

## Металлоносность бурых углей Средне-Амурской угленосной площади

Приведены результаты исследований металлоносности и оценки прогнозных ресурсов редких и других металлов в буроугольных месторождениях Среднего Приамурья (Ушумунское, Лианское, Хурмулинское, Мухенское). В углях изученных месторождений получен суммарный прирост прогнозных ресурсов ( $P_2 + P_3$ ) – Sc более 10, V 60, Ga 14, Rb<sub>2</sub>O 54, Cs<sub>2</sub>O 10, TR<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 195, WO<sub>3</sub> 20 тыс. т, а также других ценных элементов. Редкометалльно-угольные месторождения образуют нетрадиционную минерально-сырьевую базу редких металлов.

Ключевые слова: *редкие металлы, уголь, редкометалльно-угольные месторождения, концентрации металлов, прогнозны ресурсы, комплексное сырье, Средне-Амурская угленосная площадь.*

E. P. SHISHOV, A. A. CHERNYSHEV (VSEGEI)

## Metal contents of brown coals of Middle-Amur coalfield

Presented the results of researches of metals content of rare-valuable metals and estimations of resources of these metals in the brown coal deposits of Middle Priamurye (Ushumunsky, Liansky, Hurmulinsky, Muhensky). In coals of the studied deposits the total increases of prognostic resources ( $P_2 + P_3$ ) of metals are more than Sc 10, V 60, Ga 14, Rb<sub>2</sub>O 54, Cs<sub>2</sub>O 9, TR<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 195, WO<sub>3</sub> 20 th. tons, etc. Brown coal deposits with rare metals form, valuable metals form a nonconventional mineral base of rare metals.

Keywords: *rare metals, coal, coal deposits with rare metals, concentrations, prognostic resources, increase of resources, complex raw materials, Middle-Amur Coalfield.*

В 2014 г. во ВСЕГЕИ выполнен проект «Оценка новой нетрадиционной минерально-сырьевой базы редких металлов в металлоносных угольных месторождениях нераспределенного фонда недр Дальнего Востока». Цель исследований – оценка нетрадиционной минерально-сырьевой базы редких металлов в пределах участков нераспределенного фонда недр угольных месторождений Дальневосточного федерального округа России для повышения их инвестиционной привлекательности и обеспечения комплексности использования недр при передаче объектов в лицензирование. В числе объектов изучения были кайнозойские буроугольные месторождения Среднего Приамурья – Ушумунское, Лианское, Хурмулинское, Мухенское и др. (рис. 1). В. Г. Варнавский и др. [2] объединяют их в Среднеамурский буроугольный бассейн. По Карте топливно-энергетических ресурсов России масштаба 1 : 5 000 000, составленной во ВСЕГЕИ (2012), выделяется Средне-Амурская угленосная площадь.

Месторождения угля приурочены к грабенам и грабенообразным структурам, которые образовались в процессе проявления кайнозойского рифтогенеза на тихоокеанской окраине Азии [10]. Они выполнены терригенными озерно-аллювиально-болотными отложениями. Промышленная угленосность связана с отложениями чернореченской (эоцен – олигоцен) и ушумунской (нижний-средний миоцен) свит. Угли имеют преимущественно среднюю-высокую зольность (до 40 %), по ГОСТ 25543–88 относятся к группам 1Б и 2Б, подгруппам 1БВ и 2БВ [9].

В углях Среднего Приамурья ранее неоднократно отмечались повышенные концентрации многих металлов (С. П. Воскресенский, 1971; Н. Н. Жити-

нев, 1996; Н. А. Дригин, 2011) [4, 5, 9], по данным спектрального анализа, а также по данным масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой и нейтронно-активационного анализа [6]: Sc, Rb, Sr, Ni, Ti, Y, Ga, Zr, V, Co, Ge, W, Nb, Hf, Ta, Ag, Au.

Авторами произведено опробование бурых углей указанных месторождений (более 300 проб), выполнены анализы (в ЦАЛ ВСЕГЕИ, количественные методы – масс-спектрометрия ICP MS, атомная эмиссия с индуктивно-связанной плазмой) и оценены концентрации целого спектра ценных элементов (более 40 металлов, включая редкоземельные). В углях Средне-Амурской угленосной площади установлены многие редкие и ценные металлы V, Ga, Rb, Sr, Y+TR, Cs, W, Re (табл. 1). Они достигают промышленных концентраций в сравнении с их минимально-промышленными содержаниями в известных типах руд, представленных в Государственном балансе запасов месторождений полезных ископаемых Российской Федерации (в различных пометалльных выпусках).

Распределение металлов в разрезе угольных пластов весьма неоднородно (рис. 2), что обусловлено сложными седиментационными и диагенетическими процессами формирования древних торфяников и происшедшей углефикацией, а также химической природой тех или иных металлов.

На примере проб, отобранных в борту карьера, вскрывшего пласт «V верхний» на Хурмулинском месторождении, распределение металлов установлено в трех типичных формах. Концентрации таких металлов, как Li, Sc, Ga, Ge, Sb, максимальны во вмещающих глинах кровли, глинистых прослоях и углистых породах припочвенной части пласта. Максимальные концентрации Be, V, Co, Ni,

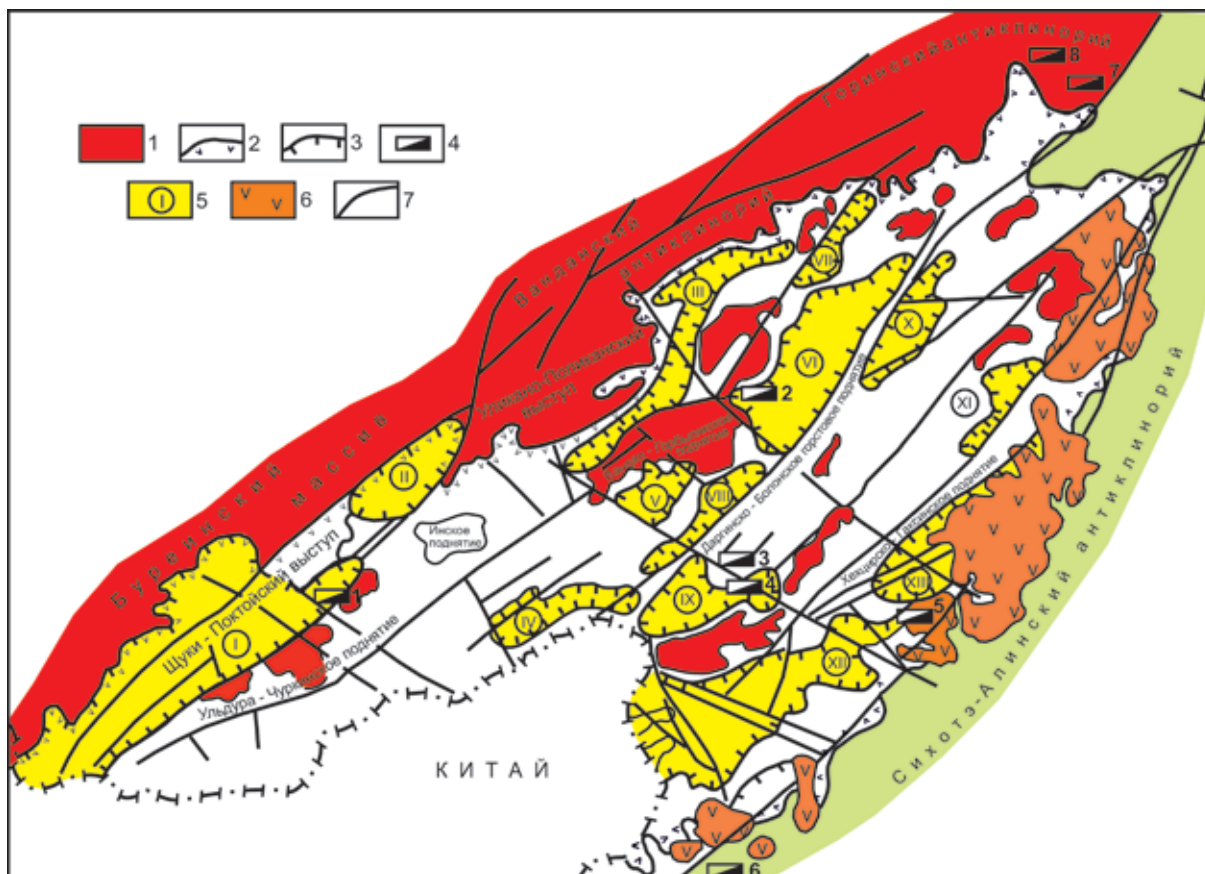


Рис. 1. Среднеамурский буроугольный бассейн [2]

1 – докайнозойский комплекс пород; 2 – граница Среднеамурского буроугольного бассейна; 3 – границы угленосных площадей; 4 – месторождения бурых углей; 5 – угленосные площади; 6 – кайнозойский вулканогенный комплекс; 7 – линии разломов.

Угленосные площади (римские цифры в кружках): I – Бирофельдская; II – Биробиджанская; III – Кур-Урмийская; IV – Забеловская; V – Архангельская; VI – Литовская; VII – Ольканская; VIII – Западно-Даргинская; IX – Хабаровская; X – Болонская; XI – Нижне-Анюйская; XII – Переяславская; XIII – Юшкинская.

Месторождения: 1 – Ушумунское, 2 – Литовское, 3 – Базовское, 4 – Хабаровское, 5 – Мухенское, 6 – Розенгартовское, 7 – Лианское, 8 – Хурмулинское

Zn и др. установлены в средней части пласта, где зольность углей минимальна (в описываемом пласте 20 %). Такие металлы, как Rb, Ag, Cs, W, TR, показывают максимумы концентраций как в средней части пласта, так и в углистых породах прикровельной и припочвенной частей и глинистых прослоях. Набор металлов, характерный для той или иной формы распределения (в органическом или минеральном веществе углей или породах), существенно отличается на разных месторождениях. Так, в разрезе пласта «I верхний» Мухенского месторождения максимумы концентраций Sc, Co, Ni, Cu, Zn установлены в глинах, вмещающих уголь, и глинистых прослоях, а максимумы содержаний Rb, Sr, Y, Zr, Cs, TR отчетливо тяготеют, наоборот, к углям. В углях Ушумунского месторождения с зольностью связаны Li, Sc, Ga, а с органическим веществом – Be, V, Sr, Y и др. Неоднородность распределения металлов в разрезе угольных пластов и наличие нескольких ассоциаций химических элементов отражают гетерогенность процессов мобилизации и концентрирования металлов в углях изученных месторождений.

Распределение металлов по площади месторождений также неоднородно. В случае сингенетического происхождения концентраций тех или иных

металлов в углях их распределение объясняется расположением палеоторфяников, их удаленностью от источников терригенного сноса, а также историей формирования угленосности. Так, на Ушумунском месторождении в пробах углей, отобранных из краевых частей пластов (около 300 м от выступа меловых эффузивов набатовского комплекса – скважины 1180 и 1155), концентрации целого ряда металлов выше концентраций, отмеченных в пробах углей из более удаленных от пород области сноса пластов (около 2,5 км – скважины 1090 и 1138). Скважинами 1180 и 1155 вскрыты залежи III и IV углей чернореченской свиты, а скважинами 1090 и 1138 – залежь II углей ушумунской свиты (рис. 3). Формирование угленосной чернореченской свиты происходило при обильном сносе и отложении терригенного материала с северо-западных окраин Бирофельдского грабена (судя по преобладающему значению обломков андезитов и дацитов) в условиях их энергичного поднятия, в отличие от особенностей формирования угленосной ушумунской свиты, развитие которой происходило в условиях выровненной пенепленизированной поверхности [1]. Угли чернореченской свиты более обогащены Cu, Ge, Sr, W, Pb и TR в сравнении с углями ушумунской свиты (табл. 2).

Содержание металлов в различных генетических типах руд в углях изученных месторождений

| Металл | Содержание металлов в различных генетических типах руд  | Минимально-промышленное содержание, г/т   | Концентрации металлов (г/т) в углях месторождений, от – до среднее |                                    |                                   |                                 |
|--------|---|---|--|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
|        |   |   | Ушумунское   | Хурмулинское                       | Лянское                           | Мухенское                       |
| Sc     | Среднее в коренных месторождениях 9,1 г/т (72,7 в бокситах, 0,15–6,3 в оловянных и урановых)  | 10,5 в золе   | В угле: $\frac{2,2-14,7}{8,7}$                                     | В угле: $\frac{0,2-18,3}{8}$       | В угле: $\frac{0,6-17,1}{5,1}$    | В угле: $\frac{0,8-9,2}{7}$     |
| V      | $V_2O_5$ 400–1200 г/т (в бокситах)  | $V_2O_5$ 400 в золе, на V 224, в угле 22–45 при зольности 10–20 %                         | В золе: $\frac{37,8-959}{162,3}$                                   | В золе: $\frac{2,5-403}{182}$      | В золе: $\frac{17,2-1250}{230,8}$ | В золе: $\frac{171-784}{248}$   |
| Ga     | 19,08–24,45–53,16 г/т (нефелиновые – апатит-нефелиновые руды – бокситы); свинцово-цинковые 6,95   | 50 (в золе), около 5 в угле при зольности 10 %  | В угле: $\frac{2,8-22,9}{14,5}$                                    | В угле: $\frac{0,3-27,8}{10,6}$    | В угле: $\frac{0,7-24,1}{5,1}$    | В угле: $\frac{0,8-15,1}{10,7}$ |
| Ge     | 50 г/т – бортовое и минимальное промышленное, 123,98 г/т – среднее в германиеносных бурых углях Приморья                                  | 50 в угле. <i>Возможно снижение до 10 г/т</i>   | В угле: $\frac{0,4-129}{7,6}$                                      | В угле: $\frac{0,1-3,3}{1,4}$      | В угле: $\frac{0,2-35,1}{3,4}$    | В угле: $\frac{0,3-0,7}{0,6}$   |
| Rb     | $Rb_2O$ в апатит-нефелиновых рудах 91,89, в нефелиновых 78,1 г/т  | Rb: 71,4 в золе, около 7 в угле при зольности угля 10 %.                                  | В золе: $\frac{41,7-346}{122,8}$                                   | В золе: $\frac{<2-194}{112,6}$     | В золе: $\frac{5,8-284}{94,6}$    | В золе: $\frac{40-152}{129}$    |
| Sr     | Оксид стронция в лопаритовых рудах – 800 г/т  | Sr: 675 в золе, 67,5–132 в угле при зольности 10–20 %                                     | В золе: $\frac{107-8720}{1006}$                                    | В золе: $\frac{35-1830}{519}$      | В золе: $\frac{84-9890}{2381}$    | В золе: $\frac{279-1150}{662}$  |
| Y      | $\Sigma TR_2O_3$ 400 г/т (песчаники лейкоксен-кварцевые нефтесодержащие)  | 75 г/т в золе   | В золе: $\frac{15,8-148}{56,3}$                                    | В золе: $\frac{1,2-551}{115,1}$    | В золе: $\frac{7,4-318}{100}$     | В золе: $\frac{31-73}{43}$      |
| TR + Y |   | $\Sigma TR_2O_3$ ; 400 (в золе), на TR $\approx 340$ , 34–68 в угле при зольности 10–20 % | В золе: $\frac{175-1618}{498}$                                     | В золе: $\frac{9,2-2588,3}{652,6}$ | В золе: $\frac{32-2127}{597}$     | В золе: $\frac{216-396}{273}$   |
| Cs     | $Cs_2O$ 0,9 (apatит-нефелиновые), 22,84 г/т – среднее по разным типам руд. Среднее 2,46 г/т в рудах, разрабатываемых на другие компоненты | $Cs_2O$ – 2,5 в золе  | В золе: $\frac{7,2-73,5}{23}$                                      | В золе: $\frac{<0,1-27,2}{11,8}$   | В золе: $\frac{0,5-72,8}{13,7}$   | В золе: $\frac{4,2-22,3}{14,5}$ |
| W      | $WO_3$ в россыпных месторождениях – 94,028 г/м <sup>3</sup>   | Около 35 г/т в золе   | В золе: $\frac{2,4-800}{104}$                                      | В золе: $\frac{<0,5-23}{7,5}$      | В золе: $\frac{<0,5-523}{60,6}$   | В золе: $\frac{2,4-43,3}{6,0}$  |
| Re     | 0,044 г/т – разрабатываемые на другие компоненты (молибденовые), 0,008 г/т – нераспределенный фонд (молибденовые)                         | 0,008 г/т в золе  | –  | В золе: $\frac{<0,005-0,02}{0,01}$ | В золе: $\frac{<0,005-0,02}{-}$   | В золе: $\frac{<0,005-0,01}{-}$ |
| Pd     | 0,029 г/м <sup>3</sup> (Au-Pt россыпи); 0,008 г/м <sup>3</sup> (золотоносные с платиной)  | 0,012–0,003 г/т в золе  | –  | В угле: $\frac{<0,002-2,6}{-}$     | В золе: $\frac{<0,002-7,0}{-}$    | –                               |

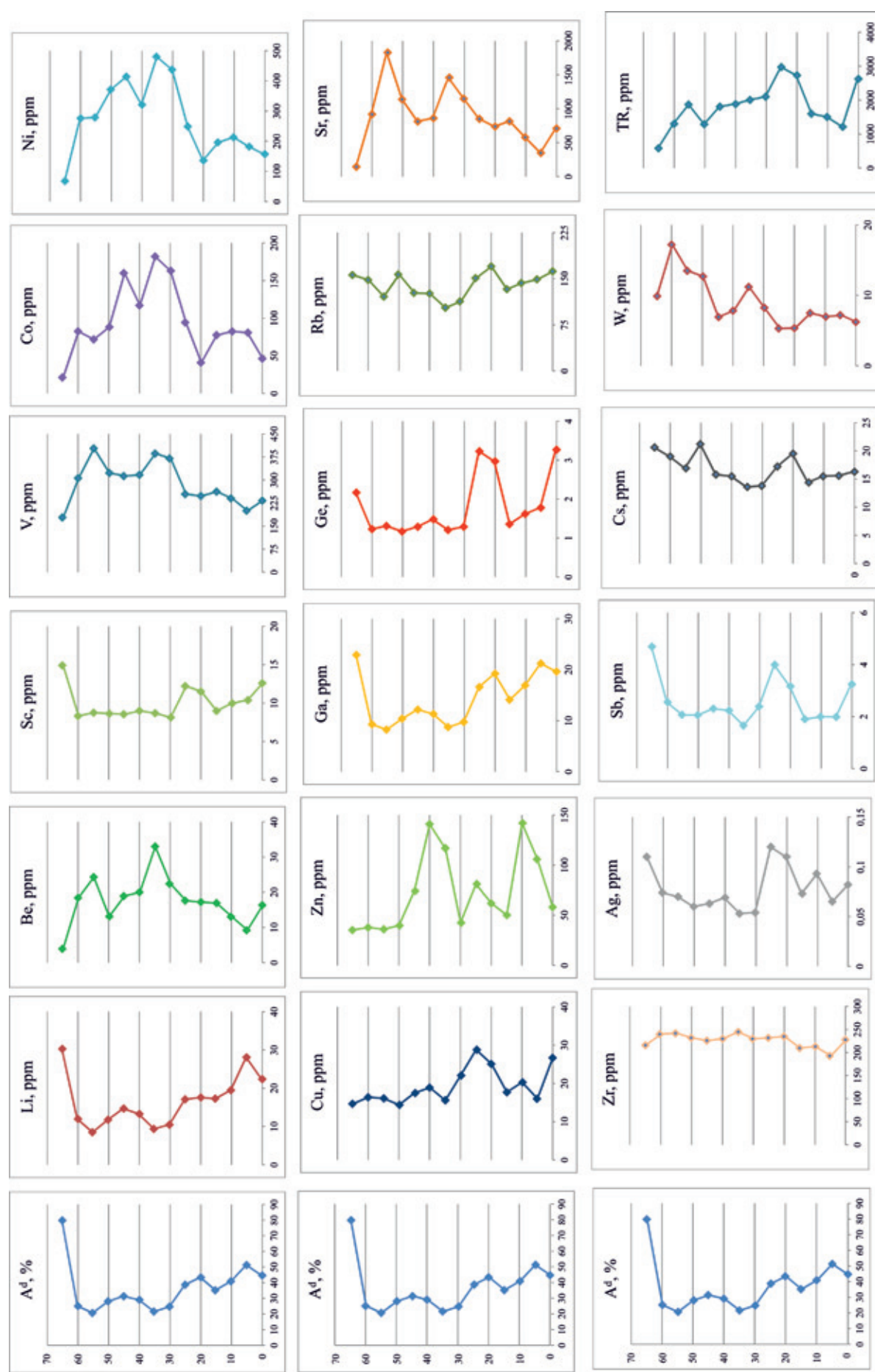
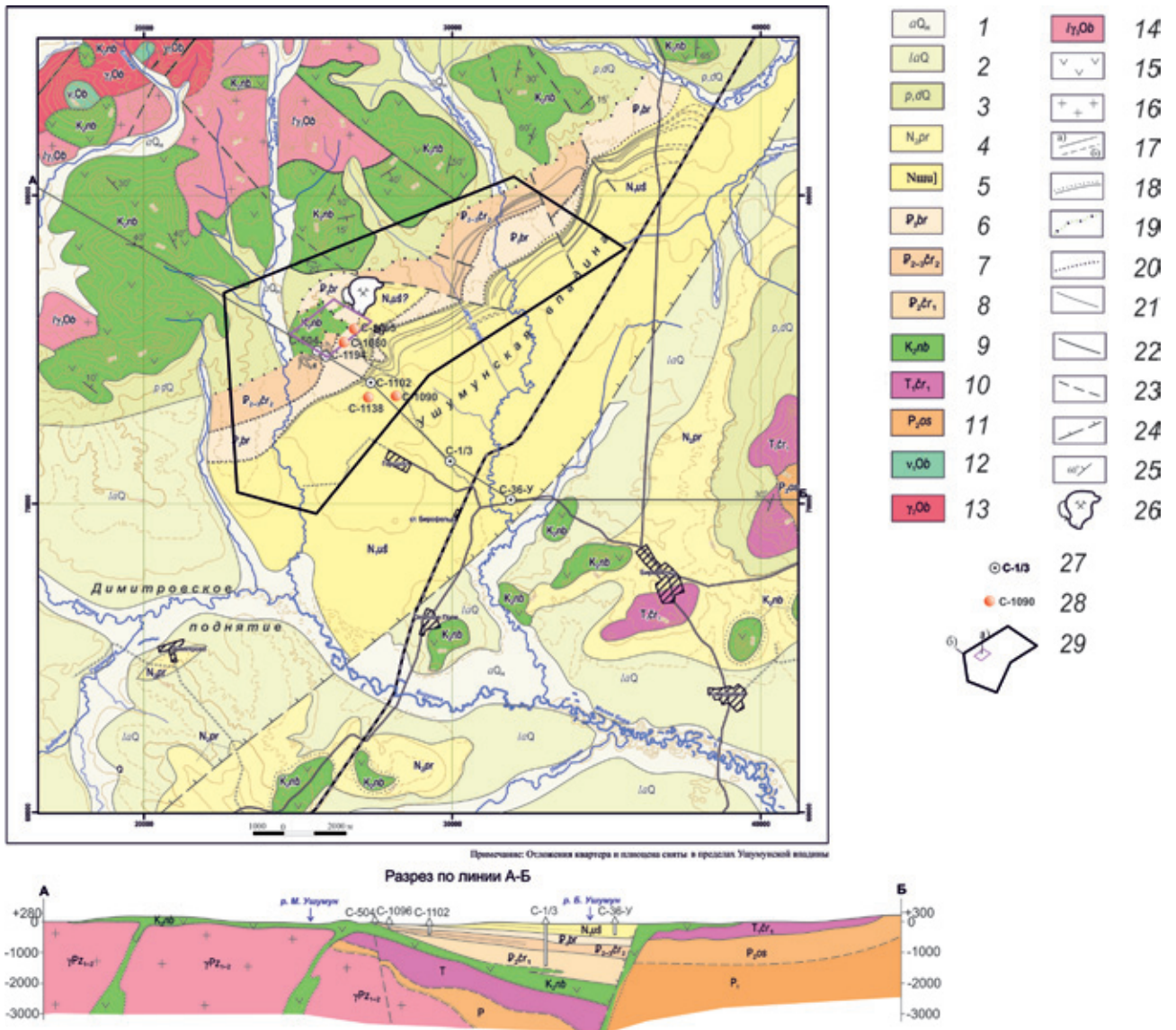


Рис. 2. Распределение зольности (А<sup>d</sup>, %) и металлов (ppm) в разрезе пласта «V верхний» (в сантиметрах по оси ординат) Хурмулинского месторождения. Ушумунская свита миоцена



**Рис. 3. Геологическая карта района Ушумунского месторождения (Н. А. Дригин, 2011)**

1–3 – квартал: 1 – голоцен. Аллювиальные пески, суглинки, галечники, 2 – озорно-аллювиальные отложения, глины, суглинки, алевроиты, оторфованные глины, 3 – пролювиально-делювиальные отложения, смещенные продукты коррозирования. Суглинки с мелким щебнем, супеси, глины, щебень; 4, 5 – неогеновая система: 4 – плиоцен. Приамурская свита. Пески разнозернистые, супеси, гравийники, суглинки, галечники, 5 – миоцен. Ушумунская свита. Алевроиты, глины тугопластичные, пески мелко-среднезернистые, пласты и линзы бурого угля, углистые глины; 6–8 – палеогеновая система: 6 – олигоцен. Бирофельдская свита. Плотные глины, глины с примесью органогенного и пеплового материала, тонкие алевроиты, 7 – эоцен – олигоцен. Чернореченская свита, верхняя подсвита. Алевроиты, туфоалевриты мелкозернистые пески, плотные глины, углистые породы, залежи, пласты и линзы бурого угля, 8 – эоцен. Чернореченская свита, нижняя подсвита (только на разрезе). Пески разнозернистые, туфопесчаники, алевроиты, гравийники, галечники, пласты угля; 9 – меловая система. Верхний мел. Набатовская толща. Андезиты, андезидациты, туфы среднего состава, туфопесчаники, фельзиты; 10 – триасовая система. Нижний триас. Чуркинская свита, нижняя подсвита. Песчаники, алевролиты, конгломераты, гравелиты; 11 – пермская система. Средняя нервь. Осахтинская свита. Песчаники, алевролиты, аргиллиты, известняки, гравелиты; 12–14 – ордовикские интрузии. Биробиджанский габбро-гранитовый комплекс: 12 – первая фаза – авгитовые габбро, 13 – вторая фаза – граниты, гранодиориты, плагиограниты, 14 – третья фаза – граниты лейкократовые биотитовые и двуслюдяные; 15 – лавы, туфы среднего состава; 16 – граниты лейкократовые, двуслюдяные; 17 – границы нормального стратиграфического и интрузивного контакта (а – достоверная, б – предполагаемая); 18 – границы несогласного залегания отложений; 19 – граница выходов фундамента под отложения плиоцена и квартера; 20 – границы между свитами под отложениями плиоцена и квартера; 21 – выходы пластов угля под отложениями плиоцена и квартера; 22–24 – линия тектонического контакта: 22 – достоверного, 23 – предполагаемого, 24 – установленного по геофизическим данным; 25 – наклонное залегание слоев; 26 – контур действующего угольного разреза; 27 – скважины и их номера; 28 – опробование на металлоносность углей; 29 – контур лицензионной площади Ушумунского буроугольного месторождения, предоставленного в пользование ООО «Карьер Ушумунский» на основании лицензий БИР 00420 ТР от 10.10.2007 (а) и БИР 00428 ТР от 11.03.2009 (б)

Среднее содержание металлов в углях чернореченской и ушумунской свит (Ушумунское месторождение), г/т

| Свита          | Co  | Cu   | Ge   | Ag  | Sb  | Pb   | Sr     | Y    | La    | W     |
|----------------|-----|------|------|-----|-----|------|--------|------|-------|-------|
| Ушумунская     | 5,8 | 14,1 | 6,3  | 0,1 | 4,4 | 14,3 | 424,5  | 52,8 | 79,6  | 68,8  |
| Чернореченская | 9,3 | 25,3 | 11,4 | 0,3 | 9,8 | 77,6 | 2418,3 | 66,7 | 115,3 | 191,2 |

Вниз по разрезу растёт также сумма щелочей ( $K_2O + Na_2O$ ) от 2,0 % в углях II залежи до 5,2 % в углях VI залежи (от ушумунской к чернореченской свите). Это указывает на существенную примесь пирокластического материала в нижней части разреза (Н. А. Дригин, 2011).

На основе корреляционного и кластерного анализа содержания металлов в углях ушумунской свиты Ушумунского месторождения выделены следующие ассоциации:

1)  $Al^d$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ , Li, Sc, Ga, Ni, Ag – по-видимому, отражает терригенный привнос металлов в угли и их связь с глинистым веществом;

2) CaO, MgO, Mo, MnO,  $Na_2O$ , Be, Y, Sr, TR,  $Fe_2O_3$ , Co,  $P_2O_5$  – вероятно, связана с фосфатами, карбонатами и цеолитами, сингенетической и, возможно, эпигенетической минерализацией;

3) Cs, Sb, Cu, Ge, W – объединяет общая форма нахождения этих элементов в ОВ углей (эти металлы имеют отрицательную связь с величиной зольности);

4) Nb, Ta, V, Zr – вероятно, отражает процессы выщелачивания и переотложения этих металлов из вулканогенных пород области питания (эти металлы имеют положительную корреляционную связь  $0,61-0,67$  с  $Na_2O$ ), однако, более слабая корреляционная связь с другими компонентами ассоциации 2) подразумевает отличный от них источник либо механизм мобилизации;

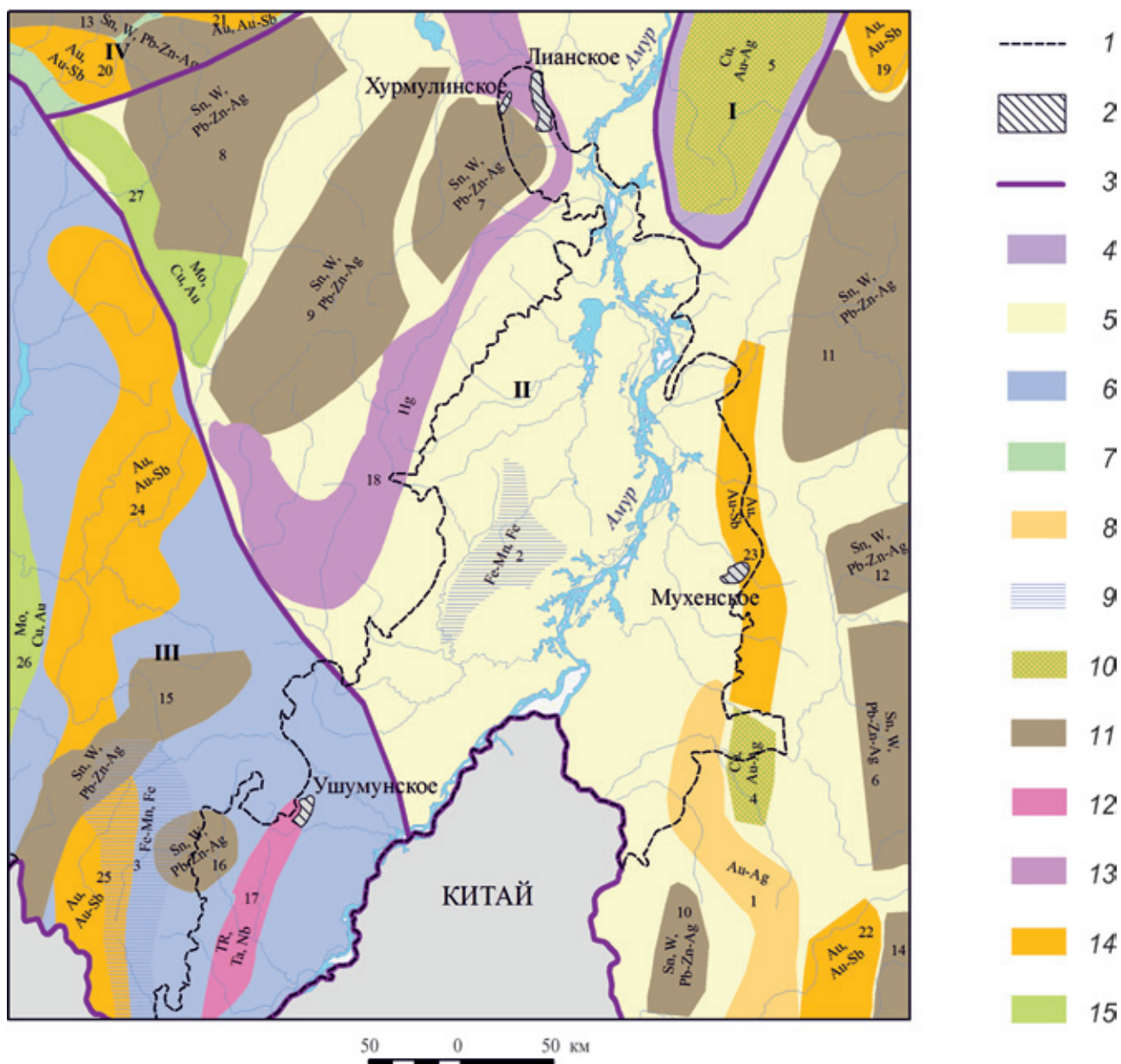
5) не вошедшие в другие ассоциации Rb и  $K_2O$  имеют сильную корреляционную связь (0,9) и, по-видимому, отражают присутствие гидрослюд в терригенной золе.

Высокие, вплоть до промышленных, концентрации многих металлов в углях связываются с составом пород области сноса, условиями древнего торфонакопления, а также с особенностями геологического развития региона, в частности с кайнозойским рифтогенезом и субсинхронным угленакоплением вулканизмом, которые могли обеспечить поставки металлов гидротермами. В обрамлении и в фундаменте изученных бурогольных месторождений широко развиты интрузивные, эффузивные, метаморфические породы палеозойского, мезозойского и кайнозойского возрастов, принимающие участие в их геологическом строении. При формировании угольных пластов преобладал озерно-болотный ландшафт с развитием руслово-пойменных фаций (Н. П. Пивченко, 1968; С. П. Воскресенский, 1963; В. В. Крапивенцева, 1963) [9].

Характер металлоносности изученных бурогольных месторождений в целом соответствует специализации минерагенических таксонов, в пределах которых они находятся (рис. 4). Ушумунское бурогольное месторождение, расположенное в юго-западной части Среднеамурского осадочного бассейна, структурно относится к северо-восточной части Бирофельдского грабена, в пределах Ханкайско-Буреинской минерагенической про-

винции профилирующими полезными ископаемыми являются Au, Mo, Fe, Mn, Sn, флюорит и в меньшей степени TR, Ag, Pb, Zn, Cu. В пределах Ханкайско-Буреинской минерагенической провинции, вблизи Ушумунского месторождения, выделяются Малохинганская (Fe-Mn, Mn), Хингано-Яуринская (Sn, W, Pb, Zn, Ag), Восточнобуреинская (Au, Au-Sb), Кур-Амгунская (Hg, Sb) минерагенические зоны, Биджанский (Sn, W, Pb, Zn, Ag) и Преображенковский (Be, TR, Ta, Nb) рудные районы. Специализация минерагенических таксонов, в пределах или вблизи которых расположено Ушумунское бурогольное месторождение, по всей видимости влияет на металлоносность углей, что выражается в присутствии высоких концентраций редких, редкоземельных (табл. 1) и других металлов (Cu, Ag, Sb, W). Мухенское, а также Лианское и Хурмулинское бурогольные месторождения, расположенные в юго-восточной и северо-восточной частях Среднеамурского бассейна, находятся в пределах Сихотэ-Алинской минерагенической провинции, ее главные полезные ископаемые Sn, W, Au, в меньшей степени Cu, Ag, Mo, Hg. Мухенское месторождение приурочено к отложениям платформенного чехла Переславского грабена, в пределах Аной-Мухенской рудной зоны (Au, Au-Sb). В углях Мухенского месторождения установлены высокие концентрации ряда редких металлов (табл. 1), а также единичные концентрации Au до 0,003, Sb до 2,7, в золе W до 43,3 г/т. Лианское и Хурмулинское бурогольные месторождения, являющиеся частью Хурмулинского грабена, находятся в пределах Кур-Амгунской минерагенической зоны (ртутное и сурьмяно-ртутное оруденение). В непосредственной близости к угольным месторождениям находится Комсомольский рудный район (Sn, W, Pb-Zn-Ag), где известен ряд месторождений: Соболиное (Sn, W, Cu, In), Ветвистое (Sn), Перевальное, Октябрьское и Придорожное (Sn, W, Cu), Солнечное (Sn, In) и др. В углях Лианского и Хурмулинского месторождений установлены высокие концентрации редких и редкоземельных металлов (табл. 1), а также Zr до 500, Sb до 16 г/т угля, КК – коэффициент концентрации элемента (отношение среднего содержания элемента в углях к его кларку в углях [по 13]) – 3,5, W (до 523 г/т зола, КК в угле Лианского месторождения – 9,6), Hg до 2,2 г/т, единичные концентрации Au до 0,004 г/т. Общий характер металлоносности углей изученных месторождений соответствует специализации их минерагенических провинций, однако спектр металлов, концентрации которых в углях достигают промышленных значений, в углях значительно шире, что обусловлено рядом факторов (разнообразие источников поступления металлов, геохимическая функция органического вещества углей).

На Мухенском месторождении источниками металлов могли служить породы его южного и вос-



**Рис. 4. Минерагеническое районирование Среднего Приамурья**

1 – граница Средне-Амурской угленосной площади; 2 – контуры изученных месторождений бурого угля; 3 – границы минерагенических провинций; 4–7 – минерагенические провинции и главные (второстепенные) полезные ископаемые: 4 – Восточно-Сихотэ-Алинская – Au, Ag, Pb, Zn, В (Sn, Cu, Mo), 5 – Сихотэ-Алинская – Sn, W, Au (Cu, Ag, Mo, Hg), 6 – Буреинско-Ханкайская – Au, Mo, Sn, Fe, Mn, fl (TR, Ag, Pb, Zn, Cu), 7 – Амуро-Охотская – Au, Hg, Fe (Cu, Mo, Ag, Mn, P, Ti); 8–15 – минерагенические таксоны и профильный тип оруденения: 8 – золото-серебряное эпитермальное, 9 – марганцевое, железо-марганцевое, фосфор-железо-марганцевое осадочное, 10 – медно-порфировое с золото-серебряной минерализацией, 11 – оловянное, вольфрамовое, олово-серебро-полиметаллическое жильного, скарнового, грейзенного типов, 12 – редкометальное, апатит-редкометальное и редкоземельное карбонатитового и грейзенного типов, 13 – ртутное и сурьмяно-ртутное, 14 – существенно золотое (золото-кварцевое, золото-сульфидное, золото-сурьмяное, золото-вольфрамовое), 15 – существенно молибденовое (в том числе с Cu и Au) жильного, грейзенного, порфирового типов.

1 – Алгано-Дурминская рудная зона; 2 – Ванданский рудный район; 3 – алохинганская минерагеническая зона; 4 – Нижне-Хорский рудный район; 5 – Шаман-Уткурская рудная зона; 6 – Верхне-Бикинский рудный район; 7 – Комсомольский рудный район; 8 – Дуссе-Алинский рудный район; 9 – Баджалский рудный район; 10 – Бикинская минерагеническая зона; 11 – Бута-Колпинский рудный район; 12 – Верхне-Хорский рудный район; 13 – Эзонский рудный район; 14 – Арму-Большеуссурский рудный район; 15 – Хингано-Яуринская минерагеническая зона; 16 – Биджанский рудный район; 17 – Преображенсовский рудный район; 18 – Кур-Амгунская минерагеническая зона; 19 – Тумнинский рудный район; 20 – Ниманский рудный район; 21 – Кербинский рудно-рассыпной район; 22 – Бикино-Уссурийская рудная зона; 23 – Анюй-Мухенская рудная зона; 24, 25 – Восточнобуреинская минерагеническая зона; 26 – Тырминская минерагеническая зона; 27 – Тырмо-Ниманская минерагеническая зона

точного обрамления и выступы фундамента на самом месторождении, сложенные мезозойскими метаморфическими и эффузивными образованиями. Об этом свидетельствует состав терригенного материала (руслово-пойменный и пойменный комплексы фаций) – кремнистые и яшмовидные кремнистые сланцы, метаморфизованные песчаники, обломки алевропелитовых туфов, андезитов, кварцевых порфиров, порфиритов (Н. П. Пивченко, 1968). Водные потоки выносили из размываемых ими эффузивов редкие металлы в бассейн торфообразования как в растворенном виде, так и в составе обломков пород и минералов. В первом случае растворенные металлы усваивались ОВ древних торфяников, связывались гуминовыми и фульвокислотами. Во втором случае терригенный материал образовывал в углях линзы, прослой и рассеянные частицы, формируя так называемую «кластогенную золу» [11, 12].

На Ушумунском месторождении происхождение высоких концентраций ряда металлов, по-видимому, также связано с привнесением терригенного материала в бассейн торфообразования и с гипергенными процессами. В связи с тем, что обломочный материал в осадочных угленосных отложениях Ушумунского месторождения представлен по большей части продуктами разрушения эффузивов среднего состава (дациты, дацитовые порфириты, андезиты, их туфы) и в значительно меньшей степени гранитов и пегматитов (Н. П. Пивченко, 1968), предполагается, что областями сноса служили северо-западная и восточная приподнятые окраины грабена (рис. 3). Происхождение высоких концентраций редких металлов можно также объяснить разгрузкой металлоносных растворов, образовавшихся в корях выветривания на многофазном интрузивном массиве в верховьях ручьев Малый и Большой Ушумун (северо-западное обрамление Ушумунской впадины) на восстановительном барьере древних торфяников (Н. А. Дригин, 2011).

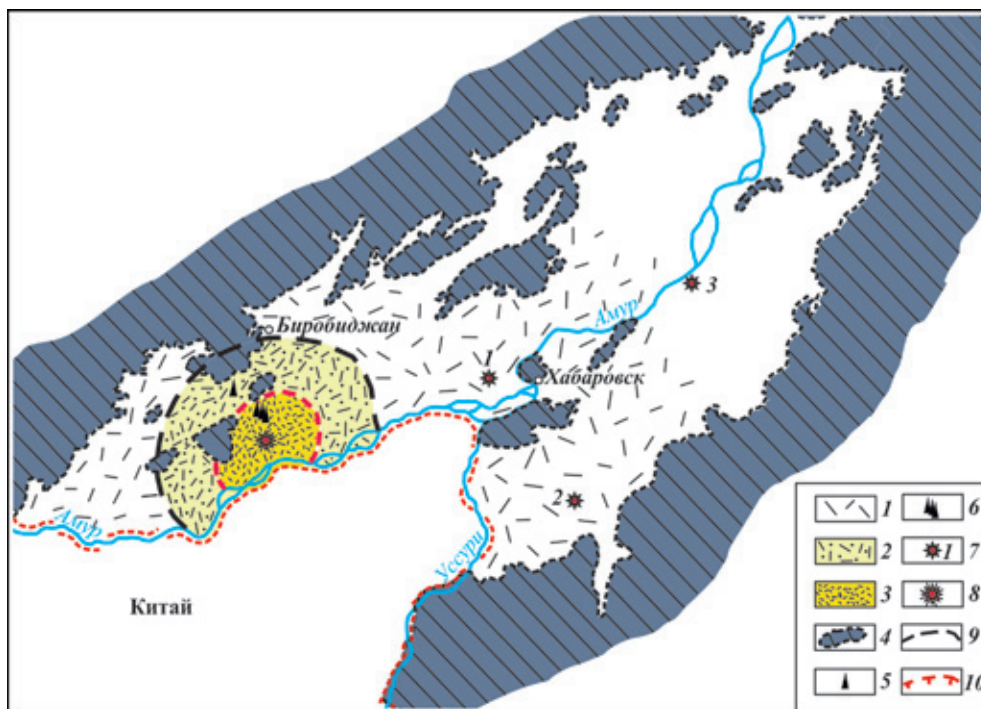
Наличие высоких концентраций ряда металлов в углях Хурмулинского и Лианского месторождений также связывается со сносом с верхнеюрских пород фундамента и обрамления месторождений. На Лианском месторождении олигоцен-миоценовые отложения угленосной толщи с развитием залегают на юрских образованиях, где развита кора выветривания каолинового типа мощностью до 70 м (В. Н. Першин и др., 1986), [9]. Близость расположения горных хребтов, сложенных кислыми и средними породами (позднемиоценовые вулканы мяочанского и амутского комплексов), расчлененный рельеф горного обрамления, густая речная сеть, способствовавшая развитию процессов химического и физического выветривания, являются благоприятными факторами для мобилизации редких и других металлов, а широкое развитие озерно-болотных фаций в период осадконакопления на Хурмулинском и Лианском месторождениях способствовало концентрированию металлов ОВ. Характерным для данных месторождений также является факт наличия тел изверженных пород, представленных базальтами плиоценового возраста, залегающих на размытой поверхности угленосных толщ, однако степень их влияния на угольные пласты (инъекции, замещения) не установлена.

Конечно, содержание и распределение редких и ценных металлов в углях Среднеамурского осадочного бассейна может быть частично обусловлено и влиянием субсинхронного вулканизма, широко проявившегося на территории изучаемого региона в кайнозойское время, и в целом активной магматической деятельностью в период формирования осадочного чехла Среднеамурского осадочного бассейна. Так, в Бирофельдском грабене в раннем кайнозое сформировалась эффузивная толща палеоценовых дацитов, андезитов, андезитовых и полевошпатовых порфиритов и их туфов. Вследствие дифференцированных движений фундамента образовался резкий перепад уровней поверхностей окраин грабена и его центральной части, соответствующих областям денудации пород и накопления осадков. В чернореченское время (эоцен – олигоцен) обильный снос и накопление терригенного материала компенсировал погружение грабена, выравнивая его поверхность, поэтому ко времени формирования угленосной подсвиты чернореченской свиты создаются благоприятные условия для развития торфяных болот. Накопление, согласно залегающей на отложениях чернореченской свиты бирофельдской свиты (олигоцен), происходило в условиях мелкого, но обширного пресноводного водоема. Значительное обогащение пород свиты туфогенным материалом и наличие прослоев пепловых туфов свидетельствуют о сопровождении осадкообразования в Бирофельдском грабене вулканической деятельностью [1]. В находящемся поблизости Мориловцеком грабеноподобном погружении в это время накапливается толща (до 90 м) пепловых туфов и туффитов (рис. 5). О присутствии в этом районе очага извержения может свидетельствовать Мориловцевский гравитационный минимум, имеющий округлые очертания, в отличие от других минимумов в этом районе. Вблизи него образовалась толща пепловых туфов, в Бирофельдском грабене – туфогенные глины с прослоями пепловых туфов, а в более отдаленных районах – пирокластический материал в виде примесей и включений.

Последующее осадконакопление в Бирофельдском грабене (формирование угленосной ушумунской свиты, залегающей согласно на отложениях бирофельдской свиты) происходило на выровненной поверхности с широким развитием озер. Стабильное погружение территории их развития, теплый влажный климат способствовали бурному развитию растительности, зарастанию и заболачиванию. В период формирования верхней (безугольной) подсвиты ушумунской свиты на окраинах грабена по ограничивающим его разломам произошло излияние базальтов [1, 3].

Выделим следующие факторы субсинхронного вулканизма, возможно, также влияющие на распределение и концентрацию редких и других металлов в углях Средне-Амурской угленосной площади: 1) влияние вулканического эолового материала и пирокластики и продуктов их химической трансформации на формирующиеся угленосные отложения; 2) флюидно-гидротермальные процессы, связанные с магматической активностью, субсинхронной углеобразованию, в том числе в диагенезе; 3) не исключены, по [12], и процессы биогенного усвоения микроэлементов и элементов-примесей, связанные с широко известным плодородием почв на вулканогенном субстрате.





**Рис. 5. Схема расположения предполагаемого Мориловецкого вулканического аппарата и его влияние на накопление туфогенных осадков [1]**

1 – области формирования осадочных пород с примесью пирокластического материала; 2 – области формирования туфогенных осадочных пород; 3 – области накопления пепловых туфов и туффигов; 4 – выход на поверхность пород складчатого основания; 5 – скв. 1/3-ОК (Ушумунская впадина); 6 – скважины 3а, 4а, 5а; 7 – вулканические аппараты: 1 – Тунгусский, 2 – Святогорский, 3 – Синдинский; 8 – Мориловецкий вулканический аппарат; 9 – контуры площади накопления туфов; 10 – контуры площади накопления туфогенных пород

Металлоносные угольные месторождения многократно описаны в относительно близких Буринском бассейне, на Амуро-Зейской площади, в Приморье, в Китае. В целом угли тихоокеанской окраины Азии обладают высоким металлоносным потенциалом.

Практическая целесообразность изучения редких и других элементов в этих углях определяется возможностями их извлечения. Для извлечения Ge из углей применяется промышленная технология его концентрации в зольных уносах в электрофильтрах ТЭС с последующим извлечением гидрометаллургическим способом из продуктов угольного передела на заводе ООО «Германий и приложени-». Известно, что ВНИИХТ (К. М. Смирнов,

О. К. Крылова, 2014) осуществлял опытное извлечение Ga, Y, Sc, Ge из золошлаковых отходов с применением технологии переработки трудно вскрываемых руд на основе процессов гидроциклонирования и магнитной сепарации. По данным ВНИИХТ, из магнитной фракции золы Рязанской ГРЭС суммарная степень извлечения в жидкую фазу пульпы и на сорбент TR 36, Y 90, Sc 73 %. Из бурых углей можно добывать W, Ga, Y, Sc, Zr, TR действием растворов кислот, щелочей (патент ВНР № 184347, 1986). Be, Cu, Mn, As, V, Ga из золошлаковых отходов бурых углей можно извлекать методом бактериального выщелачивания [4].

Поскольку возможности для извлечения не только Ge, но и других редких и ценных металлов

Таблица 3

**Прогнозные ресурсы металлов в бурогольных месторождениях Среднего Приамурья**

| Месторождение | Прогнозные ресурсы металлов (P <sub>2</sub> + P <sub>3</sub> ), т |        |        |                   |         |                   |                                |                 |
|---------------|---|--------|--------|-------------------|---------|-------------------|--------------------------------|-----------------|
|               | Sc  | V      | Ga     | Rb <sub>2</sub> O | Sr      | Cs <sub>2</sub> O | TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | WO <sub>3</sub> |
| Хурмулинское  | 296   | 2 363  | 380    | 1 907             | 6 598   | 203               | 12 307                         | 151             |
| Лианское      | 832   | 5 253  | 849    | 3 753             | 51 684  | 492               | 17 026                         | 1 191           |
| Мухенское     | 1311  | 11 138 | 1 808  | 8 067             | 41 669  | 860               | 16 229                         | 213             |
| Ушумунское    | 7560  | 42 149 | 11 728 | 40 287            | 40 287  | 8 740             | 150 130                        | 19 344          |
| Всего         | 9999  | 60 903 | 14 765 | 54 014            | 140 238 | 10 295            | 195 692                        | 20 899          |

существуют, вполне рациональна оценка их прогнозных ресурсов. Подсчет прогнозных ресурсов редких и ценных металлов основывался на прямых аналитических данных, повышенных, соответствующих уровню промышленных содержаний в рудах, концентрациях элементов в углях.

Ресурсы тех или иных металлов вычислялись по формуле

$$P = Q \cdot M_{cp} \cdot T,$$

где  $Q$  — запасы угля по изученным участкам месторождений (ГБЗ. Вып. 28. 2009);  $M_{cp}$  — среднее содержание элемента в г/т рядового угля;  $M_{cp} = C_{PЭ} \text{ на сук. уголь} \times K_{п}$ , где  $K_{п}$  — поправочный коэффициент на влажность угля (от 0,55 до 0,755 %).

Результаты подсчета прогнозных ресурсов редких и ценных металлов представлены в табл. 3. Приведенные данные по ресурсному потенциалу ряда ценных металлов в углях Среднего Приамурья свидетельствуют о возможности наличия новой нетрадиционной минерально-сырьевой базы редкометалльного сырья в твердых горючих полезных ископаемых.

Следует отметить, в том числе по результатам геолого-экономической и стоимостной оценки [7, 8], что учет и организация в будущем попутного извлечения ряда редких и других ценных металлов из углей изученных металлоносных угольных месторождений существенно повысят инвестиционную привлекательность и экономическую эффективность их разработки. Это определяет необходимость дальнейшего геолого-генетического исследования феномена металлоносности углей Дальнего Востока.

1. Варнавский В.Г. Палеогеновые и неогеновые отложения Средне-Амурской впадины. — М.: Наука, 1971. — 160 с.

2. Варнавский В.Г., Седых А.К., Рыбалко В.И. Палеоген и неоген Приамурья и Приморья. — Владивосток: ДВО АН СССР, 1988. — 184 с.

3. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. / под ред. А.И. Ханчука. — Владивосток: Дальнаука, 2006. — Кн. 1. 572 с.

4. Онихимовский В.В., Беломестных Ю.С. Полезные ископаемые Хабаровского края (Перспективные для освоения месторождения и проявления). — Хабаровск: Хабар. краев. тип, 1996. — 495 с.

5. Крапивенцева В.В. Металлоносность углей Приамурья // Тихоокеан. геология. 2005. Т. 24. № 1. — С. 73–84.

6. Крапивенцева В.В., Иванов В.В. Геологический контроль повышенной металлоносности углей Ушумунского бурогоугольного месторождения Бирофельдского грабена Илань-Итунской ветви системы разломов Тан-Лу (ЕАО, Дальний Восток России) // Тектоника, глубинное строение и минералогия Востока Азии: VIII Косыгинские чтения: материалы Всерос. конф. — Хабаровск: ИТиГ им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, 2013. — 600 с.

7. Неженский И.А., Вялов В.И., Мирхалева Н.В., Чернышев А.А. Геолого-экономическая оценка редкометалльно-угольных месторождений — перспективного геолого-промышленного типа // Регион. геология и металлогения. 2013. № 54. — С. 99–108.

8. Неженский И.А., Вялов В.И., Мирхалева Н.В., Шишов Е.П. Экономические показатели возможных вариантов разработки редкометалльно-угольных месторождений нераспределенного фонда недр Дальнего Востока // Регион. геология и металлогения. 2014. № 57. — С. 95–101.

9. Подольн В.И., Гонохова Н.Г., Седых А.К. Угольная база России. Т. V. Кн. 1. Угольные бассейны и месторождения Дальнего Востока (Хабаровский край, Амурская

область, Приморский край, Еврейская АО). — М.: Геоинформмарк, Геоинформ, 1997. — 371 с.

10. Среднеамурский осадочный бассейн: геологическое строение, геодинамика, топливно-энергетические ресурсы / отв. ред. Г.Л. Кириллова. — Владивосток: ДВО РАН, 2009. — 424 с. (Серия «Осадочные бассейны Востока России» / гл. ред. А.М. Ханчук. Т. 3).

11. Юдович Я.Э.— Л.: Наука, 1978. — 262 с.

12. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Неорганическое вещество углей. — Екатеринбург: УрО РАН, 2002. — 423 с.

13. Ketris M.P., Yudovich Ya.E. Estimations of Clarkes for carbonaceous biolithes: world averages for trace element contents in black shales and coals // Int. J. Coal. Geol. 2009. Vol. 78. No 2. — P. 135–148.

1. Varnavskiy V.G. Paleogenovye i neogenovye otlozheniya Sredne-Amurskoy vpadiny [Paleogene and Neogene deposits of the Middle Amur depression]. Moscow: Nauka. 1971. 160 p.

2. Varnavskiy V.G., Sedyh A.K., Rybalko V.I. Paleogen i neogen Priamur'ya i Primor'ya [Paleogene and Neogene of Priamurye and Primorye]. Vladivostok: DVO AN SSSR. 1988. 184 p.

3. Geodinamika, magmatizm i metallogeniya Vostoka Rossii: v 2 kn. [Geodynamics, magmatism and metallogeny of the East of Russia: in 2 books]. Ed. by A.I. Hanchuk. Vladivostok: Dal'nauka. 2006. Book 1. 572 p.

4. Onihimovskiy V.V., Belomestnyh Yu.S. Poleznye iskopaemye Habarovskogo kraja (Perspektivnye dlya osvoeniya mestorozhdeniya i proyavleniya) [Minerals of the Khabarovsk territory (Perspective for development of the deposit and manifestation)]. Habarovsk: Habar. kraev. tip. 1996. 495 p.

5. Krapivenceva V.V. Metalliferousness of Amur Coals. *Tihookeanskaya geologiya*. 2005. Vol. 24. No 1, pp. 73–84. (In Russian).

6. Krapiventseva V.V., Ivanov V.V. Geological control of the increased metal content of the coals of the Ushumun brown coal deposit of the Birofeld graben of the Ilan-Itun branch of the Tan-Lu fault system (EAO, Far East of Russia). *Tectonics, deep structure and mineralogy of the East of Asia: VIII Kosygin readings: Materials of the All-Russian Conference*. Habarovsk: ITiG im. Yu.A. Kosygina DVO RAN. 2013. 600 p. (In Russian).

7. Nezhenskiy I.A., Vyalov V.I., Mirhalevskaya N.V., Chernyshev A.A. Geological and economic assessment of rare metal-coal deposits — a promising geological-industrial type. *Region. geologiya i metallogeniya*. 2013. No 54, pp. 99–108. (In Russian).

8. Nezhenskiy I.A., Vyalov V.I., Mirhalevskaya N.V., Shishov E.P. Economic indicators of possible options for the development of rare metal-coal deposits of the unallocated subsoil fund of the Far East. *Region. geologiya i metallogeniya*. 2014. No 57, pp. 95–101. (In Russian).

9. Podolyan V.I., Gonohova N.G., Sedyh A.K. Ugol'naya baza Rossii. T. V. Kn. 1. Ugol'nye basseyny i mestorozhdeniya Dal'nego Vostoka (Habarovskiy kraj, Amurskaya oblast', Primorskiy kraj, Evreyskaya AO) [Coal base of Russia. Vol. V. Book 1. Coal basins and deposits of the Far East (Khabarovsk territory, Amur region, Primorsky territory, Jewish Autonomous Region)]. Moscow: Geoinformmark, Geoinform. 1997. 371 p.

10. Sredneamurskiy osadochnyy basseyn: geologicheskoe stroenie, geodinamika, toplivno-ehnergeticheskie resursy [Middle Amur sedimentary basin: geological structure, geodynamics, fuel and energy resources]. Executive editor G.L. Kirillova. Vladivostok: DVO RAN. 2009. 424 p. (Seriya "Osadochnye basseyny Vostoka Rossii". Editor in chief A.M. Hanchuk. Vol. 3).

11. Yudovich Ya.Eh. Geohimiya iskopaemyh ugley [Geochemistry of fossil coals]. Leningrad: Nauka. 1978. 262 p.

12. Yudovich Ya.Eh., Ketris M.P. Neorganicheskoe veshchestvo ugley [Inorganic matter of coals] Ekaterinburg: UrO RAN. 2002. 423 p.

13. Ketris, M.P., Yudovich, Ya.E. 2009: Estimations of Clarkes for carbonaceous biolithes: world averages for trace element contents in black shales and coals. *Int. J. Coal. Geol.* Vol. 78. 2. 135–148.

---

*Шишов Евгений Павлович* – ст. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ <sup>1</sup>. <Evgeny\_Shishov@vsegei.ru>  
*Чернышев Артем Артурович* – науч. сотрудник, ВСЕГЕИ <sup>1</sup>. <Artem\_Chernyshev@vsege.ru>

*Shishov Evgeny Pavlovich* – Senior Researcher, VSEGEI <sup>1</sup>. <Evgeny\_Shishov@vsegei.ru>  
*Chernyshev Artem Arturovich* – Researcher, VSEGEI <sup>1</sup>. <Artem\_Chernyshev@vsege.ru>

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, 199106, Россия.  
A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74, Sredny Prospect, St. Petersburg, 199106, Russia