растворов и/или кристаллизации, а искусственные микросферулы имеют доменное внутреннее строение из-за распада сплава на субкристаллические фазы. В искусственных микросферулах не встречаются округлые микровключения и микровключения с менисками на границе ликвационного распада их содержимого. В искусственных микросферулах медно-окисные микровключения состоят только из меди и кислорода, а в микровключениях

из природных микросферул всегда присутствуют примеси Fe, Ni, Zn, Cr, редко Na. (ИТиГ ДВО РАН). (Berdnikov N., Kepezhinskas P., Krutikova V. et al. // Minerals. 2023. Vol. 13, N 6. 819.)

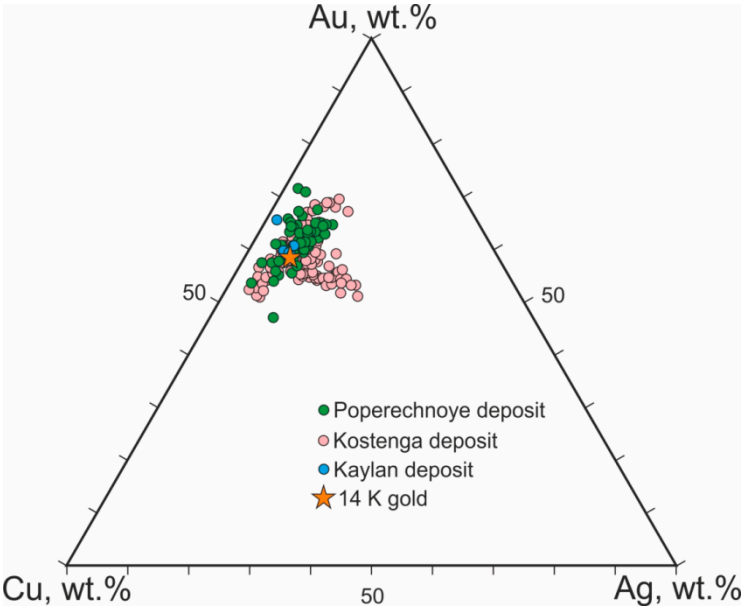

Рис. 7. Вариации составов в природных Cu-Ag-Au микросферулах в сравнении с составом ювелирного золота (14K gold, звездочка)

Изучена геохимия палеозойского вулканогенно-осадочного комплекса основания горст-грабеновой Каталонской прибрежной системы (Испания), сложенной черными сланцами, вулканокластическими осадками, лавовыми потоками, силлами и туфами. Показано, что осадочные породы комплекса образовались в условиях активной континентальной окраины Андийского типа, а вулканиты имеют мантийный источник, метасоматизированный в процессе субдукции. Геохимические особенности пород комплекса обусловили формирование на их основе специфических почв «ликорелла», на которых произрастает виноград приората DOQ – основа вин мирового класса. Предполагается, что их качество во многом определяется специфическим минеральным составом почв, а также обогащенностью Au, Ag и Pt (рис. 8). (Kepezhinskas P., Berdnikov N., Kepezhinskas N. et al. // Geosciences. 2023. Vol. 13. 31.)

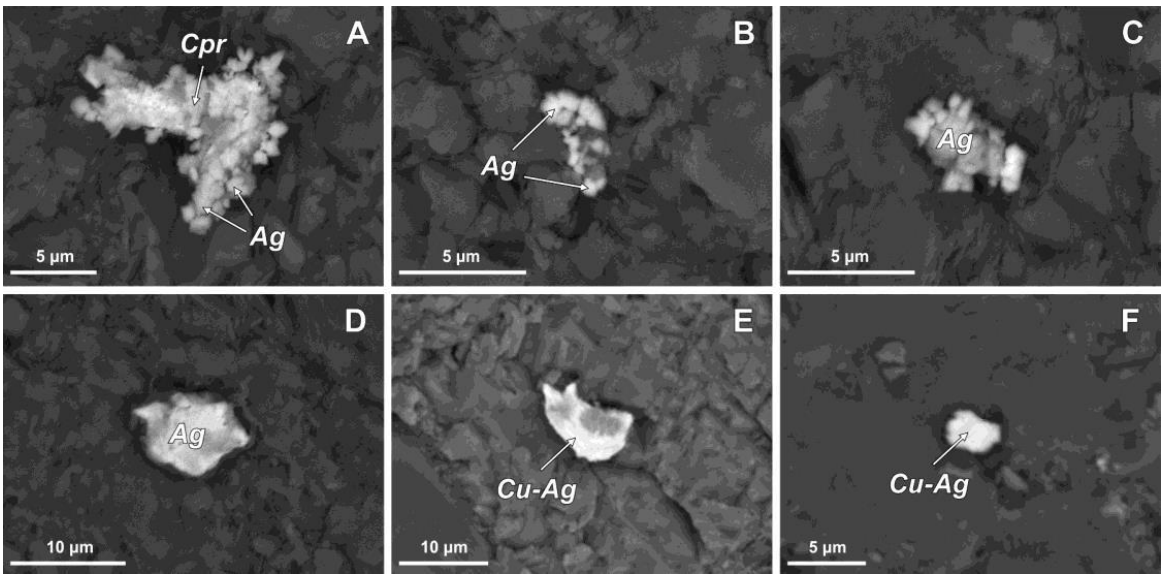

Рис. 8. Самородное и медистое серебро в палеозойских черных сланцах Catalan Coastal Ranges, Испания. A – агрегат мелких (< 10 μm) кубических микрокристаллов серебра в сростании с купритом; B – агрегат зерен серебра в полевошпатово-серицитовом матриксе; C – агрегат микрокристаллов глобулярного (< 1 μm) серебра; D – отдельный микрокристалл медистого серебра; E – пленка медистого серебра на кристалле полевого шпата; F – микрокристалл медистого серебра в карбонатном матриксе

В результате структурного, петрогеохимического, петро- и палеомагнитного изучения мезозойских пород Ниланского террейна, расположенного в юго-восточной части Монголо-Охотского орогенного пояса, установлено, что сложнодислоцированные юрские и триасовые (?) отложения террейна являются фрагментами средне-позднеюрского аккреционного комплекса с различной концентрацией более древних океанических пород и полностью разрушенной стратиграфией океанической плиты. Показано (рис. 9), что среднеюрские вулканиты основного и среднего состава, залегающие здесь, имеют океаническое происхождение, формировались в геодинамических условиях срединно-океанических хребтов и внутриплитных океанических островов в приэкваториальных (-3,7° +5,1°/-6,3°) широтах, далеко за пределами палеоширот Монголо-Охотского палеоокеана. После формирования вулканиты испытали дрейф в северном направлении вдоль континентальной окраины Азии более чем на 5000 км до своего современного положения. (Песков А.Ю., Войнова И.П., Диденко А.Н., и др. // Тихоокеан. геология. 2023. Т. 42, № 5. С. 3–22.)

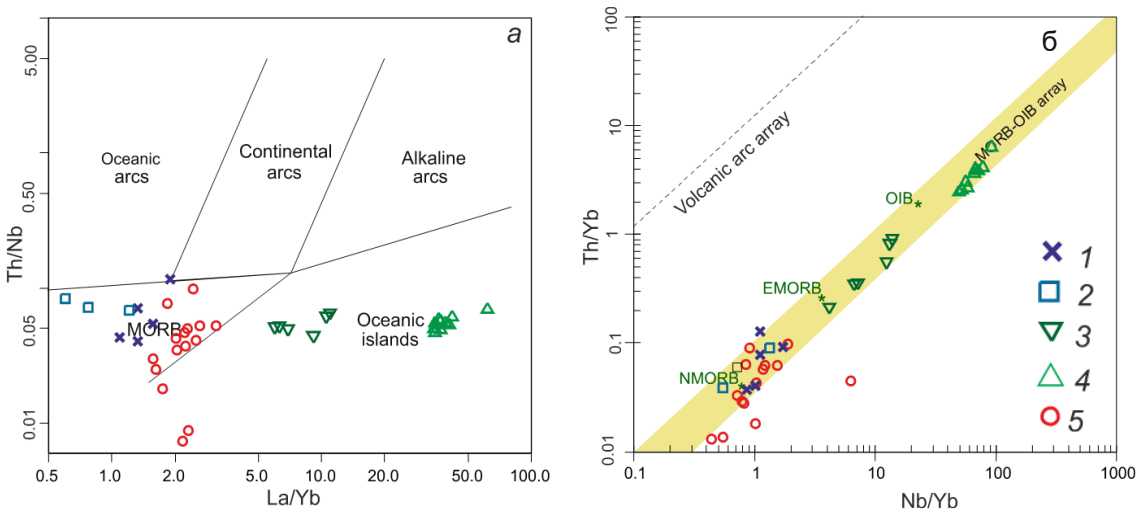

Рис. 9. Дискриминантные диаграммы La/Yb-Th/Yb. Вулканиты: 1 – толща T_2-возраста; 2 – берендинская толща J_2br; 3–5 – крестовая толща $J_{2\text{-}3}$kr (3 – нижних потоков, 4 – верхних потоков, 5 – из блоков микститов)

Выполнен анализ годового распределения сейсмической активности Приамурья в период 1970–2015 гг. Выявленные максимальные выделения сейсмической энергии землетрясений (M ≥ 3) происходят, когда скорость вращения Земли минимальна или максимальна, что позволяет считать этот процесс триггером усиления сейсмичности в регионе. Корреляция максимумов сейсмической активности или максимумов выделившейся сейсмической энергии в Приамурье с неравномерностью вращения Земли совпадает с тенденцией, установленной для всей планеты. Максимумы годового распределения суммарной энергии слабых сейсмических событий (M < 3) соответствуют пикам повышенной сейсмичности в Сахалино-Курильском сегменте Тихоокеанской зоны субдукции в 1980–1983 гг., 1990 г., 1998 г., 2000–2001 гг., 2007 г., что дает возможность рассматривать сейсмическую активность Тихоокеанской зоны субдукции как дополнительный триггер слабой сейсмичности Приамурья (рис. 10). (Меркулова Т.В. // Тихоокеан. геология. 2023. Т. 42, № 3. С. 72–82.)

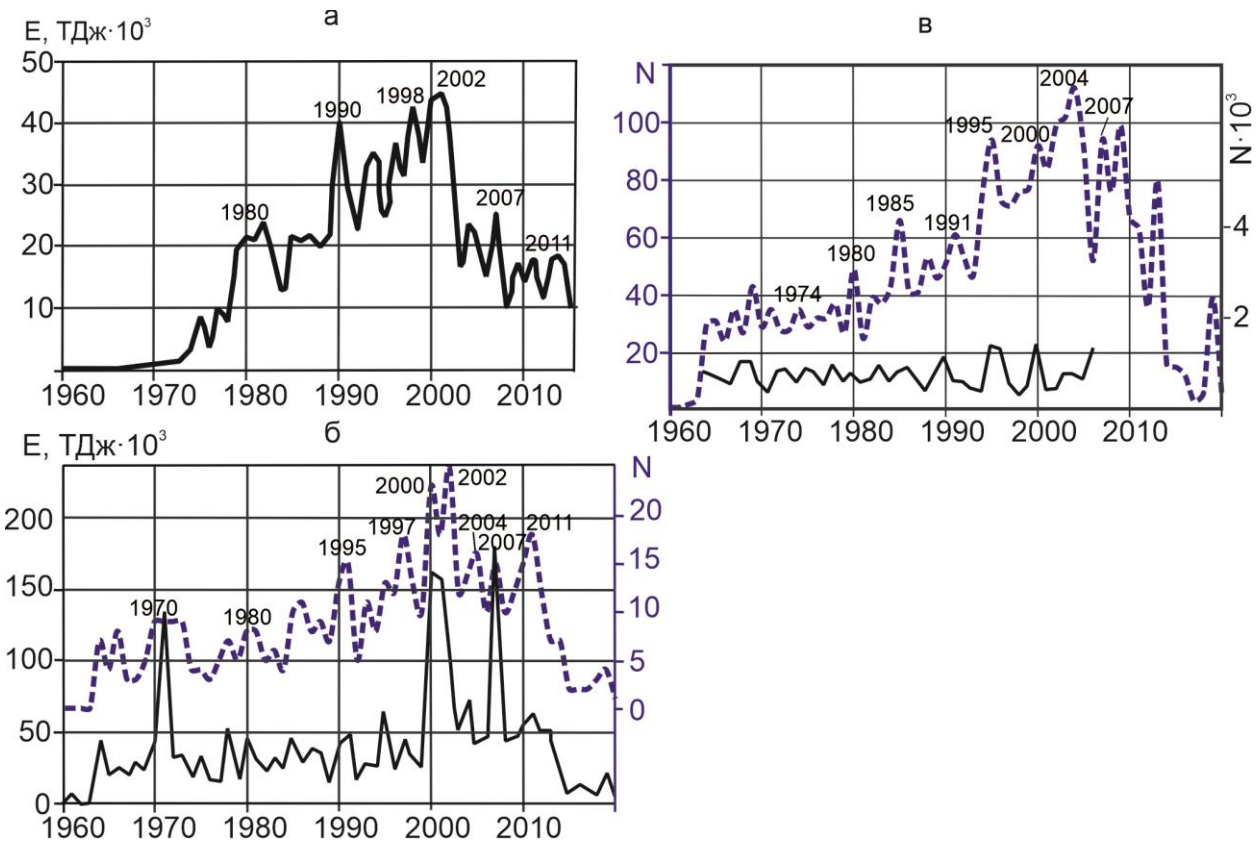

Рис. 10. Корреляция сейсмической энергии слабых землетрясений (M < 3) Приамурья и глубокофокусной сейсмичности Тихоокеанской зоны субдукции. а – годовое распределение энергии слабых землетрясений Приамурья; б – количество и сейсмическая энергия глубокофокусных землетрясений (H > 300 км, M > 6) в Сахалино-Курильском сегменте Тихоокеанской субдукции (пунктир – количество землетрясений, сплошная – сейсмическая энергия); в – количество глубокофокусных событий (H > 300 км, M > 6) в Японо-Курильском сегменте (пунктир) и северной ветви Тихоокеанской субдукции (сплошная)

Получены оценки параметров затухания сейсмических волн в литосфере Приамурья (обзорные – для всей территории Приамурья, детальные – для окрестностей Бурейской ГЭС) двумя методами расчета сейсмической добротности (по коде Lg-волн и по коде S-волн) (рис. 11). На региональном масштабе выделены наиболее сильные пространственные вариации параметра затухания Q_0, изменяющегося от 380 (юг Приморья) до 600 (северо-запад Приамурья). Построены карты пространственного распределения параметров затухания по коде Lg-волн, которые могут быть использованы в качестве основы при моделировании затухания для Приамурья и прилегающих территорий для уточнения карт ОСР. Полученные результаты и сравнительный анализ показывают, что при

расчетах карт ОСР для огромной территории необходимо применять более дифференцированные по площади модели затухания. (ИТиГ ДВО РАН). (Пупатенко В.В. // Тихоокеан. геология. 2023. Т. 42, № 1. С. 76–88.)

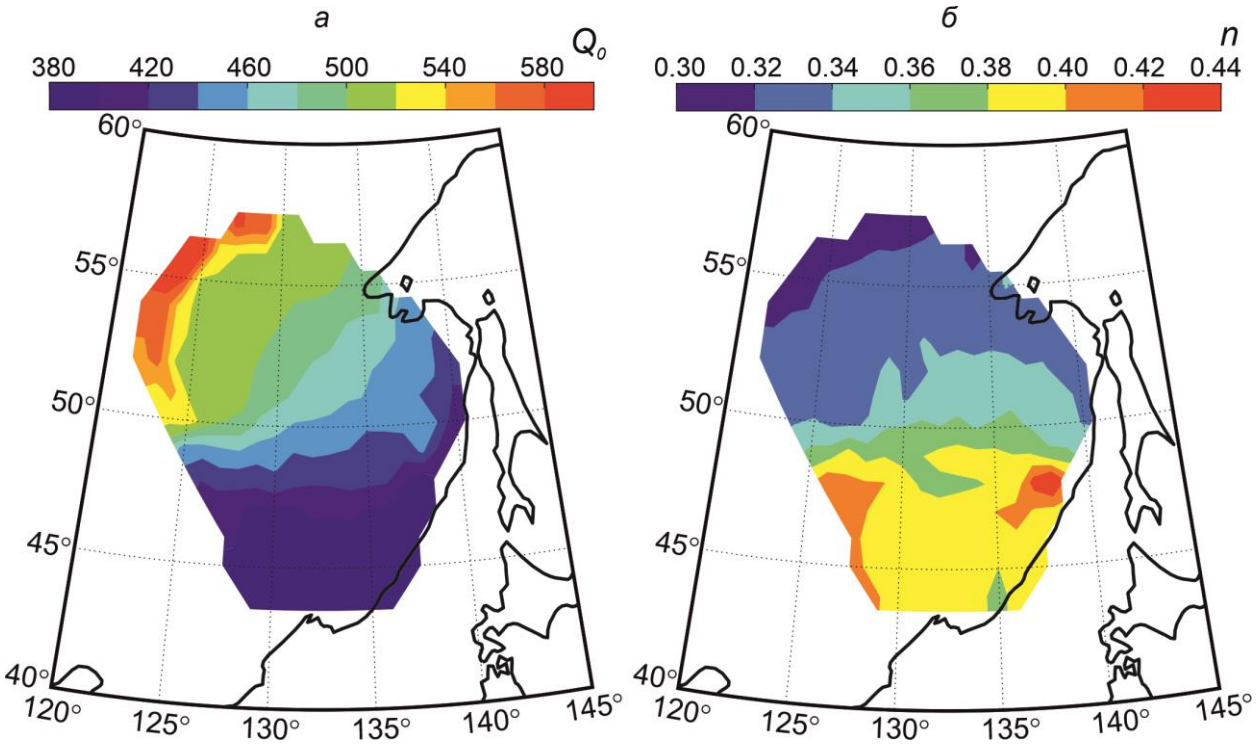

Рис. 11. Пространственное распределение параметров затухания сейсмических волн по коде Lg-волн в литосфере Приамурья. а – сейсмическая добротность Q_0 на частоте 1 Гц, б – частотный параметр n

На основе созданной плотностной 3D модели литосферы Западного Приохотья выделены глубинные неоднородности литосферы, получены геофизические характеристики основных тектонических элементов региона. В результате качественного анализа плотностных срезов выявлены особенности дизъюнктивной тектоники на разных глубинных уровнях. Показано, что в земной коре региона преобладают диагональные нарушения, в литосферной мантии – ортогональные. Установлено, что метаморфический фундамент северо-восточной окраины Северо-Азиатского кратона разделен активными долгоживущими зонами на разнонаправленные блоки. К выделенным зонам тяготеют разноуровневые (мантийно-коровые) магматические интрузии и эндогенные оруденения. Полученные модели структуры фундамента и выявленные особенности размещения магматизма могут послужить основой для прогноза новых рудных районов (рис. 12).

(Иволга Е.Г., Манилов Ю.Ф. // Тихоокеан. геология. 2023. Т. 42, № 3. С. 20–27.)

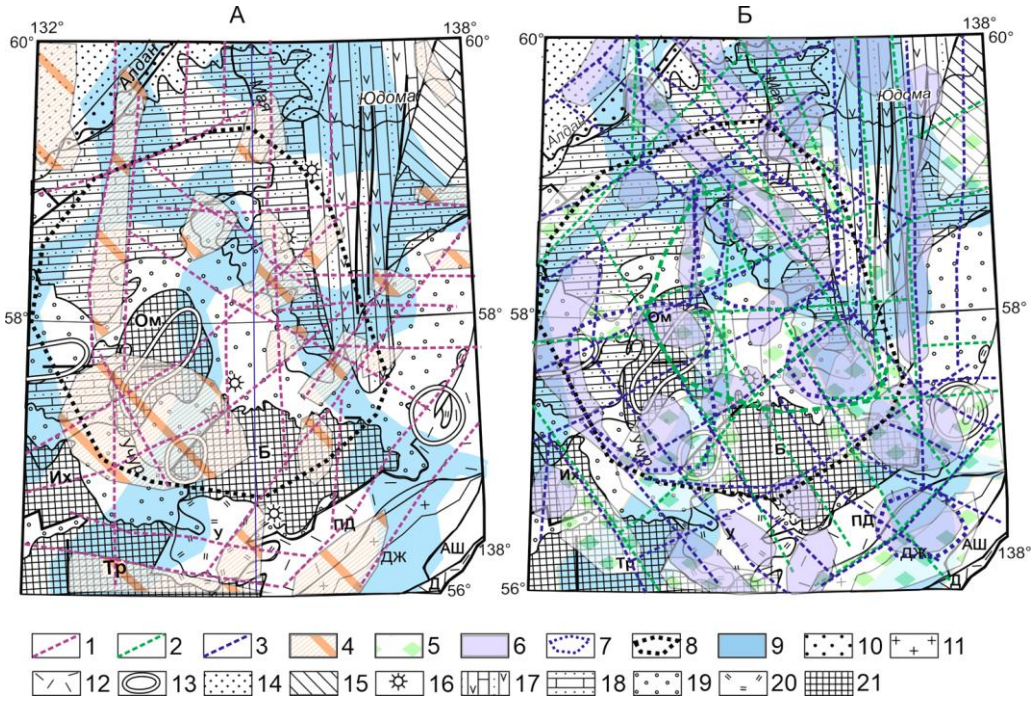

Рис. 12. Магмоконтролирующая роль подвижных зон метаморфического фундамента: А – структурно-тектонические особенности мантийного уровня, Б – корового. 1 – мантийные разломы; 2 – нижнекоровые разломы; 3 – среднекоровые разломы; (4–6) – плотностные аномалии (предполагаемые интрузии): 4 – мантийного уровня, 5 – нижнекорового, 6 – среднекорового уровня; 7 – предполагаемые интрузивно-купольные структуры; 8 – верхнекоровая сводово-купольная структура; 9 – предполагаемые подвижные межблоковые зоны; 10 – Джукян-Кербинская кайнозойская континентальная впадина; 11 – позднемеловые коллизионные гранитоиды; 12 – позднемезозойские вулканогенные прогибы Охотско-Чукотского вулканического пояса на активной окраине Северо-Азиатского кратона: Пд – Предджугджурский, ДЖ – Джелонгский; 13 – ареалы субщелочных и щелочных пород алданского и охотского комплексов; 14 – юрские отложения Вилюйской синеклизы; 15 – Южно-Верхоянский верхнепалеозойский синклинорий пассивной континентальной окраины Сибирского кратона; 16 – массивы ультраосновных щелочных пород центрального типа; 17 – Юдомо-Майский мезо-неопротерозойский рифтогенный прогиб; 18 – верхненеопротерозойско-нижнепалеозойский Учуро-Майский плитный комплекс; 19 – неопротерозойский–нижнепалеозойский платформенный чехол (Аяно-Майский прогиб); 20 – Улканский позднепалеопротерозойский вулканогенный прогиб; 21 – выступы и блоки палеопротерозой-архейского кристаллического фундамента: Их – Идюмо-Хайканский, Тр – Тырканский, Б – Батомгский, Ом – Омнинский, Дж – Джугджурский

Установлено, что ультраосновные и основные породы Ильдеусского массива (232–233 Ма, Становой мобильный пояс) насыщены микровключениями минералов серебра (рис. 13). Серебряная минерализация в породах массива формировалась в два этапа. На магматическом этапе минералы серебра кристаллизовались в восстановительных условиях в присутствии высокотемпературных флюидов, обогащенных сульфидной серой, галогенами, а также летучими сидерофильными (W, Pt) и халькофильными (Ag, Bi, Sn, Sb, Pb) металлами. Метасоматические парагенезисы минералов серебра второго этапа образовались в окисленных условиях при участии низкотемпературных водно-солевых растворов с повышенными концентрациями сульфатной серы, мышьяка и теллура. Предложена двухстадийная модель формирования серебряной минерализации в магматогенных системах островных дуг, в которых высокотемпературный магматический этап становления в глубинных частях земной коры сменяется низкотемпературным гидротермальным рудообразованием в близповерхностных условиях. (ИТиГ ДВО РАН совместно с APEX Geoscience, Canada). (Кепежинскас П.К., Бердников Н.В., Крутикова В.О. и др. // Тихоокеан. геология. 2023. Т. 42. № 4. С. 30–60; Kepezhinskas P., Berdnikov N., Kepezhinskas N. et al. // Minerals. 2023. Vol. 13. 878.)

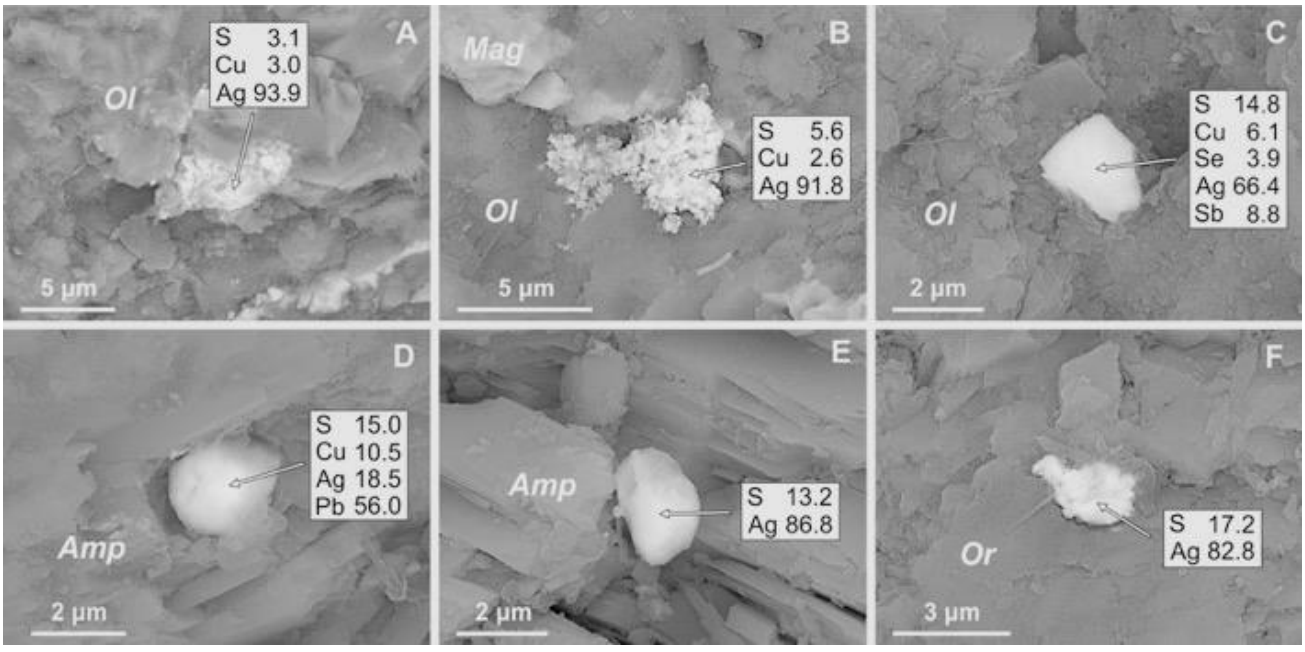

Рис. 13. Сульфиды и сульфосоли серебра и меди в Ильдеусском

массиве. A, B – нестехиометрические сульфиды серебра и меди в оливине; C – микровключения Cu-Ag-Se-Sb сульфосоли в оливине. D – сульфид Cu-Ag-Pb в амфиболе; E, F – включение сульфида серебра в амфиболе (E) и в ортоклазе orthoclase (F). Ol – olivine, Amp – amphibole, Mag – magnetite, Or – orthoclase

Впервые с помощью сейсмического профилирования исследовано строение Кыллахской зоны надвигов Южного сектора Верхоянского складчато-надвигового пояса. Построены сейсмогеологические разрезы, по которым уточнены мощности отдельных осадочных комплексов и общая мощность осадочного чехла, строение надвиговых пластин, положение детачментов, определены величины минимального (видимого) скольжения аллохтонов и посчитаны коэффициенты сжатия для отдельных сегментов Кыллахской зоны (рис. 14). Проведено сопоставление сейсмических и геологических материалов. Дано краткое описание последовательности геодинамических событий региона, приведших к образованию надвигов. (ИТиГ ДВО РАН). (Развозжаева Е.П., Талтыкин Ю.В. // Тихоокеан. геология. 2023. Т. 42, № 1. С. 3–21.)

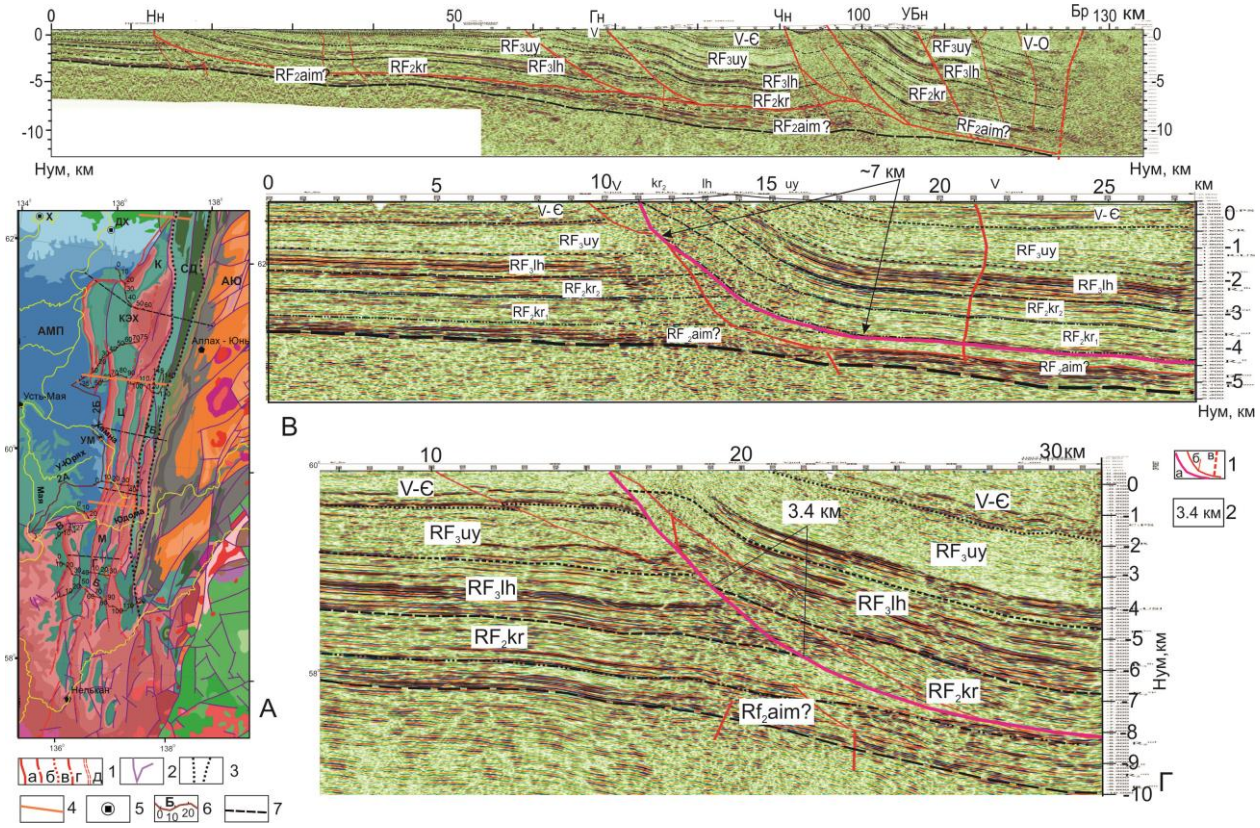

Рис. 14. Строение надвигов Майского (Южного) сегмента Кыллахской зоны по результатам сейсмопрофилирования (по материалам ОАО

«Якутскгеофизика», с изменениями): А – геологическая карта Кыллахской зоны надвигов 1: 2500000 масштаба на основе ГИС-Атласа по ДФО (ВСЕГЕИ, СПб, 2007 г.). Разломы (1, 2): а – Нельканский (Кыллахский, Эбейке-Хаятинский) надвиг, б – Гувиндинский надвиг, в – Челатский надвиг, г – Улахан-Бомский надвиг, д – Бурхалинский сдвиг; 2 – по геологической карте; 3 – границы зон: К – Кыллахская, СД – Сетте-Дабанская, АЮ – Аллах-Юньская; 4 – границы сегментов: КЭХ – Кыллахско-Эбейке-Хаятинский, Ц – Центральный, М – Майский; 5 – скважины глубокого бурения: УМ – Усть-Майская 366, Х – Хочомская 1, ДХ – Джебарики-Хаинская; 6 – линии сейсмических разрезов с пикетажом через 10 км. Буквы на линиях разрезов соответствуют буквенному обозначению на рисунке; 11 – линии геологических разрезов. АМП – Алдано-Майская плита. Б, В, Г – глубинные сейсмостратиграфические разрезы, пересекающие всю Кыллахскую зону (Б); Нельканский надвиг (В); Гувиндинский надвиг (Г). Нум – глубина от уровня моря. 1 – разломы. Надвиги: а – авторский вариант, б – согласно интерпретации ОАО «Якутскгеофизика»: Нн – Нельканский надвиг, Гн – Гувиндинский надвиг, Чн – Челатский надвиг, УБн – Улахан-Бомский надвиг, в – Бурхалинский сдвиг; 2 – величина видимого движения надвиговой пластины; стратифицированные сейсмокомплексы, соответствующие: V-Є (О) – венд-кембрийским (ордовикским) отложениям; RF_3uy – уйской серии верхнего рифея (неопротерозоя); RF_3lh – лахандинской серии верхнего рифея; RF_2kr – керпыльской серии среднего рифея (мезопротерозоя): RF_2kr_2 – верхней карбонатной подсерии, RF_2kr_1 – нижней терригенной подсерии; RF_2aim? – предположительно, аимчанской серии среднего рифея

Показано, что среди минералов платиновой группы из эксплозивных брекчий железо-марганцевого месторождения Поперечное (Малый Хинган, Дальний Восток России) преобладает изоферроплатина, меньше распространены рутениридосмин, самородные иридий, платина и осмий (рис. 15). Обсуждаются три варианта попадания МПГ в эксплозивные брекчии месторождения Поперечное: 1 – из ультраосновных комплексов надсубдукционных обстановок; 2 – из коллектора древних платинометалльных россыпей; 3 – из мантийного клина над мезозойской зоной субдукции в процессе генерации первичных островодужных магм. Ассоциации МПГ в брекчиях месторождения Поперечное представляют собой новый тип потенциально промышленной благороднометалльной минерализации на Дальнем Востоке России, а сами эксплозивные брекчии (флюидолиты) могут служить поисковым критерием для обнаружения коренных и россыпных месторождений платиноидов вулканогенно-эксплозивного генезиса на территории Российской Федерации. (ИТиГ ДВО

РАН совместно с ИГГД РАН и Шеньянским геологоразведочным центром Геологической службы Китая). (Мочалов А.Г., Бердников Н.В., Галанкина О.Л. и др. // Тихоокеан. геология. 2023. Т. 42, № 2. С. 88–104.)

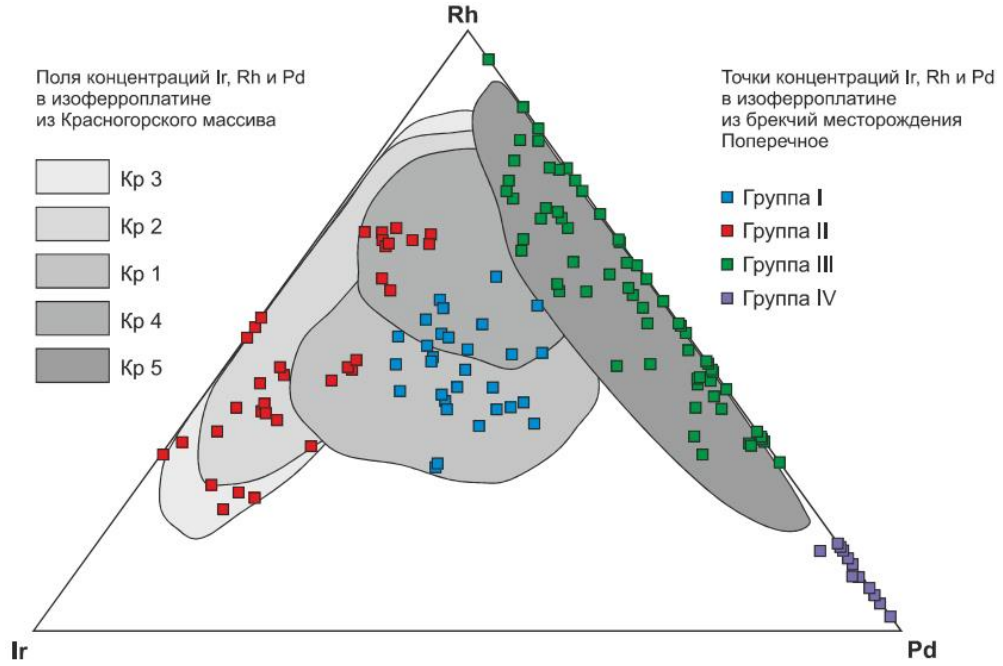

Рис. 15. Точки концентраций Ir, Rh и Pd в изоферроплатине из эксплозивных брекчий месторождения Поперечное (группы I–IV) на полях концентраций этих платиноидов в изоферроплатине из Красногорского массива (Кр 1–5)

Впервые доказаны существенные различия магнитных характеристик (замеры магнитной восприимчивости, содержание магнитной фракции, состав темноцветных и магнитных минералов, содержание Fe^{2+} и Fe^{3+}) одновозрастных интрузивных пород в южной части Приискового массива. Определен близкий сеноманский возраст U-Pb методом по циркону (SHRIMP-II) амфиболовых гранодиоритов магнетитовой и ильменитовой серий массива (96,91 ± 0,88 и 96,5 ± 1,2 млн лет). Это свидетельствует о том, что в сеномане эти породы кристаллизовались в различных окислительно-восстановительных обстановках. Выделенная локальная область проявления магнетитовых пород среди относительно однородной ильменитовой зоны Сихотэ-Алинского орогенного пояса (рис. 16) объясняет распределение месторождений и рудопроявлений изученного района, подтверждая приуроченность оловорудной минерализации к породам ильменитовой серии (восстановительные условия), а золоторудной и полиметаллической минерализации – к породам магнетитовой серии (окислительные условия). (Коновалова Е.А., Талтыкин Ю.В., Юрченко Ю.Ю., Мишин Л.Ф. // Геология

рудных месторождений. 2023. Т. 65, № 3. С. 254–269.)

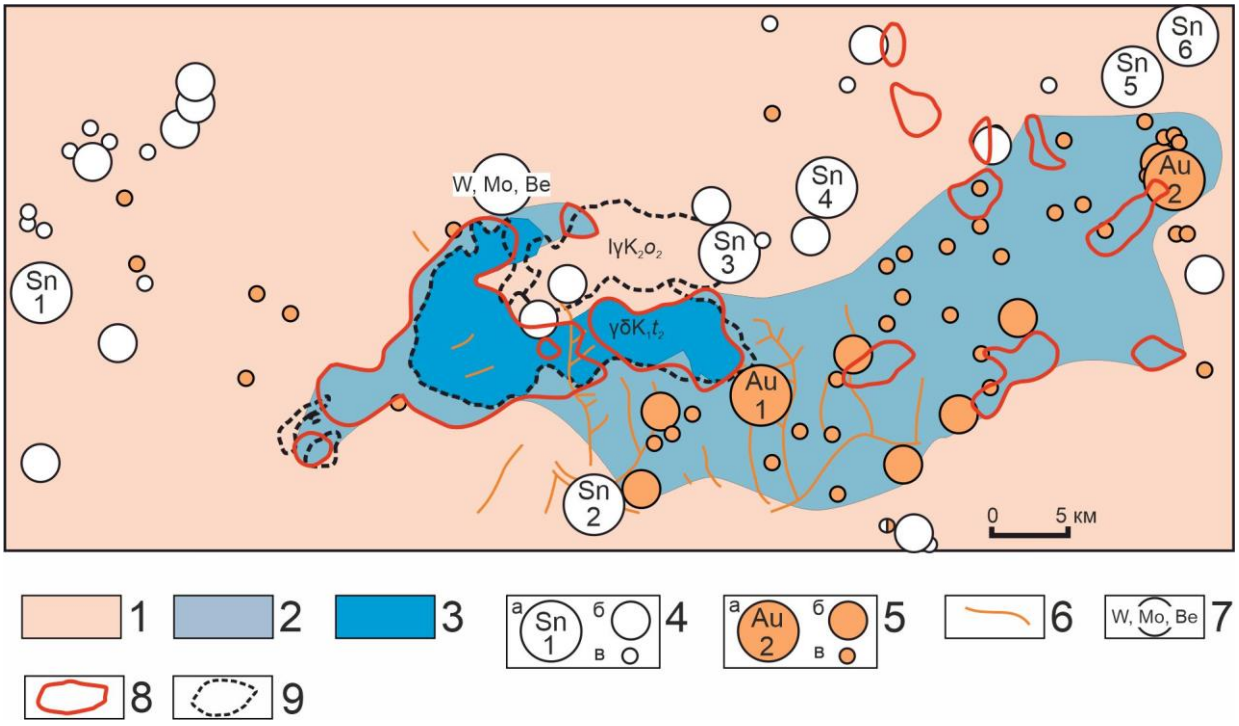

Рис. 16. Зона локальных окислительных условий формирования магматических пород в районе Приискового массива и связь с металлогенией. 1 – восстановительные условия формирования магматических пород; 2 – локальные окислительные условия формирования магматических пород; 3 – магнетитовые породы Приискового массива (окислительные условия формирования магматических пород в пределах Приискового массива); 4 – месторождения (а), рудопроявления (б) и пункты минерализации (в) олова: 1 – Рудное, 2 – Дерсу (Сидатунское), 3 – руч. Конечный Лог, 4 – Туенгу, 5 – Средне-Микулинское, 6 – Зимнее; 5 – месторождения (а), рудопроявления (б) и пункты минерализации (в) золота: 1 – Благодатненское, 2 – Глухое; 6 – россыпи золота по водотокам; 7 – вольфрам-молибден-бериллиевое месторождение Забытое; 8 – нулевая изолиния с карты аномалий магнитного поля; 9 – границы интрузивных тел

В результате геохимических исследований палеопротерозойских даек ультрамафитов Кунь-Маньенского ареала (юго-восток Сибирской платформы) показано, что они относятся к высокоглиноземистым ультрамафитам пикрит-толеитовой серии, родоначальными магмами которых были не ультраосновные, а пикробазальтовые магмы. Уровень концентрации REE в ультрамафитах и характер нормированных спектров указывают на участие достаточно обогащенных источников в формировании исходных расплавов, из которых кристаллизовались породы, кардинальным образом

отличающиеся от перидотитов офиолитовых ассоциаций и типичных коматиитовых расплавов (рис. 17). Соотношение Zr/Y – Nb/Y в ультрамафитах свидетельствует о неплюмовом источнике исходных для них расплавов в верхней деплетированной мантии. Сочетание в магматитах субдукционных и внутриплитных геохимических характеристик является характерной особенностью трансформной окраины как результата относительного скольжения океанической (Верхнемайской) и континентальной (Учурской) микроплит в горизонтальной плоскости. (Гурьянов В.А., Петухова Л.Л., Кириллов В.Е. // Тихоокеан. геология. 2023. Т. 42, № 2. С. 68–87.)

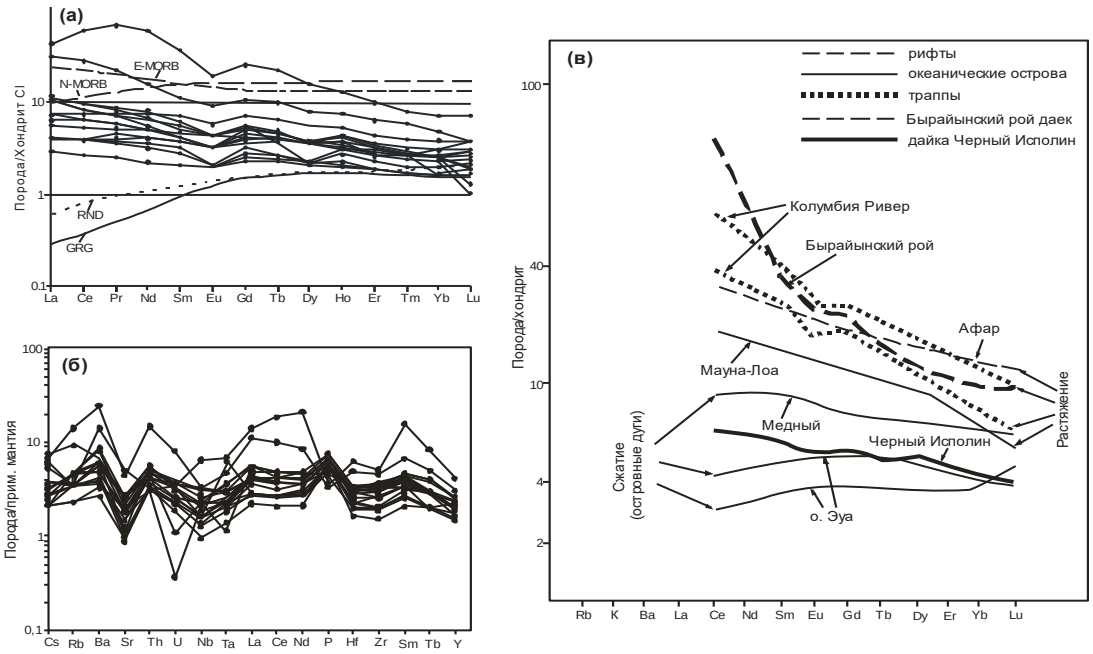

Рис. 17. Характеристика состава редкоземельных и малых элементов в ультрамафитах. Мультиэлементные спайдер-диаграммы с распределением несовместимых элементов в породах даек (по: Sun et al., 1989) относительно: а) хондрита, б) примитивной мантии, в) распределение редкоземельных элементов в породах толеитовой и коматиит-толеитовой серий зон сжатия (островные дуги) и зон растяжения (внутриплитные обстановки), нормированные к хондриту (Sun et al., 1989). Показаны: RND – наиболее обогащенные шпинелевые лерцолиты офиолитового массива Ронда (Ramaidi, 1993), GRG – типичные коматиитовые расплавы о-ва Горгона (Revillon, 2000)

Результаты основных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (разработок), законченных и готовых к практическому использованию

Синтез и исследование новых висмутовых биоиндифферентных фотокаталитических материалов

Синтезированы и исследованы новые висмутовые биоиндифферентные фотокаталитические материалы, способные использовать солнечный свет для очистки вод от органических загрязнителей. Показано, что наибольшей каталитической активностью и эффективностью светопоглощения обладают материалы, полученные с использованием пропиточных растворов, содержащих 10–15 масс.% висмута. Фотокатализаторы с 25 масс.% висмута показали наибольшую гидролитическую стабильность при циклических испытаниях. Это может быть связано с тем, что висмут входит в состав силикатной системы, где является интермедиатором, дополняющим силикатную сетку. Установлено, что наличие зерен кварца в небольшом количестве в составе носителя оказывает положительное влияние, поскольку они позволяют предотвратить спекание и деформацию образца при формировании на нем покрытия в процессе изотермической выдержки. (ИТиГ ДВО РАН совместно с ИВЭП ДВО РАН, руководитель работы от ИТиГ ДВО РАН к.х.н. Кириченко Евгений Александрович).

Исследование физико-химических свойств фотокатализаторов

Для решения актуальных задач сокращения выбросов CO_2 и производства водорода в энергетических целях продолжались исследования физико-химических свойств фотокатализаторов. Перспективным классом таких соединений являются двумерные материалы на основе максенов. В отчетном году были синтезированы гетероструктуры $TiNbC/TiO_2$, проведены эксперименты по фотокаталитическому выделению водорода и восстановлению CO_2 с содержанием исследуемых соединений 1,5 и 10 %. Полученные результаты могут стать основой создания новых высокоэффективных систем для снижения количества углекислого газа в

атмосфере и производства водорода для энергетики. (ИТиГ ДВО РАН совместно с МФТИ, ДФУ, ИК СО РАН, НИЯУ МИФИ, руководитель работы от ИТиГ ДВО РАН к.ф.-м.н. Штарева Анна Владимировна).

Порошковые материалы из двустворчатых моллюсков для фотокаталитической очистки воды

Получены порошковые материалы из двустворчатых моллюсков (*Crenomytilus grayanus, Callista brevisiphonata, Mizuhopecten yessoensis*) для фотокаталитической очистки воды. Исследованы физико-механические характеристики полученных материалов. Установлена высокая биоиндифферентность порошков. Показано, что входящие в состав модификации карбоната кальция (кальцит, арагонит) положительно влияют на фотокаталитическую активность как исходных материалов, так и покрытий из них, полученных лазерным воздействием. Все это позволит создавать новые материалы для водоочистки с относительно низкой себестоимостью. (ИТиГ ДВО РАН совместно с ИВЭП ДВО РАН, руководитель работы от ИТиГ ДВО РАН к.ф.-м.н. Астапов Иван Александрович).

В 2023 г. опубликовано: 38 статей, в том числе 26 в отечественных и 12 в зарубежных изданиях, из них 34 в рецензируемых журналах, индексируемых в Web of Science – 24, в Scopus – 23.