

ВЛИЯНИЕ ШЛАМОХРАНИЛИЩА С СОЛЕСОДЕРЖАЩИМИ ОТХОДАМИ НА ПРИПОВЕРХНОСТНУЮ ГИДРОСФЕРУ

Е.А. Хайрулина, Н.Г. Максимович

Естественнонаучный институт Пермского государственного научного
исследовательского университета, 614990, Пермь, ул. Генкеля 4.
E-mail:elenakhay@gmail.com

В процессе добычи полезных ископаемых на поверхности Земли складываются в шламохранилищах огромные объемы отходов, которые оказывают значительное воздействие на окружающую среду. При проектировании шламохранилищ необходимо учитывать химический состав отходов, свойства которых в течение эксплуатации способны снижать экранирующие характеристики грунтов в ложе шламохранилища, что способствует увеличению фильтрации стоков и дальнейшей миграции загрязнителей в природной среде.

Добыча калийных солей и процесс обогащения руды сопровождается значительным количеством отходов (свыше 70% от объема добываемой руды) с высоким содержанием в них водорастворимых солей. Соли обладают активной миграционной способностью и являются источником загрязнения поверхностных и подземных вод [2, 3, 4, 9, 10, 12]. В шламохранилище поступают глинистый материал, вещество нерастворимого остатка в виде глинисто-солевого шлама и избыточные рассолы. Глинисто-солевые шламы на 35-40% состоят из водорастворимых солей и 60-65% из нерастворимого глинистого осадка. Рассолы имеют Na – Cl состав с минерализацией свыше 300 г/л.

Для предотвращения фильтрации рассолов в подземные воды в основании ложа и дамб создавались глинистые экраны. Опыт эксплуатации шламохранилищ калийного производства показал низкую эффективность глинистых экранов, так как установлено, что при взаимодействии с рассолами глинистые частицы существенно изменяют свои фильтрационные свойства [5, 7]. При засолении глинистого экрана происходит увеличение порового пространства между частицами грунта и увеличение проницаемости до 75%.

Основной поток загрязнителей в окружающую среду поступает с водной миграцией водорастворимых солей и примесей. Несмотря на геотехнические мероприятия, через тело шламохранилища происходит фильтрация рассолов и атмосферных осадков в подземные воды. В результате формируются значительные ореолы засоленных поверхностных и подземных вод.

Воздействие шламохранилища на окружающую среду рассмотрено на одном из калийных предприятий Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (рис. 1). Объект исследования был построен в середине 70-х годов XX века. В качестве защиты подземных вод от загрязнения был использован глинистый экран. Значительное количество осадков (среднегодовая сумма осадков 650 мм), холодный климат и расчлененность рельефа способствуют активной водной миграции водорастворимых солей.



Рис. 1. Схематическая карта загрязнения поверхностных и подземных вод в районе воздействия шламохранилища по [3]

Твердая фаза глинисто-солевой суспензии представляет собой нерастворимый остаток сильвинитовой руды с примесью переизмельченного сильвинита и галита. В водной вытяжке вещества осушенной части шламохранилища преобладают ионы хлорида 70 г/л, натрия 33 г/л, калия 19,5 г/л, сульфатов 19,6 г/л, кальция 6,8 г/л и магния 0,9 г/л. Геохимическая трансформация вещества шламохранилища сопровождается усилением интенсивности выноса загрязнителей в окружающую среду со стоками и увеличение фильтрационные свойств нижележащих пород [8].

Поступление высокоминерализованных стоков шламохранилища в гидросферу происходит двумя путями: фильтрация сквозь дамбу обваловывания и ложе шламохранилища. Засоленные воды разгружаются субаквально в русло реки и в виде восходящих родников, в том числе и на противоположном берегу реки. Это обусловлено тем, что борт долины реки, где расположено шламохранилище, сложен глинистыми породами, затрудняющими разгрузку.

Подземный сток. Фильтрующиеся через ложе шламохранилища стоки поступают в нижележащий шешминский водоносный горизонт или разгружаются в ближайшие дрены, формируя ореол засоления между шламохранилищем и руслом реки [2] (рис. 1). Фильтрации в шешминский горизонт способствует высокая плотность растворов (более 1 г/см³). По некоторым оценкам на эту часть баланса приходится до 20% общих потерь из шламохранилища.

Таблица 1

Химический состав вод в районе влияния шламохранилища, мг/л

Компоненты	Сток из под дамбы шламохранилища	Соленый родник в долине реки Ленва	Река Ленва	ПДК
<i>pH</i>	6,9* 6,34 – 7,2**	7,0 6,9 – 7,0	7,1 6,3 – 7,54	6,5-8,5
HCO ₃ ⁻	348,5 292,9 – 457,6	119,6 11,0 – 173,9	132,0 64,7 – 207,5	-
SO ₄ ²⁻	2127,7 645,8 – 4189,7	282,5 191,0 – 421,5	616,4 73,0 – 1511,0	100
Cl	25788,7 5540,0 – 42950	12845,2 6950,0 – 22335,7	7095,8 2930,5 – 12046,8	300
NO ₂ ⁻	6,1 0,34 – 10,28	0,2 0,2 – 0,2	3,3 0,1 – 12,3	0,08
NO ₃ ⁻	78,0 15,0 – 126,2	27,2 0,2 – 65,0	15,7 2,8 – 32,4	40
Ca ²⁺	1301,7 721,4 – 2345,0	1072,3 552,0 – 1625,0	1052,6 601,2 – 1483,0	180
Mg ²⁺	204,3 145,8 – 321,0	1829,4 117,0 – 5185,3	256,7 121,5 – 390,7	40
Na ⁺	15046,1 7055,5 – 32142,0	4008,8 2555,0 – 5856,4	2432,0 963,5 – 5506,6	120
K ⁺	10037,1 5168,8 – 23688,5	4321,3 1228,0 – 10000,8	779,6 62,6 – 1580,0	50
NH ₄ ⁺	53,0 5,0 – 193,0	16,2 15,3 – 17,0	23,1 0,56 – 93,5	0,5
Сухой остаток	43841,2 11487 – 74090	27825,0 16460,0 – 39190,0	12561,0 4591,0 – 21750,0	
Кол-во проб	7	3	18	

Примечание: ПДК - для водоемов рыбохозяйственного значения.

* - среднее значение; ** - минимальное и максимальное значение.

В непосредственной близости от шламохранилища подземные воды меняют состав на Na – Cl состав с минерализацией свыше 40 г/л (табл. 1). При дальнейшей фильтрации через глинистые, местами доломитизированные известняки и мергели химический состав подземных вод приобретает Na, Ca – Cl состав, т.к. высокоминерализованные Na - Cl техногенные подземные воды активизируют процессы выщелачивания и ионного обмена в системе вода-порода интенсивнее, чем при фильтрации природных пресных вод [3, 13]. Вследствие этого в подземных и поверхностных водах на фоне высокого уровня хлоридного загрязнения увеличиваются содержания кальция, магния, сульфатов.

Поверхностный сток через дамбу. За сорокалетний период эксплуатации шламохранилища фильтрация через дамбу, сформировала устойчивый сток высокоминерализованных вод по склону долины реки. Химический

состав вод представлен в табл. 2, и характеризуется Na – Cl составом с минерализацией более 40 г/л. Высокое содержание ионов хлоридов, сульфатов, натрия, калия и магния обусловлено содержанием водорастворимых солей в шламохранилище. Повышенные концентрации соединений азота в фильтрационных водах вызвано содержанием широкого спектра гетеросоединений в веществе шламохранилища, среди которых преобладают O- и N- содержащие структуры [1].

Таблица 2

Некоторые характеристики почв в районах засоления

Место отбора почв	рН	Сумма токсичный солей, %	Содержание веществ в почве, мг/100г			
			Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺
Соленое болото ниже дамбы шламохранилища	5,6	1,353	722	37	324,2	220,4
Засоленные почвы в долине реки	4-8	1,582	22,6-1016,3	0,8-14,5	6,8-239,4	0,3-14,6
Фоновые почвы	4-6	0,011	1,1-2,3	0,8-1,9	0,6-1,0	0,3-1,7

В зоне разгрузки фильтрационных вод ниже шламохранилища сформировалось соленое болото. Концентрация водорастворимых солей в почвенном растворе достигает свыше 1,3%, что соответствует «очень сильной» степени засоления (табл. 2).

Растительность представлена, в основном, солеустойчивыми растениями: тростник (*Phragmites communis*), рогоз (*Typha latifolia*). Кроме высокой солеустойчивости данные виды обладают водоопреснительной и водоочистительной способностью, которая используется для улучшения качества вод в аридных районах [6].

Химический состав р. Ленва. Выход на поверхность загрязненных подземных вод в виде родников, площадной и субкавальной разгрузки, а также поверхностный сток высокоминерализованных вод в долине р. Ленва приводит к засолению самой реки и долинных экосистем. Вследствие чего воды р. Ленва характеризуются хлоридно-натриевым составом (табл. 1), нейтральным рН, сохраняются значительные превышения ПДК по всем компонентам, в том числе соединений азота.

Засоление реки и близкое залегание Na-Cl подземных вод в долине реки и приводит к резкому повышению содержания в долинных почвах Cl⁻, K⁺, SO₄²⁻, Na⁺. Сумма токсичных солей составляет 1,5 % (табл. 2). Содержание

хлоридов в водной вытяжке почв увеличивается по сравнению с фоновыми почвами в 400 раз, натрия в 200 раз, калия в 7 раз.

Таким образом, ухудшение экранирующих свойств материалов в основании дамбы и ложа шламохранилища оказывает комплексный эффект на состояние окружающей среды в районе исследуемого объекта. Фильтрационные стоки Na-Cl состава, с высоким содержанием азотных соединений приводят к трансформации химического состава подземных и поверхностных вод, развитию процессов засоления почв в долинных ландшафтах и на пути поверхностного стока.

Работа поддержана грантом РФФИ 15-05-07461.

Литература

1. Бачурин Б.А., Сметанников А.Я., Хохрякова Е.С. Эколого-геохимическая оценка продуктов переработки глинисто-солевых шламов калийного производства // Современные проблемы науки и образования. - 2014. - № 6. - URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=15442>.
2. Бельтюков Г.В. Основные источники загрязнения подземных и поверхностных вод на территории Верхнекамского месторождения калийных солей // Вестник Пермского университета. Вып. 4 «Экология». - Пермь, 1996. - С. 128-140.
3. Колпашников Г.А., Клементьев В.П., Еременко Ю.П. Процессы засоления пород и подземных вод твердыми отходами калийных производств Солигорских комбинатов // Докл. АН БССР. - 1979. - Т. 14. - № 5. - С. 443-446.
4. Максимович Н.Г., Горбунова К.А. Изменение гидрогеологических условий в процессе строительства крупного агропромышленного комплекса // Инженерная геология. - 1989. — № 5. - С. 61-65.
5. Моношко А.М., Пахомов С.П. Основные закономерности, определяющие устойчивость глинистых грунтов к воздействию обводнения и промстоков (по экспериментальным данным) // Инженерная геология. - 1985. - № 6. - С. 35-45.
6. Назармамедов О. Роль высших водных растений в очистке дренажных вод // Проблемы освоения пустынь. - 2007. - № 3. - С. 48-51.
7. Осипов В.И. Плотность глинистых минералов // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. - 2011. - № 6. - С. 483-493.
8. Юй Лю, Лехов А.В. Моделирование изменения фильтрационных параметров загипсованных пород при фильтрации рассолов // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. -2012. -№ 6. -С. 551-559.
9. Baure M, Eichinger L, Elsass P., Kloppmann W, Wirsing G. Isotopic and hydrochemical studies of groundwater flow and salinity in the Southern Rhine Graden // Int J Earth Sci. - 2005. - № 94. - P. 565-579.

10. *Khayrulina E.* Aspects of the environmental monitoring on the territory of Verhnekamskoye Potash Deposit (Russia) // Mining Meets Water - Conflicts and Solutions. Proceedings IMWA2016 Annual Conference, Leipzig, Germany. - 2016. - P. 378-382. - URL: https://www.imwa.info/docs/imwa_2016/IMWA2016_Proceedings.pdf.

11. *Lucas Y., Schmitt A.D., Chabaux F., Clement A., Fritz B., Elsass Ph., Durand S.* Geochemical tracing and hydrogeochemical modelling of water-rock interactions during salinization of alluvial groundwater (Upper Rhine Valley, France) // Applied Geochemistry. - 2010. -25 (11). - P. 1644-1663.

12. *Luo J., Diersch H.-J., Monnikhoff L.* 3D modeling of saline groundwater flow and transport in a flooded salt mine in Stassfurt, Germany // Mine water Environ. - 2012. - № 31. - P. 104-111.