

УДК 502.52

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВАЛОВЫХ СОДЕРЖАНИЙ  
МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ТЕРРИТОРИИ  
БЕЛОРЕЧЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (БОЛЬШОЙ КАВКАЗ, АДЫГЕЯ)**

**<sup>1</sup>Попов Ю.В., <sup>2</sup>Бураева Е.А., <sup>1</sup>Цицуашвили Р.А.**

*<sup>1</sup>Институт наук о Земле Южного федерального университета, Ростов-на-Дону,  
e-mail: popov@sfedu.ru;*

*<sup>2</sup>НИИ физики Южного федерального университета, Ростов-на-Дону,  
e-mail: buraeva\_elen@mail.ru*

Распределение химических элементов в иловых отложениях территории Белореченского барит-полиметаллического месторождения (на Большом Кавказе) указывает на их дифференцированное поступление – из створов штолен (Cr, Ni, Cu, Zn, As, Pb) и за счет выноса из горных отвалов (Ti, V, Co, Sr, Pb, P<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Поступающие в природные ландшафты химические элементы образуют поток рассеяния, контролируемый водотоками долины р. Сюк, гидродинамический режим которой препятствует формированию постоянных аномалий. Почвы прилегающей к месторождению территории обогащены рядом элементов (Ti, V, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Pb) в силу особенностей состава почвоматеринских пород; минеральные и физико-химические особенности почв и донных отложений не способствуют концентрации элементов-загрязнителей.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, месторождение, донные отложения, почва, ландшафт, породы

**DISTRIBUTION PATTERNS OF THE TOTAL METAL CONTENTS IN SEDIMENTS  
OF BELORECHENSKOE DEPOSIT TERRITORY (GREATER CAUCASUS, ADYGEA)**

**<sup>1</sup>Popov Y.V., <sup>2</sup>Buraeva E.A., <sup>1</sup>Tsitsuashvili R.A.**

*<sup>1</sup>Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: popov@sfedu.ru;*

*<sup>2</sup>Research Institute of Physics, Southern Federal University, Rostov-on-Don,  
e-mail: buraeva\_elen@mail.ru*

The distribution of chemical elements in the silt sediments of Belorechenskoe barite-polymetallic deposit (in the Greater Caucasus territory) indicates their differentiated admission – alignments of adits (Cr, Ni, Cu, Zn, As, Pb) and by the removal of the waste dumps (Ti, V, Co, Sr, Pb, P<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Accumulating in natural landscapes elements form a leakage flux. That flux is controlled by water flows of Syuk river. Hydrodynamic regime prevents persistent anomalies formation. Soils of adjacent to the deposit area are enriched with elements (Ti, V, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Pb) due to peculiarities of soil-forming rocks. Mineral, physical and chemical characteristics of soils and bottom sediments are not conducive to the concentration of polluting elements.

**Keywords:** heavy metals, deposit, bottom sediments, soil, landscape, rocks

Горные выработки и отвалы неэксплуатируемого Белореченского месторождения, приуроченного к расположенному в горной части Республики Адыгея Даховскому рудному узлу, выступают в качестве источника широко спектра металлов, поступающих в природные ландшафты. Причиной тому служит исключительное минеральное разнообразие вскрываемых штольнями вмещающих метасоматически переработанных кристаллических комплексов, рудопроявлений и оруденелых жил.

С кристаллическими породами связаны непромышленные проявления редкоземельной и радиоактивной минерализации (торит, ураноторит, циркон (с Th до 7,5-10,3%, Hf 0,8-1%), алланит, торийсодержащий Се-монацит, ксенотим и др.) [5, 7]. Дорудные высокотемпературные гидротермальные полевошпат-кварцевые жилы содержат редкометалльную ассоциацию (молибденит, шеелит, самородный висмут и др.) [3], более низкотемпературные доломитовые

и халцедон-кварц-доломитовые – мышьяковистый пирит (As 1-2%, Ni до 0,5%), рутил, цериевый монацит, апатит, графит, антроксолит. Нижние уровни тектонического блока, вмещающего Белореченское месторождение, содержат гидротермальные доломитовые жилы, образующие Даховское урановое месторождение с уран-сульфидной минерализацией (ведущими рудными минералами которой выступают сфалерит и замещающий коффинит настуран; иногда присутствуют галенит, сфалерит, флюорит, барит) и более поздней уран-арсенидной минерализацией (ведущими минералами выступают одновременно образовавшиеся никелин, коффинит (замещенный настураном) и антраксолит, образующие почковидные агрегаты сложного строения, обрастающие раммельсбергитом, крутовитом, герсдорфитом и другими сульфидами и арсенидами никеля); на завершающих стадиях формировалась арсенидно-антимонидная никелевая минерализация с самородным серебром

и редкие жилы с самородным мышьяком и реальгаром. Собственно Белореченское месторождение, приуроченное к верхнему уровню горно-рудного объекта, представлено баритовыми жилами. В баритовой массе присутствуют несколько генераций флюорита (с примесями Fe до 0,5% и Y до 0,3%), галенит (с примесями Ag до 0,8%), сфалерит, халькопирит, пирит. Поздняя генерация баритовых жил несет непромышленную полиметаллическую минерализацию, приобретая галенит-баритовый с пиритом, сфалеритом и флюоритом состав. Завершают формирование месторождения флюоритовые (с Cu-Sb-Zn-содержащими блеклыми рудами и другими сложными сульфосолями (с Ag и As)), пирит-кальцитовые и марказит-кальцитовые жилы, локализованные в верхней части вблизи контакта с тектонически перекрывающимися кристаллические породы аргиллитами.

Горные выработки (лишь частично законсервированные) и связанные с ними глыбово-щебеночные отвалы (подвижные техногенные осыпи) расположены в бассейне реки Сюк, где преобладают трансэлювиальные ландшафты со сложным сочетанием механических и физико-химических форм миграции элементов в зоне горных листовых лесов. Долина Сюка (правого притока р. Белой) формирует поток рассеяния, транспортирующий терригенный материал отвалов и подвижные продукты окисления рудных ассоциаций.

Бассейн р. Сюк характеризуется густой овражно-балочной сетью: в верховье реки коэффициенты густоты эрозионного расчленения варьируют от 3,53 км/км<sup>2</sup> до 4,41 км/км<sup>2</sup>, в среднем течении в области развития кристаллических пород составляют 3,22–3,85 км/км<sup>2</sup>, в нижнем течении, где развиты осадочные толщи они снижаются, составляя 1,7–1,9 км/км<sup>2</sup> в приустьевой части. Обилие поступающих из техногенных осей обломочных пород определяет развитие селевых процессов (долина р. Сюк расположена в пределах территории III категории селеопасности), а распространение аргиллитов в нижнем течении, наряду с нарушением естественного гидрологического режима грунтов в результате вырубki леса и сброс сточных вод – развитие оползней. Закреплению отвалов штолен в последние десятилетия способствует формирование на них растительных сообществ (главным образом сероольшанников – легко занимающих освободившиеся территории кратковременных сообществ с преобладанием

*Alnus incana*), но неустойчивость гидродинамического режима реки и сейсмические процессы препятствуют стабилизации склонов.

#### Материалы и методы исследования

Авторами проведено опробование и изучение донных отложений на участке площади Белореченского месторождения в системе «устье штольни №3 – постоянный ручей-дренаж, вытекающий из устья штольни – руч. Березовый – руч. Сюк» с целью анализа закономерностей распределения металлов, поступающих из выветривающихся рудных тел и вмещающих их горных пород. Исследовались валовые содержания элементов в иловой фракции (менее 0,01 мм), определенные рентгенофлуоресцентным методом. Исследования проводились на энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре «Спектроскан МАКС-GV» на кафедре почвоведения и оценки земельных ресурсов Южного федерального университета.

Состав глинистой фракции почв определен рентгенофазовым анализом на дифрактометре «ДРОН-7» в ЦКП «Центр исследований минерального сырья и состояния окружающей среды» Южного федерального университета. Исследовались образцы ориентированные в воздушно-сухом состоянии, насыщенные этилгликолем и прокаленные при температуре 550 °С.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Распределение кларков концентраций элементов (относительно кларка по [1]), типичных для минеральных ассоциаций месторождения, выявляет дифференцированный характер распределения: часть элементов связана с иловым материалом и водами, поступающими из створа штольни (Cr, Ni, Cu, Zn, As, Pb), часть обогащает донные отложения за счет выноса из отвалов в борту ручья (TiO<sub>2</sub>, V, Co, Sr, Pb, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) (рис. 1).

Повышенные концентрации хрома и никеля – типичных для ультрабазитов элементов – объясняются присутствием серпентинитов, тектоническая пластина которых подстилает блок кислых пород, вмещающих месторождение. При этом источником элементов выступают не столько относительно глубоко залегающие серпентиниты, сколько продукты окисления гидротермальных минеральных ассоциаций, сформированных с участием ультрабазитового вещества и несущих характерные изоморфные примеси. Последние типичны для минеральных ассоциаций всех этапов – от ранних высокотемпературных пиритов до рудных гидротермальных жил до продуктов окисления сульфидов баритовых жил (содержание в девиллинах составляет ~2-3%, вес.). Медь, цинк, мышьяк и свинец – ти-

пичные элементы минералов завершающих этапов формирования Белореченского ме- сторождения (халькопирит, сфалерит, галенит, пирит).

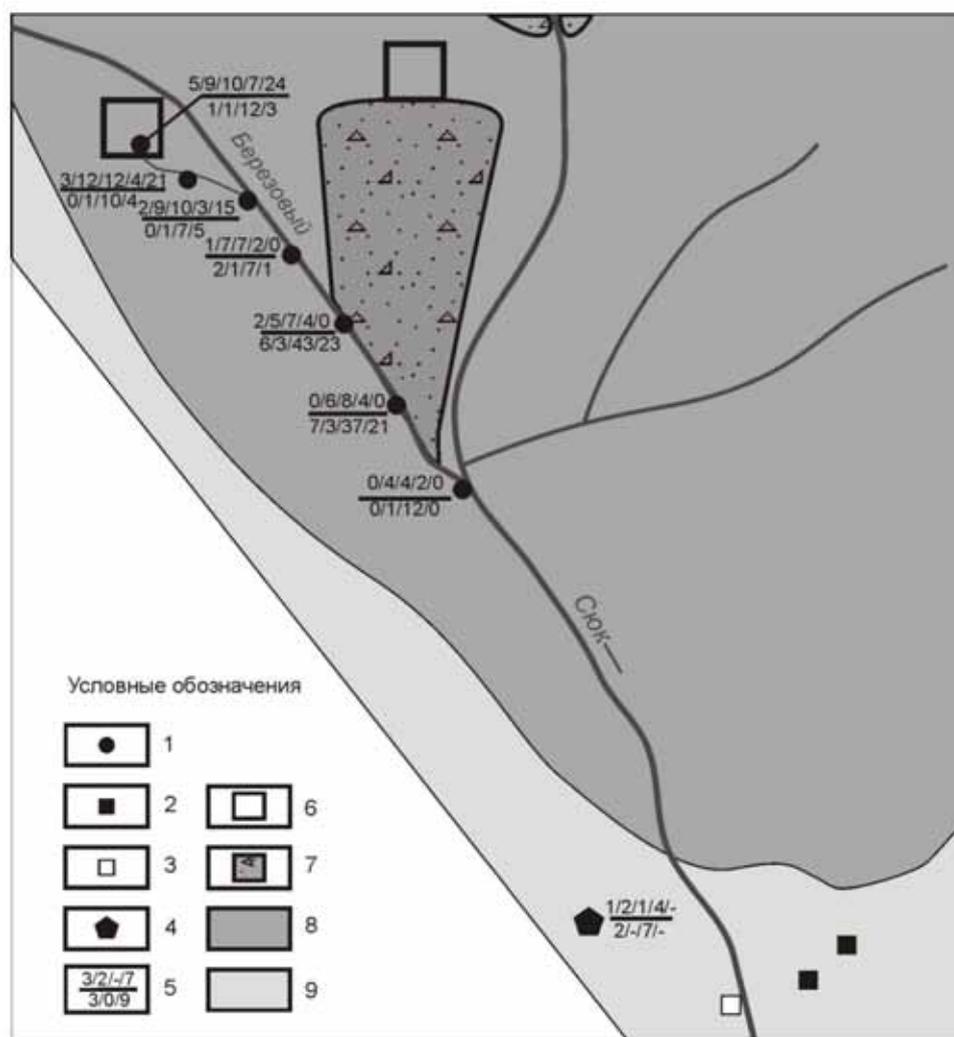


Рис. 1. Пункты отпробования и распределение кларков концентраций некоторых элементов на участке «шхольня №3 – руч. Березовый – р. Сюк». Условные обозначения: 1 – донные отложения; 2 – почвы бурые лесные, 3 – почвы аллювиальные; 4 – юрские аргиллиты; 5 – распределение кларков концентраций: в числителе – элементы, преимущественно выносящиеся из створов шхолен (Cr/Ni/Cu/Zn/As), в знаменателе – элементы, преимущественно выносящиеся из пород отвалов шхолен (V/Sr/Pb/P), значение «0» –  $K_k < 0.5$ , символ «-» – данные о содержании элемента отсутствуют; 6 – створы шхолен; 7 – отвалы шхолен, 8 – кристаллические палеозойские породы, 9 – осадочные юрские породы

Отложения руч. Березового, отобранные в основании слагающих борт долины горных отвалов, выделяются заметной обогащенностью продуктами гидролиза темноцветных силикатов (титан, ванадий, кобальт) и галенита (свинец), в обилии встречающегося в виде продуктов дробления галенит-баритовых жил. Второстепенным источником свинца выступают минеральные ассоциации поздних стадий формирования

Белореченского месторождения тесно связанных с баритовой минерализацией, для которых отмечается присутствие оксида свинца (типа глета). Более специфично локальное обогащение стронцием и фосфором. В качестве основных источников этих элементов можно предполагать рассеянную фосфатную минерализацию, впервые выявленную авторами в породах, вмещающих месторождение (и кратко охарактеризован-

ную в работе [5]). Методами электронной микроскопии и микроанализа в образцах пород, слагающих стенки штолен (апогранитовых и апогнейсовых кремнещелочных метасоматитах) устанавливаются многочисленные нитевидные прожилки железистого доломита, насыщенного микроминеральными агрегатами редкоземельных фосфатов (близких по составу к La-Nd-Сe-содержащему гоациту), апатитом, Hf-Nb-содержащим цирконом, Th-U-содержащим Y-ксенотимом и др.

Относительно высокие содержания ряда металлов (Pb, Sr и др.) в русловых отложениях р. Сюк (относящейся к бассейну р. Белая) у впадения руч. Березового определяется геоморфологической спецификой строения этого сегмента долины: здесь происходит выхолаживание русла (до 5-7° ниже по течению от створа штольни № 9) и накопление инстративного аллювия мощностью до 2,0-2,5 м, в составе которого существенную роль имеют породы отвалов штолен, поставляемые с крутых бортов долины. Периодический вынос материала маломощными селевыми потоками дает основание рассматривать выположенные участки, как

области краткосрочного концентрирования (преимущественного в составе псаммитовых и алевритовых фракций ила).

Потенциальным геохимическим барьером в пределах потока рассеяния долины р.Сюк могут выступать аллювиально-дерновые почвы, формирующиеся на пролювиально-аллювиально-делювиальных отложениях поймы в нижней части долины. Однако, анализ содержаний металлов в разных почвах (и почвенных горизонтах) долины р. Сюк – ненасыщенных аллювиально-дерновых, примитивных и неполно развитых ненасыщенных бурых лесных на элювии аргиллитов на склонах – указывает на пониженные концентрации металлов в аллювиально-дерновых почвах (таблица). При этом относительно повышенные величины кларков концентрации для многих элементов (таблица) объясняются обогащенностью этими элементами почвоматеринских пород (горизонт С в таблице). Резко пониженные относительно илов штольни №3 содержания в аллювиально-дерновых почвах служат еще одним указанием на отсутствие концентрации на пути потока рассеяния Белореченского месторождения.

Кларки концентрации (Кк) некоторых элементов (относительно кларка в глинах) в почвах близустьевой части долины р. Сюк и иловых отложениях штольни

Элемент	Штольня №3		Верхняя часть склона долины р. Сюк			Нижняя часть склона долины р. Сюк			Пойма р. Сюк	
	ил	ил	A	AC	C	Ad	A	B	Ad	C
			0-8	8-32	32-50	0-3	3-13	13-30	0-11	11-50
Ti	1.5	1.4	1.1	1.3	1.4	1.2	1.4	1.3	1.0	1.0
V	2.1	2.0	1.2	1.5	1.6	1.3	1.5	1.5	1.0	1.1
Cr	2.3	2.2	1.4	1.6	1.8	1.3	1.5	1.5	1.2	1.3
Mn	2.6	2.5	0.4	1.9	2.4	0.4	0.3	0.4	0.9	1.0
Co	14.6	13.7	0.0	2.5	3.2	1.2	1.4	1.4	0.9	1.3
Ni	8.0	7.8	1.1	1.4	1.9	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1
Cu	8.6	8.4	0.9	1.5	2.0	1.1	1.2	1.2	1.1	1.2
Zn	10.5	9.8	1.0	1.4	1.4	1.2	1.2	1.2	1.0	1.0
Sr	0.9	0.9	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Pb	24.7	22.8	3.4	3.8	4.5	2.9	3.9	3.5	2.0	2.7
P	0.7	0.7	1.0	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.8	0.7

Валовое содержание металлов, за исключением свинца, в исследуемых почвах не превышает ПДК (или ОДК) [2]. Концентрация свинца в почвах превышает ПДК до двух раз, достигая значений 60-72 ppm (при его среднем содержании в почвоподстилающих аргиллитах 6.9 ppm, что соответствует Кк 0.4). Вынос свинца происходит как из створов

штолен, так и из пород отвалов. Формированию локальных концентраций за пределами горных выработок и их отвалов способствует отсутствие щелочных и сорбционных барьеров, контролирующих осаждение этого металла: почвенные воды имеют слабокислую реакцию, а глинистая фракция не содержит лабильных глинистых минералов с высокой

емкостью катионного обмена – по результатам рентгенофазового анализа глинистая ассоциация почв имеет хлорит-каолинит-ги-

дролудистый с преобладанием гидрослюдистый состав и небольшой примесью смешанослойных типа иллит-сметтит (рис. 2).

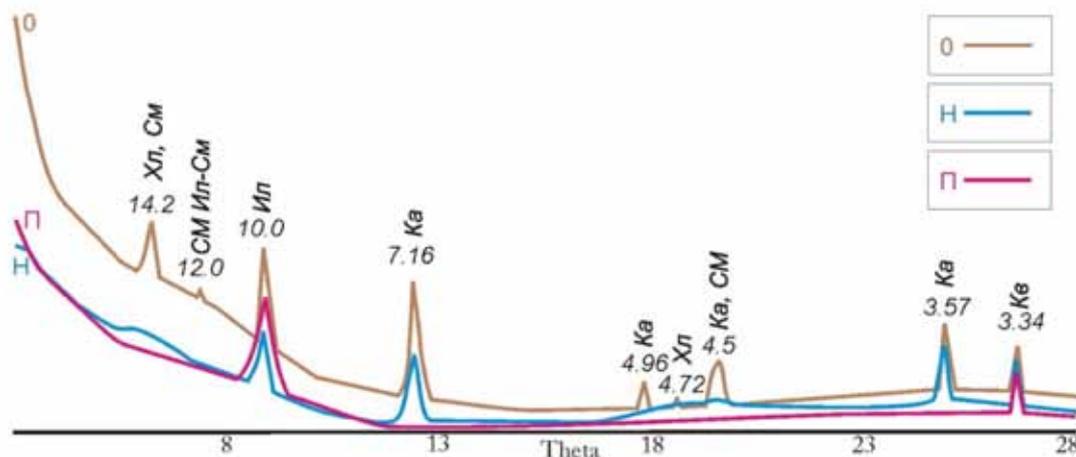


Рис. 2. Дифрактограммы пелитовой фракции нижнего горизонта бурых лесных почв на элювии аргиллитов из приустьевой части склона долины р.Сюк. Условные обозначения: О – ориентированный воздушно-сухой препарат, Н – насыщенный этиленгликолем, П – прокаленный; Хл – хлориты, Ил – иллит, Ка – каолинит, СМ – смектит, СМ – смешанослойные глины; межплоскостные расстояния указаны в ангстремах

**Выводы.** В целом, поступающие из горных выработок в природные ландшафты химические элементы образуют поток рассеяния, контролируемый водотоками долины р. Сюк. Высокие концентрации элементов-загрязнителей отмечаются в илах у створов штолен, в подножиях горных отвалов и на участках выполаживания долины ниже по течению от штолен Белореченского месторождения. При этом часть элементов связана силовым материалом и водами, поступающими из створа штольни (Cr, Ni, Cu, Zn, As, Pb), часть обогащает донные отложения за счет выноса из отвалов в борту ручья продуктов гидролиза силикатов и свинцовых руд (TiO<sub>2</sub>, V, Sr, Pb, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Гидродинамический режим р. Сюк (в том числе обуславливаемый тектоническими и склоновыми процессами) приводит к периодическому «промыванию» долины паводковыми и селевыми потоками, препятствуя формированию постоянных аномалий. Почвы прилегающей к месторождению территории обогащены рядом элементов (Ti, V, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Pb; среди которых Pb обнаруживает концентрации превышающие ПДК) в силу особенностей состава почвоматеринских пород; минеральные и физико-химические особенности почв и донных отложений не способству-

ют интенсивной концентрации элементов-загрязнителей, последние рассеиваются в природной среде.

#### Список литературы

1. Виноградов А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555–571.
2. ПДК и ОДК в почве // Токсикологический вестник. – 2006. – № 6. – С. 38–45.
3. Пеков И.В., Левицкий В.В., Кривовичев В.Г. Минералогия Белореченского месторождения (Северный Кавказ, Россия) // Минералогический альманах. – 2010. – Т.15. – Вып.2. – 96 с.
4. Попов Ю.В., Бураева Е.А., Ермолаева О.Ю., Гончарова Л.Ю., Цицуашвили Р.А. Закономерности распределения естественных радионуклидов и тяжелых металлов в природно-техногенной системе Белореченского месторождения (Большой Кавказ) // Современные проблемы науки и образования [Электронный научный журнал]. – 2014. – № 2. Режим доступа: [www.science-education.ru/116-12292](http://www.science-education.ru/116-12292) (дата обращения: 25.10.2014 г.).
5. Попов Ю.В., Бураева Е.А., Цицуашвили Р.А. Удельная активность <sup>40</sup>K, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th в кристаллических породах Даховского поднятия (Большой Кавказ) // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 9 (часть 2). – С. 115–119.
6. Попов Ю.В., Цицуашвили Р.А., Попова Н.М. Микроминеральные ассоциации щелочного карбонатного геохимического барьера в горных выработках Белореченского барит-полиметаллического месторождения // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 5 (часть 6). – С. 1248–1252.
7. Труфанов В.Н., Попов Ю.В., Цицуашвили Р.А., Труфанов А.В., Гончаров А.Б. Родингиты Даховского кристаллического массива (Северо-Западный Кавказ) // Известия высших учебных заведений. Серия: Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2011. – № 5. – С. 73–77.