

СТРУКТУРЫ ДЕГАЗАЦИИ И ФЛЮИДОПЕРЕНОСА В СОВРЕМЕННЫХ ЗОНАХ
ДЕСТРУКЦИИ ЛИТОСФЕРЫ ВОСТОЧНОЙ ОКРАИНЫ ЦЕНТРАЛЬНО-АЗИАТСКОГО
СКЛАДЧАТОГО ПОЯСА

*А.П. Сорокин^{1,2}, А.Т. Сорокина¹, В.Б. Каплун³, В.И. Рождествина^{1,2}, А.А. Попов¹,
Т.В. Артеменко¹*

¹ФГБУН Институт геологии и природопользования ДВО РАН, пер. Релочный 1, г. Благовещенск, 675000;
e-mail: science@ignm.ru

²ФГБУН Амурский научный центр ДВО РАН, пер. Релочный 1, г. Благовещенск, 675000; e-mail: amurnc@ascnet.ru

³ФГБУН Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, ул. Ким Ю Чена 65, г. Хабаровск,
680000; e-mail: kaplun@itig.as.khb.ru

Поступила в редакцию 9 июня 2016 г.

Современные геодинамические преобразования восточной окраины Центрально-Азиатского складчатого пояса связаны с активизацией раздвиго-сдвиговых и сдвиговых движений. Они привели к формированию зон деструкции, заложенных вдоль систем древних трансрегиональных разломов (Нэньцзян-Селемджинской, Лермонтовско-Белогорской, Западно-Туранской, Хинганской, Тан-Лу и др.), и молодых разрывов северо-западного и широтного простирания с явно выраженными сдвиговыми смещениями. Указанные процессы фиксируются землетрясениями, очаговым магматизмом, пульсационным характером дегазации недр и разгрузкой флюидов. Дренажными системами глубинной дегазации служили структуры повышенной проницаемости, приуроченные к участкам сопряжения зон деструкции с молодыми разрывами. Эти структуры фиксируются полями разуплотнения, аномалиями гелия и других газов. Наиболее контрастная аномалия – Варваровская – располагается на северо-восточном фланге Еркевецкого бурогоугольного месторождения. Изученные в пределах ее в карьере «Южный» палеогеновые угленосные отложения характеризуются высокими концентрациями благородных, редких металлов и редкоземельных элементов, нередко превышающими кларковые в десятки раз. Содержание Au в углях, по результатам пробирного анализа, колеблется от следов до 4.6 г/т.

Ключевые слова: зоны деструкции литосферы, системы дегазации и флюидопереноса, структуры повышенной проницаемости, бурые угли, аномалии гелия, рудообразование, Центрально-Азиатский складчатый пояс.

ВВЕДЕНИЕ

Основы современных представлений о «газовом дыхании Земли» заложены в работах В.И. Вернадского [3] и А.П. Виноградова [4]. Дальнейшее их развитие связано с трудами П.Н. Кропоткина, положившего начало системным исследованиям процессов углеводородной дегазации и нефтегазонакопления, объединенным, по его инициативе, в научное направление «Дегазация Земли и геотектоника» [14]. В 2010 году на юбилейной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения П.Н. Кропоткина, были широко обсуждены геодинамические, геохимические, петрологические аспекты, вопросы тектонического контроля и механизмов глубинной дегазации, внедрения флюидов

в верхние оболочки Земли и их влияние на формирование в осадочных бассейнах (ОБ) нефтегазоносных залежей, областей минералообразования и пр. [8].

Результаты дискуссий показали решающую роль в процессах дегазации и флюидопереноса геодинамических преобразований, возникающих вдоль глубинных разломов на границах положительных и отрицательных структур. В этих пограничных зонах формируются сложные дренажные системы (каналы) глубинной дегазации ОБ с повышенной сейсмичностью, интенсивной трещиноватостью, пористостью пород и высокой проницаемостью для газово-жидких потоков, которые, в свою очередь, непосредственно влияют на развитие деформации [12, 17]. Структуры

тепломассопереноса нередко контролируются трещинными интрузиями и вулканитами, образуя при этом поднятия инъекционного типа [27]. Формирование их также активно стимулируют восходящие флюиды, в составе которых важнейшая роль принадлежит водороду, обладающему высокоэнергетическим потенциалом, высокими теплоемкостью и подвижностью, обуславливая оптимальные пути массопереноса [27]. Подобного типа инъекционные системы на территории Восточного Китая локализованы в пределах кайнозойских рифтовых впадин с повышенными значениями теплового потока (более 80–50 мВт/м²), на флангах которых развиты термальные источники с t 60–80°C. Распределение этих показателей четко коррелируется со стадиями неотектонической активности и магматизма [19].

Проявление магматической деятельности в ОБ связано с двумя типами эндогенных режимов: 1 – излиянием эффузивов на поверхность; 2 – локализацией магматических тел в фундаменте или в чехле. В последнем случае до поверхности доходят только сопровождающие магматиты водные растворы и газы. Интенсивные проявления этого режима широко распространены на дне океанов и морей и в областях кайнозойского осадконакопления на суше, контролируемых зонами растяжения вдоль глубинных разломов.

В переходной зоне от Азиатского континента к Тихому океану магматизм и связанная с ним дегазация многократно проявлялись в процессе эволюции ОБ. По А.Г. Родникову с коллегами [26], в Татарском проливе с начальным рифтогенезом ассоциируют эоцен-олигоценовые базальтоиды, которые сменяются ранне-среднемиоценовыми аналогами с одновозрастной продуктивной осадочной формацией углеводородов, а с завершающим – среднемиоцен-плиоценовые базальты. Возрастные группы базальтоидов Южно-Курильской впадины связаны с последовательными стадиями растяжения континентальной коры. В осадочном чехле Татарского пролива и впадине Дерюгина установлены залежи углеводородов, а в Курильской котловине на вершине подводных вулканов зафиксирована сульфидная минерализация [26].

В Центральной Азии [24] рудный потенциал нефтегазоносных ОБ во многом формируется в процессе перехода полезных компонентов из вмещающих пород в ходе перемещения газовой-жидких флюидов к областям рудообразования. Образование эпигенетических месторождений, от Каспийского до Желтого морей и от Южного Приаралья до предгорий Тибета, связано с неотектоническим этапом развития региона. Ведущим фактором, влияющим на распределение полиминерального оруденения, служит последовательный процесс формирования наложенных измене-

ний окислительного и восстановительного ряда и их взаимодействие. При этом разгрузка газовой-жидких флюидов происходит в период восходящих движений, сопровождающихся раскрытием гидродинамических систем (каналов) и стадийным пульсационным их проявлением. В результате этих преобразований в осадочном чехле бассейнов этого огромного региона, по мнению И.Г. Печенкина [24], сформировано несколько последовательных нефте- и рудообразующих систем: начальная – катагенетическая (основная нефтеобразующая), последующая – эксфильтрационная – и завершающая – инфильтрационная. Вторая из них – ведущая при образовании месторождений рудных (Pb, Zn, Mo, As, Mn и др.) и нерудных (барит, целестин, флюорит, сера и др.) полезных ископаемых.

В угленосных ОБ рудная минерализация, связанная с внедрением гидротермальных растворов, установлена в углях Южного Уэльса, Китая, Узбекистана и Приморья [29]. Она представлена Au и ЭПГ (элементы платиновой группы), которые В.В. Середин относит к двум самостоятельным типам. Первый из них ассоциирует с циркуляцией низкотемпературных флюидов, а второй – высокотемпературным воздействием на угольные пласты в результате контактного метаморфизма. Аномальные содержания Au первого типа (до 0.18 г/т угля и 4.4 г/т золы) известны в пластах антрацитов каменноугольного возраста на шахтах Уэльса. В этих углях отмечается связь повышенных концентраций Au с увеличением количества трещин усыхания, а также обнаружены тонкодисперсные (менее 100 мкм) минералы колломорфного слоистого Au, нарастающего на стенках микротрещин. Au высокой пробыности содержит микропримеси Pd, Ag, Bi и Cu в количестве менее 5 %. Вместе с Au в трещинах обнаружены кварц, карбонаты, барит, сульфиды (Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Bi, Cd, Pb и др.).

На Дальнем Востоке подобный тип минерализации установлен на Павловском месторождении в Приморье [28]. В миоценовых углях Au выявлено в микротрещинах, на участках их размыва, в виде зерен относительно крупных размеров (до 1–2 мм). Оруденение представлено различными генетическими типами: P3Э–Au–ЭПГ, Au–Ag–As–Hg и Mo–As–Ni–Co, первый из которых связан с воздействием поровых гидротерм до углефикации органического вещества, второй – с вулканической эпитептермальной деятельностью, третий – с более древними комплексами [29].

Минерализация, ассоциирующаяся с высокотемпературной гидротермальной деятельностью, известна в угленосных месторождениях Узбекистана, Кузбасса и в КНР. На Ангренском германий-угольном месторождении она представлена Au–ЭПГ гене-

тическим типом [13], а в Южном Кузбассе – медистым Au в ассоциации с самородными Fe, Cu, Pb, Zn, Ag, интерметалидами, сульфидами и др. Аномальные содержания Au (до 0.57 г/т угля) установлены также в верхнепермских антрацитах провинции Гуйжоу, Южный Китай [50]. Эти угли местами обогащены As, Sb и Hg.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОН ДЕСТРУКЦИИ, ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И МАГМАТИЗМА НА ВОСТОЧНОЙ ОКРАИНЕ ЦЕНТРАЛЬНО-АЗИАТСКОГО ПОЯСА

Рассматриваемый регион, подобно другим в зоне перехода от Тихого океана к континенту, прошел путь разноплановых геодинамических преобразований с разновозрастным магматизмом, процессами дегазации и флюидопереноса. Наиболее масштабно эти преобразования были проявлены в среднеюрский-раннемеловой и в эоцен-голоценовый этапы [38]. Первый из них связан с раздвиго-сдвиговыми движениями с образованием Восточно-Азиатского внутриконтинентального рифтогенного пояса (ВАКРП), основу которого составляют Зейско-Буреинский ОБ и впадина Сунляо [44]. Начальная стадия рифтогенеза (берриас–баррем), связанная с субдукцией литосферных плит (Изанаги и Тихоокеанской) и внедрением магмы в литосферу [20], привела к активизации сдвигового тектогенеза. Произошло образование систем трансформных разломов сложного строения северо-восточного простирания (Нэньцзян-Селемджинской, Нижнезейской, Лермонтовско-Белогорской, Западно-Туранской, Хинганской, Муданьцзянской, Тан-Лу и др.), контролировавших поля раннемеловых эффузивов смешанного состава (от риолитов до базальтов) (рис. 1). В Зейско-Буреинском ОБ вулканы залегают под верхнемеловыми платформенными отложениями, а на его обрамлении, вдоль Амура, Зеи и их притоков, выходят на поверхность в виде потоков лав, жерл и субвулканических образований, с которыми связано формирование целого ряда близповерхностных месторождений и проявлений благородных и других металлов и минеральных вод [21].

В завершающую стадию рифтогенного этапа (апт–альб) в Зейско-Буреинском ОБ, в условиях растяжения вдоль сдвигов северо-восточного простирания, произошло образование континентальной молассы в депрессиях, ограниченных на севере Янкано-Тукурингро-Джагдинским, на западе и востоке, соответственно, Большехинганским и Туранским горно-складчатыми сооружениями [37].

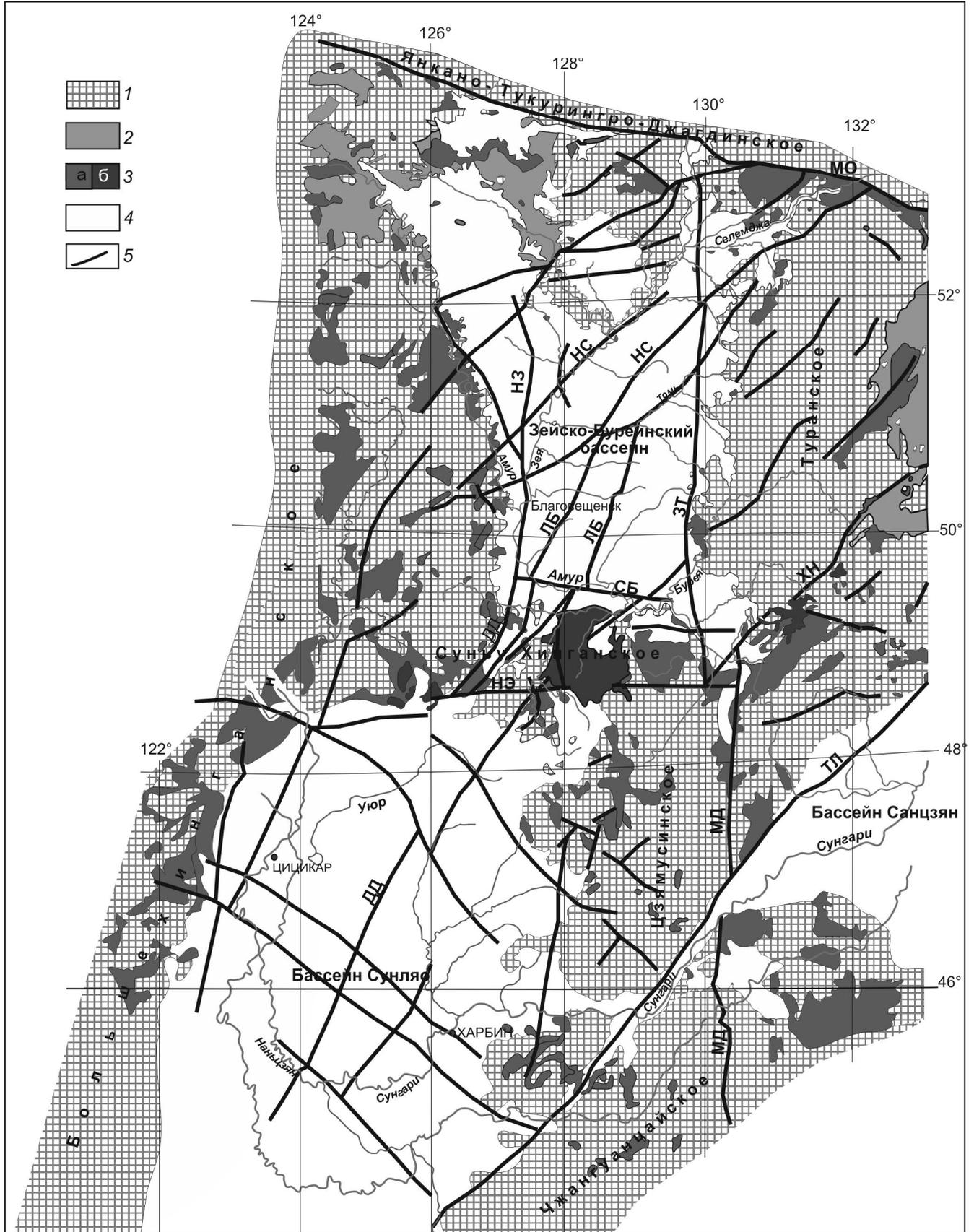
Рассматривая роль сдвигового геодинамического режима в формировании мезозойских структур ВАКРП, следует подчеркнуть, что подобные дефор-

мации установлены практически во всех континентальных рифтах мира [18]. На восточной окраине Азии формирование транзитных разломных систем детально исследовано В.П. Уткиным [41–43 и др.] в пределах Восточно-Азиатской глобальной сдвиговой зоны, охватывающей, по его представлениям, Восточно-Азиатский вулкано-плутонический пояс, пояс окраинных морей и Восточно-Азиатский грабеновый пояс, включая ВАКРП. В пределах этой зоны им выделен особый тип деструкции континентальной коры – сосдвиговые структуры растяжения, которые в условиях латерального сжатия литосферы развивались дискретно вдоль сдвигов. Эти оригинальные положения позволили объяснить пространственную связь вулканогенных и грабеновых поясов с транзитными сдвигами и понять их роль как магмоподводящих каналов и механизма формирования структур «проседания».

Таковыми структурами в Зейско-Буреинском ОБ служили вышеуказанные трансформные разломы ВАКРП, вдоль которых в средней юре–раннем мелу формировались системы приподнятых и опущенных блоков, сопряженных с полями вулкаников основного и кислого состава.

Современные преобразования региона связаны с неотектоническим этапом (P–Q). Его отличительная особенность – смена этапа растяжения земной коры периода рифтогенеза на одностороннее сжатие с юго-востока на северо-запад [37], обусловившее смещение Амурской литосферной плиты в северо-восточном, Евразийской – в восточном, а Охотоморской – в юго-западных направлениях [9–11]. Указанные движения привели к активизации крупных трансрегиональных разломов и формированию новых локальных разрывов с четко выраженными для обеих групп сдвиговыми смещениями, трассируемых очагами и групповыми концентрациями землетрясений.

Используя методики сейсмического мониторинга в зонах динамического влияния разломов ($M \geq 3.7$) [45, 46, 53], на территории Амурского геоблока С.И. Шерманом с коллегами [46] установлены зоны современной деструкции в течение последних 50 лет. Основные из них контролируются Монголо-Охотской, Нэньцзян-Селемджинской, Нижнезейской, Лермонтовско-Белогорской, Западно-Туранской, Тан-Лу и другими региональными системами нарушений, которые с юга ограничены широтными разрывами Сюньхэ-Бирским и Намуэрхэ. Учитывая невысокий уровень сейсмичности зон современной деструкции литосферы Амурского геоблока, можно считать, что они отражают начальную стадию тектонической активности.



Связанный с ней магматизм носит очаговый характер и контролируется вышеуказанными структурами. На северо-западном фланге Нэньцзян-Селемджинского разлома они представлены палеогеновыми пироксеновыми базальтами и андезибазальтами, установленными на левобережье р. Селемджа [7], а далее на продолжении к юго-западу, в системе этой разрывной структуры, кайнозойские вулканы отмечаются в верховье р. Нэньцзян в горно-складчатой области Большого Хингана [5].

Подобная закономерность характерна и для ряда других зон деструкции, в частности, Хинганской, Лермонтовско-Белогорской, Намуэрхэ и Сюньхэ-Бирской. Первая из них контролирует поля кайнозойских базальтоидов в бассейне р. Тырма, в районе пос. Ургал и в верховье р. Урил [5]. Южнее, на территории КНР, известны более крупные ареалы кайнозойских эффузивов – Жингпоху, Ноуминхэ, Келуо, Удалянчи, Ерекшан, связанные с системами широтных разломов Намуэрхэ и Сюньхэ-Бирской и близмеридиональной – Лермонтовско-Белогорской, в которых К-Аг датировками установлена наиболее детальная последовательность их излияний. В частности, в поле Келуо начало извержений происходило в миоцене (9.6 млн лет назад) [25, 56, 57], затем в плиоцене–голоцене (2.98–0.98 млн лет назад), с наиболее частыми событиями в интервалах 0.43–0.11 и 0.06–0.011 млн лет назад [55].

Формирование кайнозойских магматических комплексов в пределах зон современной деструкции в северо-восточном Китае С.В. Рассказовым с соавторами [25] рассматривается с позиции «пассивного рифтогенеза», т.е. в обстановке слабого растяжения литосферы. Вместе с тем, основные черты кайнозойской (современной) активизации магматической деятельности региона вполне очевидны и во многом сходны с таковыми в Центральной Азии. Чередование стадий сжатия и растяжения обусловило формирование на участках сопряжения блоков структур повышенной проницаемости с пульсационным проявлением вулканической деятельности, наиболее интенсивно проявленной вдоль современных зон деструкции.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ СТРУКТУР ПОВЫШЕННОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ И ФЛЮИДОПЕРЕНОСА В ПРЕДЕЛАХ ЗЕЙСКО-БУРЕЙНСКОГО БАССЕЙНА

Среди исследователей [48, 49] превалирует мнение о гелии как о наиболее достоверном и приоритетном индикаторе глубинных процессов, что определяется его химической инертностью, высокими подвижностью и теплоемкостью, низкими сорбционными свойствами и т.д. На геодинамических полигонах в Припятской впадине, Предуральском и Терско-Каспийском прогибах, Среднем Приобье геодинамическими, геофизическими, геохимическими исследованиями и режимными наблюдениями поля гелия в водах четвертичных отложений и нефтяных залежей установлено [31, 32], что зоны нефтенакпления приурочены к глубинным разломам, активным в современную эпоху, с наиболее интенсивной вертикальной миграцией флюидных систем вплоть до поверхности, которую можно измерить вышеуказанными методами [2]. При этом анализ режимных наблюдений концентраций гелия в попутных газах месторождений Припятской впадины фиксирует пульсационный характер изменений геохимических параметров и сопряженность их с интенсивностью тектонических движений.

В пределах Зейско-Буреинского ОБ в результате водногазогеохимических исследований в 80-е годы прошлого столетия были выделены аномалии гелия с высокими концентрациями азота, водорода, метана, тяжелых углеводородов и углекислоты [34]. Они образуют линейно вытянутые системы вдоль Нэньцзян-Селемджинского, Лермонтовско-Белогорского и Западно-Туранского разрывных нарушений, разделяющих поднятия и области устойчивого прогибания. В этих структурах отмечаются зональный метаморфизм углей кивдинской (палеоцен) и бузулинской (ранний-средний миоцен) свит с переходами от низких к более высоким технологическим группам, – соответственно, от 1Б к 2Б и от 2Б к 3Б – и существенные колебания концентрации летучих и других компонентов.

Динамика флюидного режима детально изучалась на Константиновском месторождении минеральных вод, расположенном на южной окраине Зейско-Буреинского ОБ, в 100 км юго-восточнее г. Бла-

Рис. 1. Схема морфоструктурного районирования Восточно-Азиатского внутриконтинентального рифтогенного пояса (по В.Е. Хаину (1979), с дополнениями авторов).

1 – сводово-глыбовые поднятия; 2 – мезозойские осадочные бассейны; 3 – вулканогенные образования: (а) юрские и меловые, (б) кайнозойские; 4 – молодые платформы; 5 – тектонические нарушения (разломы): МО – Монголо-Охотский, НЗ – Нижнезейский, НС – Нэньцзян-Селемджинский, ЛБ – Лермонтовско-Белогорский, ЗТ – Западно-Туранский, СБ – Сюньхэ-Бирский, НЭ – Намуэрхэ, ХН – Хинганский, ТЛ – Тан-Лу, МД – Муданьцзянский, ДД – Дэду-Дааньский. Граница между РФ и КНР проходит по р. Амур. (Цветная версия рисунка размещена на сайте журнала "Тихоокеанская геология" и в эл. библиотеке: elibrary.ru).

говещенска [39]. Район месторождения локализован в зоне широтного Сюньхэ-Бирского разлома, резко секущее положение к которому занимают разрывы северо-западного и северо-восточного направлений. Первые из них представлены сбросо-сдвигами, преимущественно с горизонтальным, вторые – сдвигосбросами, с комбинированными типами движений.

В качестве основного показателя, отражающего флюидодинамику недр в сейсмогенных зонах, был использован воднорастворимый гелий. Наблюдения за его концентрацией проводились в скважине глубиной 204 м в период с 1984 г. по 2011 г. с различной периодичностью: в 1984–1998 гг. 1 раз в 10 дней, в 2001–2002 гг. – ежедневно, с 2009 г. – через сутки. В процессе наблюдений был установлен импульсный характер дегазации, присущий отдельным временным интервалам. Период 1985–86 гг. характеризовался активизацией сейсмичности в системах Лермонтовско-Белогорского и Сюньхэ-Бирского разломов, что нашло отражение в приуроченности резкого амплитудного снижения концентрации водорастворимого гелия периодам, предшествующим землетрясениям. Эта тенденция отмечалась в 1994 г. при повышенной сейсмичности вдоль Сюньхэ-Бирского, Хинганского и Западно-Туранского разломов и в узлах их пересечений и сохранилась с 1997 по 1998 гг. при активизации этих процессов в системе Тан-Лу и в 2001 г. – вдоль Западно-Туранского разрыва [39].

Эти динамические процессы обусловлены в основном событиями регионального масштаба – взаимодействием Амурской, Евразийской и Охотоморской плит, вызвавшим масштабные сдвиговые перемещения блоков вдоль зон современной деструкции в широтном и северо-восточном направлениях.

Проблема изучения структур дегазации и флюидопереноса достаточно актуальна, так как решает целый ряд задач, в т.ч. генезиса металлоносности бурых углей. Авторами обнаружены благородные (БМ), редкие металлы (РМ) и редкоземельные элементы (РЗЭ) в целом ряде угленосных месторождений Приамурья, Приморья и Сибири, выявлены перспективные участки их локализации, разработана методика определения содержания Au в углях, способы его извлечения и др. [15, 22, 23, 35]. Установлено, что участки с наиболее высокой металлоносностью угленосных отложений располагаются преимущественно в предгорных прогибах, в зонах пространственного сопряжения месторождений с рудными провинциями горно-складчатых сооружений. К этим пограничным структурам приурочены золотоносные пояса (Южно-Тукурингский, Приамурский, Притуранский, Тын-да-Зейский и др.) с россыпями Au палеогенового, ми-

оценового и четвертичного возраста, связь которых с Пиканско-Сергеевской и Селемджинско-Ерковецкой кайнозойскими угленосными площадями вполне очевидна [36].

На рассматриваемых участках поступление БМ, РМ и РЗЭ в торфяники осуществлялось в форме подвижных элементов, переносимых поверхностными водами из зон гипергенеза, поглощенных и сорбируемых растениями-углеобразователями и органическим веществом каустобиолитов угляного ряда (как геохимический барьер), в виде кластогенных и ультратонких частиц, в ассоциации с минералами глин в водных потоках и др. [16, 35 и др.].

Но целый ряд месторождений и проявлений с золотосодержащими углями располагаются в погруженных участках бассейна, удаленных от областей сноса, исключаящих их обогащение за счет экзогенных факторов. Одно из них – Ерковецкое месторождение – находится на южной окраине Селемджинско-Ерковецкой угленосной площади, приуроченной к погребенному поднятию, занимающему промежуточное положение между наиболее погруженными областями – Лермонтовско-Дмитриевской и Екатеринославской депрессиями. Зоны современной деструкции ограничивают его с запада и востока (Нижнезейская и Западно-Туранская) и контролируют системы поднятий и наложенных прогибов (Лермонтовско-Белогорская), в т.ч. с установленной угленосностью (рис. 2).

С учетом указанных особенностей, изучение этой территории представляет интерес с позиции не только расшифровки структурных элементов, но и исследования зон современной деструкции как возможных каналов дегазации и флюидопереноса и обогащения угля благородными и другими металлами. Работы включали:

- широтное профильное магнитотеллурическое зондирование (МТЗ) южной части Зейско-Буреинского ОБ, включая Завитинско-Майкурское поднятие, с целью изучения зон современной деструкции, морфологии, особенностей внутреннего строения погруженных областей, выявления структур повышенной проницаемости;

- геологическое изучение угленосных отложений в пределах эксплуатационного карьера «Южный» Ерковецкого месторождения;

- газогеохимическое опробование по профилям МТЗ с детализацией участков структурных аномалий;

- геохимические исследования углей и вмещающих пород с использованием комплекса аналитических методов (масс-спектрометрический с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС), атомно-абсорбци-

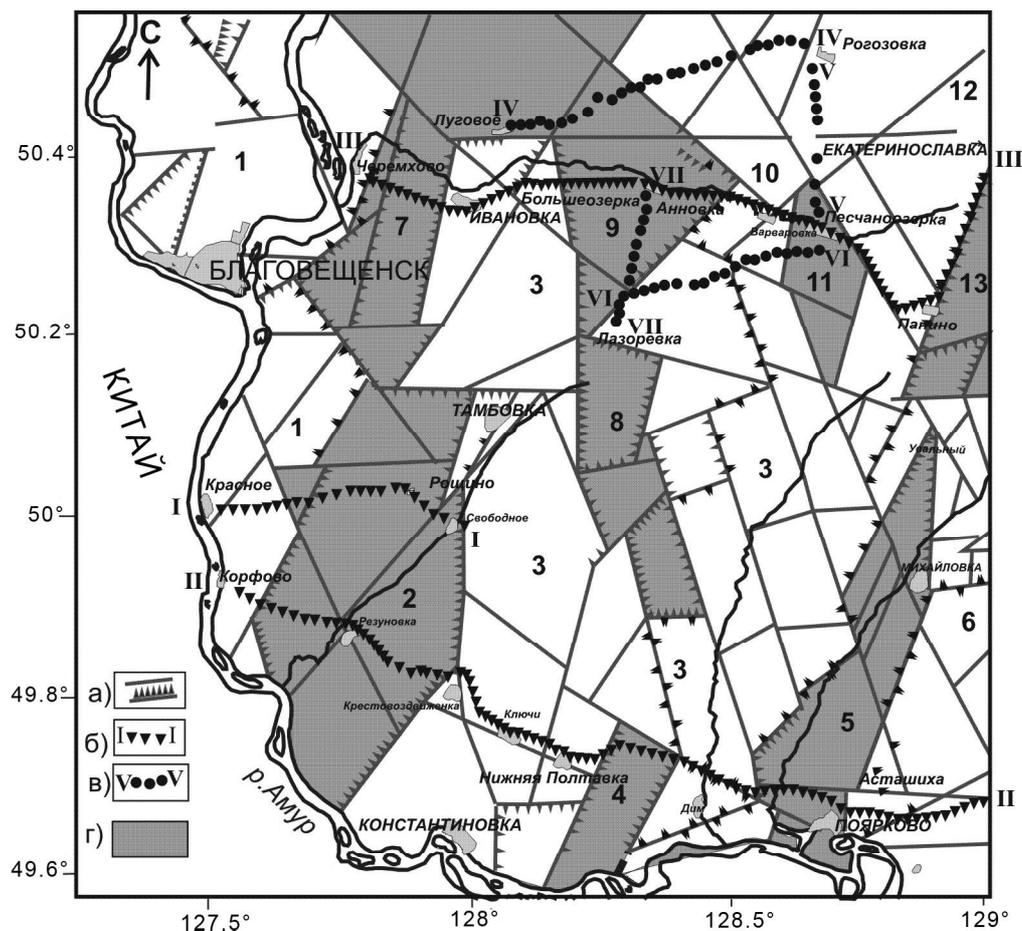


Рис. 2. Структурная схема района исследований с профилями МТЗ и газогеохимического опробования. Составлена по материалам Э.Л. Рейнлиба (1988 г.).

а – границы тектонических блоков; б – профили МТЗ и газогеохимии; в – профили газогеохимии; г – отрицательные структуры. Цифры на схеме. Поднятия: 1 – Благовещенско-Гродековское, 3 – Полтавско-Ильинское, 6 – Воскресенское, 10 – Динское, 12 – Майкурское. Прогобы: 2 – Лермонтовский, 4 – Новопетровский, 5 – Михайловский, 7 – Дмитриевский, 8 – Козьмодемьяновский, 9 – Большеозерский, 11 – Песчаноозерский, 13 – Екатеринославский. (Цветная версия рисунка размещена на сайте журнала "Тихоокеанская геология" и в эл. библиотеке: elibrary.ru).

онный с индуктивно связанной плазмой (ИСП-ААС), атомно-абсорбционный (ААА), рентгенофлуоресцентный (РФА и РФА-СИ), инструментальный нейтронно-активационный (ИНАА) и пробирный), охватывающих максимальный набор элементов с учетом особенностей подготовки, химического и термического разложения проб. Анализы выполнены на приборной базе аналитических центров ИГиП, АмурНЦ ДВО РАН (г. Благовещенск), ИТиГ ДВО РАН (г. Хабаровск) и Института геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск).

Геологическим изучением, проведенным на южной окраине Ерковецкого месторождения, охвачены палеогеновые отложения кивдинской свиты, включающие пласт угля мощностью до 9 м с прослоями и линзами (до 10 см) глин, алевроитов и ту-

фов, в надугольной части которого залегают верхнемиоценовые пески и глины сазанковской свиты и четвертичные осадки. Угли месторождения – бурые, технологической группы 2Б, средней степени углефикации, плотные с прослоями рыхлых. Качество их (%): влажность 35–37, зольность товарная 17.0–17.9, выход летучих [21], содержание серы 0.28–0.41, фосфор 0.09–0.16, плотность 1.66 г/см³. В соответствии с геохимическими параметрами, глубина захоронения углей колеблется от 600–800 м [51] до 1000 м [54], из которых, первые, по мнению авторов, более объективные.

Полевые исследования выполнены авторами в 2008, 2010 и 2012 гг. с детальным опробованием разреза (до 10 м). Изучение и опробование угленосных отложений проведено по всему забою протяженно-

стью около 1500 м по мере обработки месторождения. Опробование выполнено по пятнадцати сечениям (по пять ежегодно) через 200–400 м бороздовым методом (10–15 м). Всего в карьере отобрано 200 проб, в том числе: по углям – 145 бороздовых, штуфных – по глинам – 28, пескам – 20, туфам – 7.

Магнитотеллурическое зондирование (МТЗ) и газогеохимическое опробование были проведены в комплексе в два этапа: в 2010–2011 гг. и в 2012 г. В первый из них была исследована южная окраина Зейско-Буреинского ОБ по двум профилям (рис. 2). Методом МТЗ изучены особенности строения литосферы, электрические характеристики пород чехла бассейна и зон разрывных нарушений, что впервые позволило составить детальные геоэлектрические разрезы для глубин 5 км и 150 км [11]. Газогеохимическими исследованиями установлена связь между аномалиями гелия, водорода, метана и углеводородов и зонами пониженного электрического сопротивления [39].

Работы по второму этапу были продолжены в 2012 г. к северу, по профилю сс. Черемхово – Екатеринбург (профиль III) протяженностью 170 км, непосредственно пересекающему южную окраину Ерковецкого месторождения (рис. 3). МТЗ в центральной части профиля (пункты 3А ÷ 92М) выполнялось с регистрацией электромагнитного поля в высокочастотном диапазоне $10^4 \div 1$ Гц с шагом 1–2 км, а на периферийных участках – с шагом 5–10 км и регистрацией поля в диапазоне $10^4 \div 4 \cdot 10^4$ Гц.

Газогеохимическое опробование проведено вдоль геофизических профилей I, II и III (рис. 2, 3, 4, табл. 1). В районе Ерковецкого месторождения выполнены еще четыре пересечения: широтные – с. Луговое – с. Рогозовка (профиль IV) и с. Песчаноозерка – с. Лазоревка (профиль VI); и субмеридиональные – с. Рогозовка – с. Песчаноозерка (профиль V) и с. Лазоревка – с. Анновка (профиль VII). В процессе работ было отобрано более 300 газовых проб, которые проанализированы методами газовой хроматографии (Agilent 7890 Agilent Technologies, USA – Аналитический центр минералого-геохимических исследований ИГиП ДВО РАН). Определены объемные концентрации гелия, водорода, метана, углекислого газа, углеводородных газов – суммы гомологов метана. Объемная активность радона-222 фиксировалась на месте отбора проб радиометром PPA 01M-03 (НТМ-ЗАЩИТА, Россия). За пороговое значение газовых аномалий принята сумма между среднеарифметическим и одним стандартным отклонением ($X_{cp} + S$). Количественная оценка газовых аномалий производилась по показателю контрастности ($Y = (C_i - X_{cp})/S$) [33].

Результаты геофизических работ позволили оконтурить в погруженных областях выступы домезозойского фундамента, уточнить их форму, границы со слоистыми толщами, расчленить по величине электрического сопротивления чехол бассейна на вулканогенно-осадочные породы рифтогенного ($J_2 - K_1$), терригенные отложения платформенного (K_2) и неотектонического (P–Q) комплексов. Среди них повышенными значениями характеризуются эффузивы (первые сотни Ом·м) и породы фундамента (до тысячи Ом·м) при общем фоне чехла 10–30 Ом·м (рис. 3).

Существенно уточнена и тектоника южной части Зейско-Буреинского ОБ. Она определяется в основном взаимоотношением двух сдвиговых систем: меридиональных зон деструкции трансрегиональных древних разломов, активизированных в кайнозое, и более молодых разрывов северо-западного и широтного простирания. Нижнезейская и Лермонтовско-Белогорская зоны деструкции контролируют внутренние поднятия Зейско-Буреинского ОБ и размещение в них пород с высокоомными (100–250 Ом·м) значениями электрического сопротивления (соответствующими эффузивам). Эти породы в разрезе (рис. 5) на глубине 0.2–2 км образуют вертикальные контрастные аномалии, создающие резкую дисгармонию по отношению к основному низкоомному (10–50 Ом·м) полю терригенных отложений чехла бассейна. Южнее, на территории КНР, Нижнезейская и Лермонтовско-Белогорская зоны деструкции контролируют поля кайнозойских эффузивов в долине р. Сюньхэ [5], так же, как и подобные им Нэньцзян-Селемджинская, Хинганская и другие системы разломов.

Результаты газогеохимических исследований указывают на наличие существенных различий в содержаниях свободных почвенных газов (СПГ). Наиболее контрастные аномалии гелия в районе с. Варваровка (профиль III) – $52482 \cdot 10^{-4}$ об. % и с. Константиноградка (профиль IV) – $7065 \cdot 10^{-4}$ об. %, водорода – в районе сс. Высокое (профиль I) – $3427 \cdot 10^{-4}$ об. % и Свободное (профиль II) – $102 \cdot 10^{-4}$ об. %, метана – в районе сс. Ивановка (профиль III) – $3193 \cdot 10^{-4}$ об. % и Рогозовка (профиль IV) – $950 \cdot 10^{-4}$ об. %. В распределении углекислого газа четко выраженной зональности не установлено. Повышение содержания его отмечено в районе с. Ивановка ($C_{max} = 6.3$ об. %). Высокие концентрации радона установлены на профиле I, в районе с. Красное ($C_{max} = 38553$ Бк/м³) (рис. 3).

Сравнительный анализ результатов МТЗ и газогеохимического опробования показывает, что целый ряд газовых аномалий приурочен к южной окраине Ерковецкого бурогоугольного месторождения с густой

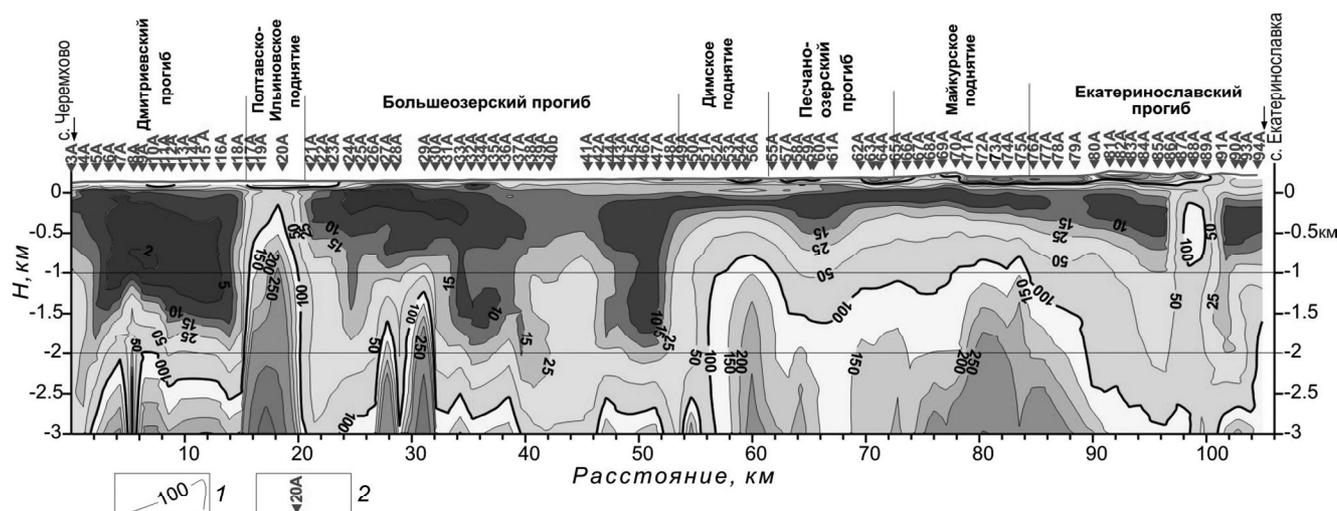


Рис. 3. Геоэлектрический разрез по профилю III сс. Черемухово–Екатеринославка.

1 – изолинии удельного электрического сопротивления (Ом·м); 2 – пункты наблюдения и их номера. (Цветная версия рисунка размещена на сайте журнала "Тихоокеанская геология" и в эл. библиотеке: elibrary.ru).

Таблица 1. Характеристики аномалий СПГ в районе Ерковецкого бурогольного месторождения.

| Аномалии | Профиль | Протяженность, км | Контрастность (У)–Не | Аномальные значения концентраций газов | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------|----------------------------------------|----------------|-----------------|------|-----------------|-------------------|-------|
| | | | | He | H ₂ | CH ₄ | УВГ | CO ₂ | Rn | |
| | | | | объемные % | | | | | Бк/м ³ | |
| ×10 ⁻⁴ | ×10 ⁻⁴ | ×10 ⁻⁴ | ×10 ⁻⁴ | | | | | | | |
| 1 | Ивановская | III | 4 | 2–144 | 220–10239 | 64 | 3193 | 84.1 | 6.3 | - |
| 2 | Большеозерская | III | 7 | 11–67 | 889–4823 | 17 | 741 | - | - | - |
| 3 | Варваровская | III | 9 | 10–764 | 574–52482 | 57 | 339 | - | 2.2 | - |
| 4 | Панинская | III | 6 | 11–67 | 889–4823 | - | 337 | 26.3 | 2.0 | 12906 |
| 5 | Екатеринославская | III | 7 | 38–117 | 2777–8312 | - | 2800 | 32.0 | - | 8207 |
| 6 | Луговская | IV | 2 | 10–400 | 229–7065 | - | - | - | - | - |
| 7 | Рогозовская | IV | 3 | 43 | 813 | 92 | 950 | - | - | - |
| 8 | Лазоревская | V–VII | 7 | 12–52 | 107–961 | 15 | 558 | 64 | 3.4 | 12763 |
| 9 | Геохимический фон | | | 1 | 92 | 5 | 86 | 2 | 0.6 | 2235 |

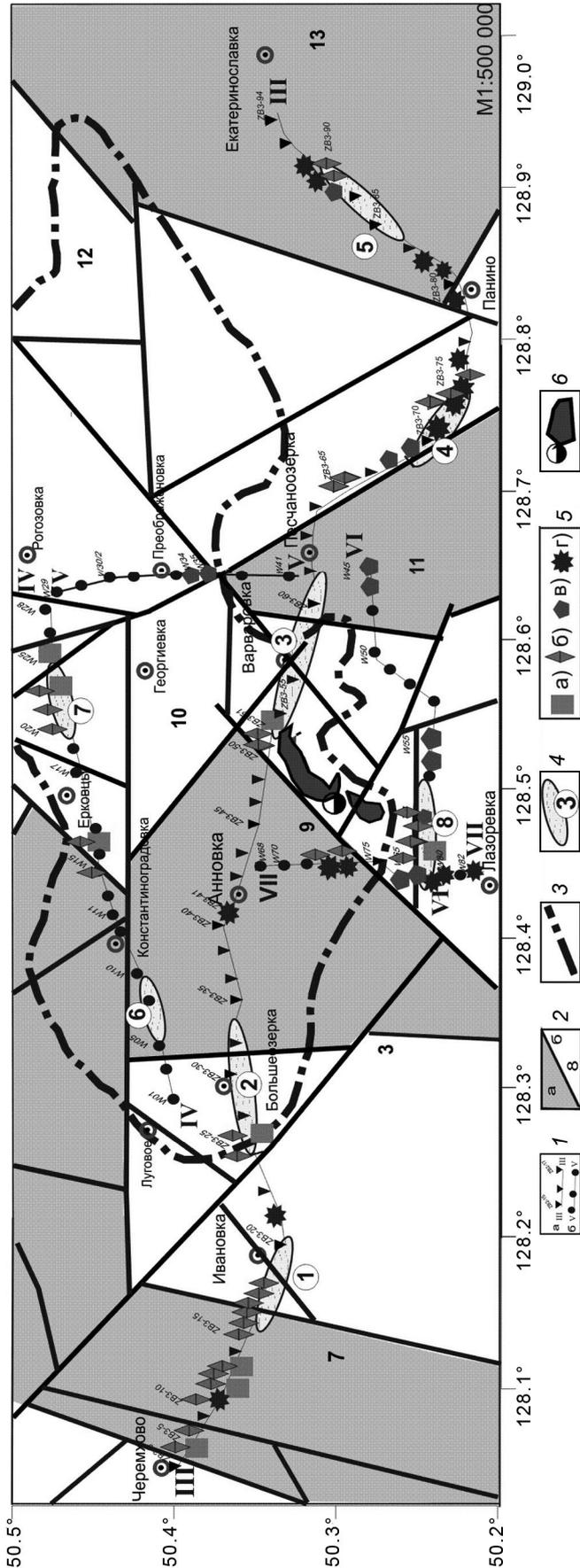
Примечание. Анализы проводились хроматографическим методом на трехканальном анализаторе природного газа Agilent 7890 (Agilent Technologies, USA) в Амурском аналитическом центре минералого-геохимических исследований ИГиП ДВО РАН, аналитик Киселева А.А. Объемная активность радона (Rn) измерялась на месте отбора радиометром PPA 01M-03 (НТМ-ЗАЩИТА, Россия), аналитик Попов А.А. Прочерк – значения ниже предела определения прибора.

сеть разрывных нарушений. При этом установлено, что к участкам сопряжения зон современной деструкции древних разломов и молодых разрывов приурочены поля пониженного сопротивления, т.е. разуплотнения, которые характеризуются также аномалиями гелия и других газов (рис. 4). Учитывая, что гелий считается приоритетным индикатором глубинных процессов в ОБ [32, 33, 39, 48, 49], структуры повышенной проницаемости (СПП) можно сопоставлять с ранее рассмотренными дренажными системами глубокой дегазации ОБ. На индикаторную функцию подобных газовых аномалий в выявление СПП земной коры указывали также и другие исследователи [1, 6,

40, 41, 49 и др.]. Среди установленных газовых аномалий выделяется высококонтрастная Варваровская, расположенная на площади Ерковецкого бурогольного месторождения, детальное изучение которого проведено в карьере «Южный».

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ ПРОЦЕССОВ ДЕГАЗАЦИИ В УГЛЕНОСНОЙ ТОЛЩЕ ЕРКОВЕЦКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Геологическое изучение угленосных отложений проведено в северо-западной части Варваровской аномалии в эксплуатационном карьере «Южный».



Исследованиями была охвачена южная часть месторождения, в пределах которой отдельными сечениями проводилось детальное изучение и опробование разрезов. В наиболее типичном разрезе угленосная толща сложена палеогеновыми отложениями кивдинской свиты, представленной бурями углями (4 м) и глинами (0.5 м) в подошве пласта. Надугольную часть формируют верхнемиоценовые глины (0.6 м) и пески (более 0.5 м) сазанковской свиты. В средней части пласта угля установлены один-два прослоя высокозольного угля, реже – глин, алевролитов и туфов мощностью от 0.1 до 0.7 м, разделяющие пласт на две-три выдержанные пачки. Пески мелко- и среднезернистые, кварцево-полевошпатовые, слюдистые и глинистые. Глины и глинистая составляющая алевролитов и песков преимущественно гидрослюдисто-каолининовые с примесью монтмориллонита, реже – каолинит-монтмориллонитовые.

Исследованиями минерального состава глин по серии вертикальных сечений (включающих надугольные, угольные и подугольные отложения) установлено наличие двух типов разреза, в которых надугольные и подугольные глины имеют различный минеральный состав: гидрослюдисто-каолининовый и иллит-монтмориллонитовый и, соответственно, преимущественно каолининовый.

Анализ изменения содержаний основных породообразующих элементов по глубине также показывает, что первый тип разрезов характеризуется высокими их значениями в верхней части угольного пласта с постепенным снижением к его середине, а для второго типа наблюдается обратная картина в их распределении. Нижняя часть угольного пласта характеризуется более высокими концентрациями породообразующих элементов, к его середине содержания выравниваются и изменяются незначительно до кровли пласта (рис. 6).

Комплекс исследований, проведенный с помощью прецизионных методов определения содержаний микроэлементов (масс-спектрометрического на ин-

Рис. 4. Структуры повышенной проницаемости.

1 – профили МТЗ и газогеохимии (а); газогеохимии (б): III–III – Черемхово–Екатеринославка; IV–IV – Луговое–Рогозовка; V–V – Рогозовка–Песчаноозерка; VI–VI – Песчаноозерка–Лазоревка; VII–VII – Лазоревка–Анновка; 2 – тектонические блоки (а – отрицательные; б – положительные; цифра – номер блока, см. рис. 2); 3 – граница Ерквецкого бурогоугольного месторождения; 4 – структуры повышенной проницаемости (цифрой обозначен номер: 1 – Ивановская, 2 – Большеозерская, 3 – Варваровская, 4 – Панинская, 5 – Екатеринославская, 6 – Луговская, 7 – Рогозовская, 8 – Лазоревская); 5 – аномалии СПГ: водорода (а), метана (б), радона (в), УВГ (г); 6 – разрез Южный. (Цветная версия рисунка размещена на сайте журнала "Тихоокеанская геология" и в эл. библиотеке: elibrary.ru).

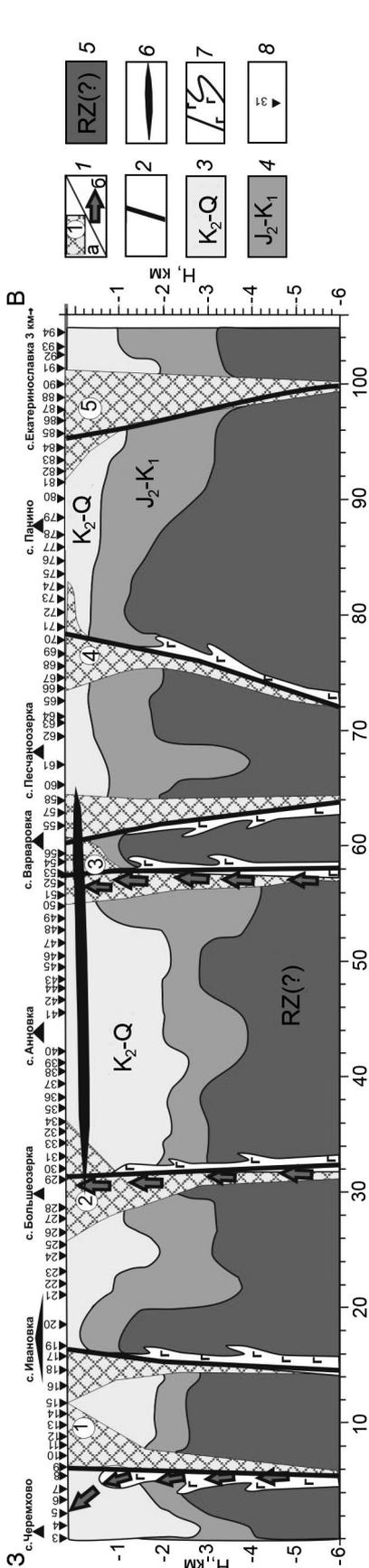


Рис. 5. Зоны дегазации и флюидопереноса в структурах повышенной проницаемости.

1 – каналы миграции; гелия (а) и водорода (б); 2 – разрывные нарушения; 3 – верхнемеловые–четвертичные отложения; 4 – среднерюрские–нижнемеловые отложения; 5 – породы домезозойского фундамента; 6 – угольные пласты Ерковецкого месторождения (вне масштаба); 7 – кайнозойские субвулканические образования основного состава; 8 – пункты геофизических измерений и места отбора газогеохимических проб. (Цветная версия рисунка размещена на сайте журнала "Тихоокеанская геология" и в эл. библиотеке: elibrary.ru).

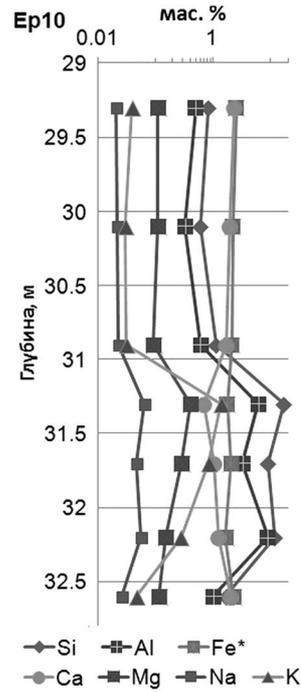


Рис. 6. Распределение основных породообразующих элементов по разрезу угольного пласта Ерковецкого бурогоугольного месторождения в карьере «Южный».

(Цветная версия рисунка размещена на сайте журнала "Тихоокеанская геология" и в эл. библиотеке: elibrary.ru).

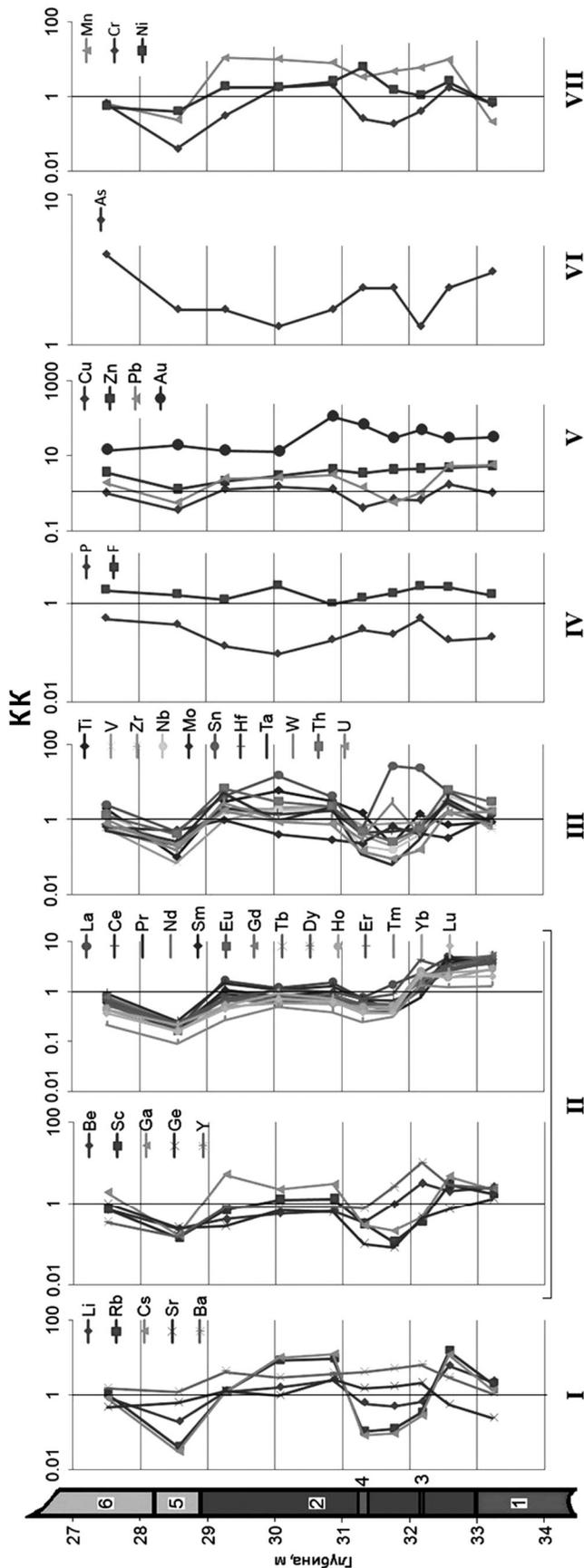
дуктивно-связанной плазме, атомно-абсорбционного, рентгенофлуоресцентного с использованием синхротронного излучения, инструментального нейтронно-активационного и пробирного), а также электронно-микроскопические и рентгеноспектральные исследования минеральных фаз показали, что бурые угли Ерковецкого месторождения характеризуются широким геохимическим и минералогическим разнообразием (табл. 2). По целому ряду элементов в углях отмечаются anomalously высокие значения концентрационных коэффициентов (КК), определяемых как отношение содержания элемента к его кларку данного типа породы [22, 36, 52]. В отдельных пробах угля значения КК для Au и Pt превышают 100, Sn – 25, Ni – 21, Co и Zn – 15, Rb и Cs – 16, Se и As – 10, Ga и Ge – 8, Ag – 7, РЗЭ – в 3–7 раз (рис. 7). Большинство из них образуют собственные минеральные формы [22, 36].

В распределении ряда микроэлементов так же, как и для породообразующих элементов, наблюдается направленное уменьшение концентраций от подошвы пласта к его середине. Например, в группе литофилов (I, II, III), особенно для элементов, образующих катионы и анионы с постоянной и переменной валентностью (II, III), отмечаются низкие концентрации в центральной части угольного пласта и увеличение

Таблица 2. Содержание микроэлементов в углях и вмещающих породах (г/т) по данным ИСП-МС, ИСП-ААС, РФА-СИ, ИНАА и пробирного анализов.

| Элемент | Вмещающие породы (n = 31) | | | | Угли (n = 77) | | | |
|---------|---------------------------|---------|----------|---------|---------------|---------|----------|---------|
| | Среднее | Медиана | Максимум | Минимум | Среднее | Медиана | Максимум | Минимум |
| Li | 22.81 | 18.63 | 72.45 | 5.07 | 11.33 | 8.36 | 58.07 | 2.03 |
| Be | 1.43 | 0.97 | 4.86 | 0.35 | 1.63 | 1.13 | 6.34 | 0.28 |
| F | 385.68 | 385.00 | 501.00 | 269.50 | 141.80 | 139.80 | 204.40 | 80.20 |
| Cl | 25.79 | 19.00 | 97.00 | 1.00 | 21.92 | 20.00 | 73.00 | 1.00 |
| Sc | 6.22 | 6.00 | 17.14 | 0.32 | 3.21 | 2.41 | 12.26 | 0.10 |
| V | 42.79 | 31.10 | 106.00 | 4.61 | 31.80 | 27.10 | 109.00 | 1.47 |
| Cr | 25.53 | 19.00 | 55.96 | 2.48 | 16.01 | 12.70 | 59.00 | 0.10 |
| Co | 8.40 | 5.42 | 37.20 | 1.39 | 9.53 | 6.20 | 62.23 | 1.00 |
| Ni | 26.06 | 24.08 | 68.00 | 4.23 | 40.77 | 26.90 | 438.00 | 3.53 |
| Cu | 25.23 | 24.90 | 69.00 | 5.00 | 20.67 | 21.25 | 51.30 | 0.50 |
| Zn | 60.10 | 53.00 | 228.40 | 15.10 | 49.04 | 37.30 | 267.88 | 6.74 |
| Ga | 17.68 | 17.56 | 53.90 | 1.53 | 12.30 | 12.27 | 53.90 | 1.02 |
| Ge | 1.46 | 1.23 | 3.68 | 0.19 | 1.71 | 1.10 | 15.14 | 0.16 |
| As | 11.36 | 9.30 | 44.00 | 1.50 | 14.37 | 10.00 | 82.00 | 0.99 |
| Se | 1.86 | 1.28 | 6.46 | 0.27 | 1.21 | 0.88 | 6.46 | 0.18 |
| Br | 19.26 | 22.20 | 34.50 | 0.42 | 16.85 | 22.30 | 36.60 | 0.24 |
| Rb | 81.82 | 97.63 | 178.35 | 1.00 | 48.08 | 18.90 | 166.00 | 0.29 |
| Sr | 133.70 | 123.84 | 297.00 | 62.00 | 148.48 | 133.17 | 353.00 | 62.00 |
| Y | 19.28 | 18.30 | 88.37 | 2.05 | 19.46 | 17.70 | 71.00 | 3.43 |
| Zr | 99.38 | 88.53 | 246.00 | 8.85 | 86.50 | 58.00 | 391.00 | 2.00 |
| Nb | 8.23 | 7.83 | 20.50 | 0.67 | 5.63 | 3.99 | 23.00 | 0.25 |
| Mo | 1.08 | 0.96 | 2.70 | 0.27 | 0.98 | 0.89 | 2.08 | 0.21 |
| Ag | 0.36 | 0.36 | 0.64 | 0.15 | 0.38 | 0.43 | 0.63 | 0.10 |
| Cd | 0.49 | 0.54 | 0.93 | 0.16 | 0.39 | 0.33 | 1.70 | 0.16 |
| Sn | 3.35 | 3.81 | 17.53 | 0.19 | 2.36 | 1.57 | 20.30 | 0.05 |
| Sb | 1.82 | 1.64 | 5.00 | 0.38 | 1.72 | 1.24 | 5.20 | 0.14 |
| I | 0.62 | 0.57 | 0.95 | 0.40 | 0.55 | 0.54 | 1.03 | 0.17 |
| Cs | 6.90 | 5.01 | 19.68 | 0.07 | 2.67 | 1.12 | 15.10 | 0.06 |
| Ba | 569.54 | 473.66 | 1007.99 | 209.00 | 448.50 | 418.92 | 1092.00 | 155.95 |
| La | 23.39 | 17.12 | 121.88 | 5.39 | 20.58 | 15.82 | 77.98 | 5.38 |
| Ce | 45.55 | 32.28 | 248.13 | 12.11 | 37.88 | 27.12 | 125.00 | 7.31 |
| Pr | 5.31 | 2.94 | 32.25 | 1.23 | 3.82 | 2.60 | 13.23 | 0.65 |
| Nd | 20.51 | 11.89 | 124.55 | 4.45 | 13.90 | 9.60 | 47.41 | 2.49 |
| Sm | 4.05 | 2.67 | 22.63 | 0.77 | 2.95 | 2.21 | 14.30 | 0.40 |
| Eu | 0.73 | 0.54 | 3.46 | 0.14 | 0.58 | 0.40 | 2.51 | 0.09 |
| Gd | 3.71 | 2.58 | 20.21 | 0.66 | 3.15 | 2.27 | 13.00 | 0.55 |
| Tb | 0.53 | 0.35 | 3.06 | 0.09 | 0.43 | 0.32 | 1.75 | 0.06 |
| Dy | 2.86 | 1.57 | 15.20 | 0.44 | 2.13 | 1.50 | 6.11 | 0.34 |
| Ho | 0.55 | 0.29 | 2.54 | 0.08 | 0.46 | 0.31 | 1.35 | 0.07 |
| Er | 1.45 | 0.82 | 6.15 | 0.19 | 1.27 | 0.92 | 3.76 | 0.21 |
| Tm | 0.23 | 0.14 | 0.91 | 0.06 | 0.17 | 0.13 | 0.51 | 0.03 |
| Yb | 1.50 | 1.16 | 5.46 | 0.17 | 1.22 | 1.01 | 4.88 | 0.18 |
| Lu | 0.26 | 0.21 | 0.80 | 0.06 | 0.18 | 0.15 | 0.70 | 0.03 |
| Hf | 2.41 | 1.91 | 6.40 | 0.10 | 1.93 | 1.22 | 10.30 | 0.03 |
| Ta | 0.57 | 0.57 | 1.22 | 0.03 | 0.37 | 0.24 | 1.64 | 0.01 |
| W | 1.36 | 1.32 | 3.25 | 0.31 | 1.26 | 1.07 | 3.36 | 0.21 |
| Pt | - | - | - | - | 1.06 | 0.05 | 8.60 | 0.01 |
| Au | 0.74 | 0.17 | 4.47 | 0.01 | 1.11 | 0.37 | 6.89 | 0.02 |
| Pb | 29.07 | 25.40 | 81.50 | 6.60 | 25.42 | 23.90 | 84.00 | 3.66 |
| Th | 8.67 | 8.10 | 22.82 | 1.34 | 7.32 | 6.50 | 21.44 | 0.39 |
| U | 2.85 | 2.50 | 9.70 | 0.25 | 2.55 | 2.40 | 9.70 | 0.10 |

Примечание. n – количество проб, прочерк – ниже предела обнаружения ИНАА.



их значений в подошве пласта. В группе литофилов (IV), образующих анионы, угли и вмещающие породы существенно обеднены Р и несколько обогащены F. Закономерность в распределении элементов-сидерофилов в общих чертах сохраняется и в распределении катионогенных элементов литофилов (I), при дифференцированном распределении по разрезу толщи элементов группы металлов-сульфофилов (V) и неметаллов-сульфофилов (VI).

Au установлено на всех уровнях разреза угольного пласта с максимальными концентрациями (по результатам пробирного анализа) в нижней его части – до 4.6 г/т, при содержании в подугольных глинах – 0.49–1.9 г/т и в кровле угленосной толщи от 0.1 до 1.1 г/т. В верхних горизонтах угольного пласта основной минеральной формой Au являются Au–Ag твердые растворы. С увеличением глубины залегания пробность самородного золота увеличивается, появляются минералы Ag (самородное серебро, сульфиды и сульфо-селениды Ag). Ближе к подошве угольного пласта по частоте встречаемости преобладают частицы высокопробного самородного золота, а самородное серебро отмечается существенно реже. В самородном золоте и серебре нередко присутствует примесь Cu, реже Hg.

Наличие минералов БМ установлено также в прослоях и линзах глин в кровле угольного пласта, в которых минералы Ag количественно доминируют над минералами Au. Здесь также обнаружено медистое самородное золото с примесями Ag и Fe. Размеры частиц минералов Au и Ag в основном колеблются в пределах $n \cdot 10$ нм – 1–2 мкм, реже – 10–20 мкм, эпизодически до 1–2 мм.

Приведенные данные свидетельствуют о закономерном распределении в угленосной толще целого

Рис. 7. Распределения микроэлементов по разрезу угленосной толщи Ерковецкого бурогоугольного месторождения в карьере «Южный».

1 – глины темно-бурые, плотные, пластинчатые; 2 – угли бурые комковатые, трещиноватые, с глинистыми прослоями и линзами (3, 4); 5 – глины светло-серые, пластичные; 6 – пески светло-серые, среднезернистые. КК – концентрационные коэффициенты, определяемые как отношение содержания элемента к его кларку для данного типа породы. Группы элементов по миграционной способности по классификации А.И. Перельмана: I – катионогенные элементы литофилов: Li, Rb, Cs, Tl, Sr, Ba; II – катионо- и анионообразующие литофилы с постоянной валентностью: Be, Sc, PЗЭ, Ga, Ge; III – катионо- и анионообразующие литофилы с переменной валентностью: Ti, Zr, Hf, Th, Sn, V, Nb, Ta, Mo, W, U, Re; IV – анионообразующие литофилы: B, P, F, Br, I; V – металлы-сульфофилы: Cu, Ag, Au, Zn, Cd, Hg, In, Pb, Bi; VI – неметаллы-сульфофилы: As, Sb, Se, Te; VII – элементы-сидерофилы: Cr, Mn, Co, Ni, ЭПГ. (Цветная версия рисунка размещена на сайте журнала "Тихоокеанская геология" и в эл. библиотеке: elibrary.ru).

ряда элементов и минеральных комплексов. Наиболее четко это проявлено в разрезе угольного пласта. Нижняя часть его характеризуется повышенными концентрациями породообразующих элементов, литофилов, металлов-сульфофилов и неметаллов-сульфофилов. Общая схема подчеркивается распределением БМ, причем Au в повышенных концентрациях присутствует не только в низких частях разреза угольного пласта, но и в подстилающих его глинах.

В соответствии со степенью подвижности элементов [47], первыми при внедрении гидротермальных растворов в угленосную толщу осаждались элементы литофильной группы, обогащая угли малоподвижными элементами – Th, РЗЭ, Nb, Y, Hf, Ta, за ними, вверх по разрезу, – элементы, обладающие большей летучестью – As, Sb, Hg, Se и такие элементы, как Au, Ag, Pb, Sn, Pt. Наличие в углях повышенных концентраций As, Se и F свидетельствует о сложном многокомпонентном составе флюидных систем и стадийном процессе активности. При этом, ассоциация Au с As и с другими перечисленными выше элементами в углях указывает на генетическую связь ее с магматическим источником неглубокого залегания, что характерно для низкотемпературных малосульфидных эпитеpmальных месторождений (ниже 410°C). Подобный тип минерализации, связанный с внедрением глубинных углеводородных флюидов, установлен в Ванчинской впадине (грабене) Приморья [30].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные преобразования региона связаны со сменой этапа растяжения земной коры периода позднемезозойского рифтогенеза на одностороннее сжатие с юго-востока на северо-запад. Они обусловили образование крупных трансрегиональных долготных разломов, а также формирование новых локальных разрывов преимущественно северо-западного и широтного простирания с явно выраженными сдвиговыми смещениями.

Трансрегиональные разломы представляют собой зоны современной деструкции, которые трассируются очагами и групповыми концентрациями землетрясений с пульсационным характером дегазации и разгрузкой флюидов, динамика которых изучена в результате режимных наблюдений на Константиновском месторождении минеральных вод. Указанные зоны контролируют также размещение кайнозойского вулканизма. В системах Нэньцзян-Селемджинского, Хинганского, Тан-Лу и других разломов эффузивы выходят на поверхность в горно-складчатых областях обрамления Зейско-Буреинского ОБ, а в южной – погруженной части, вдоль сопряжения Нижнезейского

и Лермонтовско-Белогорского разрывов с тектоническими нарушениями северо-западного и широтного направления, они установлены на глубине 0.2–2 км в форме вертикальных высокоомных (100–250 Ом·м) образований.

В результате проведенного комплекса работ установлено, что площадь Ерковецкого буроугольного месторождения характеризуется сложной разрывной тектоникой. На поверхности Земли участки сопряжения разломов фиксируются полями разуплотнения и газовыми аномалиями He, H₂, CO₂ и тяжелых УВД. По этим показателям участки рассматриваются как структуры повышенной проницаемости, близкие по своим характеристикам к дренажным системам глубинной дегазации ОБ. Изучение их, с учетом расположения наиболее контрастной Варваровской аномалии, проведено в карьере «Южный». Полученные геохимические и минералогические данные свидетельствуют о закономерном распределении в угленосной толще целого ряда элементов и минеральных ассоциаций. Наиболее четко эта закономерность проявлена в разрезе угольного пласта. Нижняя половина его характеризуется повышенными концентрациями породообразующих элементов. В распределении микроэлементов вышеприведенная закономерность сохраняется с увеличением содержания к подошве пласта литофилов, металлов-сульфофилов и неметаллов-сульфофилов. Общая схема повышения концентраций большинства микроэлементов вниз по разрезу угленосной толщи подчеркивается распределением БМ. При этом Au в повышенных концентрациях присутствует не только в нижних частях разреза угля, но и в подстилающих его глинах.

В соответствии со степенью подвижности, первыми при внедрении гидротермальных растворов в угленосную толщу выделялись (осаждались) элементы литофильной группы, обогащая угли малоподвижными элементами – Th, РЗЭ, Nb, Y, Hf, Ta, за ними – элементы, обладающие большей летучестью – As, Sb, Hg, Se, а также Au, Ag, Pb, Sn, Pt. Наличие в углях повышенных концентраций As, Se и F свидетельствует о сложном многокомпонентном составе флюидных систем и стадийном процессе активности. При этом, ассоциация Au с As и с другими, указанными выше элементами в углях указывает на генетическую связь ее с магматическим источником неглубокого залегания, что характерно для низкотемпературных малосульфидных эпитеpmальных месторождений (ниже 410°C). Подобный тип минерализации, связанный с внедрением глубинных флюидов, установлен в Ванчинской впадине (грабене) Приморья.

Исследования выполнены при поддержке Программы «Дальний Восток» проект 5-I-2-024 «Нетрадиционные типы благородного и редкоземельного оруденения в кайнозойских терригенных и угленосных отложениях Дальнего Востока».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.А., Алексеева Н.Г. Связь азрозольных предвестников землетрясений и извержений вулканов с деформациями земной коры // Дегазация земли: геодинамика, геофлюиды, нефть и газ: Материалы конф. М: ГЕОС, 2002. С. 79–81.
2. Багдасарова М.В. Современный вулканизм – основной процесс дегазации Земли и формирования флюидогенных полезных ископаемых, в том числе нефти и газа // Дегазация Земли: геотектоника, геодинамика, геофлюиды, нефть и газ, углеводороды и жизнь: Материалы Всерос. конф. с междунар. участием, посвященной 100-летию со дня рождения акад. П.Н. Кропоткина, г. Москва, 18–22 октября 2010 г. М.: ГЕОС, 2010. С. 52–55.
3. Вернадский В.И. История минералов земной коры. Л.: Госхимиздат, 1934. Т. 2. История природных вод.
4. Виноградов А.П. Газовый режим Земли. Химия земной коры. М.: Недра, 1964. Т. 2.
5. Геологическая карта Приамурья и сопредельных территорий. 1:2 500 000: Объясн. зап. / Под. ред. Л.И. Красного. СПб-Благовещенск-Харбин, 1999. 135 с
6. Гумен А.М., Гусев А.П., Рудаков В.П. Подпочвенный водород–индикатор изменений напряженно-деформированного состояния земной коры асейсмичных районов // Докл. АН. 1998. Т. 359, № 3. С. 390–393.
7. Дербеко И.М., Рассказов С.В. Кайнозойский вулканизм в обрамлении восточного фланга Монголо-Охотского орогенного пояса // Кайнозойский континентальный рифтогенез: Материалы Всерос. науч. симпоз. с междунар. участием, посвященного памяти акад. РАН Н.А. Логачева в связи с 80-летием со дня рождения. Г. Иркутск, 7–11 июня 2010 г. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2010. Т. 1. С. 125–128.
8. Дмитриевский А.Н., Валяев Б.М. Углеродная дегазация Земли и генезис нефтегазовых месторождений: развитие идей П.Р. Кропоткина // Дегазация Земли: геотектоника, геодинамика, геофлюиды; нефть и газ; углеводороды и жизнь: Материалы Всерос. конф. с междунар. участием, посвященной 100-летию со дня рождения акад. П.Н. Кропоткина. г. Москва, 18–22 октября 2010 г. М.: ГЕОС, 2010. С. 3–5.
9. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М., Николаев В.В., Семенов Р.М. Буферные сейсмогенные структуры между Евразийской и Амурской литосферными плитами на юге Сибири // Тихоокеан. геология. 2003. Т. 22, № 6. С. 55–61.
10. Имаева Л.П., Имаев В.С., Козьмин Б.М. Сейсмогеодинамика Алдано-Станового блока // Тихоокеан. геология. 2012. Т. 31, № 1. С. 5–17.
11. Каплун В.Б. Геоэлектрический разрез литосферы юга Амуро-Зейского осадочного бассейна по результатам магнитотеллурических зондирований // Тихоокеан. геология. 2013. Т. 32, № 3. С. 3–20.
12. Киссин И.Г. Флюиды в земной коре: Геофизические и тектонические аспекты. М.: Наука, 2015. 328 с.
13. Климанов Е.В. Золото и платиноиды в Ангренском каолино-буроугольном месторождении: форма нахождения, условия накопления, перспективы освоения // Проблемы рудных месторождений и повышения эффективности геологоразведочных работ. Ташкент, 2003. С. 308–310.
14. Кропоткин П.Н. Дегазация Земли и геотектоника. М.: Наука, 1980. С. 7–13.
15. Кузьминых В.М., Сорокин А.П. Миграция и накопление золота при гипергенных процессах // Вестн. ДВО РАН. 2004. № 2. С. 113–119.
16. Куимова Н.Г., Сорокин А.П. Масштабы бактериального концентрирования золота в техногенных россыпях Верхнего Приамурья // Докл. АН. 2010. Т. 430, № 1. С. 94–98.
17. Леоненко Г.Н., Кончаков В.Н., Египов А.В. Зоны трещиноватости как элементы обмена веществом и энергией. Их отражение в геолого-геофизических системах // Дегазация Земли: геотектоника, геодинамика, геофлюиды; нефть и газ; углеводороды и жизнь: Материалы Всерос. конф. с междунар. участием, посвященной 100-летию со дня рождения акад. П.Н. Кропоткина, г. Москва, 18–22 октября 2010 г. М.: ГЕОС, 2010. С. 314–316.
18. Леонов Ю.Г. Характерные особенности строения и развития некоторых типов осадочных бассейнов // Осадочные бассейны: методика изучения, строение и эволюция / Под ред. Ю.Г. Леонова, Ю.А. Воложа. М.: Науч. мир, 2004. С. 38–60.
19. Лысак С.И., Дорофеев Р.П. Тепловой поток в кайнозойских рифтовых зонах Восточного Китая // Геология и геофизика. 2005. Т. 46, № 6. С. 667–680.
20. Лю Цзюци. Относительно формирования и эволюции континентальной рифтовой системы в Северо-Восточном Китае // Sci. Geol. Sinica. 1989. С. 210–216 (Пер. с кит.).
21. Минерально-сырьевая база Амурской области на рубеже веков / И.А. Васильев, В.П. Капанин, Г.П. Ковтонюк, В.Д. Мельников, В.Л. Лужнов, А.П. Данилов, А.П. Сорокин. Благовещенск, 2000. 168 с.
22. Молодые платформы восточной окраины Евразии (глубинное строение, условия формирования и металлогения) / Науч. ред. А.П. Сорокин. Владивосток: Дальнаука, 2013. 366 с.
23. Пат. 2249053 Российская Федерация, МПК7 С 22 В 11/00, 3/12, 3/24. Способ извлечения золота в золотосодержащем сырье / В.М. Кузьминых, Л.А. Чурсина, А. П. Сорокин; Амур. науч. центр ДВО РАН. № 2003129941; заявл. 08.10.03; опубл. 27.03.05, Бюл. № 9.
24. Печенкин И.Г. Рудогенез в нефтегазоносных бассейнах Центральной Азии // Дегазация Земли: геотектоника, геодинамика, геофлюиды; нефть и газ; углеводороды и жизнь: Материалы Всерос. конф. с междунар. участием, посвященной 100-летию со дня рождения акад. П.Н. Кропоткина, г. Москва, 18–22 октября 2010 г. М.: ГЕОС, 2010. С. 410–413.
25. Рассказов С.В., Чувашова И.С., Ясныгина Т.А., Феллов Н.Н., Саранина Е.В. Калиевая и калинатровая вулканические серии в кайнозое Азии. Новосибирск: Акад. изд-во «ГЕО», 2012. 351 с.
26. Родников А.Г., Забаринская Л.П., Сергеева Н.А. Дегазация Земли и формирование осадочных бассейнов на границе континент – океан // Дегазация Земли: геотектоника, геодинамика, геофлюиды; нефть и газ; углеводороды и

- жизнь: Материалы Всерос. конф. с междунар. участием, посвященной 100-летию со дня рождения акад. П.Н. Кропоткина, г. Москва, 18–22 октября 2010 г. М.: ГЕОС, 2010. С. 445–448.
27. Савиных Ю.В., Лукин А.Е., Донцов В.В. Роль глубинных флюидов в образовании месторождений нефти в коллекторах фундамента // Дегазация Земли: геотектоника, геодинамика, геофлюиды; нефть и газ; углеводороды и жизнь: Материалы Всерос. конф. с междунар. участием, посвященной 100-летию со дня рождения акад. П.Н. Кропоткина, г. Москва, 18–22 октября 2010 г. М.: ГЕОС, 2010. С. 476–478.
 28. Середин В.В. Au-PGE-минерализация на территории Павловского бурогоугольного месторождения // Геология руд. месторождений. 2004. Т. 46, № 1. С. 43–73.
 29. Середин В.В. Распределение и условия формирования благороднометалльного оруденения в угленосных впадинах // Геология руд. месторождений. 2007. Т. 49, № 1. С. 3–36.
 30. Середин В.В., Чекрыжов И.Ю. Новые данные о кайнозойском вулканизме и гидротермальной минерализации Ванчинской впадины (Приморье) // Проблемы геологии рудных месторождений, минералогии, петрологии и геохимии: Материалы науч. конф. посвященной 100-летию со дня рождения акад. Ф.В. Чухрова, г. Москва, 22–24 апреля 2008 г. М.: ИГЕМ РАН, 2008. С. 187–189.
 31. Сидоров В.А., Атанасян С.В., Багдасарова М.В. и др. Современные движения земной коры и нефтегазоносность (на примере Терско-Каспийского передового прогиба). М.: Наука, 1987. 118 с.
 32. Сидоров В.А., Богдарова М.В., Атанасян С.В. и др. Современная геодинамика и нефтегазоносность. М.: Наука, 1989. 200 с.
 33. Соловов А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1985. 294 с.
 34. Сорокин А.П., Сорокина А.Т., Артеменко Т.В. Зоны термотектогенеза и некоторые вопросы метаморфизма углей // Проблемы угольной геологии Востока СССР. Владивосток: ИТиГ ДВО АН СССР, 1990. С. 131–138.
 35. Сорокин А.П., Чантурия В.Н., Рождествина В.И., Кузьминых В.М., Жмодик С.М. Нетрадиционные типы благороднометалльного, редкометалльного и редкоземельного оруденения в угленосных бассейнах Дальнего Востока // Докл. АН. 2012. Т. 446, № 6. С. 672–676.
 36. Сорокин А.П., Рождествина В.И., Кузьминых В.М., Жмодик С.М., Аношин Г.Н., Митькин В.Н. Закономерности формирования благородно- и редкометалльного оруденения в кайнозойских угленосных отложениях юга Дальнего Востока // Геология и геофизика. 2013. Т. 54, № 7. С. 876–893.
 37. Сорокин А.П., Малышев Ю.Ф., Каплун В.Б., Сорокина А.Т., Артеменко Т.В. Основные черты эволюции и глубинного строения Зейско-Буреинского и Сунляо осадочных бассейнов // Тихоокеан. геология. 2013. Т. 32, № 2. С. 3–19.
 38. Сорокин А.П., Каплун В.Б., Малышев Ю.Ф., Сорокина А.Т., Артеменко Т.В. Геолого-геофизическая интерпретация результатов детальных геофизических исследований Нижнезейской области Зейско-Буреинского осадочного бассейна // Тихоокеан. геология. 2015. Т. 34, № 1. С. 34–48.
 39. Сорокина А.Т., Сорокин А.П., Серов М.А., Попов А.А. Разломно-блоковые структуры восточной окраины Амурской литосферной плиты, их сейсмичность и флюидный режим // Тихоокеан. геология. 2011. Т. 30, № 1. С. 16–29.
 40. Сывороткин В.Л. Экологические аспекты дегазации Земли. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998. 57 с.
 41. Уткин В.П. Глобальные сдвиговые системы и горизонтальные перемещения континентов // Вестн. ДВО РАН. 1994. № 4. С. 23–37.
 42. Уткин В.П. Сосдвиговая деструкция восточной окраины Азии и ее роль в формировании вулканоплутонических поясов, эпиконтинентальных осадочных бассейнов и окраинных морей // Докл. АН. 2009. Т. 426, № 6. С. 786–790.
 43. Уткин В.П. Сдвиговый структурный парагенез и его роль в континентальном рифтогенезе Восточной Окраины Азии // Тихоокеан. геология. 2013. Т. 32, № 3. С. 21–43.
 44. Хаин В.Е. Региональная геотектоника. Внеальпийская Азия и Австралия. М.: Недра, 1979. 358 с.
 45. Шерман С.И., Сорокин А.П., Савитский В.А. Новые методы классификации сейсмоактивных разломов литосферы по индексу сейсмичности // Докл. АН. 2005. Т. 401, № 3. С. 395–398.
 46. Шерман С.И., Сорокин А.П., Сорокина А.Т., Горбунов Е.А., Бормотов А.А. Новые данные об активизации разломов и зонах современной деструкции литосферы Приамурья // Докл. АН. 2011. Т. 439, № 5. С. 685–691.
 47. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимические и минералогические индикаторы вулканогенных продуктов в осадочных толщах. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 412 с.
 48. Якуцени В.П. Динамика современной дегазации Земли по данным гелиево-изотопного критерия // Дегазация Земли и геотектоника. М.: Наука, 1980. С. 49–54.
 49. Яницкий И.Н. Гелиевая съемка. М.: Недра, 1979. 96 с.
 50. Belkin H.E. Mineralogy and speciation of arsenic in coals of the Upper Permian Longtan Formation. Guizhou Province, P.R. China // GSA Abstr. Toronto. 1998. P. A59.
 51. Bostick N.H. Time as a factor in the thermal metamorphism of phytoclasts (coaly particles) // C. R. Congr. Int. Strat. Geol. Carbon 2. 1973. P. 183–193.
 52. Ketris M.P., Yudovich Ya.E. Estimations of clarkes for carbonaceous biolithes: World averages for trace element contents in black shales and coals // Intern. J. Coal Geol. 2009. V. 78. Iss. 2. P. 135–148.
 53. Sherman S.I., Dem'yanovich V.M., Lysak S.V. Active faults, seismicity and fracturing in the lithosphere of the Baikal rift system // Tectonophysics. 2004. V. 380, N 3–4. P. 261–272.
 54. Suggate R.P., Isaac M.J. Depths of burial of eastern Southland lignites estimated from their moisture contents // N. Z. J. Geol. Geophys. 1990. P. 33. 163–180.
 55. Wang Y., Chen H. Tectonic controls on the Pleistocene-Holocene Wudalianchi volcanic field (northeastern China) // J. Asian Earth Sci. 2005. V. 24. P. 419–431.
 56. Zhang M., Suddaby P., Thompson R.N. et al. Potassic rocks in NE China: geochemical constraints on mantle source and magma genesis // J. Petrol. 1995. V. 36, N 5. P. 1275–1303.
 57. Zhang M., Suddaby P., O'Reilly S.Y. Nature of the lithospheric mantle beneath the eastern part of the Central Asian fold belt: mantle xenoliths evidence // Tectonophysics. 2000. V. 328. P. 131–156.

A.P. Sorokin, A.T. Sorokina, V.B. Kaplun, V.I. Rozhdestvina, A.A. Popov, T.V. Artyemenko

The structures of degassing and fluid transport within the modern zones of the lithosphere destruction in the eastern margin of the Central Asian fold belt

The modern geodynamic reformations of the Amur geoblock are related with an activation of the spreading-transcurrent and solely transcurrent movements. These movements resulted in the formation of destruction zones along the systems of the ancient transregional faults (the Nenjiang-Selemdzha, Lermontovka-Belogorsk, West Turan, Khingan, Tan-Lu and other zones) and young fractures of NW and WE trending with distinctly manifested shearing displacements. These processes are fixed by the temporary episodes of earthquakes, hearth magmatism, pulsing degassing character of the earth interior and fluid discharge. The drainage systems of deep degassing were the structures of high permeability confined to the conjugation areas of the destruction zones and young fractures. These structures are traced through the fields of decompaction and the He and other gases anomalies. The most contrasting Varvarovka anomaly is located in the northeastern flank of the Yerkovtsy brown coal deposit. The Paleogene coal-bearing strata studied in the «Yuzhny» quarry within this deposit are characterized by high concentrations of noble, rare metals and rare earth elements which frequently exceed the abundance ratios by ten orders. Au content in coals according to the results of assay analysis varies from the trace indices to 4.6 ppm.

Key words: zone of lithosphere destructions, systems of degassing and fluid transport, high permeability structures, brown coals, helium anomalies, ore formation, Central Asian fold belt.