

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РУДНЫХ И РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ КОМПЛЕКСАХ АКАТУЕВСКОГО ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

## ORE AND RARE ELEMENTS DISTRIBUTION IN NATURAL-TECHNOGENIC COMPLEXES OF THE AKATUYEVSKY POLYMETALLIC DEPOSIT



**Б. Н. Абрамов,**  
Институт природных ресурсов,  
экологии и криологии, Сибирское  
отделение Российской академии  
наук, г. Чита  
b\_abramov@mail.ru

**B. Abramov,**  
Institute of Natural Resources,  
Ecology and Cryology. Siberian  
Branch of the Russian Academy  
of Sciences, Chita



**Т. Г. Цыренов,**  
Институт природных ресурсов,  
экологии и криологии, Сибирское  
отделение Российской академии  
наук, г. Чита  
master.of.pistols@mail.ru

**T. Tsyrenov,**  
Institute of Natural Resources,  
Ecology and Cryology. Siberian  
Branch of the Russian Academy of  
Sciences, Chita

**А**ктуальность работы продиктована необходимостью установления предельно допустимых содержаний токсичных элементов в природно-техногенных комплексах Акатуевского полиметаллического месторождения. Определение элементного состава проб проводилось рентгенофлуоресцентным методом в геологическом институте ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ), а также ICP-MS методом в лаборатории ЗАО «SGS Vostok Limited» (г. Чита).

Определены концентрации рудных и редких элементов, в том числе потенциально опасных токсичных элементов, во всех составляющих природно-техногенных комплексов Акатуевского полиметаллического месторождения (вмещающие породы, руды, технозоны, почвы). Выявлено, что в технозолах Акатуевского месторождения значительно превышены предельно-допустимые концентрации токсичных элементов. Так, содержание As во вмещающих породах в 127 раз превышает их концентрации в осадочных отложениях земной коры: Pb – в 2,3; Zn – в 1,5; Cu – в 5 раз. Установлено, что содержания токсичных элементов в почвах в ближайшем обрамлении хвостохранилища превышают предельно-допустимые концентрации As – в 489 раз; Pb – в 22; Cd – в 85 раз.

В содержаниях редкоземельных элементов (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Y) установлено их закономерное уменьшение в следующем порядке: вмещающие породы → технозоны → свинцово-цинковые руды → почвы. Во всех исследованных пробах наблюдается отрицательная европиевая аномалия. Определено, что геохимическая специализация материалов техногенных образований Акатуевского месторождения тесно связана с элементным составом извлеченных свинцово-цинковых руд

**Ключевые слова:** Восточное Забайкалье; Акатуевское полиметаллическое месторождение; хвостохранилище; вмещающие породы; технозоны; свинцово-цинковые руды; токсичные элементы; редкоземельные элементы; предельно допустимые концентрации; европиевая аномалия

**T**he actuality of the study is caused by the necessity to identify the maximum permissible concentrations of toxic elements in natural and technogenic complexes of the Akatuevsky polymetallic deposit. Determination of elemental composition of samples was carried out by the X-ray fluorescence method at the Geological Institute of the GIN SB RAS (Ulan-Ude), as well as by the ICP-MS method in the laboratory of SGS Vostok Limited CJSC (Chita).

Concentrations of ore and rare elements, including potentially hazardous toxic elements, have been determined in all components of the natural-technogenic complexes of Akatuevsky polymetallic deposit (host rocks, ores, technosols, soils). It has been shown that the maximum permissible concentrations of toxic elements in the technosols of Akatuevsky deposit are significantly exceeded. Thus, As content in the host rocks is 127 times more than their concentration in sedimentary rocks of the Earth's crust, Pb – 2,3 times, Zn – 1,5 times, Cu – 5 times. It has been stated that the toxic element content in the soil, in the closest frame of the tailings dump, exceeds the maximum permissible As concentration by 489 times, Pb – by 22 times, Cd – by 85 times.

In the content of rare earth elements (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Y), their regular reduction is determined in the order of: host rocks → technosols → lead-zinc ores → soils. Negative europium

anomaly was observed in all examined samples. It has been defined that the geochemical specialization of the technogenic formation materials of the Akatuevsky deposit is closely connected with the elemental composition of the extracted lead-zinc ores

**Key words:** Eastern Transbaikalia; Akatuevsky polymetallic deposit; mine tailing dump; host rocks; technosols; lead-zinc ores; toxic elements; rare earth elements; maximum permissible concentrations; europium anomaly

**В**ведение. Природно-техногенным комплексом называется природно-антропогенная система, включающая естественные природные и техногенные объекты. Изучение распределения редких и редкоземельных элементов в природно-техногенных комплексах проводится с целью получения информации о содержаниях рудных и редких элементов в системах порода – руда – хвостохранилище. К числу редких химических элементов относят малораспространенные в природе элементы с кларками ориентировочно ниже 0,01 %. К ним относятся: Li, Cs, Be, Sr; редкоземельные элементы (РЗЭ); Zr, Nb, Ta, Mo, W и др. [4].

Объектом исследования являются элементы природно-техногенного комплекса Акатуевского полиметаллического месторождения: свинцово-цинковые руды, вмещающие породы, почва и техноземы.

Предмет исследования – распределение рудных и редких элементов во всех составляющих природно-техногенного комплекса.

Вопрос современного состояния экологии горно-рудных территорий стоит весьма остро. Отмечается повсеместное ухудшение экологической обстановки населенных пунктов, расположенных в зоне влияния действующих и закрытых горно-обогатительных комбинатов.

Целью исследования является эколого-геохимическая оценка содержания рудных и редких элементов на территории Акатуевского полиметаллического месторождения.

Выявлено, что геохимическая специализация материалов техногенных образований Акатуевского месторождения тесно связана с элементным составом извлеченных свинцово-цинковых руд. Установлено значительное превышение концентрации рудных элементов, в том числе токсичных, в техногенных системах (хвостохранилищах), что оказывает негативное влияние на экологию окружающей природной среды [1; 3; 5; 8–14].

Фактический материал и методы исследования. В основу работы положен материал, полученный авторами в процессе тематиче-

ских и полевых исследований Института экологии и криологии СО РАН в 2014–2019 гг., а также опубликованные данные территориальных геологических фондов (г. Чита). Определение элементного состава проб объекта исследования экспериментально проводилось рентгенофлуоресцентным (РФА) и ICP-AES методами в геологическом институте ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ), а также методом ICP-MS в лаборатории ЗАО “SGS Vostok Limited” (г. Чита).

*Краткая геологическая характеристика Акатуевского полиметаллического месторождения.* Месторождение открыто в 1815 г. Разработкой месторождения в 1993–2002 гг. занимался Нерчинский полиметаллический комбинат. Отработка месторождения проводилась подземным способом. В 2002 г. комбинат был закрыт.

В геологическом строении района месторождения присутствуют нижнепалеозойские осадочно-метаморфические отложения, позднепалеозойские граниты, гранодиориты, юрские осадочные и вулканогенно-осадочные отложения (рис. 1).

В структурном отношении Акатуевское рудное поле относится к участку сопряжения северо-восточного Борзинско-Газимурского разлома с субмеридиональной Бугдая-Акатуевской системой нарушений. В рудном поле преобладающими являются разломы северо-восточного простирания, прочие тектонические нарушения имеют подчиненное значение. Основную часть рудного поля составляют сланцевые и карбонатные отложения, протягивающиеся с юго-запада на северо-восток в виде полосы шириной 0,6...1,2 км. На месторождении известно 12 рудных тел. Среди них 10 имеют жиллообразную форму длиной 150...400 м и мощностью 0,5...15 м, 2 – трубообразную. Трубообразные тела характеризуются средней мощностью до 25 м и включают около 60 % подсчитанных запасов. Руды месторождения сильно окислены до глубины 100...240 м. Главные рудные минералы: англезит, церуссит, галенит, смитсонит и сфалерит.

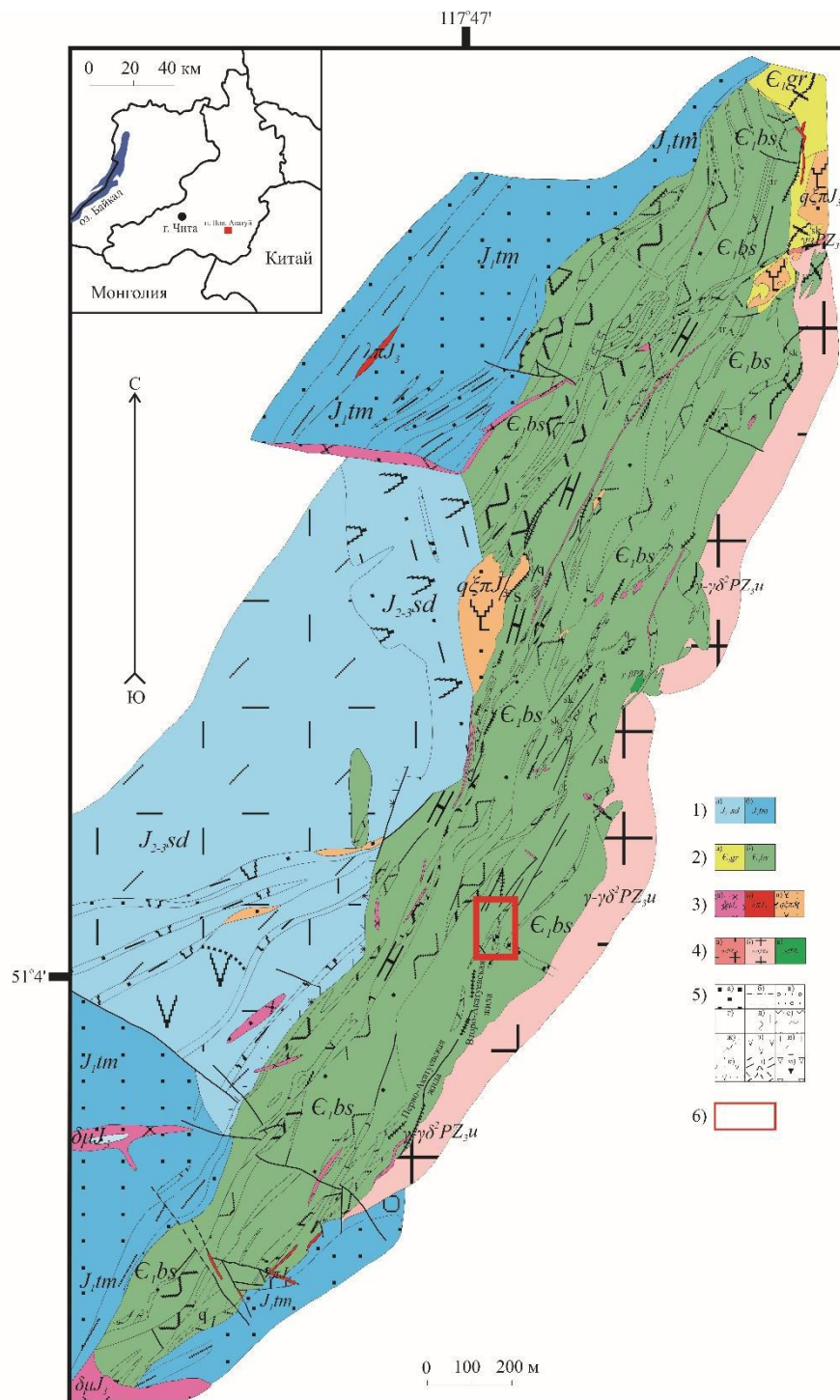


Рис. 1. Схема геологического строения Акаутеевского рудного поля:

- 1) Юрская система: а) Шадоронская серия (J<sub>2-3</sub>sd). Кварцевые латиты, трахилипариты и их туфы, туфоалевролиты с маломощными прослоями туфопесчаников; б) Таменгинская свита (J<sub>1</sub>tm). Песчаники с прослоями алевролитов, углисто-глинистых сланцев и конгломератов;
- 2) Кембрийская система: Нижний отдел: а) Гарджиурская свита (E.gr). Кварциты, кварцитовидные песчаники, кварцево-сланцевые сланцы, глинистые известняки; б) Быстринская свита (E.bs). Известняки, доломиты, роговики и сланцы с различными изменениями по простиранию;
- 3) Позднеюрские интрузии: а) Диоритовые порфиры (дайки и штоки), лампрофиры (спассартиты) – (γ), (δμJ<sub>3</sub>); б) Кварцевые порфиры, гранит-порфиры (γπ), (λJ<sub>3</sub>); в) Кварцевые сиенит-порфиры, кварцевые сиениты (γδPZ<sub>3</sub>u);
- 4) Позднепалеозойские интрузии. Ундинский интрузивный комплекс: а) Третья фаза. Граниты лейкократовые мелкозернистые (аплитовидные) и среднезернистые (γδPZ<sub>3</sub>u) и б) Вторая фаза. Биотитовые и биотит-амфиболовые

граниты, гранодиориты ( $\gamma\text{-}\delta_2\text{PZ}_3\text{u}$ ); в) Раннепалеозойские интрузии. Метагаббро-диабазы ( $U\text{-}\beta\text{PZ}_1$ ). 5) Разности пород: а) Песчаники; б) Глинистые отложения (алевролиты, аргиллиты); в) Конгломераты; г) Карбонатные отложения (мраморизованные, глинистые, углистые известняки и доломиты); д) Ороговикование; е) Сланцы (углистые и глинистые); ж) Кварциты, кварцитовидные песчаники и сланцы; з) Кварцевые латиты; и) Трахилипариты; к) Туфы (туфопесчаники и туфоалевролиты); л) Тектонические зоны дробления; м) Тектонические брекчии (известково-глинистые и кварцевые). 6) Местоположение хвостохранилища рудника Акатуевского полиметаллического месторождения /

Fig. 1. Scheme of the geological structure of Akatuevsky ore field.

1) Jurassic: a) Shadoron Series ( $J_{2-3}\text{sd}$ ). Quartz latites, trachylyparites and their tufts, tuff siltstones with low-power interlayers of tuff sandstones; b) Tamenginsky formation ( $J_{1\text{tm}}$ ). Sandstones with interlayers of siltstones, carbonaceous shales and conglomerates. 2) Cambrian: Lower section: (a) Gardzhiguysky formation ( $E_{1gr}$ ). Quartzites, quartzite sandstones, quartz-micaceous shales, clay limestone; b) Bystrinsky formation ( $E_{1bs}$ ). Limestones, dolomites, shale rock and shales with various strike changes. 3) Late Jurassic intrusions: a) Diorite porphyrites (dykes and rods), lamprophyres (spessartites) – ( $\gamma$ ), ( $\delta_1\text{J}_3$ ); b) Quartz porphyres, granite porphyres ( $\gamma\pi$ ), ( $\lambda\pi\text{J}_3$ ); c) Quartz syenite porphyres, quartz syenites ( $\alpha\zeta\pi\text{J}_3$ ). 4) Late Paleozoic intrusions. Undine intrusive complex: a) Third phase. Granites leucocratic, fine grained (aplite-like) and medium grained ( $\gamma\text{PZ}_3\text{u}$ ); b) Second phase. Biotite and biotite-amphibole granites, granodiorites ( $\gamma\text{-}\delta_2\text{PZ}_3\text{u}$ ); c) Early Paleozoic intrusions. Metagabbro-diabases ( $U\text{-}\beta\text{PZ}_1$ ). 5) Rocks differences: a) Sandstones; b) Clay sediments (siltstones, mudstones); c) Conglomerates; d) Carbonate sediments (marbled, clay, carbonaceous limestones and dolomites); e) Shale rocks; f) Shales (carbonaceous and clay); g) Quartzites, quartzitic sandstones and shales; h) Quartz latites; i) Trachylyparites; j) Tufts (tuff sandstones and tuff siltstones); l) Tectonic crushing zones; m) Tectonic breccias (lime-clayed and quartz). 6) Location of the Akatuevsky polymetallic mine tailing dump

Хвостохранилище рудника состоит из трех прудов-накопителей общей протяженностью 850 м при максимальной ширине около 250 м. Хвосты не затоплены, наблюдается интенсивное эоловое развевание и вынос хвостов по эрозионным промоинам. Высота дамбы нижнего пруда-накопителя – 7...9 м. По склону внешнего откоса дамбы наблюдается развитие промоин (мелкоструйчатая эрозия). Дамба среднего пруда-накопителя в правобережной части разрушена промоиной, сформированной стоком воды из штольни. Вдоль левобережной части пруда-накопителя расположена промоина глубиной более 3 м, предположительно, для спуска дождевых и талых вод с верховий долины. Дамбы верхнего пруда-накопителя как таковой не существует – имеется хаотическое нагромождение отвалов [6].

**Результаты исследования.** Анализ распределения химических элементов во всех составляющих природно-техногенных комплексов выявил превышение как относительно средних содержаний в осадочных горных породах земной коры, так и предельно допустимых концентраций в почве. Так, средние содержания As во вмещающих породах превышают средние содержания в осадочных горных породах земной коры в 127 раз, в рудах – в 29 712, в техноземах – в 4 019, в почвах – в 489 раз (табл. 1) [2]. При этом содержание химических элементов в свинцово-цинковых рудах Акатуевского место-

рождения приблизительно соответствует их концентрациям в рудах других полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья.

Содержания токсичных элементов в почвах, в ближайшем обрамлении хвостохранилища, превышают предельно допустимые концентрации As в 489 раз, Pb – в 22, Cd – в 85 раз (табл. 1, рис. 2) [2].

На спайдер-диаграммах распределения лантаноидов в природно-техногенных комплексах отмечается четкий европиевый минимум (рис. 3). В содержаниях редкоземельных элементов отмечается закономерное уменьшение их в порядке: вмещающие породы → техноземы → свинцово-цинковые руды → почвы (табл. 2, рис. 3). Во всех исследованных образцах наблюдается отрицательная европиевая аномалия (см. рис. 3). Для вмещающих пород и руд это объясняется их формированием за счет очень дифференцированных магматических очагов. Почвы и техноземы являются их производными.

Известно, что основным концентратом европия в породах служит плагиоклаз. Наличие европиевого минимума во вмещающих горных породах связано с фракционированием плагиоклаза. Спектры легких РЗЭ в пробах всех исследованных объектов природно-техногенного комплекса Акатуевского месторождения имеют схожие тренды распределения и отрицательный уклон со снижением концентрации легких РЗЭ.

Таблица 1 / Table 1

Содержания рудных и редких элементов в природно-техногенных комплексах полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья, г/т / Content of ore and rare elements in natural-technogenic complexes of polymetallic deposits of the Eastern Transbaikalia, ppm

	Zn	Pb	As	Cu	Sb	Sn	Nd	Rb	Sr	Zr	In	Cd
*	83	16	1,7	47	0,5	2,5	37	150	340	170	0,25	0,13
**	23	32	2	3	4,5	-	-	-	-	6	-	2
Акатуевское месторождение, свинцово-цинковые руды (n=9) / Akatuevsky deposit, lead-zinc ores (n=9)												
x	118 982	49 876	50 511	867	155	12	4	40	44	35	38	835
s	124 236	72 311	80 559	652	221	16	2	52	28	51	38	862
*/x	1433	3115	29 712	18	310	4,8	0,1	0,26	0,13	0,2	152	6423
Вмещающие породы (n = 7) / Adjacent strata (n = 7)												
x	126	73	217	18	50	4	29	133	433	155	-	-
s	90	97	354	15	113	3	4	22	98	98	-	-
*/x	1,5	2,3	127	5	11	1,5	4,1	0,88	1,27	0,9	-	-
Техноземы (n=15) / Technosols (n=15)												
x	9980	3632	8038	211	48	7	9	29	543	18	-	2
s	9555	1878	5295	129	27	5	5	20	254	13	-	1
**/x	434	113,5	4019	4,48	10,6	-	-	-	-	3	-	1
Почвы (n=19) / Soils (n=19)												
x	1831	1189	978	72	15	4	21	91	281	62	-	11
s	2768	2431	1517	102	17	1,5	8	37	141	24	-	20
**/x	22	37	489	13	30	1,6	-	-	-	10	-	85
Нойон-Тологойское месторождение, свинцово-цинковые руды (n=12) / Noyon-Tolgoysky deposit, lead-zinc ores (n=12)												
x	114 913	52 862	49 416	899	8764	462	-	37 200	265	149	584	688
s	69 975	40 175	34 296	566	17 822	837	-	38 125	143	8	701	507
Ново-Широкинское месторождение, свинцово-цинковые руды (n=12) / Novo-Shirokinsky deposit, lead-zinc ores (n=12)												
x	86 000	207 600	1386	32 075	2568	12	-	156	84	77	6	142
s	12 030	15 432	1306	14 000	2880	10	-	69	131	27	1	145
Кличкинское месторождение, свинцово-цинковые руды (n = 10) / Klichkinsky deposit, lead-zinc ores (n = 10)												
x	62 889	30 554	42 229	2170	6298	541	-	85	179	32	8	302
s	14 741	1056	28 153	946	10 486	765	-	14	105	9	5	81

Примечание: x – среднее арифметическое; s – стандартное отклонение; \* – средние содержания элементов в осадочных горных породах земной коры [4]; \*\* – предельно допустимые содержания элементов в почве (в соответствии с нормативно-правовыми актами, регулирующими ПДК в почве) [2]; - – нет данных / Note: x – arithmetic mean; s – standard deviation; \* – average content of elements in sedimentary rocks of the Earth crust [4], \*\* – maximum permissible content of elements in soil (in accordance with regulations governing MPCs in soil) [2]; - – no data

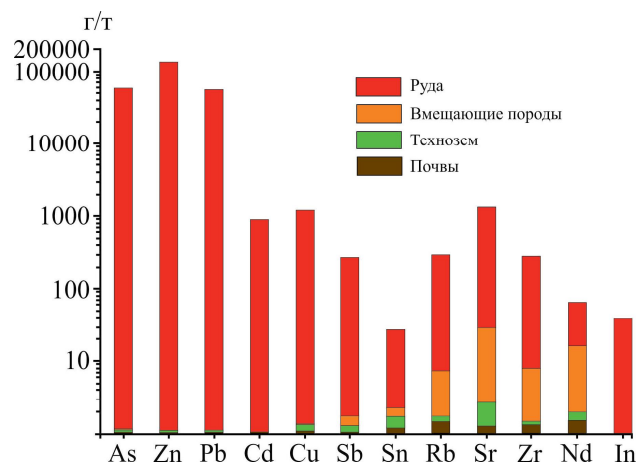


Рис. 2. Диаграмма распределения химических элементов в природно-техногенных комплексах Акатуевского полиметаллического месторождения / Fig. 2. Diagram of chemical elements distribution in natural-technogenic complexes of the Akatuevsky polymetallic deposit

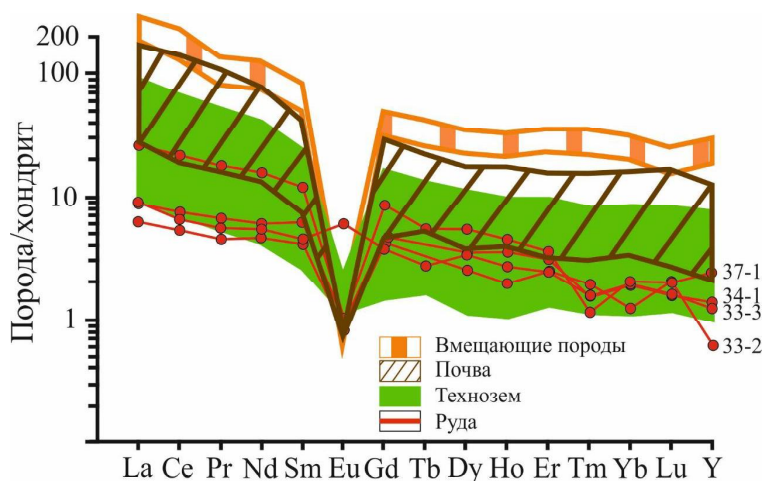


Рис. 3. Спайдер-диаграмма распределения редкоземельных элементов в природно-техногенных комплексах Акатуевского полиметаллического месторождения. Пробы 33-2, 33-3, 34-1, 37-1 – свинцово-цинковые руды / Fig. 3. Spider-diagram of rare-earth elements distribution in natural-technogenic complexes of the Akatuevsky polymetallic deposit. Samples 33-2, 33-3, 34-1, 37-1 are lead-zinc ores

Таблица 2 / Table 2

Средние содержания редкоземельных элементов в природно-техногенных комплексах Акатуевского полиметаллического месторождения, г/т / Average content of rare earth elements in nature-technogenic complexes of the Akatuevsky polymetallic deposit, ppm

La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	$\Sigma$ TR
Свинцово-цинковые руды (n=4) / Lead-zinc ores (n=4)														
<u>3,0</u> 2,2	<u>6,5</u> 4,8	<u>0,8</u> 0,6	<u>3,7</u> 2,4	<u>1,0</u> 0,5	<u>0,6</u> 0,5	<u>1,0</u> 0,4	<u>0,1</u> 0,07	<u>0,9</u> 0,3	<u>0,2</u> 0,06	<u>0,5</u> 0,09	<u>0,04</u> 0,01	<u>0,3</u> 0,06	<u>0,04</u> 0,005	<u>21,8</u> 13,2
Вмещающие породы (n=7) / Adjacent strata (n=7)														
<u>36,8</u> 6,9	<u>75,4</u> 7,6	<u>6,5</u> 0,7	<u>29,4</u> 3,9	<u>6,2</u> 1,0	<u>1,3</u> 0,14	<u>4,9</u> 0,9	<u>0,8</u> 0,16	<u>4,3</u> 0,2	<u>0,9</u> 0,2	<u>0,8</u> 2,7	<u>0,4</u> 0,08	<u>2,6</u> 0,6	<u>0,3</u> 0,06	<u>13,4</u> 1,3
Техноземы (n=15) / Technosols (n=15)														
<u>9,1</u> 5,6	<u>75,4</u> 7,6	<u>2,2</u> 1,2	<u>8,7</u> 5,2	<u>1,7</u> 1,0	<u>0,8</u> 0,6	<u>1,6</u> 1,9	<u>0,2</u> 0,1	<u>1,3</u> 0,8	<u>0,3</u> 0,16	<u>0,6</u> 0,4	<u>0,1</u> 0,06	<u>0,7</u> 0,4	<u>0,1</u> 0,06	<u>32,8</u> 31,7
Почвы (n=19) / Soils (n=19)														
<u>24,2</u> 10,0	<u>52,8</u> 21,4	<u>5,7</u> 2,3	<u>19,0</u> 11,6	<u>3,9</u> 1,7	<u>1,0</u> 0,4	<u>3,3</u> 1,5	<u>0,7</u> 0,5	<u>2,8</u> 1,3	<u>0,6</u> 0,2	<u>4,6</u> 0,7	<u>0,3</u> 0,2	<u>1,6</u> 0,7	<u>1,3</u> 5,6	<u>8,5</u> 2,9

Примечание: в числителе – среднее арифметическое, в знаменателе – стандартное отклонение;  $\Sigma$ TR – сумма редкоземельных элементов; n – число анализов / Note: in the numerator – arithmetic mean, in the denominator – standard deviation;  $\Sigma$ TR – sum of rare earth elements; n – number of analyses

Предельно допустимые концентрации РЗЭ в почвах не установлены. При этом известно, что лантаноиды обладают высокой биохимической и биологической активностью. Установлено физиологическое воздействие лантаноидов на растения. Выявлено, что повышенные содержания лантаноидов

оказывают губительное воздействие на клетки растений [5].

В настоящее время успешно реализуются за рубежом методы восстановления с использованием различных видов бактерий, сводящих на нет пагубное воздействие на окружающую среду химических элементов



1, 2 и 3 класса токсичности, а также лантаноидов [7; 8]. Хвостохранилище Акатуевского полиметаллического месторождения можно рассмотреть в качестве техногенного месторождения с использованием современных технологий по переработке хвостов обогащения в полезный компонент.

**Заключение.** В процессе исследований установлены содержания рудных и редких элементов в природно-техногенных ком-

плексах Акатуевского полиметаллического месторождения. Выявлено значительное превышение средних содержаний рудных элементов во вмещающих породах относительно средних содержаний в осадочных горных породах земной коры. Установлено превышение предельно-допустимых концентраций токсичных элементов в почвах в ближайшем обрамлении хвостохранилища.

## Список литературы

1. Бортникова С. Б., Силантьева Н. В., Запольский А. Н., Юркевич Н. В., Саева О. П., Шевко А. Я., Шуваева А. Я., Еделев А. В. Оценка кислотообразующего/кислотонейтрализующего потенциалов отвальных пород и подвижности потенциально токсичных элементов Раздольнинского рудного узла (Красноярский край) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329, № 12. С. 55–72.
2. Водяницкий Ю. Н. Нормативы содержания тяжелых металлов и металлоидов в почве // Почвоведение. 2012. № 3. С. 368–375.
3. Захаров И. С., Контрош Л. В., Храмов А. В., Шумилов О. И. Исследование возможности использования *Paramecium Bursaria* для обнаружения токсичной концентрации редкоземельных металлов // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайные ситуации: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. Саратов, 2018. С. 197–202.
4. Касимов Н. С., Власов Д. В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2015. № 2. С. 7–17.
5. Мязин В. П., Михайлютина С. И. Комплексная оценка влияния техногенного загрязнения объектов внешней среды на здоровье населения Восточного Забайкалья // Вестник Читинского государственного университета. 2006. № 4. С. 37–42.
6. Цыренов Т. Г., Абрамов Б. Н. Распределение токсичных элементов в техногенных ландшафтах Акатуевского полиметаллического месторождения (Восточное Забайкалье) // Аспирант. 2018. Т. 12, № 2. С. 90–95.
7. Bonificio W. D., Clarke D. R. Rare-Earth separation using bacteria // Environmental Science and Technology Letters. 2016. Vol. 3, No. 4. P. 180–184.
8. Chaturvedi N., Patra K. H. Iron ore mining, waste generation, environmental problems and their mitigation through phytoremediation technology // Human Journals Review Article. 2016. Vol. 5, No. 1. P. 397–420.
9. Cozzolino D., Chandra S., Roberts J., Power A., Rajapaksha P., Ball N., Chapman J. There is gold in them hills: Predicting potential acid mine drainage events through the use of chemometrics // Science of the Total Environment. 2018. Vol. 619. P. 1464–1472.
10. Kefeni K., Msagati T. A. M., Mamba B. B. Acid mine drainage: prevention, treatment options, and resource recovery: a review // Journal of Cleaner Production, 2017. Vol. 151. P. 475–493.
11. Lottermoser B. G. Mine wastes: characterization, treatment, environmental impacts. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. 335 p.
12. Nordstrom D. K., Blowes D. W., Ptacek C. J. Hydrogeochemistry and microbiology of mine drainage: an update // Applied Geochemistry, 2015. Vol. 57. P. 3–16.
13. Wei X., Rodak C. M., Zhang S., Han Y., Wolfe F. A. Mine drainage generation and control options // Water Environment Research. 2016. Vol. 88, No. 10. P. 1409–1432.
14. Wei X., Zhang S., Han Y., Wolfe F. A. Mine drainage: research and development // Water Environment Research. 2017. Vol. 89, No. 10. P. 1384–1402.

## References

1. Bortnikova S. B., Silantjeva N. V., Zapolsky A. N., Yurkevich N. V., Sayeva O. P., Shevko A. Ya., Shuvaeva A. Ya., Edelev A. V. *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov* (News of the Tomsk Polytechnic University. Georesources engineering), 2018, vol. 329, no. 12, pp. 55–72.
2. Vodiansky Yu. N. *Pochvovedenie* (Soil science), 2012, no. 3, pp. 368–375.

3. Zaharov I. S., Kontrosh L. V., Hramov A. V., Shumilov O. I. *Innovatsii v prirodoobustroytve i zashhite v chrezvychaynye situatsiyah: materialy IV mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* (Innovations in environmental engineering and protection in emergency situations: materials of the IV International scientific and practical conference). Saratov, 2018, pp. 197–202.
4. Kasimov N. S., Vlasov D. V. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya* (Bulletin of the Moscow University. Series 5. Geography), 2015, no. 2, pp. 7–17.
5. Myazin V. P., Mikhailutina S. I. *Vestnik Chitinskogo gosudarstvennogo universiteta* (Bulletin of the Chita State University), 2006, no. 4, pp. 37–42.
6. Tsyrenov T. G., Abramov B. N. *Aspirant* (Postgraduate), 2018, vol. 12, no. 2, pp. 90–95.
7. Bonificio W. D., Clarke D. R. *Environmental Science Technology Letters* (Environmental Science Technology Letters), 2016, vol. 3, no. 4, pp. 180–184.
8. Chaturvedi N., Patra K. H. *Human Journals Review Article* (Human Journals Review Article), 2016, vol. 5, no. 1, pp. 397–420.
9. Roberts J., Power A., Rajapaksha P., Ball N., Chapman J. *Science of the Total Environment* (Science of the Total Environment), 2018, vol. 619, pp. 1464–1472.
10. Kefeni K., Msagati T. A. M., Mamba B. B. *Journal of Cleaner Production* (Journal of Cleaner Production), 2017, vol. 151, pp. 475–493.
11. Lottermoser B. G. *Mine wastes: characterization, treatment, environmental impacts* (Mine wastes: characterization, treatment, environmental impacts). Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. 335 p.
12. Nordstrom D. K., Blowes D. W., Ptacek C. J. *Applied Geochemistry* (Applied Geochemistry), 2015, vol. 57, pp. 3–16.
13. Wei X., Rodak C. M., Zhang S., Han Y., Wolfe F. A. *Water Environment Research* (Water Environment Research), 2016, vol. 88, no. 10, pp. 1409–1432.
14. Wei X., Zhang S., Han Y., Wolfe F. A. *Water Environment Research* (Water Environment Research), 2017, vol. 89, no. 10, pp. 1384–1402.

#### Коротко об авторах

---

*Баир Намжилович Абрамов*, д-р геол.-минер. наук, вед. науч. сотрудник, Институт природных ресурсов, экологии и криологии, Сибирское отделение Российской академии наук, г. Чита, Россия. Область научных интересов: золоторудные месторождения, геохимия, геодинамика, рудообразование  
b\_abramov@mail.ru

*Тимур Гармажапович Цыренов*, аспирант, Институт природных ресурсов, экологии и криологии, Сибирское отделение Российской академии наук, г. Чита, Россия. Область научных интересов: полиметаллические месторождения, рудообразование, геохимия, экология, геодинамика.  
master.of.pistols@mail.ru

#### Briefly about the authors

---

*Bair Abramov*, doctor of geological and mineralogical sciences, leading researcher, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: gold deposits, geochemistry, geodynamics, ore formation

*Timur Tsyrenov*, postgraduate, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: polymetallic deposits, ore formation, geochemistry, ecology, geodynamics

#### Образец цитирования

---

*Абрамов Б. Н., Цыренов Т. Г. Распределение рудных и редких элементов в природно-техногенных комплексах Акатуйевского полиметаллического месторождения // Вестник Забайкальского государственного университета. 2020. Т. 26, № 2. С. 6–13. DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-2-6-13.*

*Abramov B., Tsyrenov T. Ore and rare elements distribution in natural-technogenic complexes of the Akatuyevsky polymetallic deposit // Transbaikal State University Journal, 2020, vol. 26, no. 2, pp. 6–13. DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-2-6-13.*

Статья поступила в редакцию: 10.12.2019 г.  
Статья принята к публикации: 03.02.2020 г.