

УДК 551.242.1+553.96:54(571.56/.6)

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КАЙНОЗОЙСКИХ МЕТАЛЛОНОСНЫХ УГЛЕНОСНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ЗЕЙСКО-БУРЕЙНСКОМ ОСАДОЧНОМ БАССЕЙНЕ (ВОСТОЧНАЯ СИБИРЬ): ТЕКТОНИЧЕСКАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

© А.П. Сорокин<sup>1,2\*</sup>, А.А. Конюшок<sup>1,2</sup>, В.М. Кузьминых<sup>2</sup>, Т.В. Артеменко<sup>1</sup>, А.А. Попов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии и природопользования ДВО РАН, 675000, Благовещенск, пер. Речной, д. 1

<sup>2</sup>Амурский научный центр ДВО РАН, 675000, Благовещенск, пер. Речной, д. 1

\*e-mail: amurnc@ascnet.ru

Поступила в редакцию 19.03.2018 г.; после доработки 14.05.2018 г.; принята к публикации 27.11.2018 г.

Проанализировано распределение минерализации благородных металлов, редких металлов и редкоземельных элементов в палеоценовых и нижне-среднемиоценовых углях Зейско-Буреинского бассейна. Выполнена реконструкция формирования бассейна в мезозое и кайнозое с детальным палеогеографическим анализом кайнозойских угленосных толщ с позиций геодинамических особенностей развития сопряженных территорий. Детально рассмотрены геологические события на рубеже мела и палеогена. Проведен комплексный анализ металлоносности обрамления бассейна. Показано, что условия миграции и локализации микроэлементов возникали преимущественно в процессе геодинамики региона, развивавшейся на северо-западном фланге Зейско-Буреинского бассейна в обстановке статичного состояния орогенов в палеоцене—миоцене, и активного расширения области седиментации.

Миграция микроэлементов происходила, захватывая денудационные равнины, в устойчивых процессах торфонакопления и локализации полезных компонентов в сопряженных с равнинами водотоках. Высокая динамическая активность района на юго-восточной окраине Зейско-Буреинского бассейна обусловила контрастные формы сопряжения в системе впадина—поднятие и неравномерный характер локализации микроэлементов. Установлено, что золото присутствует по всему разрезу палеоценовых и нижне-среднемиоценовых угленосных отложений Сергеевского, Ерковецкого и Райчихинского месторождений. Угли Сергеевского месторождения обогащены бериллием, скандием, ванадием, галлием, рубидием, ниобием, танталом, иттрием и редкоземельными элементами.

*Ключевые слова:* тектоническая реконструкция, Зейско-Буреинский осадочный бассейн, горно-складчатое обрамление, угленосные комплексы в мезозое—кайнозое, благородные и редкие металлы, редкоземельные элементы

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S0016-853X2019233-45>

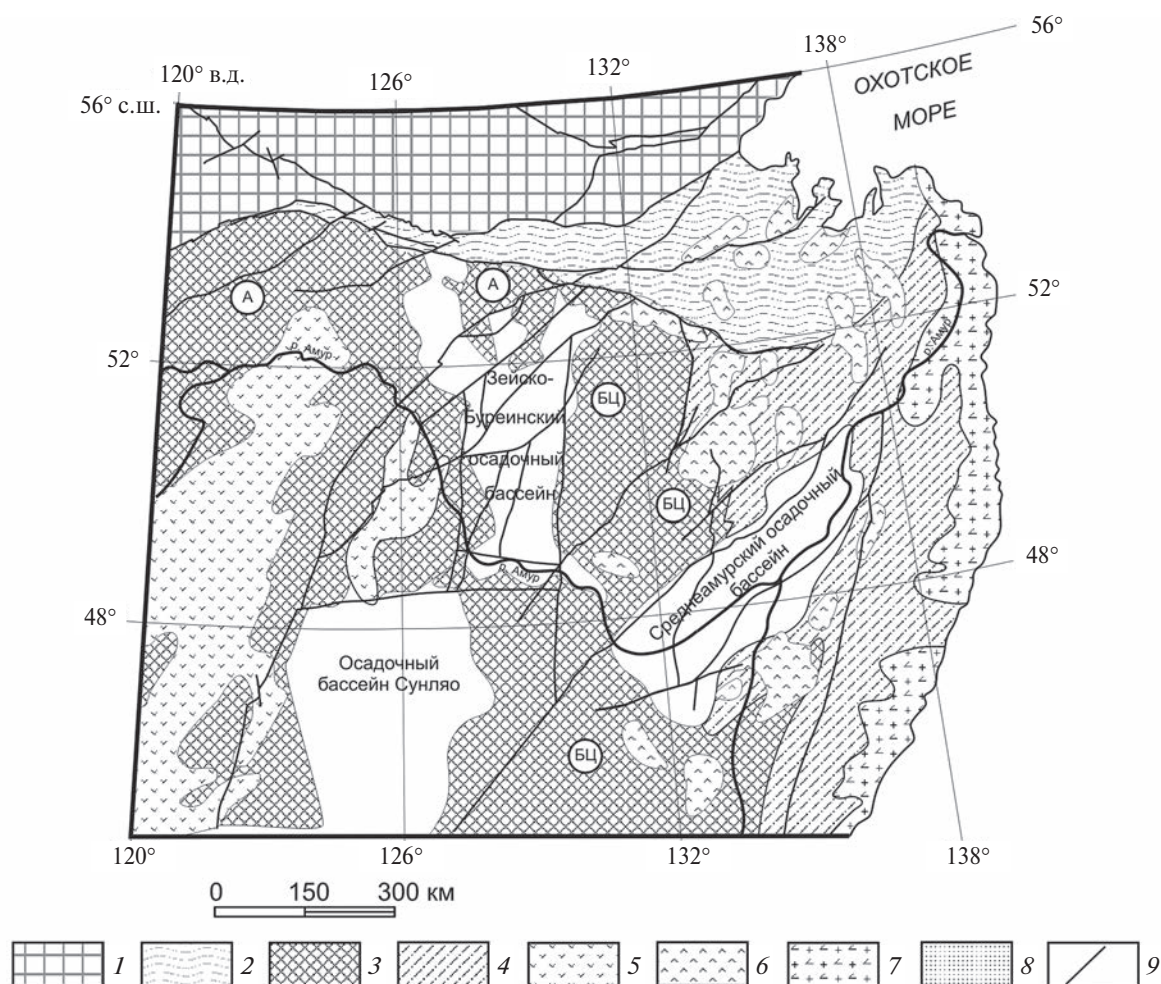
### ВВЕДЕНИЕ

Зейско-Буреинский бассейн — одна из крупнейших мезозой-кайнозойских структур Восточной Азии, которая располагается на более древних разнородных блоках Центрально-Азиатского орогенного пояса. На западе Зейско-Буреинский бассейн ограничен вулcano-плутоническим поясом Большого Хингана, на севере — позднемезозойскими образованиями Монголо-Охотского пояса, Гонжинским и Октябрьским блоками Аргунского супертеррейна, на юге и востоке он ограничен Цзямусы-Буреинским континентальным блоком (рис. 1).

В структуру комплексов, из которых состоит Зейско-Буреинский бассейн, входят бурогольные

месторождения, к которым приурочена благороднометалльная, редкометалльная и редкоземельная минерализации [25].

В статье рассмотрены тектонические обстановки формирования угленосных структур Зейско-Буреинского бассейна в зонах их сопряжения с обрамляющими горно-складчатыми сооружениями. В зонах сопряжения были детально изучены строение и вещественный состав кайнозойских угленосных толщ, распределение благородных металлов, редких металлов и редкоземельных элементов, проанализирована палеогеографическая и тектоническая обстановка с учетом степени подвижности горного обрамления и его металло-генические особенности.



**Рис. 1.** Геологическая позиция Зейско-Буреинского осадочного бассейна среди основных структур Восточной Азии (с использованием данных [4], с дополнениями и изменениями).

Супертеррейны: А — Аргунский, БЦ — Буреинско-Цзямусинский.

1 — геологические образования южного обрамления Северо-Азиатского кратона (AR, PR, PZ, MZ); 2 — палеоокеанические комплексы Монголо-Охотского пояса (PZ-MZ<sub>1</sub>); 3 — геологические образования супертеррейнов (континентальных массивов) восточной части Центрально-Азиатского орогенного пояса (E<sub>3</sub>, PZ, MZ); 4 — породы аккреционного клина (J, K<sub>1</sub>); 5–7 — вулканоплутонические пояса: 5 — Бальшехинганский (J<sub>3</sub>-K<sub>1</sub>), 6 — Хингано-Охотский (K<sub>1</sub>-K<sub>2</sub>), 7 — Восточно-Сихотэ-Алинский (KZ<sub>1</sub>); 8 — впадины (MZ-KZ); 9 — главные разломы

Целью статьи является анализ распределения металлоносных угленосных образований в Зейско-Буреинском осадочном бассейне, рассмотрение особенностей тектоники и его строения, проведение палеогеографического анализа.

### ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Масштабные исследования рудоносности угленосных отложений были начаты в 1980-х годах. За это время благородные металлы были выявлены в угленосных бассейнах Сибири, Забайкалья, Дальнего Востока в России, в угленосном бассейне Южного Уэльса в Великобритании, в Ангренском угленосном бассейне Узбекистана, в провинции Гуйжоу в Китайской Народной Республике и в других странах. Проведено изучение состава полезных компонентов в углях, генетических типов

оруденения и их связи с геодинамическими обстановками, исследованы формы нахождения металлов в углях, их миграция, физико-химические процессы взаимодействия металлов с органическим веществом [1, 2, 14, 33, 35, 40, 42, 43, 46, 50].

Выявлена связь повышенной металлоносности угленосных структур с процессом углеобразования и гидротермальной активностью, также выявлена связь редкоземельных элементов с органическим веществом углей [21, 36, 38]. Ранее нами установлены закономерности локализации благородных и других металлов в угленосных структурах при сингенетических условиях осадко- и торфонакопления [25].

Основные месторождения угля на Дальнем Востоке России содержат благородные металлы, скандий, галлий, германий, рубидий, стронций, цезий, цирконий, редкоземельные элементы [3].

## ТЕКТОНИЧЕСКАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ

Образование Зейско-Буреинского бассейна происходило в крупной зоне растяжения на Северо-Восточной окраине Азии, вытянутой вдоль границы континент—океан, в которой в позднем мезозое начали формироваться Зейско-Буреинский, Сунляо, Фусинь, Бохайвань грабены Восточно-Азиатского внутриконтинентального рифтогенного пояса [18, 30]. В поздней юре и раннем мелу геодинамическая эволюция данных структур была связана со становлением континентальной окраины трансформного типа в процессе субдукции плиты Изагаги под Азиатский континент, которая сопровождалась в пределах Амурского композитного массива активным рифтогенезом [4, 15, 41, 45].

В Зейско-Буреинском регионе процессы рифтогенеза привели к формированию ряда содвиговых структур растяжения (грабенов), таких как Приамурская, Зейско-Селемджинская, Екатеринославская и Архаринская, которые приурочены к крупным трансрегиональным и региональным разломам (Дэду-Даань—Белогорский, Нэньцзян—Селемджинский, Нижнезейский, Лермонтовско—Белогорский, Западнотуранский, Тан-Лу и другие) (рис. 2). В данных грабенах в берриасе—барреме происходили излияния эффузивов основного, среднего, кислого состава (более 1500 м). В апт—альбе грабены были преобразованы в зоны устойчивого прогибания (депрессии), в которых проходило накопление молассовых толщ (до 800 м), сложенных песчаниками, конгломератами и глинами с пластами бурых углей итикутской и поярковской свит [24].

Дальнейшее развитие Зейско-Буреинского бассейна в позднем мелу связано с формированием маастрихт—палеоценовых отложений цагайанской серии, которые мы разделили на три свиты:

- удурчуканская (маастрихтский ярус),
- буреинская (маастрихтский ярус),
- дармаканская (датский ярус).

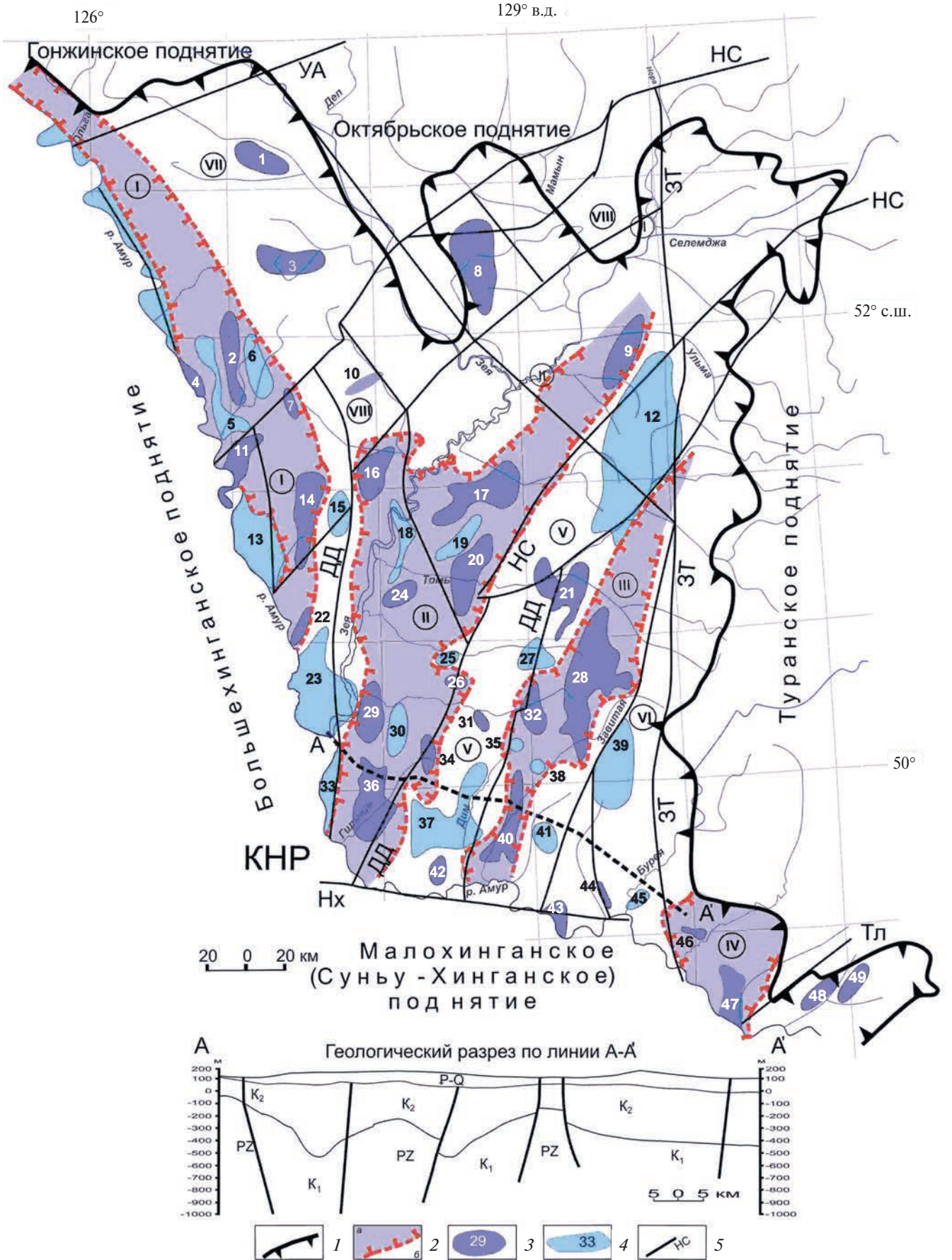
На границах между выделенными свитами установлены стратиграфические перерывы в осадконакоплении [23]. С образованием удурчуканской и буреинской свит связано резкое расширение области седиментации и вовлечение в прогибание междепресссионных пространств и обрамления бассейна. Эти события происходили при усилении процессов прогибания в пределах Зейско-Селемджинской и Екатеринославской депрессий, в которых в маастрихте формировались песчано-глинистые осадки, реже — гравийники и галечники (до 400—450 м) при существенных литологических отличиях на окраине Зейско-Буреинского бассейна. На северной и северо-западной окраине бассейна вдоль выровненных Большехинганского, Гонжинского и Октябрьского поднятий накапливались в процессе переотложения кор выветривания химического типа преимущественно,

песчано-глинисто-алевритовые толщи (100—150 м), на восточной окраине вдоль Туранского массива при контрастных формах сопряжения с областью сноса формировались песчаники, галечники, конгломераты мощностью до 250 м.

Высокая тектоническая нестабильность Туранского сводово-глыбового поднятия, орогенный режим которого начал развиваться в позднем мезозое, привела к существенным различиям в осадконакоплении. Амплитуды вертикальных движений Туранского сводово-глыбового поднятия за неоген—четвертичный период составляют 1000—2000 м [29]. В Зейско-Буреинском бассейне участки, прилегающие к Туранскому сводово-глыбовому поднятию, характеризуются высокими значениями роста поднятия — от 15 до 25 мм/год [20].

Мы полагаем, что существовавшие в меловой период тектонические структуры были преобразованы в современные морфоструктуры. Зейско-Буреинский осадочный бассейн сформировался как крупная озерно-аллювиальная равнина, которая контрастно сопряжена с Туранским горно-складчатым сооружением, а с Большим Хинганом, Гонжинским и Октябрьским поднятиями она сопряжена в пологой форме через систему поверхностей выравнивания. В пределах данной озерно-аллювиальной равнины в мелу возникла гидросеть, соответствующая современной [28]. На западной окраине равнины располагался палео-Амур, его долина прослеживалась по прогибам, выполненным аллювиальными отложениями поярковской свиты в Тараконском, Корсаковском и Сычевском прогибах. Центральную часть озерно-аллювиальной равнины дренировали реки палео-Зей и палео-Селемджа, которые находились в зонах устойчивого прогибания (см. рис. 2).

После завершения процесса позднемезозойского рифтогенеза наиболее крупные структурные преобразования в пределах Амурского композитного массива были связаны с движениями Евразийской и Индийской плит. Скорость движения Индийской плиты на север в конце мела—начале раннего кайнозоя достигала 15 см/год [39, 51]. Движения плит привели к смене режима широтного растяжения земной коры на одностороннее сжатие с юго-востока на северо-запад. В Сунляо с режимом сжатия связано формирование локальных структур северо-восточного простирания, а на границе с Зейско-Буреинским бассейном — образование Сунью-Хинганского поднятия Малого Хингана и активизации трансрегиональных разломов, которые служили каналами излияния эффузивов основного состава. Сунью-Хинганское поднятие разделило Зейско-Буреинский осадочный бассейн и впадину Сунляо и, в соответствии с изменившимся региональным полем тектонических напряжений, сформировалось в виде асимметричной структуры (горста) с пологим юго-восточным и крутым северо-западным склонами, что обусловило создание на южной границе Зейско-Буреинского бассейна



зоны контрастного сопряжения в системе впадина—поднятие.

Вдоль обрамления этого поднятия в палеоцене сформировался комплекс преимущественно гравийно-песчано-галечных отложений дармаканской свиты (мощностью до 100 м) (см. рис. 2), который севернее, в направлении к центральной части Зейско-Буреинского бассейна, сменяется псаммитовыми и пелитовыми породами аллювиальных и озерно-болотных фаций, вмещающих Ерковецкое, Райчихинское и Архаро-Богучанское бурогольные месторождения.

Формирование крупной угленосной формации в раннем и среднем миоцене происходило в палеогеографических условиях, близких к палеоценовым. Приамурская, Зейско-Селемджинская и Екатеринославская депрессии представляли собой области аккумуляции песчано-гравийных отложений бузулинской свиты (до 100 м). Вдоль западной и северо-западной окраин бассейна, примыкающих к выровненному подножью горных сооружений Большого Хингана, Гонжинского и Октябрьского поднятий, формировались преимущественно глинисто-алеврито-песчаные отложения мощностью 40–50 м. В этом регионе расположены Свободное, Сергеевское и Тыгдинское бурогольные месторождения (рис. 3).

В зоне сопряжения Зейско-Буреинского осадочного бассейна с Туранским горно-складчатым сооружением в раннем и среднем миоцене были значительно развиты приразломные прогибы асимметричной формы, вытянутые вдоль горного обрамления. В разрезе бузулинской свиты в этих прогибах преобладают русловые, дельтовые и пролювиальные существенно глинистые образования с гравием, гальками и щебнем (до 50 м). Бурье

угли в них приурочены к верхним и нижним частям разреза, слагая в изолированных прогибах до семи пластов и пропластков угля мощностью от сантиметров до 10.6 м (см. рис. 3).

Тектонические особенности развития горно-складчатого обрамления определяют различия условий формирования кайнозойских угленосных отложений Зейско-Буреинского осадочного бассейна. Вдоль мобильного Туранского поднятия их образование было связано с аллювиально-пролювиальным комплексом предгорных равнин. Формирование угленосных отложений в палеогене и неогене происходило в озерах и болотах на северо-западном фланге осадочного бассейна в условиях выровненного рельефа поверхности у подножья статичных структур обрамления.

### ЗОНЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РУДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОРОДАХ ОБРАМЛЕНИЯ

При проведении исследования рудоносности обрамления Зейско-Буреинского осадочного бассейна мы анализировали геологические структуры, содержащие благородные и редкие металлы, другие полезные ископаемые, глубину эродированности геологических тел, условия высвобождения минералов из пород обрамления в процессе химического и физического выветривания. Полезные ископаемые, месторождения, рудопроявления, россыпи, шлиховые ореолы и шлихи, обогащенные золотом, редкими металлами и редкоземельными элементами, послужили минерагенической основой, которая позволила обосновать схему обогащения каустобиолитов ценными минеральными комплексами из орогенных структур Зейско-Буреинского осадочного бассейна [6–13] (рис. 4).

**Рис. 2.** Структурно-тектоническая схема Зейско-Буреинского бассейна (с использованием данных [24], с изменениями и дополнениями).

Граница Российской Федерации и Китайской Народной Республики проходит по р. Амур.

Отрицательные структуры I порядка (грабены): I — Приамурская, II — Зейско-Селемджинская, III — Екатеринославская, IV — Архаринская.

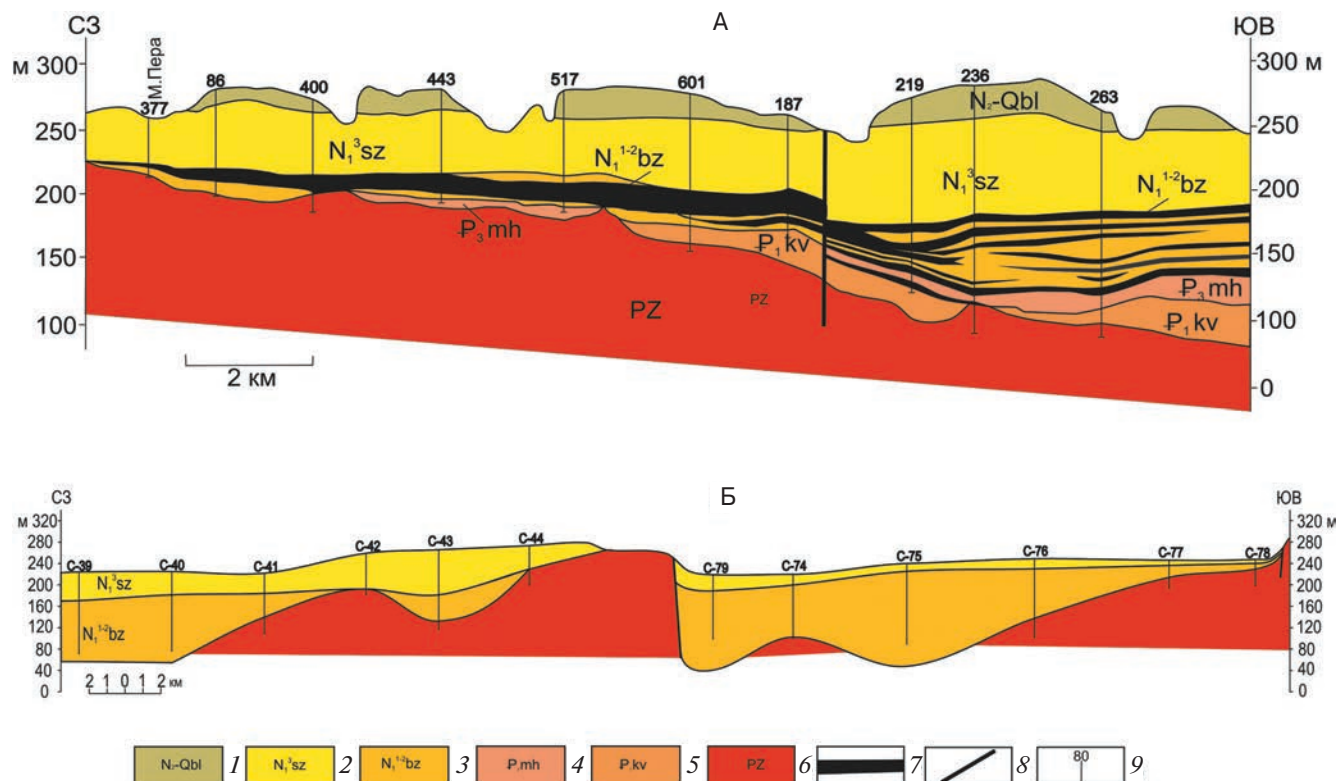
Положительные структуры I порядка (горсты): V — Завитинско-Майкурская, VI — Притуранская, VII — Тыгдинская, VIII — Амуро-Мамынская.

Структуры II порядка (прогибы и поднятия): 1 — Усть-Тыгдинский, 2 — Тараконский, 3 — Мухинский, 4 — Курмаро-Ушаковский, 5 — Алексеевское, 6 — Новогеоргиевское, 7 — Актайский, 8 — Гарьский, 9 — Колмогоровский, 10 — Каменско-Селетканский, 11 — Корсаковский, 12 — Майкурское, 13 — Петропавловское, 14 — Сычевский, 15 — Костюковское, 16 — Спасовский, 17 — Сапроновский, 18 — Лебяжье-Буреинское, 19 — Борисопольское, 20 — Белогорский, 21 — Ромненский, 22 — Сергеевский, 23 — Благовещенское, 24 — Комиссаровский, 25 — Николаевское, 26 — Константиноградский, 27 — Поздеевское, 28 — Романовский, 29 — Дмитриевский, 30 — Успенское, 31 — Песчаноозерский, 32 — Екатеринославский, 33 — Гродековское, 34 — Козьмодемьяновский, 35 — Западно-Албазинское, 36 — Лермонтовский, 37 — Полтавско-Ильинское, 38 — Восточно-Албазинское, 39 — Тюканское, 40 — Михайловский, 41 — Воскресеновское, 42 — Новопетровский, 43 — Куприяновский, 44 — Асташихинский, 45 — Украинское, 46 — Архаринский, 47 — Южно-Архаринский, 48 — Мутнинский, 49 — Удурчуканский.

Геологический разрез по линии А—А'.

Комплексы чехла Зейско-Буреинского бассейна: K<sub>1</sub> — рифтогенный (верхняя часть), K<sub>2</sub> — платформенный, P-Q — неотектонический, PZ — фундамент.

1 — Зейско-Буреинский бассейн; 2 — границы структур I порядка: а — отрицательных, б — положительных; 3 — прогибы (структуры II порядка); 4 — поднятия (структуры II порядка); 5 — системы трансрегиональных и региональных разломов: УА — Ундуршули-Аргунская, НС — Нэньцзян-Селемджинская, ДД — Дэду-Даань-Белогорская, Тл — Танлу, ЗТ — Западно-Туранская, Нх — Намуэрхэ



**Рис. 3.** Соотношение кайнозойских структур и угленосности Зейско-Буреинского бассейна:

А — пологие склоны Петропавловско-Благовещенского поднятия (западная окраина);

Б — зона сопряжения с Туранским поднятием (северо-восточная окраина).

1–5 — свиты: 1 — белогорская, 2 — сазанковская, 3 — бузулинская, 4 — мухинская, 5 — кивдинская; 6 — до-мезозойский фундамент; 7 — бурые угли (на разрезе 2 угленосные пачки показаны вне масштаба); 8 — разломы; 9 — буровые скважины

Комплексы горных пород горно-складчатого обрамления бассейна различаются по возрасту, структурно-вещественному составу, оруденению и металлогеническим особенностям. Гонжинскому и Октябрьскому массивам, Большому Хингану свойственна благородная и редкоземельная минерализация, связанная с мезозойской активизацией региона, что отличает их от глубоко эродированного Туранского массива с широко развитой россыпной золотоносностью [4, 13, 32]. Проведя анализ данных свойств и различий, мы разделили орогенные сооружения Зейско-Буреинского осадочного бассейна на Северо-западную, Восточную и Северо-восточную зоны (см. рис. 4).

### Северо-западная зона

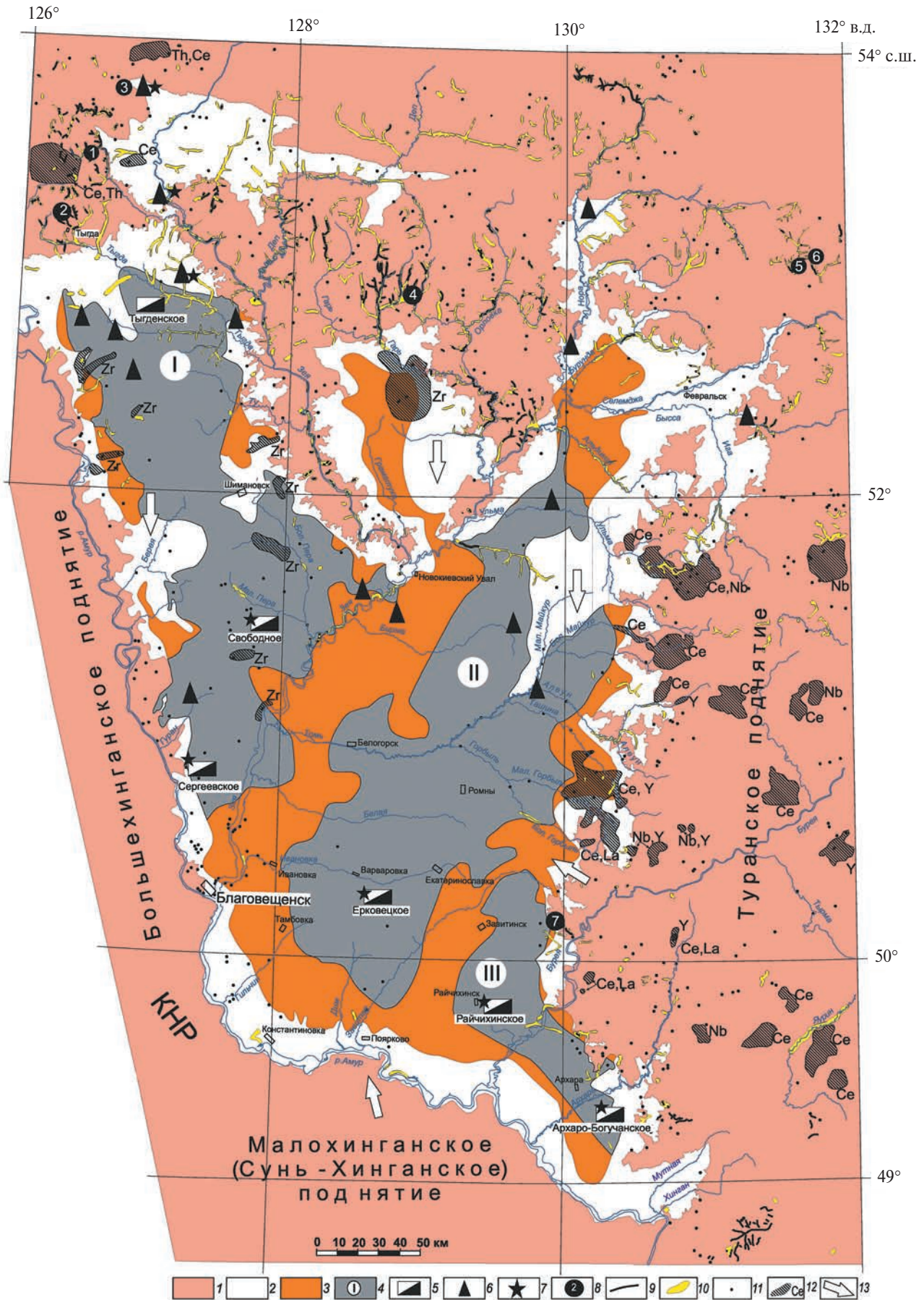
Основной металлогенический профиль Северо-западной зоны формируют позднемезозойские вулканогенно-плутонические комплексы, с которыми связаны золоторудные и золотосеребряные месторождения, такие как Покровское, Пионер, Бурундинское и другие (см. рис. 4) [7–9, 32]. Вулканогенно-плутонические комплексы развиты вдоль обрамления Гонжинского, Октябрьского массивов и в пределах Восточно-Азиатского вулканогенно-плутонического мегаареала на территории Китайской Народной Республики [31].

Золото в рудах данных месторождений преимущественно мелкое (0.001–0.1 мм), встречается в губчатой форме, в виде тонких пластинок или

**Рис. 4.** Морфоструктурная схема Зейско-Буреинского бассейна в палеоцене, среднем и нижнем миоцене с элементами минерагии областей обрамления.

Граница Российской Федерации и Китайской Народной Республики проходит по р. Амур.

1 — горно-складчатое обрамление бассейна; 2 — денудационная равнина; 3 — аллювиальная равнина; 4 — угленосные площади: I — Пиканско-Сергеевская, II — Селемжинско-Ерковецкая, III — Завитинско-Архаринская; 5 — месторождения бурых углей; 6 — углепроявления; 7 — места опробованных пластов угля; 8 — золоторудные месторождения (1 — Пионер, 2 — Покровское, 3 — Боргуликанское, 4 — Инканское, 5 — Маломырское, 6 — Кварцитовое, 7 — Прогнозное); 9 — россыпи золота; 10 — шлиховые ореолы золота; 11 — шлиховые пробы, обогащенные золотом; 12 — шлиховые ореолы, обогащенные редкими и редкоземельными элементами; 13 — направление морфоструктурных перекосов поверхности



чешуек, иногда — в виде проволочек, реже — зернистое. Высвобождение золота из коренных источников наиболее интенсивно протекало в позднем мезозое и раннем-среднем кайнозое [25] в процессе выветривания. При размыве и переотложении кор выветривания в палеоцене, миоцене, плиоцене и квартере происходило образование россыпей золота в долинах палеорек Тыгда, Ольга, Улунга, Гарь, Орловка, Деп, Большой Чукаан, Большая и Малая Пера, переносивших рудные и акцессорные минералы с редкими металлами и редкоземельными элементами на аллювиальную равнину, на периферии которой формировались крупные торфяники. В современных условиях обогащение углей золотом происходит за счет четвертичных косовых и террасовых россыпей по рекам Зея, Селемджа, Амур и их притокам, по которым растворенное и тонкопластинчатое золото перераспределяется с помощью поверхностных и грунтовых вод.

Позднемезозойские вулканогенные образования Северо-западной зоны обрамления Зейско-Буреинского осадочного бассейна характеризуются повышенными концентрациями:

- барий 820 г/т,
- рубидий 92 г/т,
- торий 8.45 г/т.

Вулканогенным образованиям Северо-западной зоны свойственны низкие содержания:

- лантан 18 г/т,
- иттербий 0.42 г/т,
- иттрий 4.8 г/т.

Нижнемеловые вулканы андезитового (талданского) комплекса в пределах Гонжинского массива обогащены:

- барий 360 г/т,
- рубидий 37 г/т,
- торий 7.7 г/т,
- стронций 447 г/т.

В нижнемеловых вулканитах присутствуют легкие и тяжелые редкоземельные элементы суммарно 156.6 г/т, на фоне которых отмечаются минимумы:

- ниобий 4 г/т,
- тантал 0.34 г/т,
- никель 20 г/т,
- иттрий 16 г/т.

Подобные особенности редкометалльного и редкоземельного обогащения вулканитов характерны также для Восточно-Азиатского вулканогенно-плутоногенного мегаареала Большого Хингана.

Таким образом, в Северо-западной зоне обрамления Зейско-Буреинского бассейна накопление благородных, редких металлов и редкоземельных элементов в отложениях осадочных кайнозойских формаций Пиканско-Сергеевской угленосной площади проходило по палео-системам рек Амур, Зея и Селемджа, однако их распределение и локализация происходили в долинах низкопорядковых водотоков, в которых находятся наиболее крупные месторождения и проявления бурых углей (см. рис. 4).

Основными каналами поступления металлов в угли служили долины этих палеорек в период от палеоцена до миоцена с одновременным прогрессивным развитием речной сети и увеличением области размыва пород обрамления, переотложением и накоплением ценных металлов из разнообразных и разновозрастных источников. Поступление благородных и редких металлов происходило в растворенной форме с последующей сорбцией растениями-углеобразователями или в виде ультратонких частиц.

Нами исследовано распределение благородных и редких металлов в разрезе углей разных месторождений Зейско-Буреинского бассейна. Для Сергеевского, Тыгинского и Свободного месторождений бурого угля характерны концентрации золота в углях в пределах от 1 до 2 г/т. Редкие металлы в углях Сергеевского месторождения характеризуются высоким содержанием:

- иттрий 21.9 г/т,
- бериллий 4.2 г/т.

Редкие металлы данного месторождения имеют повышенные концентрации преимущественно в подошве угольного пласта:

- литий до 66.1 г/т,
- галлий до 41.9 г/т,
- цезий до 10.6 г/т,
- цирконий до 102.3 г/т.

При равномерном распределении по пласту содержания:

- рубидий 37.7 г/т,
- ниобий 10.6 г/т,
- тантал 0.7 г/т.

Для бурых углей Сергеевского месторождения характерно высокое (до 165 г/т) среднее значение суммы редкоземельных элементов (РЗЭ) при средней зольности сырого угля 18.5%. В нижней части пласта углям также свойственны высокие отношения содержаний сумм легких и тяжелых редкоземельных элементов  $\geq 5$  раз и отношение нормированных по хондритам [37] содержаний индикаторных элементов  $La_N/Yb_N \geq 15$  раз. Подобные величины отношения характерны для углей, образующихся при привнесении РЗЭ с терригенным материалом из кор выветривания по кислым породам. Таким образом, основными источниками поступления рудных компонентов в нижне- и среднемиоценовые угленосные отложения могли служить гранитоиды кислого состава с избытком кремнезема, расположенные в пределах Большого Хингана [49], в которых известны золоторудные месторождения. Распределение суммы РЗЭ в песках русловых отложений среднего течения реки Зея от 106.9 до 222.2 г/т при дифференцированной величине  $La_N/Yb_N = 9.9-16.4$  аналогично значениям распределения РЗЭ 11.3–34.5 в бурых углях Сергеевского месторождения, что является свидетельством общего источника детритового материала, поступавшего в миоцене в палео-болота северо-западной части Пиканско-



Сергеевской угленосной площади и русло реки палео-Зея [26].

В верхней части угольного пласта Сергеевского месторождения в пробах отмечены высокие содержания редкоземельных элементов от 150 до 240 г/т и иттрия  $\approx 40$  г/т. Отношение нормированных содержаний  $La_N/Yb_N$  в среднем не превышает 9.0, что характерно для углей, для которых источником привнесенных минералов являются кислые эффузивы, подобные развитым в Гонжинском массиве и Большом Хингане.

### Восточная и Юго-восточная зоны

Восточную и Юго-восточную зоны обрамления Зейско-Буреинского бассейна формируют Туранское горно-складчатое сооружение и Сунь-Хинганское (Малый Хинган) поднятие. Основную часть Туранского поднятия занимает Мельгин-Ниманский металлогенический пояс, который включает уран—редкоземельные (наиболее известное Чергиленское) и молибден—порфиновые (Метрежское) с вольфрамом, оловом и висмутом месторождения, расположенные за пределами рассматриваемого региона. На западных склонах Туранского поднятия (верховья рек Ульма, Большой и Малый Майкур, Большой и Малый Горбыль) шлиховые ореолы монацита (церий, лантан, торий) и фергусонита (ниобий, иттрий) зафиксированы в долготной зоне сопряжения Зейско-Буреинского бассейна и Туранского поднятия протяженностью более 300 км. В пределах этой зоны в шлиховых пробах повсеместно встречаются ртуть, олово, вольфрам, в штуфных пробах — медь, свинец, цинк, молибден, висмут, платина и серебро [6, 10–13].

Речная сеть зоны перехода бассейнов—ороген обогатена золотом, коренные источники которого установлены в верховьях реки Селемджа (месторождения Маломырское, Кварцевое) и нижнем течении реки Бурей (месторождение Прогнозное) [32]. На правом берегу р. Амур на территории КНР, в пределах массива Цзямусы, примыкающего к Туранскому поднятию, известно эпиптермальное золоторудное месторождение Вулага, локализованное в раннемеловых субвулканических гранодиорит-порфирах [49]. Вмещающие рудную минерализацию породы содержат повышенные содержания редкоземельных элементов (от 82.3 до 86.4 г/т) с преобладанием легких над тяжелыми редкоземельными элементами. Отношение нормированных содержаний  $La_N/Yb_N$  находится в интервале значений от 15.3 до 18.9. С месторождением Вулага связаны крупные россыпи золота вдоль реки Амур. Залежи бурых углей формации Уюнь (палеоцен), расположенные на правом берегу р. Амур сопоставимы по возрасту, составу и качеству с углями Ерковецкого и Райчихинского месторождений. Они содержат редкие металлы и редкоземельные элементы, которые связаны с глинистыми минералами (каолинит, монтмориллонит), полевыми шпатами и прослоями туфов в угольных пластах [48].

Кайнозойские россыпи и шлиховые ореолы в водотоках со стороны Восточной и Юго-восточной зоны обрамления Зейско-Буреинского бассейна являются рудными концентратами продуктов размыва и переотложения рудных тел и рудопоявлений Туранского массива. Перенос осадочных пород, содержащих благородные, редкие металлы и редкоземельные элементы, в торфяные болота Зейско-Буреинской аллювиальной равнины происходил по руслам палео- и современных рек Зея и Селемжа и их притокам (см. рис. 4) вдоль денудационной равнины, осложненной в верховьях рек Томь, Большой и Малый Майкур, Большой Горбыль останцами, сложенными докайнозойскими породами, присутствующими в холмистых возвышенностях и предгорьях, перемежающихся с приразломными прогибами.

Данные особенности определили условия миграции рудных компонентов в Притуранье, связанные с длительностью их переноса по руслам палео-рек Ташина, Альдикон, Большой Горбыль в неоген—четвертичный период, и сложное строение зон сопряжения и локализацию полезных компонентов с угленосными площадями (см. рис. 3). Процесс обогащения золотом, редкими металлами и редкоземельными элементами торфяников в регионе Притуранья происходил в виде коллоидов и комплексных соединений, места разгрузки водотоков пополнялись кластогенными частицами золота и отдельными минералами вместе с псаммитовым и псефитовым материалом.

Содержание золота в палеоценовых отложениях бурых углей Ерковецкого месторождения, определенное в пробирной лаборатории АмурНЦ ДВО РАН (г. Благовещенск), колеблется от 0.1 до 2.96 г/т и составляет в среднем 1.87 г/т. Средние значения золота в райчихинских углях составляют 1.85 г/т, по сравнению с миоценовыми углями Сергеевского месторождения палеоценовые угли обеднены:

- в 3–4 раза по содержанию:
  - германий (0.5 и 2.0 г/т),
  - цирконий (25.5 и 89.4 г/т);
- в 5 раз по содержанию:
  - литий (6.2 и 32.7 г/т),
  - галлий (5.0 и 25.7 г/т);
- в 7–10 раз по содержанию:
  - скандий (1.6 и 14.7 г/т),
  - цезий (1.1 и 7.5 г/т).

В пласте угля Ерковецкого месторождения повышены концентрации редких металлов (литий, скандий, рубидий и цирконий) в подошве и между двумя прослоями туфов по отношению к среднему содержанию данных металлов по пласту.

Для генетических интерпретаций источников сноса терригенного материала в область палеоценового и миоценового угленакопления рассчитаны отношения суммы легких элементов РЗЭ к сумме тяжелых элементов РЗЭ и отношения нормированных содержаний отдельных редкоземельных

элементов. Угли Ерковецкого месторождения характеризуются невысокими общими содержаниями редкоземельных элементов (в среднем не более 52 г/т) и повышенными концентрациями в породах кровли (от 250 г/т). Общей тенденцией для углей этого месторождения является рост содержания редкоземельных элементов снизу вверх по угольным пластам с локальным увеличением между тонштейнами туфов. Угли Сергеевского месторождения отличаются повышенными содержаниями суммы РЗЭ до 240 г/т (в среднем около 165.4 г/т), но в породах кровли отмечены низкие концентрации РЗЭ до 130 г/т. Также как для углей Ерковецкого месторождения, установлена общая тенденция роста суммы содержаний РЗЭ по угольному пласту снизу вверх.

Общее свойство углей месторождений Зейско-Буреинского осадочного бассейна заключается в том, что для разновозрастных углей выявлено превышение содержания легких РЗЭ над тяжелыми РЗЭ. Отношение суммы легких к тяжелым редкоземельным элементам для углей и вмещающих их пород Ерковецкого месторождения находится в интервале значений 7.64–9.93, для Сергеевского месторождения интервал значений составляет 8.75–11.62 и определяется пропорцией кислых и основных пород в источниках сноса. Разница в величинах этого отношения для бурых углей Северо-западной, Восточной и Юго-восточной зон обусловлена разным составом горных пород в обрамлении осадочного бассейна. В верхней части по сравнению с подошвой угольного пласта Ерковецкого месторождения отмечены повышенные содержания редкоземельных элементов (около 50 г/т) и иттрия (около 80 г/т). Отношение нормированных содержаний  $La_N/Yb_N$  в среднем не более 12.0. Эти показатели характерны для углей с эффузивным источником привнесенных минералов. В нижней части угольных пластов на Ерковецком месторождении отмечаются более высокие ( $\geq 16$ ) показатели отношения  $La_N/Yb_N$ , низкие содержания иттрия (не более 7.0) и других редких металлов.

Возможное преобладание кислых магматических пород в Туранском поднятии в кайнозое в областях питания палео-болот привело к доминированию минеральных компонентов лейкократовых гранитов с проявлениями золоторудной минерализации в составе осадочного материала на начальном этапе осадконакопления в палеоторфяниках. На заключительном этапе формирования палеоторфяников в составе привносимых осадков преобладали эффузивы, присутствие которых фиксируется в Ерковецком месторождении в виде прослоев туфов в углях.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Становление Зейско-Буреинского бассейна в позднем мезозое происходило в условиях широтного растяжения земной коры под влиянием

процессов субдукции плиты Изанага под окраину Северо-Азиатского континента. В начале кайнозоя тектонические события в регионе определяли движения Индийской плиты на север, которые привели к смене режима широтного растяжения земной коры на одностороннее сжатие с юго-востока на северо-запад. Они активировали южное обрамление Зейско-Буреинского бассейна за счет образования Сунь-Хинганского поднятия и раскрытия трансрегиональных разломов, которые служили каналами излияния эффузивов основного состава.

К концу мелового периода Зейско-Буреинский бассейн представлял собой крупную озерно-аллювиальную равнину, по своим очертаниям и рисунку основной гидросети близкую к современному ее расположению.

Орогенные сооружения северо-западного фланга Зейско-Буреинского осадочного бассейна (Большехинганское, Гонжинское и Октябрьское поднятия) к началу палеогена сформировались как типичные статичные морфоструктуры. Вдоль этих поднятий в палеоцене и миоцене интенсивно протекали процессы планации, химического выветривания и последовательного расширения кайнозойского осадочного чехла Зейско-Буреинского осадочного бассейна. Масштабы седиментации определили прогрессивное развитие гидросети, с которыми генетически связано образование большого количества торфяных болот, подобно процессам, происходившим на территории современной Западной Сибири.

Рассматривая динамику процесса седиментации как унаследовано-трансгрессивную, мы полагаем, что водотоки, разливавшиеся по денудационной равнине, последовательно захватывали территории со структурами кор выветривания, вовлекая их в область сноса, и размывали захваченные территории вдоль речных систем в направлении, обратном течению водотоков, обеспечивая миграцию и поэтапную локализацию рудных элементов.

Накопление лития, галлия, цезия и циркония в нижних горизонтах угольного пласта Сергеевского месторождения свидетельствует о том, что в этот временной интервал источниками размыва (переотложения) могли служить вулканы и кислые изверженные породы Большого Хингана, обогащенные редкими и редкоземельными элементами. Дальнейшее увеличение объема седиментации и размыв в области обрамления осадочного бассейна на более поздней стадии могли привести к вскрытию золоторудных объектов, учитывая повышенные концентрации золота в кровле этого пласта угля.

В кайнозое наиболее динамично развивались районы вдоль южной и юго-восточной окраины Зейско-Буреинского осадочного бассейна в отличие от районов его западной окраины. Об этом свидетельствуют полученные данные о повышенной современной сейсмичности, дегазации недр и

проявлении основного магматизма в обрамлении бассейна, с которыми связано присутствие туфов в углях Ерковецкого и Райчихинского месторождений. Активный геодинамический режим Туранского поднятия и отсутствие в его пределах площадных кор выветривания химического типа ответственны за высвобождение аксессуарных минералов из пород областей сноса. Для Ерковецкого месторождения характерно обогащение иттрием, танталом и бериллием кровли пластов угля и рост концентраций лития, ванадия, рубидия, стронция и циркония между двумя прослоями туфов. Выявленные высокие содержания золота и редких земель для углей Зейско-Буреинского осадочного бассейна и перспективы дальнейшего исследования связаны с возможностью их извлечения.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Миграция и локализация благородных, редких металлов и редкоземельных элементов в палеоцене, раннем и среднем миоцене в Зейско-Буреинском осадочном бассейне определялись геодинамическими и палеогеографическими особенностями развития региона. Условия статичного состояния в кайнозое Большого Хингана, Гонжинского и Октябрьского массивов обусловили активное расширение площади аккумуляции, которое сопровождалось продвижением низкопорядковой гидросети вглубь денудационной равнины в обстановке устойчивого развития торфяных болот как составной части озерно-аллювиальной равнины. В данных условиях формировались палеоценовые и ранне-среднемиоценовые угленосные месторождения на западном фланге Зейско-Буреинского осадочного бассейна.

Высокая динамическая подвижность Туранского массива в неотектонический этап развития обусловила контрастные формы сопряжения в системе впадина—поднятие на восточной и юго-восточной окраине Зейско-Буреинского осадочного бассейна. Палеоценовые угли Зейско-Буреинского осадочного бассейна характеризуются повышенной степенью диагенеза по сравнению с миоценовыми углями, нарушенностью пластов угля и наличием прослоев туфов. Мы детально исследовали Ерковецкое бурое угольное месторождение и рассматриваем его как часть сейсмически активного Притуранского региона.

Особенности размещения кайнозойских металлоносных угленосных комплексов связаны с геодинамическими условиями развития Зейско-Буреинского осадочного бассейна, которые определяют палеогеографическую обстановку, состав и мощность угленосных месторождений, локализацию ценных микроэлементов в бурых углях Верхнего и Среднего Приамурья.

**Благодарности.** Авторы признательны А.В. Штаревой (ИТиГ ДВО РАН, г. Хабаровск) и В.Е. Зазулиной (ИТиГ ДВО РАН, г. Хабаровск)

за выполнение аналитических работ по определению редких металлов и редкоземельных элементов в бурых углях и вмещающих породах. Авторы благодарны Л.А. Чурсиной (АмурНЦ ДВО РАН, г. Благовещенск) и С.Б. Турморе (АмурНЦ ДВО РАН, г. Благовещенск) за выполнение аналитических работ по определению золота в углях и терригенных породах.

Авторы благодарны рецензенту Т.Н. Херасковой (ГИН РАН, г. Москва) за конструктивные замечания, способствовавшие улучшению статьи.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арбузов С.И., Ильенок С.С., Машенькин В.С., Сунь Юйчжуан, Жао Цунлян, Блохин М.Г., Иванов В.В., Зарубина Н.В. Редкоземельные элементы в позднелазеозойских углях Северной Азии (Сибирь, Северный Китай, Монголия, Казахстан) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327. № 8. С. 74–88.
2. Варшал Г.М., Велюханова Т.К., Кошечева И.Я., Баранова Н.Н., Козеренко С.В., Галузинская А.Х., Сафронова Н.С., Банных Л.Н. О концентрировании благородных металлов углеродистым веществом пород // Геохимия. 1994. № 6. С. 814–824.
3. Вялов В.И., Ларичев А.И., Кузеванова Е.В., Богомолов А.Х., Гамов М.И. Редкие металлы в бурое угольных месторождениях Приморья и их ресурсный потенциал // Региональная геология и металлогения. 2010. № 51. С. 96–105.
4. Геодинамика, магматизм и металлогения востока России / А.И. Ханчук (ред.). Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.
5. Геологическая карта Приамурья и сопредельных территорий. 1:2 500 000: Объяснительная записка / Л.И. Красный (ред.). СПб.: ВСЕГЕИ, 1999. 135 с.
6. Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Лист N-52-XXXV (Февральск). Хингано-Буреинская серия / В.К. Путинцев (ред.). Л.: ВСЕГЕИ, 1986.
7. Карта полезных ископаемых СССР масштаба 1:200 000. Лист N-52-XXVII. Амуро-Зейская серия / С.А. Музылев (ред.). Л.: ВАГТ, 1970.
8. Карта полезных ископаемых СССР масштаба 1:200 000. Лист N-52-XXVIII. Амуро-Зейская серия / Л.Б. Кривицкий (ред.). Л.: Аэрогеология, 1974.
9. Карта полезных ископаемых СССР масштаба 1:200 000. Лист N-52-XXVI (устье р. Деп). Амуро-Зейская серия / В.В. Соловьев (ред.). Л.: Аэрогеология, 1975.
10. Карта полезных ископаемых СССР масштаба 1:200 000. Лист M-52-VI (р. Иса). Хингано-Буреинская серия / В.К. Путинцев (ред.). Л.: Аэрогеология, 1977.
11. Карта полезных ископаемых СССР масштаба 1:200 000. Лист M-52-XI (г. Купол). Хингано-Буреинская серия / В.К. Путинцев (ред.). Л.: Аэрогеология, 1978.
12. Карта полезных ископаемых СССР масштаба 1:200 000. Лист M-52-XVII (Чеугда). Хингано-Буреинская серия / Л.Б. Кривицкий (ред.). Л.: Аэрогеология, 1976.

13. Карта полезных ископаемых СССР масштаба 1:200 000. Лист М-52-XXIII (Архара). Хингано-Буреинская серия / Л.Б. Кривицкий (ред.). Л.: Аэрогеология, 1975.
14. *Кизильштейн Л.Я., Перетьяко А.Г., Гофен Г.И.* Палеогеографические закономерности распределения элементов-примесей в угольных пластах // Литология и полезные ископаемые. 1988. № 3. С. 129–134.
15. *Кириллова Г.Л.* Этапы геодинамической эволюции // Среднеамурский осадочный бассейн: геологическое строение, геодинамика, топливо, топливно-энергетические ресурсы // Осадочные бассейны Востока России / Г.Л. Кириллова (ред.). Владивосток: ДВО РАН, 2009. Т. 3. С. 319–322.
16. *Маслов А.В., Федоров Ю.Н., Ронкин Ю.Л., Алексеев В.П., Лепихина О.П., Лепихина Г.А.* Систематика редкоземельных элементов и элементов платиновой группы в тонкозернистых терригенных породах средней и верхней юры Шаимского нефтегазоносного района (Западная Сибирь) // Литосфера. 2010. № 2. С. 3–24.
17. *Пан В.П.* Условия угленакопления в Амуро-Зейской впадине // Автореф. ... дис. канд. геол.-мин. наук. Владивосток: ДВГИ ДВНЦ АН СССР, 1978. 23 с.
18. *Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И., Бадарч Г., Беличенко В.Г., Булгатов А.Н., Дриль С.И., Кириллова Г.Л., Кузьмин М.И., Ноклеберг У., Прокопьев А.В., Тимофеев В.Ф., Томуртоого О., Янь Х.* Модель формирования орогенных поясов центральной и северо-восточной Азии // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22. № 6. С. 7–41.
19. *Расказов С.В., Чувашова И.С., Ясныгина Т.А., Фефелов Н.Н., Саранина Е.В.* Калиевая и калинатровая вулканические серии в кайнозойе Азии. Новосибирск: Гео, 2012. 351 с.
20. Сейсмоструктура и сейсмическое районирование Приамурья / В.П. Солоненко (ред.). Новосибирск: Наука, 1989. 125 с.
21. *Середин В.В.* Распределение и условия формирования благороднометалльного оруденения в угленосных впадинах // Геология рудных месторождений. 2007. Т. 49. № 1. С. 3–36.
22. *Сорокин А.А., Пономарчук В.А., Сорокин А.П., Козырев С.К.* Геохронология и корреляция мезозойских магматических образований северной окраины Амурского супертеррейна // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2004. Т. 12. № 6. С. 36–52.
23. *Сорокин А.П.* Краткий очерк геологии Зейско-Буреинского бассейна // Флора и динозавры на границе мела и палеогена Зейско-Буреинского бассейна / Е.В. Бугдаева (ред.). Владивосток: Дальнаука, 2001. С. 7–24.
24. *Сорокин А.П., Артеменко Т.В., Сорокин А.А.* Глава 6. Формирование чехла Дальневосточных молодых платформ // Молодые платформы восточной окраины Евразии (глубинное строение, условия формирования и металлогения) / А.П. Сорокин (ред.). Владивосток: Дальнаука, 2013. С. 252–259.
25. *Сорокин А.П., Рождествова 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.
26. *Сорокина О.А.* Особенности распределения редкоземельных элементов в русловых отложениях реки Зей (бассейн реки Амур) // Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии: Третья Всероссийская научная конференция / Благовещенск: ИГиП ДВО РАН, 2014. Т. 2. С. 161–162.
27. *Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М.* Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
28. *Тимофеев А.А.* Стратиграфия, литология и условия формирования мезозойских отложений Зее-Буреинской впадины в связи с поисками нефти и газа // Автореф. ... дис. канд. геол.-мин. наук. Томск: Политехнический университет, 1966. 17 с.
29. *Уфимцев Г.Ф.* Тектонический анализ рельефа (на примере востока СССР). Новосибирск: Наука, 1984. 182 с.
30. *Хаин В.Е.* Региональная геотектоника. Внеазиатская Азия и Австралия. М.: Недра, 1979. 358 с.
31. *Чжан Хун, Чжао Чуньцзин, Яо Чжень, Цюань Хэнь.* Динамические основы мезозойского вулканизма в северной части Большого Хингана (КНР) // Тихоокеанская геология. 2000. Т. 19. № 1. С. 109–117.
32. *Эйриш Л.В.* Металлогения золота Приамурья (Амурская область, Россия). Владивосток: Дальнаука, 2002. 194 с.
33. *Cunliang Zhao, Bin Zhao, Zhixiang Shi, Lin Xiao, Danhua Wang, Khanchuk A.I., Ivanov V.V., Blokhin M.G.* Maceral, mineralogical and geochemical characteristics of the Jurassic coals in Ningdong Coalfield, Ordos Basin // Energy Exploration and Exploitation. 2014. V. 32. No 6. P. 991–1013.
34. *Dai S., Chekryzhov I.Y., Seredin V.V., Nechaev V.P., Graham I.T., Hower J.C., Ward C.R., Ren D., Wang X.* Metalliferous Coal Deposits in East Asia (Primorye of Russia and South China): A Review of Geodynamic Controls and Styles of Mineralization // Gondwana Research. 2016. V. 29. No 1. P. 60–82.
35. *Dai S., Ren D., Zhang J., Hou X.* Concentrations and origins of platinum group elements in Late Paleozoic coals of China // International J. of Coal Geology. 2003. V. 55. No 1. P. 59–70.
36. *Eskenazy G.M.* Aspects of the geochemistry of rare earth elements in coal: an experimental approach // International J. of Coal Geology. 1999. Vol. 38. No 3–4. P. 285–295.
37. *Evensen N.M., Hamilton P.J., O’Nions R.K.* Rare-earth abundances in chondritic meteorites // Geochim. Cosmochim. Acta. 1978. Vol. 42. No 8. P. 1199–1212.
38. *Finkelman R.B.* Modes of occurrence of trace elements in coal // US Geological Survey open-file Report. 1981. P. 81–89. <https://pubs.usgs.gov/of/1981/0099/report.pdf>
39. *Jagoutz O., Royden L., Holt A.F., Becker T.W.* Anomalously fast convergence of India and Eurasia caused by double subduction // Nature Geoscience. 2015. Vol. 8. P. 475–478.
40. *Ketris M.P., Yudovich Ya.E.* Estimations of clarkes for carbonaceous biolithes: world averages for trace element contents in black shales and coals // International J. of Coal Geology. 2009. Vol. 78. No 2. P. 135–148.
41. *Maruyama S., Seno T.* Orogeny and relative plate

motions, an example of Japanese Islands // *Tectonophysics*. 1986. Vol. 127. No 3–4. P. 305–329.

42. *Nayak B., Chakravarty S., and Bhattacharyya K.K.* Invisible gold in the high sulphur Tertiary coals of Northeast India // *Current Science*. 2008. Vol. 95. No 9. P. 1334–1337.

43. *Oman C.L., Finkelman R.B., Tewalt S.J.* Concentrations of platinum group elements in 122 US coal samples // *US Geology Survey Open-File Report*. 1997. P. 97–53. <https://pubs.usgs.gov/of/1997/0053/report.pdf>

44. *Orem W.H., Finkelman R.B.* Coal Formation and Geochemistry // *Sediments, Diagenesis, and Sedimentary Rocks: Treatise on Geochemistry / F.T. McKenzie (ed.)*. Oxford: Elsevier-Pergamon, 2003. Vol. 7. P. 191–222.

45. *Sanchez-Valle C.* Structure and thermodynamics of subduction zone fluids from spectroscopic studies // *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 2013. Vol. 76. No 1. P. 265–309.

46. *Seredin V.V., Finkelman R.B.* Metalliferous coals: a review of the main genetic and geochemical types // *International J. of Coal Geology*. 2008. Vol. 76. No 4. P. 253–289.

47. *Sun Ge, Akhmetiev M., Markevich V., Ashraf A.R., Godefroit P., Dilcher D.L., Sun C.L., Sun Y.W., Quan C., Golovneva L., Bugdaeva E., Bolotsky Yu., Suzuki S., Ko-*

*drul T., Nishida H., Kezina T., Harding I., Yang H.X., Ge W.C., Chen Y.J., Yang T.* Cretaceous–Paleocene biota and the K–Pg boundary from Jiayin of Heilongjiang, China with discussion on extinction of dinosaurs // *Shenyang: Shenyang Normal University*, 2014. 198 p.

48. *Vejahati F., Xu Z., Gupta R.* Trace elements in coal: Associations with coal and minerals and their behavior during coal utilization — A review // *Fuel*. 2010. Vol. 89. No 4. P. 904–911.

49. *Wang Y., Zeng Q., Zhou L., Chu S., Guo Y.* The sources of ore-forming material in the low-sulfidation epithermal Wulaga gold deposit, NE China: Constraints from S, Pb isotopes and REE pattern // *Ore Geology Reviews*. 2016. Vol. 76. P. 140–151.

50. *Wenfeng W., Shuxun S., Weiduo H., Ran W., Jiefang Z., Piaopiao D., Yong Q., Shaochun X.* A cut-off grade for gold and gallium in coal // *Fuel*. 2015. Vol. 147. P. 62–66.

51. *White L.T., Lister G.S.* The collision of India with Asia // *J. of Geodynamics*. 2012. Vol. 56–57. P. 7–17.

52. *Worrall D.M., Kruglyak V.F., Kunst F., Kuznetsov V.* Tertiary tectonics of the Sea of Okhotsk, Russia: Far-field effect of the India-Eurasia collision // *Tectonics*. 1996. Vol. 15. No 4. P. 813–826.

## Distribution of Cenozoic Metalliferous Coal Deposits in Zeya-Bureya Sedimentary Basin (Eastern Siberia): Tectonic Reconstruction and Paleogeographic Analysis

**A.P. Sorokin<sup>a,b\*</sup>, A.A. Konyushok<sup>a,b</sup>, V.M. Kuzminykh<sup>b</sup>, T.V. Artyomenko<sup>a</sup>, and A.A. Popov<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>*Institute of Geology and Nature Management, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Relochniy per. 1, Blagoveshchensk, 675000 Russia*

<sup>b</sup>*Amur Scientific Center, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Relochniy per. 1, Blagoveshchensk, 675000 Russia*

\*e-mail: amurnc@ascnet.ru

Received March 19, 2018; Revised May 14, 2018; Accepted November 27, 2018

**Abstract** — Distribution of noble metals, rare metals and rare earth elements in the Paleocene and Lower-Middle Miocene coals of Zeya-Bureya sedimentary basin was analyzed. Reconstruction of the basin formation in the Mesozoic and Cenozoic was performed with detailed paleogeographic analysis of the Cenozoic coal-bearing sequences from the position of geodynamic features of the adjacent regions development. Geological events at the turn of the Cretaceous and Paleogene are considered. Comprehensive analysis of the metal content in the basin frame carried out.

We described conditions of migration and localization of trace elements. Given conditions arose mainly in the process of geodynamics developed on the northwestern flank of the Zeya-Bureya basin including the static orogens in the Paleocene — Miocene where the sedimentation was actively expanding. Microelements migration with capturing denudation plains occurred in stable processes of peat accumulation and localization of economically important components in streams associated with plains.

Contrasting forms of conjugation in the flexure-uplift system and uneven localization of microelements are determined by high level of geodynamic activity on the south-eastern margin of Zeya-Bureya sedimentary basin. The presence of gold throughout the strata of the Paleocene and Lower-Middle Miocene coal-bearing sediments in the Sergeevskoe, Yerkovetskoe and Raychikhinskoe deposits is established. The Sergeevskoe deposit coals are enriched with Be, Sc, V, Ga, Rb, Nb, Ta, REE + Y.

**Keywords:** tectonic reconstruction, Zeya-Bureya sedimentary basin, mountain-folded framing, coal complexes in the Mesozoic and Cenozoic, noble metals, rare metals, rare earth elements