

УДК 622'17:504.064.47(571.65)

ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РУДНЫХ ОТХОДОВ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РОССИИ: ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

© 2014 В.Е. Глотов, Л.П. Глотова

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт
им. акад. Н.А. Шило ДВО РАН, г. Магадан

Поступила в редакцию 18.03.2014

В статье охарактеризованы геохимические изменения рудных отходов (хвостов), образующихся после извлечения золота и серебра из руды и накапливающихся в хвостохранилищах. Отмечена негативная геоэкологическая роль хвостохранилищ как объектов, обладающих тиксотропными свойствами и источников тяжелых металлов. Вместе с тем они представляют интерес как будущие техногенные месторождения золота и олова.

Ключевые слова: *рудные отходы, хвостохранилища, тяжелые металлы, многолетнемерзлые породы, тиксотропия, геоэкологические последствия*

Установилось мнение, что в климатических условиях Северо-Востока России при отрицательных среднегодовых температурах воздуха ниже -6°C при нахождении хвостохранилища в зоне сплошного или прерывистого распространения многолетнемерзлых пород уплотненные рудные отходы после спуска воды из прудонакопителя перемерзают, образуя техногенную промороженную линзу, которую часто считают геохимически нейтральным и устойчивым объектом, потенциальным техногенным месторождением металлов, не полностью извлеченных из руды. Данное положение принимают и при оценке воздействия горного предприятия на окружающую среду (ОВОС). Мы подходим к хвостохранилищам, как к качественно новому, геологически активному элементу долин горных рек криолитозоны, экологически опасному инженерному объекту даже после завершения его эксплуатации. Этого факта пока не учитывают при прогнозах поведения хвостохранилищ при эксплуатации и после прекращения добычи благородных металлов. Так, при расчетах скорости промерзания хвостов, которые по фракционному составу часто относят к супесям средним и тяжелым с коэффициентами фильтрации 0,0005-0,0007 м/сут., исходят из их геохимической инертности и отсутствия в них конвективного переноса тепла. При этом не учитывается, что

инертности и отсутствия в них конвективного переноса тепла. При этом не учитывается, что тепломассоперенос может осуществляться в форме термодиффузии – перемещения рыхлосвязанной воды при отрицательных температурах к фронту вымерзания зимой и испарительной концентрации летом и молекулярной диффузии по градиенту потенциальной энергии в режиме файлюации [1].

Цель работы: показать, что аккумуляторы рудных отходов являются геохимически и геотермически активным новообразованным геологическим телом. Происходящие в них геохимические и геокриологические процессы преобразуют состав отходов, что может принести как позитивные для людей последствия, так и негативные.

Результаты исследований. Большая часть фактического материала, используемого в работе, собрана авторами в первом десятилетии 21 в. на территории Северо-Востока России. Выполненные исследования свидетельствуют, что на всех изученных хвостохранилищах (Омчакское, Глухаринское, Галимовское, Карамкенское) (рис. 1), независимо от качества их сооружения, наблюдается обходная фильтрация воды, загрязненной тяжелыми металлами, иногда цианидами и роданидами. Места просачивания воды в боковых примыканиях, на внешнем откосе ограждающих дамб или у их основания превращаются в очаги суффозии и эрозии. Активность новых геоэкологических процессов наблюдается и после консервации хвостохранилищ, особенно на внешних откосах дамб южной и юго-восточной экспозиции.

Глотов Владимир Егорович, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник лаборатории региональной геологии и геофизики. E-mail: geocol@neisri.ru

Глотова Людмила Петровна, старший научный сотрудник лаборатории региональной геологии и геофизики. E-mail: glotova@neisri.ru

Наиболее заметны последствия геохимических процессов, протекающих в самих хвостохранилищах из-за механической и химической активизации отходов. Рассмотрим обоснованность такого вывода на примере наиболее изученного хвостохранилища золотоизвлекательной фабрики (ЗИФ) быв. Карамкенского горнообогатительного комбината (ГОК), работавшего с 1972 по 1994 гг.

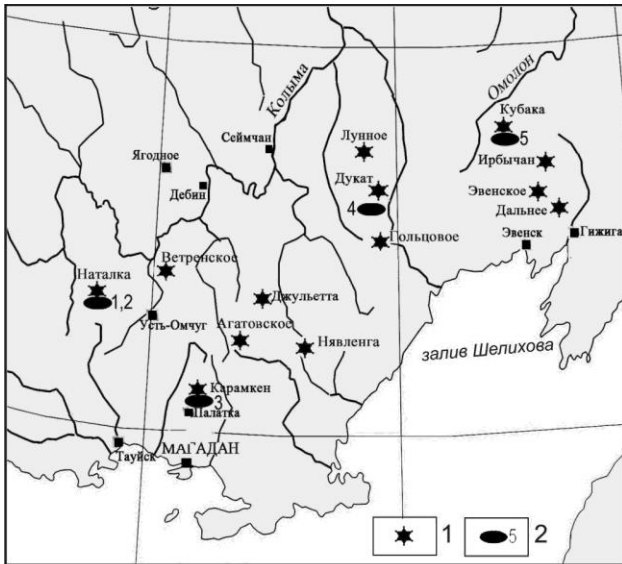


Рис. 1. Схема расположения золоторудных месторождений Магаданской области:

1 – золоторудные месторождения; 2 – хвостохранилища, в том числе 1, 2 – Омчакское, Глухаринское; 3 – Карамкенское; 4 – Галимовское; 5 – Кубакинское

Геохимические и минералогические изменения в Карамкенском хвостохранилище. Золото- и серебросодержащая руда Карамкенского месторождения состояла из кварца, полевых шпатов, кальцита, гидрослюда, каолинита. Пирит и другие сульфиды находились в количествах от 0,3 до 0,7%; гидроокислы железа – менее 2%. Через 10 лет после прекращения работ ГОКа в 2003-2004 гг. мы обследовали хвостохранилище этого объекта и установили, что в составе приповерхностного слоя хвостов произошли значительные минералогические изменения. По результатам минералогических анализов, выполненных доктором геол.-минер. наук Н.Е. Савва, главная особенность пульпы – наличие сульфатов в количестве до 20%, которые отсутствовали в рудах. Среди них определены галотрихит $[\text{FeAl}_2 \cdot (\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}]$ – до 15%; ярозит $[\text{KFe}_3 \cdot (\text{SO}_4)_2 \cdot (\text{OH})_6]$ – до 5%; калинит $[\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 11\text{H}_2\text{O}]$, гипс, мелантерит $[\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}]$ – в отдельных пробах до 7%. Почти в половине проб встречены единичные знаки высокопробного золота. Возросло количество глинистых минералов – каолинита и гидрослуд в 3-4 раза по сравнению с исходными рудами, в

которых они составляли около 6% от общего числа минералов. Отметим накопление пыли (фракции менее 0,001 мм) в приповерхностном горизонте хвостов. Формирование пылевато-сульфатного приповерхностного слоя происходит на всех хвостохранилищах золотосеребряных рудников Северо-Востока России, поскольку повсеместно золото- и серебрянорудная минерализация сопровождается сульфидами железа, мышьяка, цинка и других металлов. Растворение этого слоя талой или дождевой водой приводит к росту и изменению минерализации в прудке и в высочках воды у подножия дамб. Исключительную геохимическую важность имеет миграция воды к фронту вымерзания в зимнее время или к фронту испарительной концентрации летом. За счет этого процесса осуществляется приток воды, кислорода, углекислого газа к гипергенно преобразующимся минералам и отток продуктов реакции. При этом в процесс могут вовлекаться подмерзлотные слои пульпы при новообразовании многолетнемерзлых пород в хвостохранилище.

Процесс минералогических и геохимических преобразований активизируется за счет техногенного воздействия. На рассматриваемом Карамкенском хвостохранилище таким воздействием многие годы являлся сброс отходов Колымского аффинажного завода (КАЗ). В технологическом процессе аффинажа используют соляную и азотную кислоты, сульфат железа, буру, мочевины. Собранные стоки, имеющие минерализацию более 100 г/дм³ и сульфатно-хлоридный натриевый состав, в объеме 1 м³/сут. в специальной емкости нейтрализуют NaOH, разбавляют из р. Хасын в многократном размере. Содержание токсичных микроэлементов до разбавления (мг/дм³): Zn – 3,8; Hg – 0,00035; Cu – 10,8; Cd – 20,2; Mn – 4,8 и др. Количество взвесей 411 мг/дм³. После разбавления формула химического состава имеет вид: $\text{M}0,6 \frac{\text{SO}_4 70 \text{Cl} 29}{\text{Na} 91} \text{pH} = 8,2$. По содержанию нормируемых компонентов (Fe_{общ.}, Al, Zn) вода относилась к загрязненным, поэтому на специальных автомашинах стоки вывозили на Карамкенское хвостохранилище и сбрасывали на его поверхность у головной (верхней по течению) дамбы. Однако после слива малотоксичные разбавленные стоки преобразовались в токсичные, негативно влияющие на качество природных вод (табл. 1). Пробы хвостов, отобранные из закопушек, были проанализированы методом количественного спектрального анализа (ЭКСА) в лаборатории геохимии СВКНИИ ДВО РАН (руководитель к.г.-м.н. В.А. Приставка). Результаты анализов показали накопление токсичных микроэлементов по сравнению с незагрязненными участками (табл. 2).

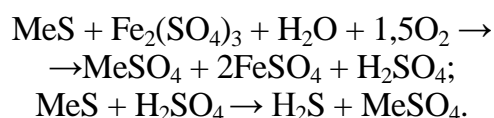
Таблица 1. Особенности химического состава вод на площади хвостохранилища (по данным СВКНИИ ДВО РАН, аналитик Д.С. Кротова)

Место взятия проб 27.08.2005 г.	Формула химического состава	Компоненты, мг/дм ³		
		Cl [']	SO ₄ ^{''}	Ca ⁺⁺
головная дамба, внутренний склон чаши хвостохранилища, высочки воды в 100 м от места сброса	M 2,1 $\frac{SO_4^{87}}{Ca72 \cdot Na24}$	85,2	1334	416,2
ручей, дренирующий загрязненный участок на поверхности хвостохранилища	M 4,75 $\frac{SO_4^{91}}{Na54 \cdot Ca43}$	51,8	3000	567,6
прудук у ограждающей (нижней) дамбы, в ≈ 1 км ниже места сброса	M 0,18 $\frac{SO_4^{40} \cdot Cl^{38} \cdot HCO_3^{22}}{Ca70 \cdot Na18}$	39,1	55,2	36,8
источник у правобережной границы хвостохранилища, в 250 м ниже загрязнения	M 0,2 $\frac{SO_4^{56} \cdot HCO_3^{28} \cdot Cl^{16}}{Ca73 \cdot Mg17 \cdot Na10}$	12,4	59	34

Таблица 2. Содержание тяжелых металлов в хвостах Карамкенского хвостохранилища, г/т

Материал хвостов	В числителе – содержание от – до, в знаменателе - среднее						
	Pb	As	Cr	Zn	Cu	Ag	Au
незагрязненный участок	$\frac{23,14-72,6}{41,3}$	$\frac{120,3-342,8}{41,3}$	$\frac{19,1-21,5}{41,3}$	$\frac{75,05-86,23}{81,4}$	$\frac{20-47,6}{37,5}$	$\frac{3,7-42,3}{13,2}$	$\frac{0-1,2}{0,5}$
загрязненный участок	$\frac{86,3-1207}{342,8}$	$\frac{349,03-783}{452,3}$	$\frac{23,4-30,83}{25,7}$	$\frac{90,23-300,4}{210,7}$	$\frac{482,4-1477}{837,6}$	$\frac{4,3-67,1}{16}$	$\frac{1,78-55,64}{1,93}$

Таким образом, комплексом гидрогеохимических, минералогических, геохимических анализов показано, что сброс стоков КАЗ в Карамкенское хвостохранилище вызывает ускорение преобразования рудных отходов, сопровождаемое значительными изменениями в составе хранимых хвостов. Активизировались процессы гидролиза, окисления сульфидов и сульфатов. Эти реакции происходят с выделением тепла, за счет которого поднималась температура в толще хвостов, хотя ожидалось вымерзание всех накопленных хвостов до отрицательной среднегодовой температуры (-6,5°C) за 10 лет. Только в правобережной части склона северной экспозиции образовалась многолетнемерзлая линза. Сброс разбавленных стоков происходил у головной дамбы на участке этой линзы. Сбрасываемые в теплое время года они поглощались сезонно-талыми хвостами, мощность которых не превышала 1,2-1,5 м. При малой глубине залегания водоупорной подошвы в летний период происходил процесс испарительной концентрации, что повышало содержание сульфатов на участке загрязнения и способствовало образованию корочки соли. Как известно, сульфат окисного железа Fe₂(SO₄)₃ и серная кислота непосредственно взаимодействуют с сульфидами металлов:



В холодное время года сезонно-талые хвосты цементировались льдом, выделяющимся при вымерзании жидких стоков КАЗ. Их последующие сбросы приводили к криогенному концентрированию водорастворимых солей на поверхности хвостохранилища. Испарительное и криогенное накопление химически активных солей ускоряли процессы преобразования плагиоклазов, высвобождали металлы из рудных обломков. Формировалась техногенная россыпь золота с современным содержанием его около 2 г/т или 1 г/м³. Все процессы, о которых идет речь, были прерваны 27.08.2009 г. Накопленные глинистые частицы придали грунтам дамбы и хвостам тиксотропные свойства. При работе дорожного грейдера во время продолжительного ливня на ограждающей дамбе произошел быстро протекающий переход грунтов в жидкое состояние. Участок дамбы и прилегающий к нему блок хвостов, мощность которых превышала 20 м, селеподобной массой был сброшен в русло р. Хасын, унося жизнь 2-х человек и нанеся материальный урон в размере около 150 млн. руб. [2].

Сведения о геохимических процессах в других хвостохранилищах Северо-Востока России. Периодическое образование сульфатсодержащего пылеватого покрова в зимнее время или при обсыхании поверхности пульпы летом и разрушение этого покрова при таянии снега или выпадения дождей является особенностью хвостохранилищ Северо-Востока РФ. В микрокомпонентном составе пыли отражается состав рудных металлов, но во всех случаях она обогащена

токсикогенными тяжелыми металлами и является опасной для людей в случае вовлечения ее в воздушные потоки. Содержание этих металлов при испарительной концентрации может достигать весьма внушительных величин (табл. 3). В отвалах золоторудных месторождений

накапливается золото, оловорудных – олово до промышленных значений. Например, разведано техногенное месторождение россыпного золота в хвостохранилище рудника им. Матросова в долине р. Омчак.

Таблица 3. Содержание тяжелых металлов в пылеватом приповерхностном слое Омчакского и Галимовского хвостохранилищ в г/т

Место взятия пробы	Элементы							
	Pb	As	Cr	Zn	Cu	Sn	Ag	Au
Омчакское золоторудное месторождение	139,77	128086,0	46,18	129,36	78,23	7,08	3,83	5,22
Галимовское оловорудное месторождение	239,94	290,19	15,3	275,87	118,49	390,02	8,45	>0,2

Выводы: созданные в долинах горных рек аккумуляторы рудных отходов (хвостохранилища) являются геохимически активными и в зоне повсеместного распространения многолетнемерзлых пород. Минералого-геохимические преобразования, происходящие в хвостохранилищах, делают эти хвостохранилища экологически очень опасными сооружениями даже в условиях Северо-Востока России. Наиболее опасны они как объекты, рудные отходы которых со временем приобретают тиксотропные свойства. Пылеватый слой на их поверхности является источником тяжелых металлов, переносимых водой и ветром. В этом их негативная геоэкологическая значимость. Вместе с тем, отходы добычи благородных металлов могут быть источником

золотых или оловянных россыпей будущего, почвой для растительного покрова на галеефельных отвалах россыпных месторождений. В этом их положительная геоэкологическая значимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Арбе, А.Г.* Влияние градиента напора на движение подземных вод // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1982. Т. 57. Вып. 2. С. 125-133.
2. *Глотов, В.Е.* Хвостохранилище Карамкенского горно-металлургического комбината: инженерно-геологические проблемы и причины аварийного разрушения / *В.Е. Глотов, Л.П. Глотова, А.П. Бульбан, И.Д. Митрофанов* // Вестник ДВО РАН. 2010. № 3 (151). С. 31-39.

TRANSFORMATIONS OF ORE WASTE AT NORTHEAST OF RUSSIA: GEOCHEMICAL AND GEOECOLOGICAL ASPECTS

© 2014 V.E. Glotov, L.P. Glotova

Northeast Complex Scientific Research institute named after acad. N.A. Shilo DVO RAS, Magadan

In article geochemical changes of the ore waste (tails) being formed after extraction of gold and silver from ore and collecting in tail dams are characterized. The negative geoeological role of tail dams as the objects possessing thixotropic properties and sources of heavy metals is noted. At the same time they are of interest as future technogenic gold and tin deposits.

Key words: *ore waste, tail dams, heavy metals, many years frozen rocks, thixotropy, geoeological consequences*

Vladimir Glotov, Doctor of Geology and Mineralogy, Main Research Fellow at the Laboratory of Regional Geology and Geophysics. E-mail: geoecol@neisri.ru

Lyudmila Glotova, Senior Research Fellow at the Laboratory of Regional Geology and Geophysics. E-mail: glotova@neisri.ru