

УДК 622+553.3+504(571.63)

И.А. Тарасенко¹, Н.А. Харитонова², А.В. Зиньков³, Е.В. Оводова⁴, А.В. Корзун⁵**ОТХОДЫ КРАСНОРЕЧЕНСКОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ, РОССИЯ): ГЕОХИМИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ**

Рассмотрены минералого-геохимические особенности отходов Краснореченской обогатительной фабрики (Приморский край, Россия), а также изучены первичные рудные и новообразованные минеральные ассоциации. На основании проведенных исследований определены ресурсы основных элементов, сосредоточенных в хвостохранилищах. Показано, что хвостохранилища Краснореченской обогатительной фабрики — перспективные объекты для вторичного извлечения минерального сырья, которые характеризуются естественным геохимическим расслоением. Каждому выделенному слою присущи определенные корреляционные связи элементов.

Ключевые слова: хвостохранилища, минералого-геохимические особенности, полезные компоненты, Приморский край.

This study presents the mineralogical and geochemical characteristics of tailing dumps at the Krasnorechenskaya concentrated mill (Primorye region, Russia). Primary ore minerals and new-forming mineral assemblages were also investigated. According to obtained data the major elements possible reserves accumulated in these tailings were estimated. It is indicated that the tailing dumps at the Krasnorechenskaya concentrated mill is potentially productive for secondary recovery. The tailing sediment has natural geochemical stratification and the specific correlations of elements are typical for each selected layer.

Key words: tailing dumps, mineralogical and geochemical features, useful component, Primorye region.

Введение. Добыча и обогащение руд всегда сопровождаются образованием значительного объема отходов — отвалов пустых пород, хвостов обогащения и т.п., которые часто служат источниками загрязнения окружающей среды различными элементами и тяжелыми металлами. В настоящее время все большее внимание уделяется вопросам охраны природы и необходимости использования вторичных минеральных ресурсов. По мере совершенствования аналитической и инструментальной базы чрезвычайно важно расширение объема знаний и развитие исследований, направленных на изучение отходов горно-обогатительного производства, на разработку мероприятий по минимизации их воздействия на окружающую природную среду.

В качестве объектов исследований выбраны «старое» и «новое» хвостохранилища Краснореченской обогатительной фабрики (КОФ), которые расположены в Дальнегорском районе Приморского края России (рис. 1).

Краснореченская обогатительная фабрика в период работы (1956–1995) обогащала комплекс-

ные оловянно-полиметаллические и серебро-свинцово-цинковые руды Смирновского и Южного месторождений. Основными полезными компонентами перерабатываемых на фабрике руд являлись свинец и цинк. К попутным ценным компонентам относились серебро, сурьма, кадмий,



Рис. 1. Схема расположения района исследований (черный квадрат — район работ)

¹ Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения РАН, Дальневосточный федеральный университет, кафедра геологии, геофизики и геоэкологии, докт. геол.-минерал. н., вед. науч. с., профессор; *e-mail:* tarasenko_irina@mail.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения РАН, кафедра гидрогеологии, докт. геол.-минерал. н., профессор, гл. науч. с.; *e-mail:* tchenat@mail.ru

³ Дальневосточный федеральный университет, канд. геол.-минерал. н., профессор; *e-mail:* zinkov_a@mail.ru

⁴ Дальневосточный федеральный университет, ст. преп.; *e-mail:* ovodova.2011@mail.ru

⁵ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, канд. геол.-минерал. н.; *e-mail:* a_korzun@mail.ru

висмут, медь и индий. В свинцовый и цинковый концентраты извлекалось от 92 до 98% галенита и сфалерита, 80–85% серебра, а остальная часть вместе с сульфидами других металлов сбрасывалась в пульпу, состоящую (до 87%) из нерудных минералов. Таким образом, в хвосты уходило около 10% серебра, 2–8% свинца в виде галенита, 1–5% цинка в виде сфалерита. В виде магнетита, пирротина, пирита и марказита в хвосты отправлялось от 56,3 до 93,8% железа, 66–98% мышьяка, 10–15% сурьмы и 38–46% кремнезема в виде кварца, геденбергита и других силикатов, а также Se, Te, In, Ge, Pb, Ga и F. Чаши хвостохранилищ КОФ заполнялись на протяжении 40 лет и содержат более 6,8 млн т отходов, что обуславливает повышенное внимание к лежалым хвостам как к потенциальному сырью.

Цель нашей работы — изучение геохимии и минералогии лежалых хвостов Краснореченской обогатительной фабрики, что имеет значение для оценки целесообразности их переработки и оптимизации технологических схем обогащения.

Методы исследования. Исследование лежалых хвостов обогащения выполнялось как с поверхности, так и с помощью шурфов глубиной до 2,5 м. Были использованы результаты анализов геохимического опробования 5 скважин глубиной 10–15 м, пройденных методом конверта на расстоянии 100–150 м одна от другой. Осуществлялось геохимическое и минералогическое опробование. Отбор геохимических проб выполнялся бороздовым способом вертикально по каждому визуально выделенному слою наибольшей изменчивости состава и строения лежалых хвостов. Минералогические пробы отбирали точечным способом в герметичные стеклянные боксы.

Аналитические исследования выполнены в Центре коллективного пользования Дальневосточного геологического института ДВО РАН (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.518986). Определение содержания элементов в образцах выполнено методами масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре «Agilent 7700 с» («Agilent Technologies», США) и атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре «iCAP 6500 Duo» («Thermo Scientific Corporation», США). Содержание H_2O^- , п.п.п. и SiO_2 определяли методом гравиметрии. Пробоподготовка твердых проб к инструментальному анализу заключалась в открытом кислотном разложении ($\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4 + \text{HF}$).

Минералогические исследования выполнялись методами рентгеноспектрального микроанализа с помощью энергодисперсионного спектрометра «INCA-sight» производства «Oxford Instruments» (Великобритания) и рентгенографического анализа на дифрактометре «ДРОН-3» с монохроматизированным излучением, а также на микродифрактометре «D8-Discover».

Краткая геологическая характеристика. Смирновское и Южное месторождения, руды которых перерабатывались на Краснореченской обогатительной фабрике, а хвосты складировались в изучаемые хвостохранилища, расположены в пределах Краснореченского рудного узла, охватывающего часть площади Верхне-Уссурского рудного района [Тарасенко и др., 2017].

Смирновское месторождение локализовано в мезозойских терригенных породах, слагающих крупную антиклинальную структуру. Магматический комплекс представлен малыми интрузиями приморских гранитоидов и характеризуется небольшим количеством штоков и даек гранодиоритов и диоритовых порфиритов [Василенко, 1976].

Смирновское месторождение жильное, оловянно-полиметаллическое, пирротин-галенит-сфалеритового типа касситерит-сульфидной формации по классификации Е.А. Радкевич [1968]. В составе руд месторождения на основании минералогического, химического и фазового анализов технологических проб установлено (В.П. Гурьева, 1981) наличие (%) касситерита (0,3 от всего объема руды), станнина (<0,1), галенита (0,8), марматита (3,3), халькопирита (<0,1), пирита и марказита (5), пирротина (7), арсенопирита (0,7), плюмбоярозита (1,0), церуссита (0,7), англезита (знаки), смитсонита и каламина и др. (1,0), гидроксидов железа (1–5), кварца, полевых шпатов, карбонатов (20–25) и обломков вмещающих пород (55–60).

Южное серебро-свинцово-цинковое месторождение локализовано в терригенных породах юрского и раннемелового возраста, смятых в крупную синклинальную складку. Интрузивные образования, прорывающие все осадочные толщи, представлены единичными небольшими штоками кварцевых диоритов и маломощными дайками разнообразного состава.

Рудные тела жилоподобной формы сложены кварц-карбонатно-сульфидными и сульфидными рудами, содержащими серебро-свинцово-цинковую минерализацию с повышенной концентрацией олова, а также хлоритизированными турмалин-спессартиновыми метасоматитами с галенит-сфалеритовым оруденением, или полосчатыми рудами халькопирит-пирротинового, амфибол-кварцевого и фаялит-магнетит-амфиболового составов.

Минералогический состав руд рассматриваемых месторождений представлен такими минералами, как пирротин, сфалерит, галенит, джемсонит, сидерит, кварц, кальцит, родохрозит (главные); теннантит, арсенопирит, аксинит, манганокальцит, актинолит (второстепенные); самородное серебро, дискразит, станнин, касситерит, тетраэдрит, гранат, турмалин, альбит, диопсид, волластонит, датолит (акцессорные); пираргирит, аргентит, киноварь, самородная сурьма, самородный висмут, асбест, везувиан, гизенгерит, скаполи-

ты, гудмундит, овихиит, бустамит, клинопироксен, родонит, пироксмангит, кнебелит, пирофанит и марганецсодержащий карбонат (редкие) [Гурьева, 1981; Казаченко, 1987].

Первичные руды по особенностям минерального состава подразделяются на галенит-сфалеритовый, галенит-джемсонит-сфалеритовый, пирротин-галенит-сфалеритовый и сфалерит-пирротиновый минеральные типы. По объему и качеству руд галенит-сфалеритовый, галенит-джемсонит-сфалеритовый и пирротин-галенит-сфалеритовый типы руд представляют основные промышленные типы.

Результаты исследований и их обсуждение. Лезжалые хвосты обогащения представлены смесью минеральных частиц размером от долей микрона до 3 мм. По гранулометрическому составу грунты характеризуются преобладанием пелитовых (-0,07 мм, 52%) и мелких (-0,2...+0,071 мм, 36%) фракций. Присутствуют грунты средней крупности (-0,4...+0,2 мм, 10%) и крупнозернистые псаммитовые разности (+0,4 мм, 2%). Содержание основных элементов в отложениях хвостохранилищ КОФ представлено в табл. 1.

В отложениях хвостохранилищ КОФ наблюдается одновременное существование цемента контактового и порового типов, по которым можно судить о динамике их формирования (рис. 2). В начале диагенетических преобразований, вероятно, преобладал контактовый тип цемента, который обеспечивал высокую эффективную пористость отложений, способствовавшую интенсивной

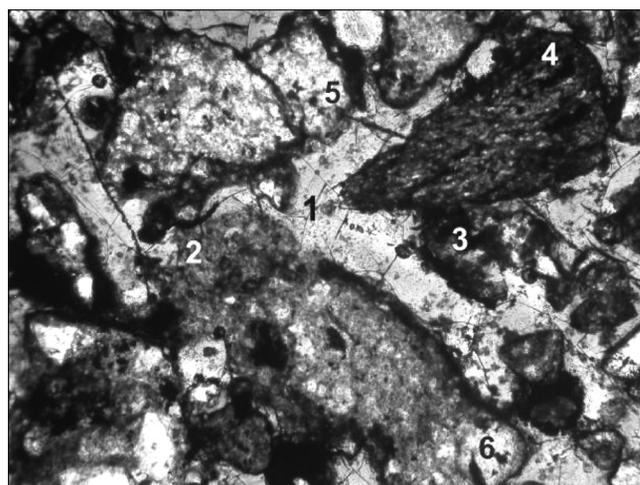


Рис. 2. Типы хомогенного цемента техногенных песчаников «старого» хвостохранилища КОФ: сульфатный (1), глинисто-лимонитовый (2) и гидроксидно-железистый (3), которые заполняют промежутки между обломками биотитового метасоматита (4), кварц-серицитового метасоматита (5) и алевролита (6). Никели параллельны, увеличение 42

циркуляции растворов. В последующем, по мере заполнения открытых пустот, образовывался поровый тип цемента.

Среди минеральных типов цемента установлены следующие разновидности: гидроксидно-железистый, глинисто-лимонитовый и сульфатный монокристаллический (рис. 2). В составе цемента отмечаются агрегатные скопления гидрослюды флогопитового типа размером до 0,3 мм, которые часто ассоциируют с хлоритоподобным веществом.

Таблица 1

Химический состав отложений хвостохранилищ КОФ, масс.%

Номер пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁻	п.п.п.	Σ
К-1/27	44,10	0,28	7,78	24,60	2,30	1,00	1,24	0,10	1,98	0,05	1,21	13,87	98,51
К-1/28	38,38	0,25	6,94	28,06	2,69	0,98	1,49	0,08	1,77	0,06	1,23	16,74	98,68
К-1/29	43,80	0,28	7,97	24,90	1,24	0,94	1,16	0,07	2,02	0,06	1,21	15,34	99,00
К-1/30	43,36	0,27	7,62	24,35	0,95	0,79	1,35	0,09	1,90	0,06	1,84	16,44	99,00
К-1/36	50,02	0,37	10,76	16,40	0,60	0,92	1,20	0,12	2,74	0,08	2,04	13,96	99,22
К-1/37	55,24	0,38	9,73	12,74	0,60	0,69	2,15	0,12	2,61	0,05	2,19	12,10	98,60
К-1/38	53,11	0,36	9,45	15,65	0,70	0,80	1,24	0,12	2,30	0,09	2,03	13,29	99,12
К-1/39	53,18	0,39	10,49	13,76	0,46	0,85	1,74	0,12	2,60	0,09	2,22	12,65	98,54
К-1/40	45,23	0,31	8,57	20,46	0,34	0,72	1,58	0,13	2,21	0,05	2,21	17,21	99,01
К-1/41	49,30	0,33	9,49	15,89	0,28	0,78	1,59	0,12	2,41	0,07	2,60	16,07	98,94
К-1/42	49,80	0,31	8,53	18,33	0,32	0,63	1,13	0,11	2,21	0,03	1,95	16,32	99,68
К-1/46	50,69	0,35	9,64	16,02	1,89	1,24	1,97	0,12	2,29	0,09	1,96	11,59	97,85
К-1/47	45,96	0,31	8,47	20,55	3,17	1,25	2,05	0,10	2,11	0,08	1,28	11,97	97,30
К-1/48	49,51	0,34	9,32	18,00	2,29	1,25	2,06	0,13	2,11	0,07	1,14	12,39	98,62
К-2/7	45,63	0,29	7,92	25,01	0,74	1,12	2,26	0,36	1,77	0,06	0,99	12,47	98,64
К-2/8	56,37	0,40	10,40	16,44	1,05	1,58	3,45	0,49	2,38	0,11	0,53	5,32	98,51
К-2/9	41,97	0,28	7,74	28,44	1,30	1,11	2,60	0,42	1,81	0,05	1,07	11,99	98,77
К-2/19	52,74	0,37	9,75	20,39	0,81	1,55	3,52	0,59	2,25	0,07	0,39	6,36	98,79
К-2/20	54,72	0,41	11,79	14,72	1,03	1,72	3,16	0,45	2,94	0,09	0,76	6,60	98,39

Примечание. Аналитики Н.В. Зарубина, Г.А. Горбач, В.Н. Каминская, Е.А. Ткалина, Н.В. Хуркало, Ж.А. Шека (ДВГИ ДВО РАН).

Скопления гидрослюды часто приобретают линзообразные формы, во внешних частях которых распространены гидроксиды железа, иногда образующие удлиненные линзочки в кристаллобластических гидрослюдистых выделениях и вуалеобразные скопления в пелитовой массе.

Пробы, отобранные в старом и новом хвостохранилищах КОФ, по минералогическим характеристикам рудных минералов мало отличаются. Сумма сульфидов в техногенных образованиях колеблется от 5 до 35%. Из них 80% приходится на пирит и марказит, 15% — на сфалерит и галенит, 4–5% — на пирротин, станин и арсенопирит. Сфалерит и пирротин находятся в виде тонких взаимных прорастаний, а также в виде включений в метакристаллах пирита. Галенит в виде изометричных зерен присутствует в метакристаллах пирита и пирротина (рис. 3, а), а также выполняет микротрещины в псевдоморфозах марказита по пириту (рис. 3, б). Размеры зерен галенита, халькопирита и пирротина, как правило, меньше 0,05 мм (рис. 3, а–д). Встречаются зерна пирита, арсенопирита и сфалерита размером 0,3 мм, в которых наблюдаются включения халькопирита и галенита (рис. 3, а, е). В галените установлена эмульсионная вкрапленность минералов серебра — аргентита, гессита и сульфосолей ряда пирсеит–полибазит (рис. 3, а).

Для лежалых хвостов характерно наличие окисленных руд, которые обладают разнообразным минеральным составом. Фазовый анализ Pb, Zn и S (табл. 2) показал, что свинец представлен четырьмя формами: сульфидной, карбонатной, сульфатной и плюмбоарозитовой. Это дает осно-

вание предполагать, что гипогенный галенит в процессе физико-химических преобразований, происходящих в хвостохранилищах, изменяется и переходит в англезит, церуссит и плюмбоарозит, который диагностирован нами в результате минералогических исследований (рис. 3, е).

Цинк представлен сульфидной и окисленной (оксидно-карбонатно-сульфатной) фазовыми группами. По степени встречаемости между сульфидной и окисленной фазами цинка установлена обратная зависимость. Окисленная фаза, вероятно, представлена смитсонитом и госларитом.

Количественное сопоставление фазовых составов серы, свинца и цинка, значительное преобладание сульфатной серы над суммарным количеством сульфатных фаз свинца и цинка свидетельствует о присутствии сульфатов других металлов. Аналитическими методами установлено наличие в рассматриваемых хвостохранилищах таких сульфатов, как мелантерит ($\text{Fe}^{2+}\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), феррогексагидрит ($\text{Fe}^{2+}\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), роценит ($\text{Fe}^{2+}\text{SO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), фиброферрит ($\text{Fe}^{3+}\text{SO}_4(\text{OH}) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), копиапит ($\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}(\text{SO}_4)_6(\text{OH})_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$), базалуоминит ($\text{Al}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_{10} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и др. [Tarasenko, 1997; Zinkov, 2003].

Методом математической статистики (кластерный анализ) установлены геохимические расслоения визуально не стратифицированных отложений хвостохранилищ. Определены характерные для каждого выделенного геохимического слоя и свойственные только ему корреляционные связи элементов. Схематическое выражение пространственного распределения полученных групп показало, что в хвостохранилищах произошло

Таблица 2

Фазовый анализ свинца, цинка и серы, масс.%

Номер пробы	Свинец					Цинк			Сера	
	сульфидный	сульфатный	плюмбоарозитовый	карбонатный	общий	сульфидный	окисленный	общий	сульфидная	SO ₃
К-1/2	0,131	0,065	0,077	0,055	0,328	0,590	0,178	0,768	1,62	1,65
К-1/4	0,043	0,175	0,200	0,014	0,432	0,392	0,158	0,550	0,74	3,86
К-1/13	0,129	0,067	0,066	0,032	0,294	0,689	0,085	0,774	7,63	2,34
К-1/15	0,244	0,168	0,136	0,040	0,584	0,896	0,057	0,953	8,23	2,79
К-1/16	0,072	0,174	0,064	0,018	0,328	0,579	0,074	0,653	7,89	0,02
К-1/22	0,092	0,086	0,082	0,018	0,278	0,501	0,096	0,597	6,35	2,01
К-1/23	0,163	0,100	0,056	0,022	0,341	0,537	0,042	0,579	8,75	1,11
К-1/34	н.о.	0,069	0,199	0,005	0,273	0,121	0,048	0,169	2,35	5,26
К-1/41	н.о.	0,011	0,271	н.о.	0,282	0,089	0,085	0,174	1,83	8,60
К-1/44	0,057	0,047	0,295	0,011	0,410	0,356	0,223	0,579	4,26	6,56
К-1/48	0,131	0,154	0,067	0,049	0,401	0,748	0,111	0,859	1,59	2,04
К-2/7	0,116	0,085	0,061	0,011	0,273	0,984	0,036	1,020	7,86	1,48
К-2/8	0,108	0,007	0,024	0,057	0,196	0,944	0,135	1,079	5,60	0,37
К-2/9	0,123	0,015	0,040	0,070	0,248	0,780	0,061	0,841	7,32	0,30
К-2/16	0,100	0,004	0,076	0,057	0,237	1,606	0,139	1,745	6,58	0,25
К-2/18	0,116	0,010	0,020	0,082	0,228	0,843	0,164	1,007	4,09	0,36

Примечания: н.о. — не обнаружено; аналитики В.Н. Залевская, Г.А. Бахарева (ДВГИ ДВО РАН).

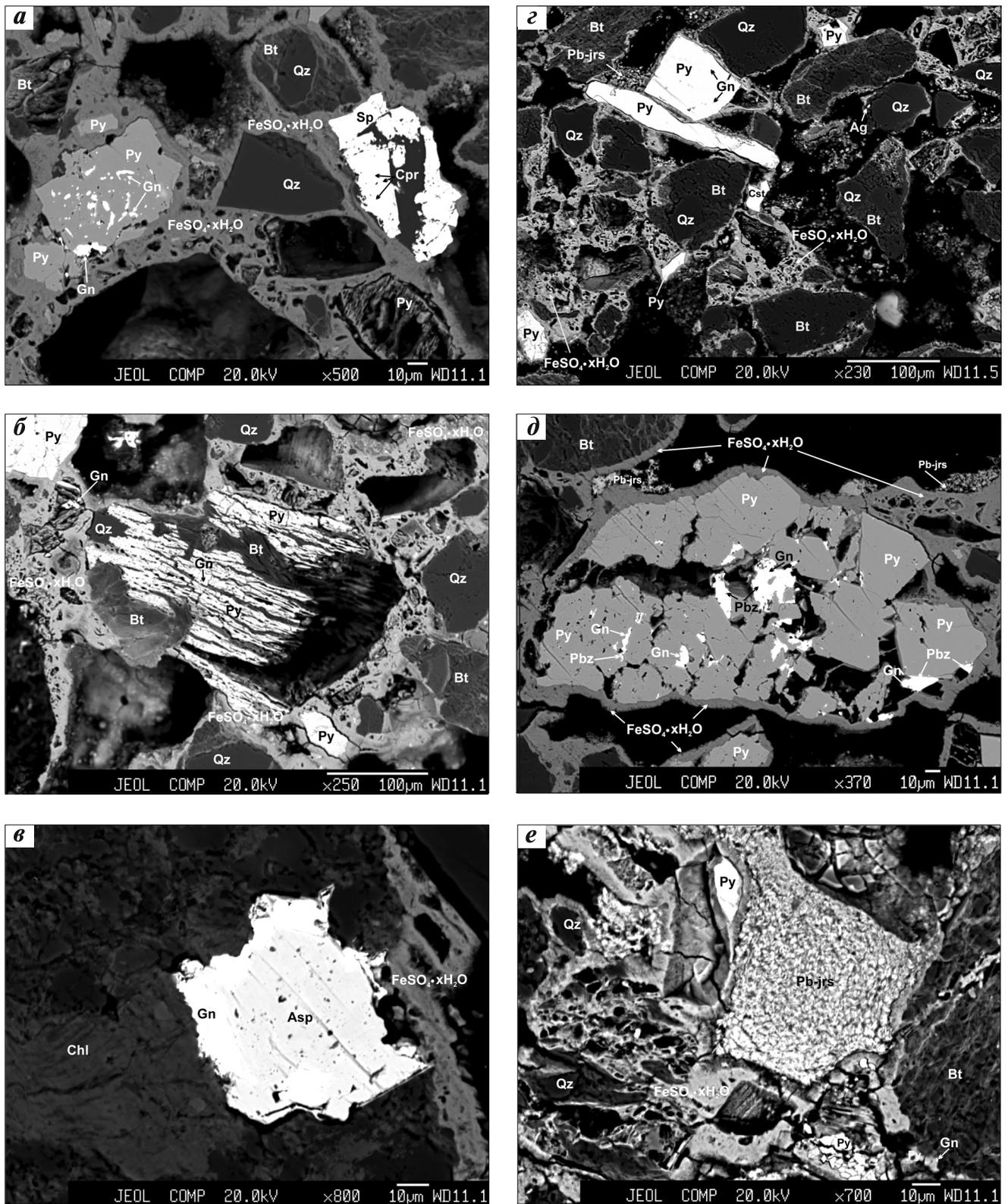


Рис. 3. Преобладающие минеральные формы в лежалых хвостах обогащения (а–е): Asp — арсенопирит, Bt — биотит, Chl — хлорит, Cpr — халькопирит, Cst — касситерит, Gn — галенит, Pb-jrs — плумбоарозит, Pbz — полибазит, Py — пирит, Qz — кварц, Sp — сфалерит, FeSO₄·xH₂O в виде цементирующих фаз

геохимическое дифференцирование материала, выразившееся в его субпараллельном расслоении. Для старого хвостохранилища КОФ характерна смена геохимических ассоциаций с глубиной. Отчетливо прослеживается связь цинка с оловом в

верхней части хвостохранилища (слой 1), которая с глубиной сменяется ассоциацией Zn–Pb (слой 2), а ниже наблюдается связь цинка с мышьяком (слои 3, 4 и 5), к этой ассоциации с глубиной вновь присоединяется Pb (слои 6, 7, 8 и 9). В самом

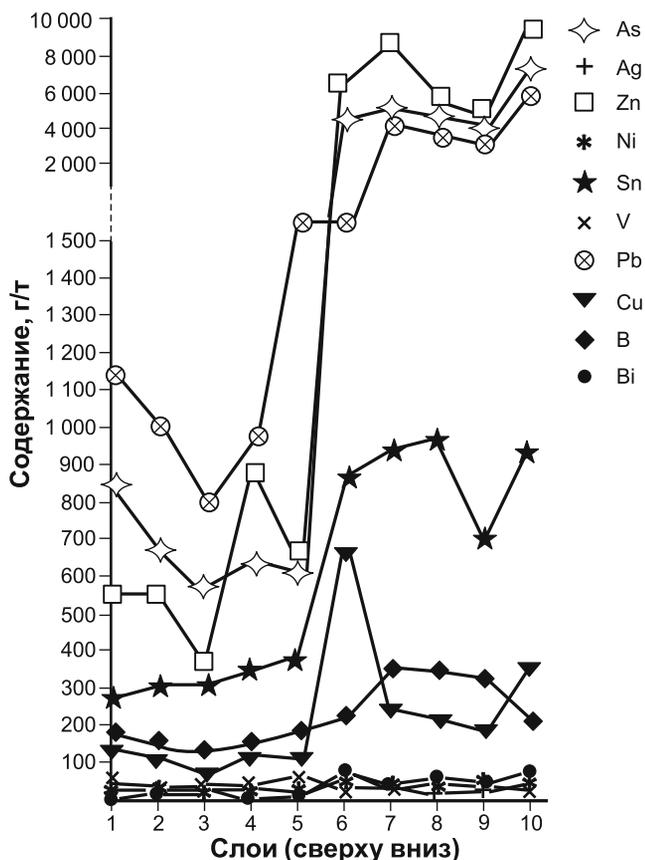


Рис. 4. Среднее содержание некоторых элементов в слоях 1–10 старого хвостохранилища КОФ

нижнем слое 10 наблюдается удаление цинка из ассоциации Pb–As. Кроме того, в слоях 2–5 выделяется отдельная ассоциация В–Cu, которая не отмечалась как в верхнем (слой 1), так и в нижних горизонтах (слои 6–10). Следовательно, установлено влияние фактора глубинности на геохимические ассоциации элементов.

Изучение характера распределения значений среднего содержания элементов позволило утверждать, что для старого хвостохранилища КОФ характерна вертикальная зональность распределения компонентов, особенно четко прослеживаемая на примере Pb, Sn, As и Zn, содержание которых уменьшается от верхних к средним, а затем резко увеличивается в средних слоях и вновь снижается к приплотиковой части (рис. 4). Уменьшение содержания элементов вблизи приплотиковой части хранилища, возможно, связано с наличием гидростатической «подушки», обусловленной инфильтрацией метеорных вод.

Интерпретация корреляционных связей между элементами в геохимических слоях «нового» хвостохранилища КОФ позволила выделить ассоциации, группы и подгруппы элементов. Подчеркнем, что ассоциации, выделенные на новом хвостохранилище (начальная стадия развития зоны гипергенеза), практически подобны ассоциациям 2, установленным в старом хвостохранилище (средняя стадия развития зоны гипергенеза). Это

дает основание говорить о послыном проявлении процессов гипергенных преобразований в лежалых хвостах обогащения.

Для основных элементов, содержащихся в хвостохранилищах, определены их потенциальные ресурсы (табл. 3). Показано, что перспективные виды минерального сырья представлены Pb, Zn, Sn и Ag. Свинец входит в состав галенита (более 51% всего объема свинца), церрусита (35%), плюмбозита (11%) и англезита (до 2%). Цинк содержится преимущественно в марматите (до 50%), в нем же концентрируются кадмий в количестве до 0,12%, индий — 0,06% и медь — 0,08%. Олово входит в состав касситерита (свыше 93% всего объема Sn), станнина (4%), а также содержится в легкоразрушаемых коллоидных формах (2%). Серебро образует самостоятельные минеральные фазы — аргентит, гессит и полибазит, которые в виде эмульсионной вкрапленности выделяются в галените и джемсоните.

Хвостохранилища по своим свойствам близки к россыпям, разработка которых считается рентабельной при содержании в них, например, олова 0,015–0,02% [Теребинин и др., 1990]. В рассматриваемых хвостохранилищах содержание Sn составляет 0,053% и 0,039%, содержание других полезных компонентов варьируют от 0,09 до 0,31% для цинка, от 0,11 до 0,25% для свинца, от 0,001 до 0,002% для серебра (табл. 3). Следовательно, накопленные в хвостохранилищах КОФ элементы могут представлять экономический интерес.

Закключение. Таким образом, в результате изучения минералого-геохимических особенностей отходов Краснореченской обогатительной фабрики показано, что по гранулометрическому составу техногенные отложения представлены преимущественно мелким (+0,1...–0,25 мм) и пылеватым (–0,1 мм) материалом, в котором количество сульфидов колеблется от 5 до 35%. На пирит и марказит приходится 80% от суммы всех сульфидов, на сфалерит и галенит — 15% и около 4–5% — на пирротин, станин, арсенопирит, халькопирит, аргентит, гессит и сульфосоли ряда пирсеит–полибазит.

Гипогенные минералы и породы хвостов обогащения в результате гипергенных преобразований претерпевают изменения, которые приводят к образованию сульфатов, карбонатов и гидроксидов. В техногенных отложениях отмечено одновременное существование контактового и порового типов цемента, которые представлены гидроксидно-железистым, глинисто-лимонитовым и сульфатным монокристаллическим минеральными разновидностями.

Методом математической статистики (кластерный анализ) установлены геохимические расчленения визуально не стратифицированных отложений хвостохранилищ. Зафиксированы признаки послыного проявления процессов гипергенных

Таблица 3

Ресурсы некоторых элементов в хвостохранилищах КОФ

Элементы	Хвостохранилища КОФ					
	«старое», V = 2,9 млн т, n = 86			«новое», V = 3,9 млн т, n = 20		
	содержание, г/т	стандартное отклонение	ресурсы, т (содержание элемента, %)	содержание, г/т	стандартное отклонение	ресурсы, т (содержание элемента, %)
Zn	$\frac{300,0-13920,0}{3094,2}$	3553,56	$\frac{8973,2}{(0,31)}$	$\frac{700,0-1000,0}{905,0}$	109,90	$\frac{3529,5}{(0,09)}$
Pb	$\frac{680,0-11700,0}{2459,9}$	2118,93	$\frac{7131,7}{(0,25)}$	$\frac{710,0-1400,0}{1071,5}$	175,21	$\frac{4178,9}{(0,11)}$
Sn	$\frac{170,0-1000,0}{531,3}$	294,843	$\frac{1540,8}{(0,053)}$	$\frac{260,0-630,0}{389,0}$	94,70	$\frac{1517,1}{(0,039)}$
Ag	$\frac{5,0-75,0}{18,5}$	13,776	$\frac{53,7}{(0,002)}$	$\frac{10,0-12,0}{10,75}$	0,55	$\frac{41,7}{(0,001)}$
Cu	$\frac{40,0-2100,0}{196,0}$	222,96	$\frac{568,4}{(0,02)}$	$\frac{120,0-220,0}{155,5}$	26,25	$\frac{606,5}{(0,016)}$
As	$\frac{400,0-10000,0}{2325,0}$	2423,29	$\frac{6742,5}{(0,233)}$	$\frac{650,0-2500,0}{1027,5}$	482,99	$\frac{4007,3}{(0,103)}$
Bi	$\frac{0,10-105,0}{28,0}$	3,114	$\frac{81,2}{(0,003)}$	$\frac{0,10-2,50}{1,8}$	0,75	$\frac{7,0}{(0,0002)}$
Cd	$\frac{0,1-380,0}{23,5}$	47,274	$\frac{68,2}{(0,002)}$	$\frac{2,50-3,50}{2,8}$	482,99	$\frac{10,9}{(0,0003)}$
B	$\frac{76,0-500,0}{202,4}$	86,96	$\frac{587,0}{(0,02)}$	$\frac{40,0-220,0}{135,5}$	42,36	$\frac{528,5}{(0,01)}$
Co	$\frac{3,0-53,0}{16,7}$	11,317	$\frac{48,4}{(0,002)}$	$\frac{6,0-19,0}{14,6}$	3,22	$\frac{56,9}{(0,002)}$
V	$\frac{21,0-95,0}{41,8}$	5,261	$\frac{121,2}{(0,004)}$	$\frac{21,0-47,0}{34,6}$	8,06	$\frac{134,9}{(0,004)}$
Ni	$\frac{14,0-78,0}{36,4}$	3,194	$\frac{105,6}{(0,004)}$	$\frac{20,0-35,0}{25,1}$	4,94	$\frac{97,9}{(0,003)}$
Cr	$\frac{14,0-49,0}{29,0}$	9,19	$\frac{84,1}{(0,003)}$	$\frac{12,0-44,0}{21,7}$	8,60	$\frac{84,6}{(0,002)}$
Ga	$\frac{5,0-17,0}{9,9}$	2,65	$\frac{28,7}{(0,001)}$	$\frac{8,0-17,0}{11,4}$	2,74	$\frac{44,5}{(0,001)}$

Примечания. Над чертой — диапазон содержания, под чертой — среднее; n — число проб.

преобразований в лежалых хвостах, основанные на практическом подобии ассоциаций элементов.

Установлена вертикальная зональность распределения элементов. Показано, что содержание Pb, Sn, As и Zn уменьшается от верхних к средним интервалам, а затем резко увеличивается в средних слоях и вновь снижается к приплотиковой части.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Василенко Г.П. Минералого-геохимические особенности касситерит-сульфидного оруденения Смирновского месторождения (Приморье): Автореф. канд. дисс. Владивосток, 1976. 26 с.

Казаченко В.Т., Сапин В.И. Марганцевая минерализация в рудных месторождениях Востока СССР. Владивосток, 1987. 196 с.

Радкевич Е.А. Оловорудные формации и их практическое значение // Сов. геология. 1968. № 1. С. 14–24.

Тарасенко И.А., Харитонова Н.А., Оводова Е.В. и др. Трансформация минералого-геохимического состава отходов обогащения и ее влияние на формирование высокоминерализованных вод (Приморский край, Россия) // Тихоокеан. геология. 2017. Т. 36, № 2. С. 106–118.

Для основных элементов, содержащихся в хвостохранилищах, определены их потенциальные ресурсы. Показано, что накопленные в хвостохранилищах КОФ элементы могут представлять экономический интерес, потенциальная добыча которых будет способствовать созданию условий для дальнейшего экологически безопасного существования и развития региона.

Теребинин А.Н., Коган Б.И., Бунимович Г.А. Производство олова и методы обезвреживания газообразных, жидких и твердых отходов: Аналит. обзор. Новосибирск, 1990. 108 с.

Tarasenko I.A., Zinkov A.V. Nev-born minerals Krasno-rechensky store of ore remains (Primorye) // II International Students Congress of the Asia-Pacific Region Contries Far Eastern State Technical University. Russia, Vladivostok, 1997. P. 118.

Zinkov A.V., Tarasenko I.A., Bakhareva G.A., Afanasieva T.B. Specific features of thechnogenic minralization of tailing dumps (Primorye, Dalnegorsk district) // Pacific Science Revi. 2003. Vol. 5. P. 16–22.

Поступила в редакцию 17.03.2017