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 102 чел.; н. с. – 50, чл.-корр. РАН – 1, д. н. – 6, к. н. – 29.

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. В.Б. Каплун

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.г.-м.н. Н.В. Бердников

группа геоинформационных технологий – к.г.-м.н. Г.З. Гильманова

Основные научные результаты

Впервые построена плотностная 3D-модель литосферы Сихотэ-Алиньского орогенного пояса до глубины 130 км (рис. 1). Выделены и охарактеризованы две субмеридиональные протяженные линейные зоны пониженной плотности в верхней мантии, к которым пространственно приурочены известные крупные месторождения олова и золота на севере Сихотэ-Алиня. Современная плотностная структура литосферы сформирована в мезозое-кайнозое следующими геодинамическими процессами: 1) субдукцией и сменяющим ее трансформным режимом на Бурея–Сихотэ-Алиньской активной континентальной окраине в поздней юре-раннем мелу – этап характеризовался появлением областей разуплотнения в мантии, связанных с движением восходящих флюидов и расплавов в надсубдукционном мантийном клине и образованием промежуточных магматических очагов; 2) внутриплитным рифтогенезом, пространственно локализованном в областях уплотнения мантии, связанных с образованием осадочных бассейнов и покровов неогеновых базальтов. (Диденко А.Н., Носырев М.Ю. // ДАН. 2020. Т.492, №2. С. 66-71)

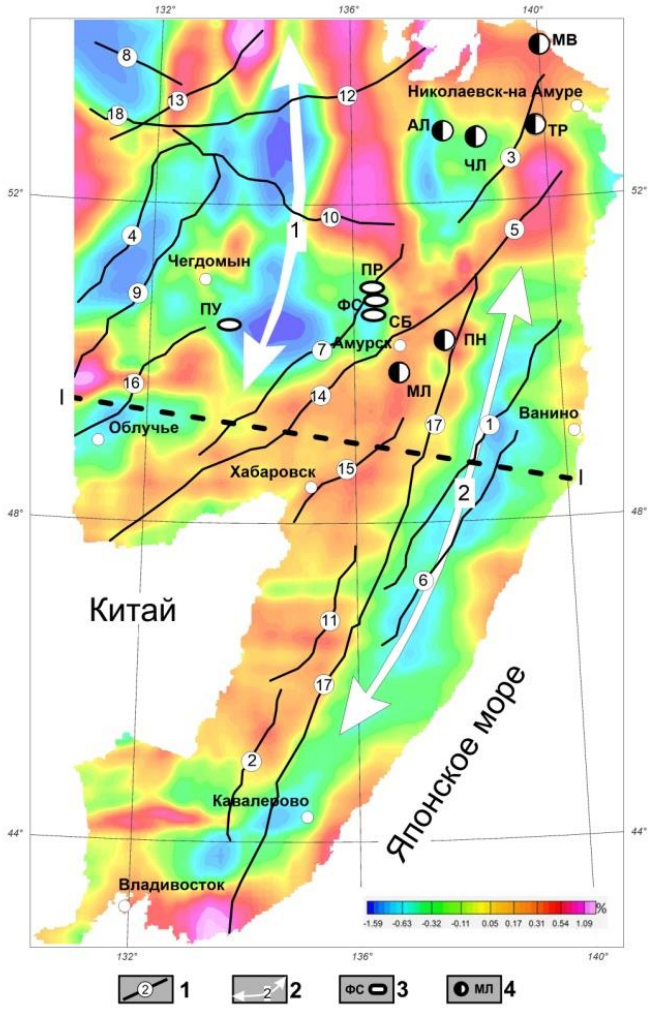

Рис 1. Карта плотностных аномалий на глубине 100 км.

1 – главные разломы региона по [Забродин и др., 2015] (1- Анюйский, 2- Арсеньевский, 3- Бичи-Амурский, 4- Верхнемельгинский, 5- Киселевский, 6- Колумбийский, 7- Курский, 8- Ланский, 9- Мельгинский, 10- Ниланский, 11- Среднебикинский, 12- Тугурский, 13- Улигданский, 14- Харпийский, 15- Хехцирский, 16- Хинганский, 17- Центральный Сихотэ-Алиньский, 18- Южно-Тукурингрский); 2 – региональные литосферные отрицательные аномалии плотности по [Подгорный, Романовский, 2011] (1- Баджал-Ям-Алиньская, 2- Сихотэ-Алиньская); 3, 4 – месторождения и рудопроявления: 3- Sn-W (ПР - Перевальное, ПУ - Правоурминское, СБ - Соболиное, ФС - Фестивальное), 4 - Au-Cu (МЛ - Малмыжское) и Au-Ag (АЛ - Албазинское, БГ - Белая Гора, МВ - Многовершинное, ПН - Понийское, ТР - Тырское, ЧЛ - Чульбаткан). Пунктирной линией (I-I) показано положение глубинного плотностного разреза.

Определен ^{190}Pt-^{4}He возраст изоферроплатины из эксплозивных брекчий андезитового состава на месторождении Поперечное (Малый Хинган, Россия), являющихся представителями нового типа платиноносных пород (рис. 2). Возраст изоферроплатины 125±21 млн лет коррелируется с датировкой пика магматизма на территории Буреинского массива и Восточной Азии, вызванном апвелингом астеносферы из области структуры типа слэб-виндоу в обстановке трансформной континентальной окраины. (Ханчук А.И., Мочалов А.Г., Рассказов И.Ю. и др. // Тихоокеанская геология, 2020. Т. 39, № 1. С. 48–52; Berdnikov N.V., Nevstruev V.G., Kepezhinskas P.K. et al // Ore Geology Reviews, 2020. V. 118. 103352).

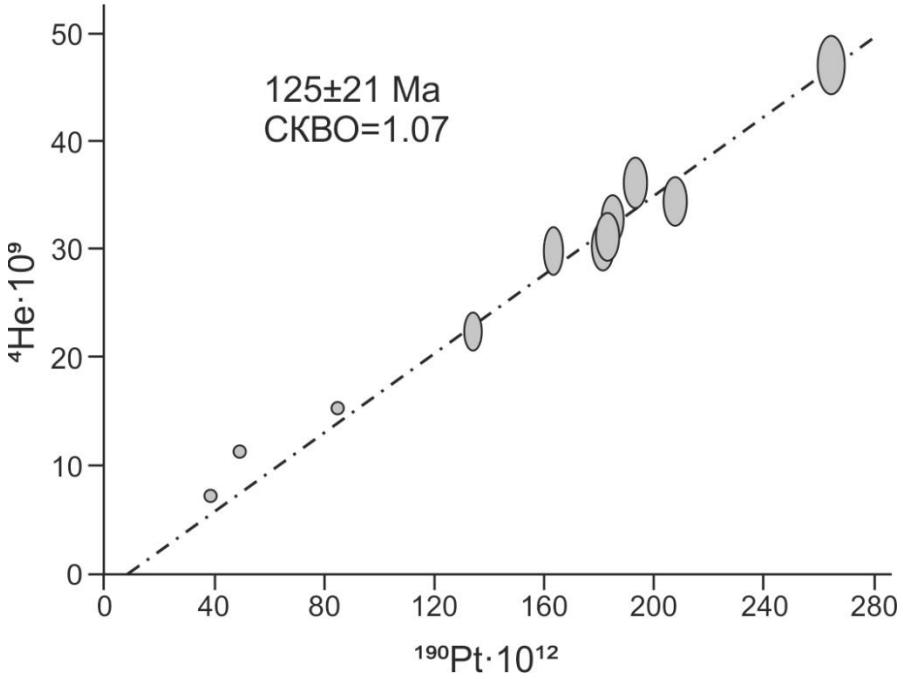

Рис. 2. ^{190}Pt-^{4}He изохрона для самородной платины из эксплозивных брекчий месторождения Поперечное.

На основе петрогеохимических и геохронологических (методом U-Pb (SHRIMP-II) по циркону) исследований гранитоидов Харинского комплекса Буреинского континентального массива показано, что их образование происходило между 208 и 193 млн лет тому назад. Важным механизмом

формирования гранитоидных массивов было влияние сдвиговой тектоники, которая является отражением косой коллизии континентальных блоков и трансформного скольжения. Сдвиги проникали на глубинные уровни коры, вызывая проникновение астеносферного диапира и его флюидов на более высокие уровни, способствуя разогреву и началу плавления. Сочетание в гранитоидах харинского комплекса субдукционных (от предшествующей субдукции) и внутриплитных (от астеносферного диапира и его флюидов) геохимических характеристик является характерной особенностью трансформной окраины. (Гурьянов В.А., Амелин С.А., Юрченко Ю.Ю. и др. // Тихоокеанская геология, 2020. Т. 39. № 3. С. 68-88).

В результате комплексных геологических, геохимических, U-Pb геохронологических и Lu-Hf изотопных исследованиий обломочных цирконов показано, что верхнепалеозойские отложения Чиронского прогиба Монголо-Охотской складчатой системы формировались в задуговом бассейне, обращенном в сторону позднепалеозойского океана и расположенном в южной части Северо-Азиатского кратона. Основными источниками кластического материала являлись изверженные и метаморфические породы южной периферии кратона. О чем свидетельствует присутствие значительного количества обломочных цирконов палеопротерозойского возраста, а также палеопротерозойский и архейский Hf-модельный возраст большинства цирконов. Девонско-каменноугольные детритовые цирконы с относительно молодым (преимущественно неопротерозойским) Hf модельным возрастом поступали в бассейн осадконакопления за счет разрушения островных дуг Монголо-Охотского океана. Геохимические особенности терригенных пород указывают на их формирование в обстановке, определяемой субдукционными процессами. (Popeko L.I., Smirnova Y.N., Zaika V.A., Sorokin A.A., and Dril S.I. // Minerals, 2020. Т.10 . Вып.3 . Номер статьи: 279).

В результате комплексных геохимических, микрозондовых, петро- и палеомагнитных исследований голоценовых торфяников в междуречье рек Хор и Кия (Хабаровский край) выявлен горизонт (75–100 см) с повышенными концентрациями Ni, Zn, Bi, Se. В подошве данного горизонта обнаружены магнетитовые и углеродистые сферулы, а также частицы самородного железа, присутствие которых, вероятно, связано с импактным событием, произошедшим около 5500 лет назад. Впервые показано, что торфяники могут быть использованы в качестве объектов палеомагнитных исследований: в горизонте 50–75 см установлена отчетливая вариация наклонения вектора остаточной намагниченности, которая по времени соответствует экскурсу геомагнитного поля «Этруссия» (2500 лет назад) (рис. 3). (Песков А.Ю., Крутикова В.О., Захарченко Е.Н., Чаков В.В., Климин М.А., Каретников А.С., Диденко А.Н. // Тихоокеанская геология, 2020. Т. 39. № 2. С. 79-89).

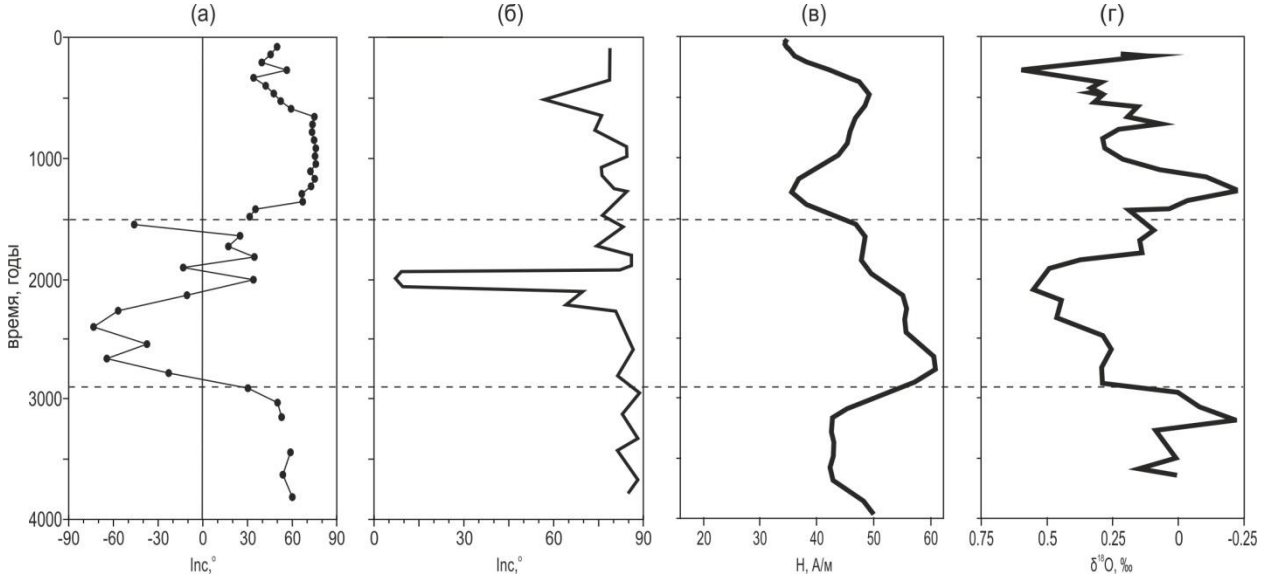

Рис. 3. Сопоставление записей экскурса «Этруссия», полученных (а) в настоящей работе и (б) в работе [Dergachev et al., 2004] с вариациями (в) напряженности геомагнитного поля [Начасова и др., 2002] и (г) δ18O [Schilman et al., 2001] за последние 4000 лет.

В результате геохронологического изучения детритовых цирконов 20-ти проб песчаников северного Сихотэ-Алиня установлено: 1) изотопный

$^{206}Pb/^{238}U$ возраст самых молодых популяций детритовых цирконов двух проб горинской (K_1b) и пионерской (K_1b-v) свит, а также одной пробы светлореченской толщи (J_3t) оказались существенно моложе верхнего возрастного стратиграфического уровня этих отложений (рис. 4); 2) накопление осадочных отложений матрикса Хабаровско-Воронежской тектоно-стратиграфической зоны (ТСЗ) Хабаровского террейна и турбидитов синсдвигового бассейна Горинской ТСЗ Журавлевско-Амурского террейна, осуществлялось за счет источников сноса восточной части Центрально-Азиатского складчатого пояса, а − Анюйской ТСЗ Самаркинского террейна и Коппи-Лужкинской ТСЗ Журавлевско-Амурского террейна − Северо-Китайского кратона. (Диденко А.Н., Ото Ш., Кудымов А.В., Песков А.Ю., Архипов М.В., Мияке Ю., Нагата М. // Тихоокеанская геология. 2020. Т. 39. № 1. С. 3-23).

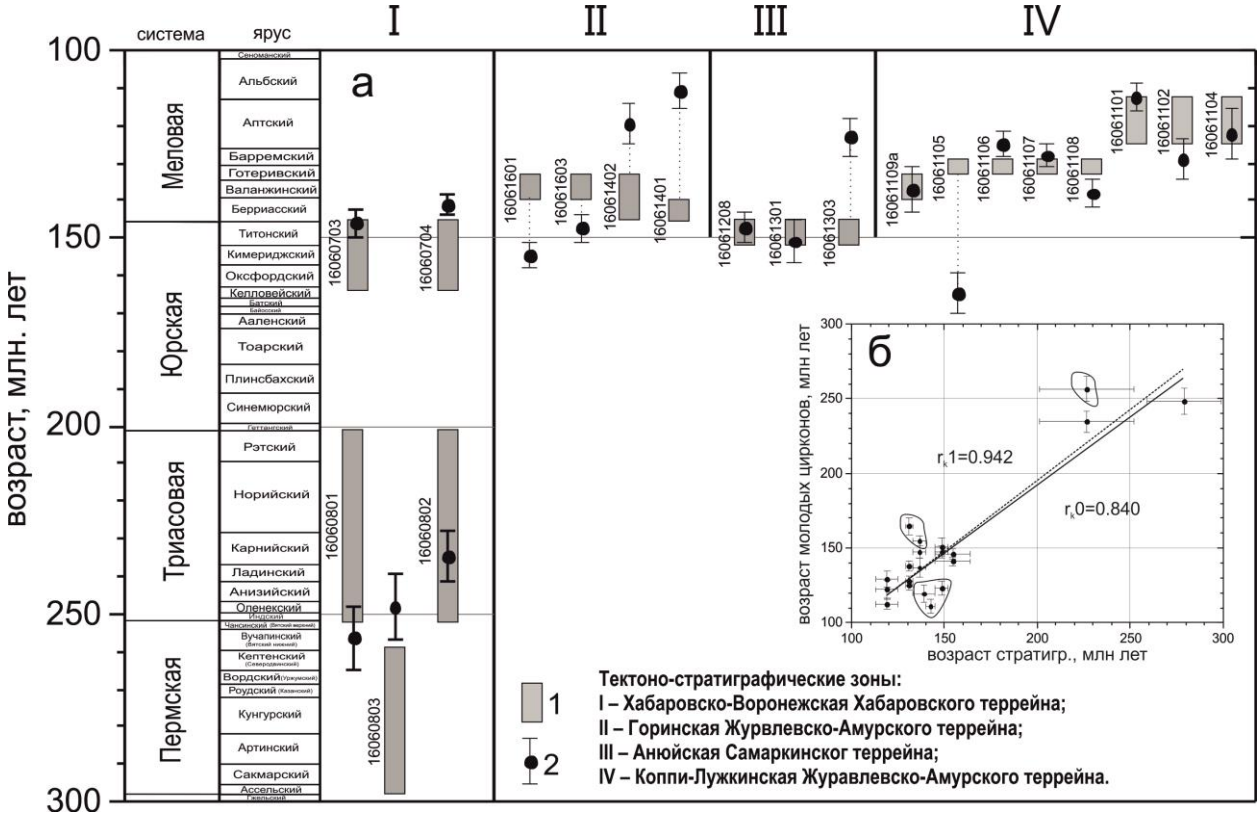

Рис. 4. Сопоставление стратиграфического возраста и $^{206}Pb/^{238}U$ возраста молодых детритовых цирконов исследованных проб (а) и их корреляционная зависимость (б).

1 – стратиграфический возраст исследованных проб, 2 - $^{206}Pb/^{238}U$ возраст молодых цирконов этих же проб.

В результате петрогеохимических, стратиграфических, хронологических и палеомагнитных исследований в Киселевско-Маноминском террейне в районе оз. Удыль выделены вулканиты двух генетических типов: 1) океанические внутриплитные в составе аккреционного вулканогенно-кремнистого комплекса (титон-валанжин-готерив-баррем), сходного с аккреционными комплексами других сегментов Киселевско-Маноминского террейна, и 2) надсубдукционные в составе островодужного вулканогенно-терригенного комплекса (валанжин-готерив-апт-альб-сеноман). Вулканиты формировались на океанической плите, в разных геодинамических обстановках и на значительном удалении друг от друга. В результате латеральных перемещений и коллизионных процессов в современное время они тектонически совмещены. (Войнова И.П., Диденко А.Н., Кудымов А.В., Песков А.Ю., Архипов М.В. // Тихоокеанская геология, 2020. Т. 39, №5. С. 17-33).

Плутонические ассоциации в орогенных поясах являются индикаторами фракционирования примитивных островодужных магм и формирования коры островодужного типа при определенных окислительно-восстановительных условиях. В породах ультраосновного-основного комплекса Ильдеус-Луча (Становая складчатая область) обнаружены микрочастицы самородных металлов (W, Pt, Au, Ag, Zn, Bi) и интерметаллических соединений (Cu-Au-Ag, Pt-Rh-Pd, CuSn-Zn) (рис. 5). Согласно полученным данным образование самородных W и, возможно, Pt происходит непосредственно в островодужных магмах в экстремально восстановительных условиях субдукционной литосферы, а большинства интерметаллических соединений − в процессе серпентинизации при коллизии Станового островодужного комплекса, что свидетельствует о гетерогенности зон субдукции в отношении

окислительно-восстановительных условий. (Kepezhinskas P.K., Kepezhinskas N.P., Berdnikov N.V., Krutikova V.O. // Ore Geology Review. 2020. V. 127. 103800).

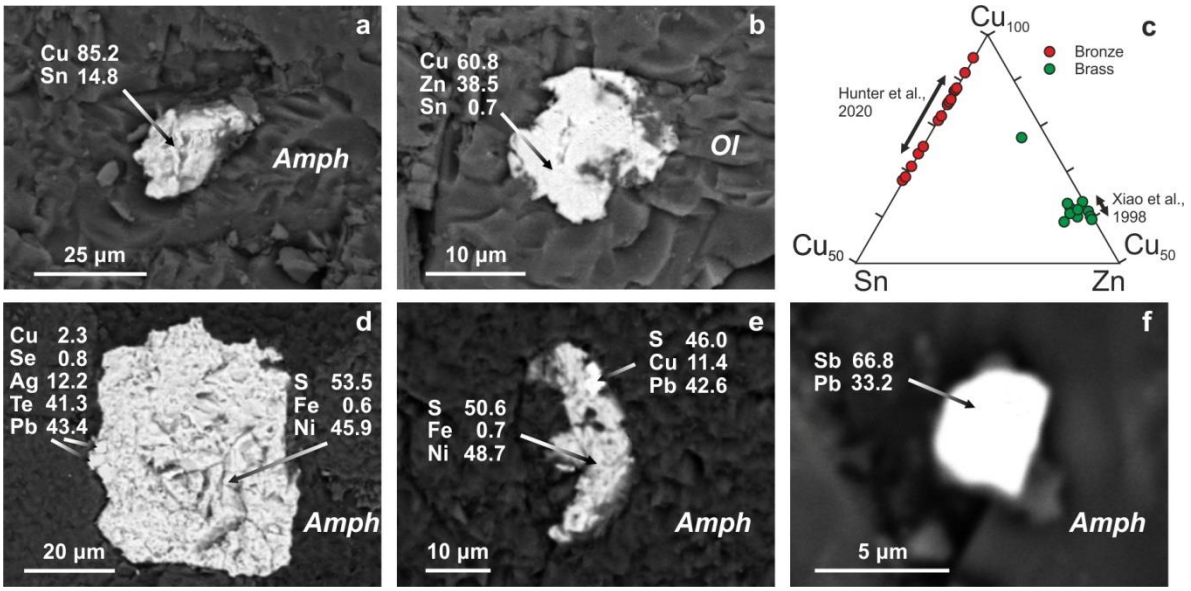

Рис. 5. Сплавы халькофильных металлов и ассоциирующие с ними минералы (a, b, d-f) и вариации составов сплавов Cu-Sn-Zn (c): a) Cu-Sn (природная бронза); b)Cu-Zn-Sn (природная латунь); c) составы природных бронз и латуней из пород ILC в сравнении с составом бронз из пустот в базальтах Стромболи (Hunter et al., 2020) и латуней (zinccopperite) из медно-порфировых месторождений Китая (Xiao et al., 1998); d) включение миллерита (NiS) в обогащенном Cu и Ag алтаите (PbTe); e) включение Cu-Pb сульфида в миллерите; f) антимонит свинца. Amph – амфибол, Ol – оливин.

В результате детального петрогеохимического и минералогического изучения керна из двух скважин интрузивных тел Треугольник и Икэн Кун-Маньёнского рудного поля (Алдано-Становой щит) установлено, что их формирование происходило из единой исходной магмы в разноглубинных магматических камерах в процессе котектической кристаллизации темноцветных минералов из исходного пикритового (тело Треугольник) и промежуточного пикробазальтового (тело Икэн) расплавов. Интрузив Треугольник формировался как закрытая система: магма внедрялась в виде

единого относительно быстрого акта; а силл Икэн − как открытая система в результате последовательных разновременных инъекций отдельных порций расплава. (Приходько В.С.,Л.Л. Петухова Л.Л., Гурьянов В.А., Чубаров В.М. // Тихоокеанская геология, 2020. Т. 39. № 2. С. 46-65).

Определены концентрации и формы нахождения редкоземельных (РЗЭ), редких и благородных металлов в породах Ингилийского рудного узла (Хабаровский край). Показано, что РЗЭ присутствует в двух формах: минеральной (апатит, баддеилит, фосфаты) и ионно-сорбционной, связанной с глинистыми минералами (рис. 6). Оба носителя РЗЭ сформировались при разрушении магматических пород Ингилийского массива, последующем размыве и перемещении компонентов коры выветривания. Оценено содержание ионно-сорбционного компонента РЗЭ в рыхлых карстовых рудах и возможность их эффективного малозатратного обогащения. (Черепанов А.А., Бердников Н.В. // Вестник СВНЦ ДВО РАН, 2020. № 3. С. 28–35).

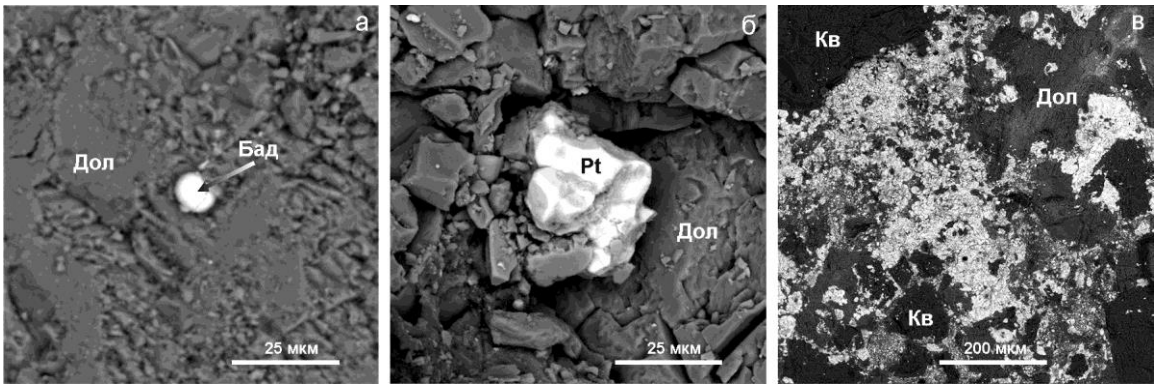

Рис. 6. Зерна бадделеита (а) и платины (б) в доломите юдомской свиты; в - кварц-карбонатная брекчия с бадделеит-цирконовым цементом (белое). Бад – бадделеит, Кв – кварц, Дол – доломит, Pt – платина.

Предложен новый механизм образования ильменитовой и магнетитовой серий гранитоидов в Сихотэ-Алиньском орогенном поясе (рис. 7). Зоны распространения магматитов этих серий обусловлены региональным окислительно-восстановительным (редокс) фоном, который существовал в

период кристаллизации магм. Распределение ильменитовых и магнетитовых зон связано с изменением окислительно-восстановительных свойств мантийного флюида при переходе от образований островных дуг, находившихся в зоне дегидратации слэба, к орогенным комплексам, обладавшим повышенной проницаемостью литосферы для восстановленных мантийных растворов. Субдукция, в данном случае, является механизмом образования орогенов и вулканических дуг в мезозой – раннекайнозойское время. Это привело к формированию орогенных зон (содержащих ильменитовую серию) и придвинутых к ним со стороны океана поясов островных дуг (магнетитовая серия). Предложенный механизм объясняет также различия окислительно-восстановительных условий при кристаллизации мезозойских магматитов в орогенах восточного и западного побережья Тихого океана. (Талтыкин Ю.В., Мишин Л.Ф., Коновалова Е.А. // Вестник СВНЦ ДВО РАН, 2020. №4. С. 24-38).

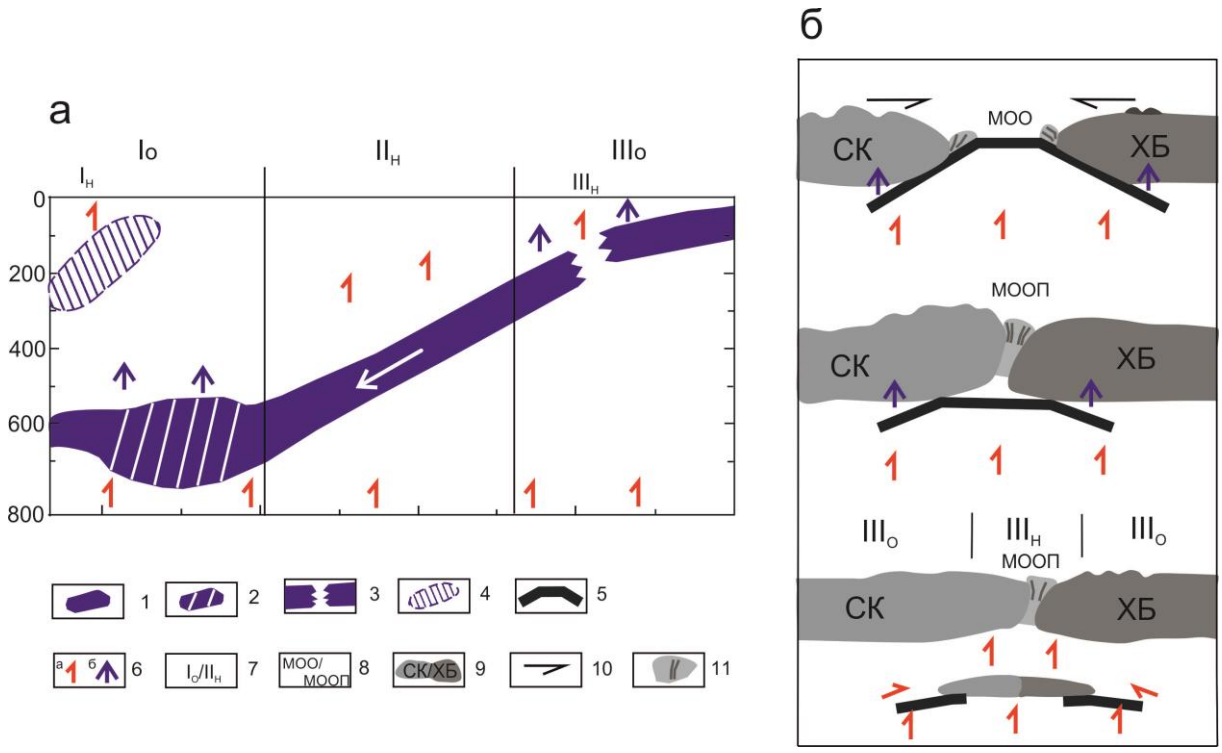

Рис. 7. Схема возможного возникновения зон окисленного (о) и восстановленного (н) флюидных потоков: а – при погружении субдуцирующей плиты; б – при столкновении двух континентальных блоков.

За основу взяты рисунки из работ: а - [*Lei et al., 2013; Kuritani et al., 2019*]; б - [*Tang et al., 2018*].

1 – погружающийся слэб; 2 – застойный слэб; 3 – зона разрыва слэба; 4 – остаток дегидратированного слэба или кратонной литосферы; 5 – океаническая плита; 6 – поток флюидов: а-восстановленных, б-окисленных; 7 – зоны подъема окисленного (О) или восстановленного (Н) флюида; 8 – МОО-Монголо-Охотский океан, МООП-Монголо-Охотский орогенный пояс; 9 – СК-Сибирский кратон, ХБ-Хинганский блок; 10 – направление движения блоков; 11 – аккреционный комплекс.

На основе изданных Государственных геологических карт РФ, анализа геофизической и геохимической информации, мультидисциплинарного подхода к изучению осадочных бассейнов скоррелированы данные о глубинном строении, стратиграфии, тектонике, тектоно-стратиграфии, реконструированы этапы геодинамической эволюции Удского и Торомского осадочных бассейнов. Оценены перспективы нефтегазоносности бассейнов, угольные ресурсы. (Забродин В.Ю., Кириллова Г.Л., Диденко А.Н. и др. // Удский и Торомский осадочные бассейны: геологическое строение, тектоно-стратиграфические системы, геодинамика, топливно-энергетические ресурсы. Хабаровск: Изд-во ТОГУ. 2020. Т. 5. 158 с.).

Охарактеризован триасовый этап в эволюции мезозойского седиментогенеза Монголо-Охотской складчатой системы (рис. 8). Описаны наиболее изученные разрезы триасовых отложений структурно-формационных зон от Восточного Забайкалья до Охотского моря. Прослежены изменения состава, мощности, характерной биоты. Выделены трансгрессивные и регрессивные этапы эволюции. Представленные современные данные о геологии региона могут служить надежной основой для геодинамических и минерагенических реконструкций. (Кириллова Г.Л. // Тихоокеанская геология, 2020. Т. 39, № 2. С. 3-20).

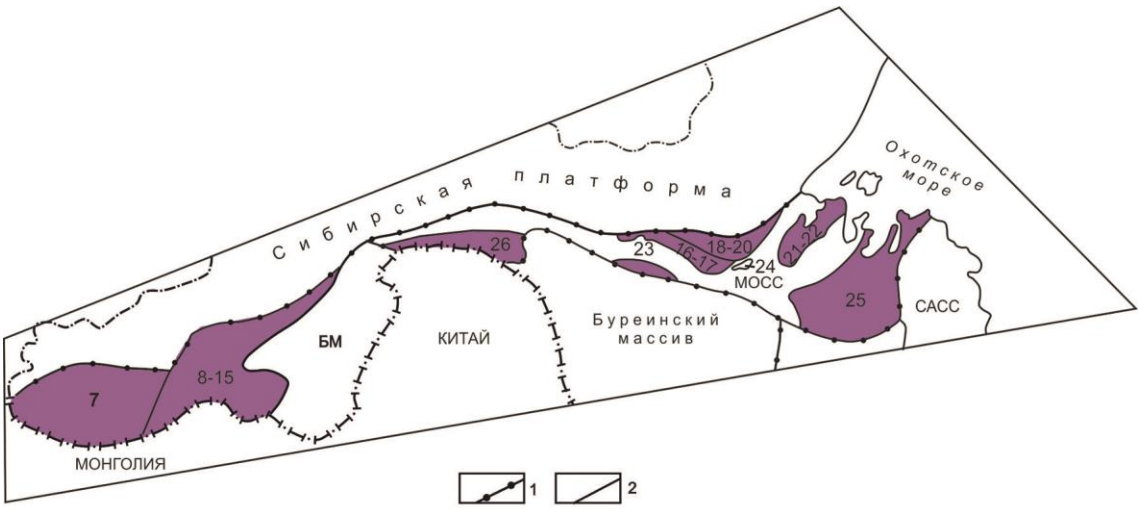

Рис. 8. Распространение триасовых отложений вдоль Монголо-Охотской складчатой системы.

1–2 – границы: 1 – основных тектонических структур, 2 – структурно-формационных зон и блоков. Буквы на схеме – складчатые системы: МОСС – Монголо-Охотская; САСС – Сихотэ-Алинская; БМ – Буреинский массив. Цифрами обозначены стратиграфические районы согласно [Решения четвертого Межведомственного стратиграфического совещания по докембрию и фанерозою юга Дальнего Востока и Восточного Забайкалья. Хабаровск, 1994]: 7, 8-15 - Агинская, 16, 17 – Джагдинская, 18-20 – Удская, 21-22 – Торомская, 23 – Нинни-Сагаянская, 24 – Стойбинская, 25 – Ульбанская, 26 – Верхнеамурская зоны.

По результатам обобщения материалов сейсморазведочных работ разработана и обоснована сейсмостратиграфическая модель Алдано-Майского осадочного бассейна. Построены поперечные и продольные сейсмостратиграфические разрезы (рис. 9), изучены особенности строения осадочного чехла и уточнены границы бассейна. На основе сейсмических разрезов с привлечением геологической карты масштаба 1:2500000 составлена тектоническая схема рифейских структур. Оценены мощности и площади материнских толщ. Полученные результаты позволяют более

целенаправленно планировать нефтегазопоисковые и разведочные работы. (Развозжаева Е.П. // Тихоокеанская геология. 2020. Т. 39, № 6. С. 25-4).

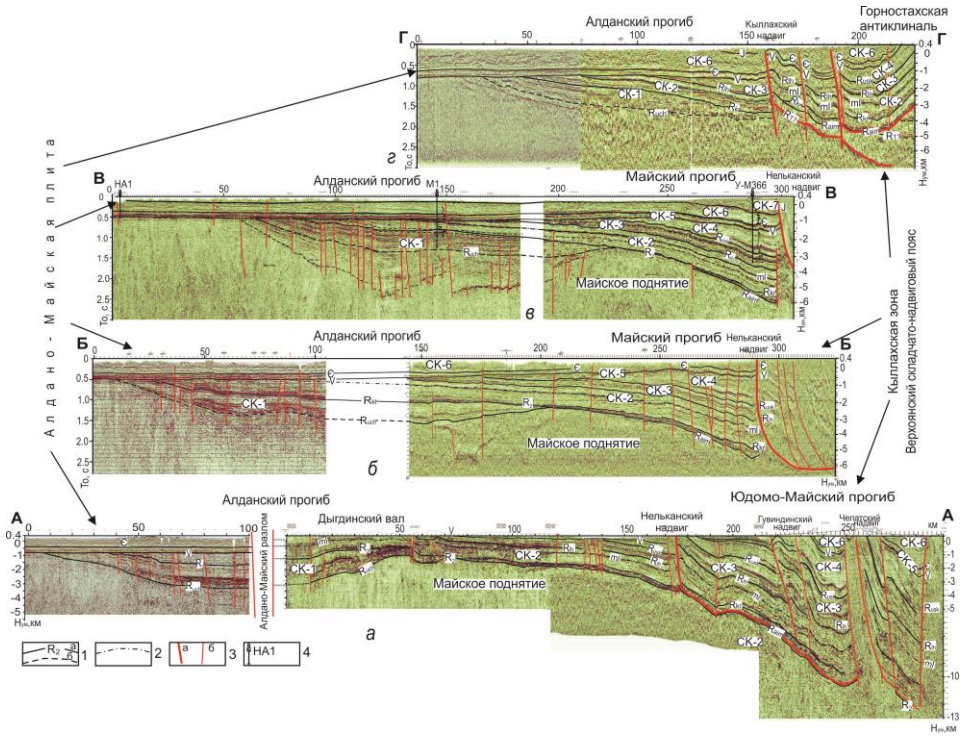

Рис. 9. Сейсмостратиграфические глубинный (А) и временные (Б, В, Г) разрезы, демонстрирующие строение Алдано-Майского осадочного бассейна вкрест его простирания. По материалам ООО «Якутскгеофизика» с дополнениями и изменениями.

1 – отражающие границы, разделяющие крупные осадочные комплексы, а – уверенные, б – предполагаемые; 2 – опорный отражающий горизонт, приуроченный к подошве малгинской свиты среднего рифея; 3 – разломы: а – основные, б – второстепенные; 4 – скважина и ее наименование: НА1 – Нижнеамурская 1, М1 – Мокуйская 1, УМ366 – Усть-Майская 366.

$H_{ум}$ – глубина от уровня моря; T_0 – двойное время пробега отраженной волны.

Выявлены особенности гидрогеохимических процессов и изменения биогеохимического состава подземных вод и минералов водоносного горизонта при техногенном преобразовании в результате эксплуатации водозабора для питьевого водоснабжения г. Хабаровска на Тунгусском

месторождении. Установлена роль природных и антропогенных факторов в динамике биогеохимических процессов в системе вода – горная порода. (Kulakov V.V., Berdnikov N.V // Applied Geochemistry. 2020. Vol. 120. 104683).

Предложен комплексный подход, в котором данные о миграции землетрясений служат первоосновой для выделения скрытых разломов. Детально изучены тенденции миграции землетрясений с оценкой ее направленности, скорости и на этой основе установлена тектоническая нарушенность территории Приамурья; выделены скрытые разломы и их сегменты с устойчиво выраженной миграцией сейсмичности (рис. 10). В большинстве случаев скорость миграции землетрясений Приамурья составляет от 7 до 45 км/год и соответствует скорости миграции в прилегающих сейсмоактивных областях. Показано, что миграция эпицентров землетрясений с запада вызвана воздействием сжатия, а миграция с востока – обусловлена влиянием деформационных процессов в Тихоокеанской зоне субдукции. (Быков В.Г., Меркулова Т.В. // Тихоокеанская геология. 2020. Т. 39, № 4. С. 38-52).

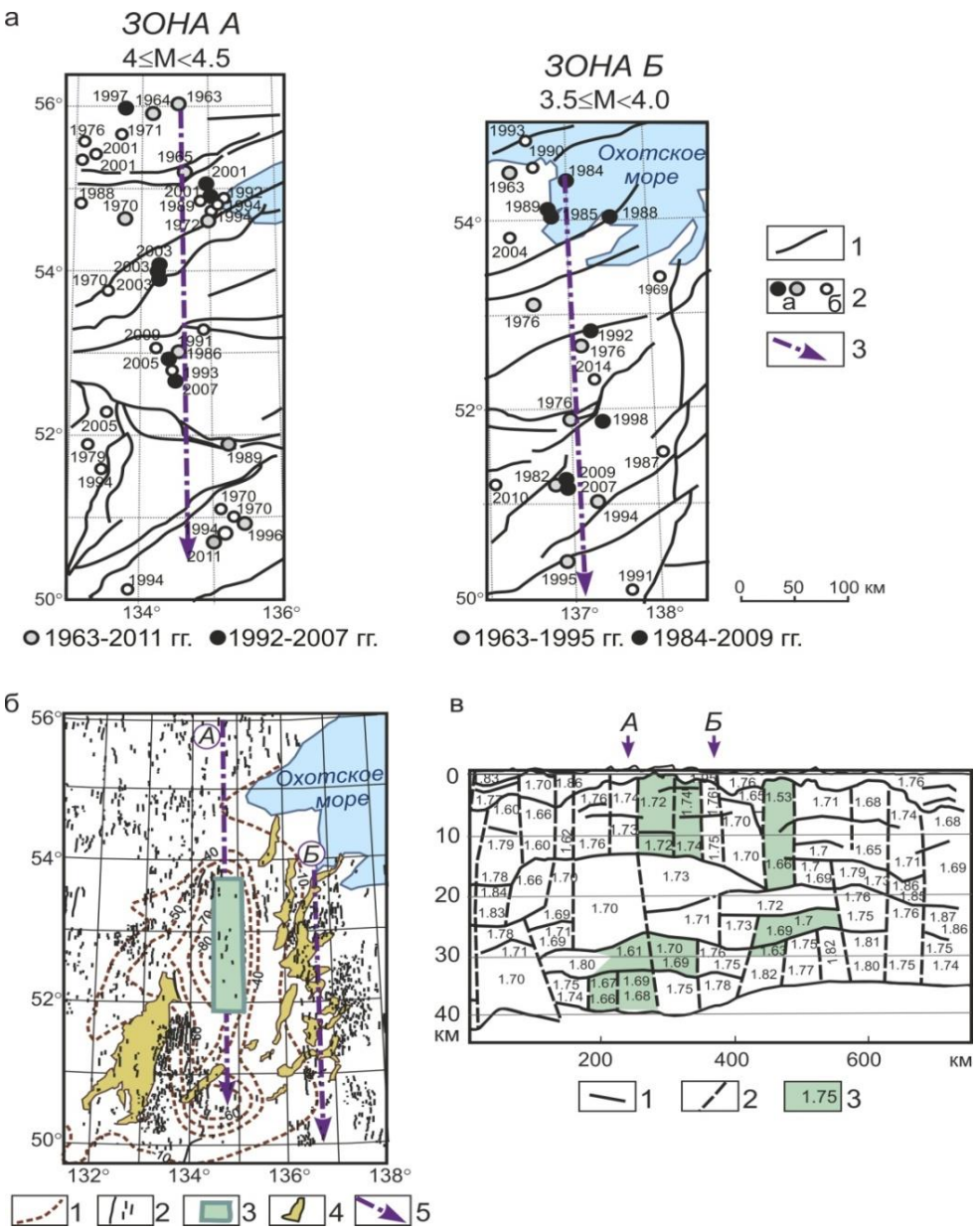

Рис. 10. Миграция землетрясений и признаки скрытых разломов субмеридионального направления.

а - миграция землетрясений в зонах А и Б: 1- региональные разломы; 2 - землетрясения: а - миграционные цепочки, б – прочие; 3 - миграционная цепочка и ее направление. б - признаки разломов субмеридионального направления: 1- изолинии региональной аномалии гравитационного поля; 2 - оси аномалий магнитного поля; 3 - зона аномально низких значений Vp/Vs; 4 - осадочные впадины; 5 - миграционные цепочки. в - зоны миграции 3 и 4 в структуре земной коры по профилю ГСЗ: 1 - сейсмические границы; 2 - тектонические нарушения; 3 - области пониженных значений Vp/Vs.

По результатам магнитотеллурических и магнитовариационных зондирований в интервале периодов 10<T<20 000 с на территории Северного Вьетнама построена глубинная геоэлектрическая модель тектоносферы региона, главными элементами которой являются субвертикальные сквозьлитосферные электропроводящие разломы и высокоомные нарушения проводящей астеносферы (рис. 11). Показано, что проводящие (флюидонасыщенные) сквозьлитосферные разломы, выходящие в основание осадочной толщи, контролируют расположение залежей нефтегазовых и рудных месторождений. Предложен метод разделения локальных и региональных магнитотеллурических эффектов, позволивший надежно определить главные направления региональной двумерной структуры и конфигурацию кривых кажущегося сопротивления в главных направлениях. (Никифоров В.М., Варенцов И.М., Шкабарня Г.Н., Каплун В.Б., Жуковин А.Ю., Куонг До Хуы. // Геология и геофизика, 2020. Т. 61. № 9. С. 1266-1288).

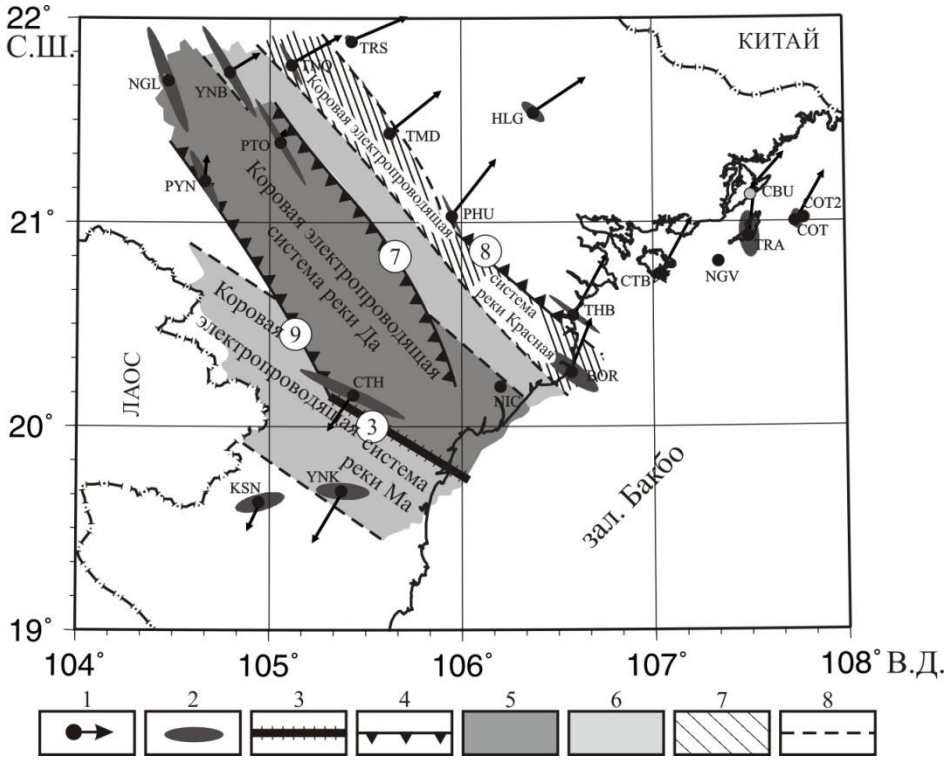

Рис. 11. Элементы геоэлектрической модели тектоносферы, определяющие магнитные отклики среды.

1 – типперы; 2 – эллипсы горизонтальных откликов относительно пункта СТВ; 3 – низкоомные (флюидонасыщенные) сквозьлитосферные разломы; 4 – низкоомные (флюидонасыщенные) коровые разломы; 5, 6 – низкоомные пластины в земной коре: 5 – интервал глубин 10–15 км, 6 – интервал глубин 15–20 км; 7 – зона анизотропно-проводящих в северо-западном направлении образований в интервале глубин 20–40 км; 8 – проекции границ коровых продольных тел на дневную поверхность. Цифрами в кружках обозначены низкоомные разломы, выходящие на поверхность.

На основе сопоставления геоэлектрических и плотностных разрезов, построенных по результатам трехмерной инверсии по трем профилям, расположенным в южной части Сихотэ-Алинской складчатой системы, выявлены закономерности распределения электрических и плотностных параметров, определены связи между ними, получены новые данные о строении земной коры и верхней мантии региона (рис. 12). На всех профилях выделена зона разуплотнения в верхней мантии, связанная, по-видимому, с процессами позднемеловой субдукции. Установлено наличие в верхней мантии на глубинах 80–150 км области повышенного электрического сопротивления и неоднородного строения, протягивающейся от побережья вглубь континента. (Каплун В.Б., Носырев М.Ю. // Тихоокеанская геология, 2020. Т.39. №6. С. 65-81).

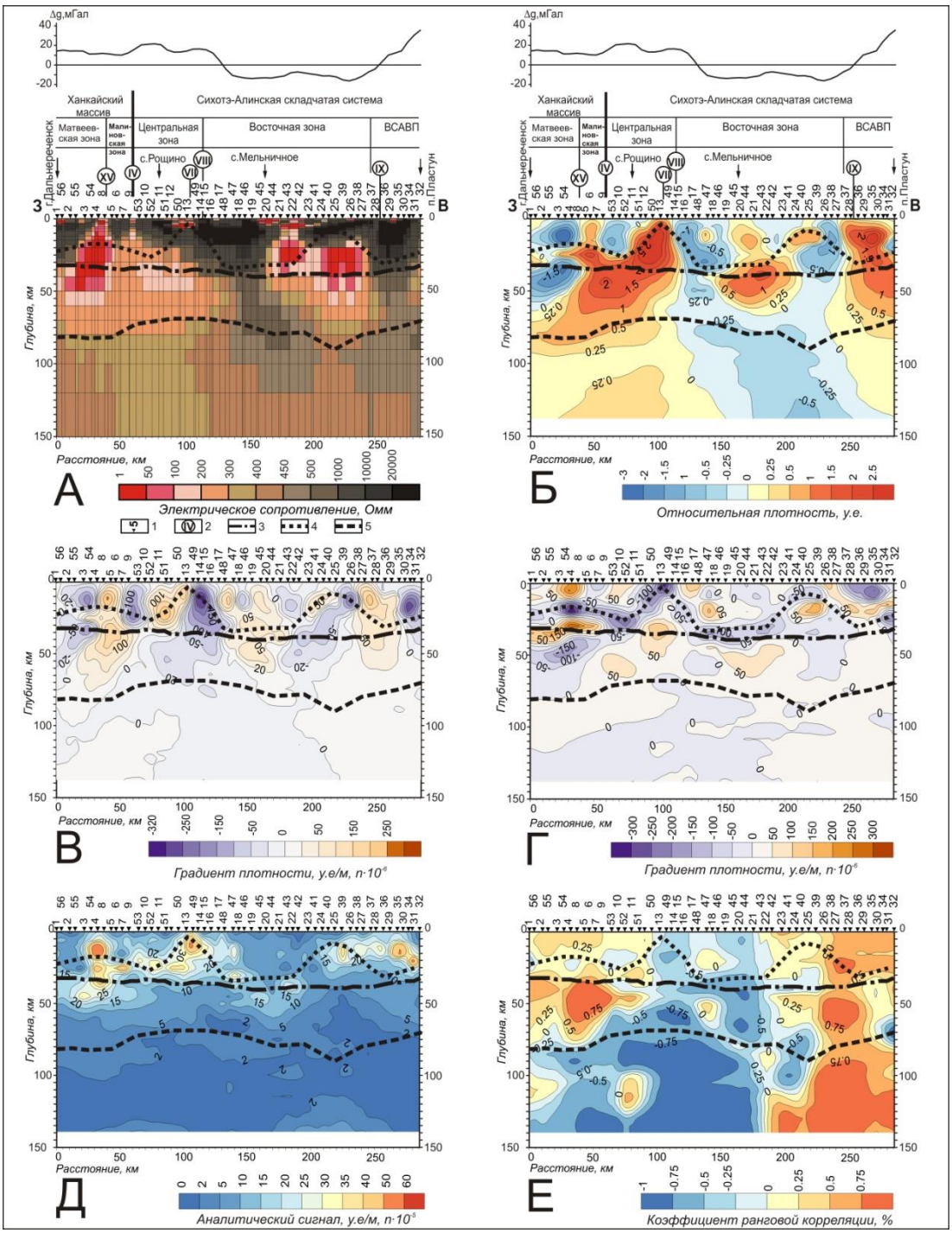

Рис.12. Разрезы по профилю г.Дальнереченск – п.Пластун (ДП): а – геоэлектрический: 1 – пункты МТЗ и их номера, 2 – основные разломы и их номера, 3 – подошва земной коры по данным ГСЗ [Глубинное строение Приморья, 1976, Потапьев, 1980], 4,5 – выделенные границы: 4 – в земной коре, 5 – в верхней мантии; б – плотностной; в – градиент изменения плотности вдоль профиля; г - градиент изменения плотности по глубине; д - аналитический сигнал; е - коэффициент ранговой корреляции между электрическим сопротивлением и относительной плотностью.

Многолетними исследованиями вариаций амплитудно-частотного состава микросейсмического шума на шести станциях локальной сейсмологической сети Бурейской ГЭС установлена корреляционная связь (со значением нормализованного коэффициента корреляции до - 0,5) между скоростью изменения уровня воды в водохранилище и значением основной частоты высокочастотного сейсмического шума (рис. 13). Наиболее вероятная причина корреляции заключается в том, что резонансная частота плотины ГЭС изменяется при вариации нагрузки со стороны водохранилища. Это свидетельствует о том, что при сильном землетрясении колебания плотины ГЭС будут усиливать сейсмические волны землетрясения, а плотина будет являться фактором, повышающим сейсмическую опасность прилегающей территории. (Пупатенко В.В. // Успехи современного естествознания. 2020. № 11. С. 108-113).

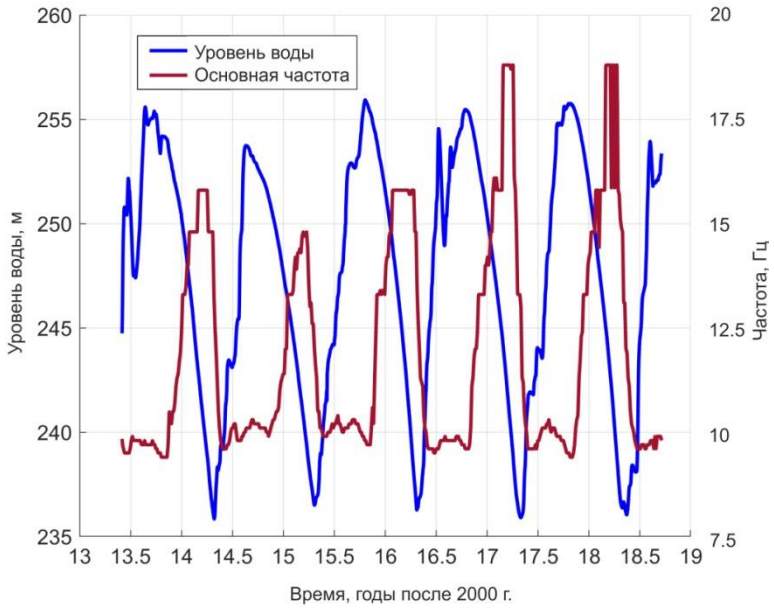

Рис. 13. Уровень воды в Бурейском водохранилище и основная частота высокочастотной составляющей микросейсмических колебаний на станции PAYK (Y-компонента)

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

Фотокаталитическое восстановление металлов из природных и техногенных растворов

Обоснована и экспериментально доказана перспективность технологии фотокаталитического селективного восстановления и выделения благородных, редких и редкоземельных металлов из природных и техногенных растворов. Практически все изученные висмутаты щелочноземельных металлов ($Ca_2Bi_2O_5$, $Ca_5Bi_{14}O_{26}$, $Sr_6Bi_2O_{11}$, $BaBi_2O_4$) обладают способностью к восстановлению металлов из ионных растворов. Ряд ценных элементов (все лантаноиды, Tl, Pb, Th, U, Hf, Ta, Cd, Pd, Y, Ge, Cu, Ni, Co, Mn, Cr, Sc, V, Be) практически полностью выводятся из раствора висмутатом стронция состава $Sr_6Bi_2O_{11}$. Это же можно сказать про висмутаты бария $BaBi_2O_4$ в отношении Au, Pt, Ir, Te, Sb, Mo, Nb и кальция $Ca_2Bi_2O_5$ в отношении Tl и Be.

Некоторые фотокатализаторы видимого света обнаруживают ярко выраженную селективность при восстановлении определенных элементов из растворов. Так, эффективность восстановления тантала в присутствии $Ca_5Bi_{14}O_{26}$ превышает 95%, в то время как весь ниобий при этом остается в растворе. В присутствии фотокатализатора $Sr_6Bi_2O_{11}$ восстанавливается больше половины ионов золота, а в присутствии $BaBi_2O_4$ – более 98%.

Проведенные исследования представляются перспективными для разработки технологий фотокаталитической очистки природных и техногенных вод с получением из них концентратов ценных металлов. Одним из ключевых преимуществ таких технологий будет их низкое энергопотребление, поскольку фотокаталитическое восстановление металлов на изученных катализаторах происходит под воздействием света видимого

спектра. Другим преимуществом является селективность фотокатализаторов при восстановлении некоторых элементов из растворов, что открывает возможность создания фотокаталитических комплексов, продуцирующих концентраты ценных металлов высокой чистоты. (Лаборатория физико-химических методов исследования).

В 2020 г. опубликовано: 2 монографии, 1 глава в зарубежной монографии, 59 статей, в том числе 32 в отечественных и 22 в зарубежных изданиях, из них 54 в рецензируемых журналах, индексируемых в Web of Science – 40, в Scopus – 45.