Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института имени Г.В.Плеханова,
1989. Т. 118

УДК 624.131.1

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРРИТОРИЙ И ОХРАНЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ХВОСТОХРАНИЛИЩ (на примере ПО "Фосфорит")

Р.Э.ДАШКО

Хвосто- и шламохранилища, относимые к сооружениям промышленной гидротехники, входят в комплекс горно-промышленных предприятий, связывающих в единую и неразрывную систему добычу полезных ископаемых и их переработку, в том числе обогащение. Работа обогатительных фабрик обычно сопровождается выходом большого количества жидких и твердых отходов, складируемых в специальные накопители (хвосто- и шламохранилища). В настоящее время площади, занятые под сооружения промышленной гидротехники, составляют сотни гектаров, а высота намыва может превышать 200 м и более и становится вполне сопоставимой с высотой каменно-земляных плотин. Хвосто- и шламохранилища, аккумулируя десятки миллионов кубометров жидкой фазы сложного компонентного состава, предопределяют формирование нового гидрохимического и гидродинамического режима подземных вод. В процессе эксплуатации таких накопителей наблюдается активное негативное их воздействие на геологическую среду, причем зона влияния многих хвосто- и шламохранилищ распространяется на десятки, а в отдельных случаях и на сотни километров.

Несмотря на явную экологическую опасность таких сооружений, до сих пор не разработаны основы их проектирования, строительства и эксплуатации с учетом специфики природных, главным образом инженерно-геологических, условий, а также геохимических особенностей полезного ископаемого и технологии его обогащения.

Как показывает анализ принципов проектирования и эксплуатации сооружений промышленной гидротехники, комплексное исследование и прогноз изменения инженерно-геологических условий имеют принципиальное значение и должны быть включены в разработку общей теории надежности функционирования этих сложных сооружений.

В настоящее время теория надежности сооружений развивается по трем основным направлениям. Первое связано с прогнозом общей надежности сложных систем при различных соединениях элементов, составляющих такую сис-

тему, и разработкой методики их выбора и режимов работы. Второе направление осуществляет анализ свойств составляющих элементов. При этом большое внимание должно уделяться изменению этих свойств во времени под действием внешних и внутренних факторов. Третье направление включает исследование влияния возможного сбоя или нарушения технологического режима системы и соответственно возможностей управления функционированием рассматриваемой системы при отказе одного из элементов.

А.И.Берг отмечал, что теория надежности должна устанавливать закономерности возникновения отказов и восстановления работоспособности системы и ее элементов. Анализируя влияние внешних и внутренних воздействий на процессы, происходящие в системах, необходимо разработать основы расчетной модели для обеспечения как нормальных условий эксплуатации системы, так и прогнозирования отказов в процессе ее эксплуатации.

Теория надежности сооружений должна базироваться на определенных физических концепциях, которые позволяют управлять и соответственно повышать степень безопасности работающей системы.

Бесперебойная и надежная эксплуатация хвостохранилищ предопределяет нормальный режим работы обогатительной фабрики, который, в свою очередь, тесно связан с добычей полезного ископаемого. В случае остановки добычи полезного ископаемого или прекращения работы обогатительной фабрики, когда прерывается процесс подачи отходов в накопители, никаких негативных явлений на хвостохранилищах не наблюдается. В то же время при прорыве оградительных дамб, возникновении оползневых деформаций, катастрофических оплываний откосов тела хвостохранилища, перелива прудка через его гребень неизбежна полная остановка обогатительной фабрики и соответственно прекращение добычных работ. Возникновение аварий обычно вызывает тяжелые последствия в экологической обстановке района размещения накопителей. Наиболее опасные ситуации возникают при складировании жидких и твердых отходов производства на песчано-глинистые породы.

Согласно изложенным выше принципам надежности функционирования сооружений для хвостохранилищ, возводимых на песчано-глинистых отложениях, схема такой системы может быть представлена в виде связи регулируемых с помощью технологии намыва и нерегулируемых основных элементов (рис.I).

Управление технологией намыва отходов обогащения позволяет оптимально размещать техногенные образования на территории хвостохранилища во времени и в пространстве. Изменение скоростей намыва способствует закономерному распределению материала по крупности зерен. Следовательно, управление технологией намыва обеспечивает необходимую скорость повышения давления на основание, безопасный рост уровня воды в прудке, а также регулирование углов откоса дамб хвостохранилищ (внешних и внутренних).

Характер управления технологией намыва зависит от специфики инженерно-геологического разреза основания, которая определяет следующие его параметры:

а) оптимальную отметку намыва (допускаемое давление на основание при гарантии отсутствия оползневых смещений с захватом основания);



Рис.1. Структурная схема надежности функционирования хвостохранилищ

б) безопасную величину гидродинамического давления, при которой обеспечивается устойчивость внешних откосов тела хвостохранилища;

в) оптимальные углы заложения внешних откосов, значения которых зависят от факторов, указанных выше.

Ограничение гидродинамического давления влияет на стабилизацию величины расходов на фильтрацию через тело хвостохранилища и его основание.

К группе нерегулируемых элементов системы относятся горные породы и подземные воды в основании накопителей. Породы основания подвергаются действию давления и, следовательно, необходимо рассматривать возможность их уплотнения в процессе эксплуатации сооружения. Мало изучено влияние физико-химических процессов, протекающих в глинистых породах при взаимодействии минеральной составляющей с различными компонентами прудковых вод, на изменение их прочности во времени. Этот фактор требует не только тщательного отбора и анализа результатов полевых наблюдений и исследований прочности глинистых отложений, но и проведения опециальных экспериментальных работ по изучению комплексного и раздельного влияния основных компонентов прудковых вод на параметры сопротивления сдвигу и состояние пород.

Весьма сложной задачей является обеспечение надежности функционирования хвостохранилищ, возводимых на относительно слабых глинистых отложениях вблизи крупных водотоков или водоемов, особенно когда необходимо значительно увеличить сроки их эксплуатации.

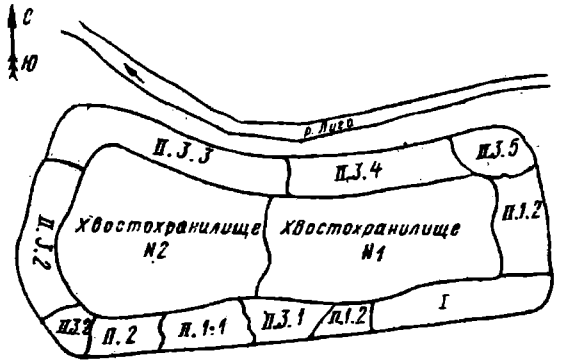


Рис.2. Схема инженерно-геологического районирования территории размещения хвостохранилищ № 1 и № 2 ПО "Фосфорит" в пределах зоны обеспечения устойчивости ограждительных дамб, основания и тела накопителя

II.3.4 – последовательно номер района, подрайона и участка с типичным разрезом

Такие проблемы возникли на хвостохранилищах ПО "Фосфорит" (Кингисеппское месторождение фосфоритов). Накопители ПО "Фосфорит" (хвостохранилища № I и № 2) занимают площадь более 440 га на левобережье р.Луги (рис.2).

Техногенные отложения – пески разнообразного гранулометрического состава от средне-мелкозернистых до тонкозернистых пылеватых и глинистых типов – намываются на породы основания, различающиеся по возрасту, генезису и физико-механическим свойствам.

Коренные породы – нижнекембрийские песчаники тискреского горизонта – распространены в пределах юго-восточной и южной части хвостохранилища № I (район I). На остальной территории основанием накопителей служат верхнечетвертичные отложения – моренные суглинки (легкие и средние) и озерно-ледниковые глинистые разности (район II). Районирование территории хвостохранилищ было проведено с учетом изменения показателей сопротивления сдвигу глинистых пород различных генетических разностей (табл. I). При назначении характеристик прочности учитывалось влияние следующих факторов:

I) отсутствие фильтрационной консолидации глинистых пород основания, подтверждаемые контролем за состоянием пород в течение 25-летнего периода эксплуатации хвостохранилищ[x];

2) сорбция минеральной составляющей глинистых пород компонентов прудковых вод, приводящая к снижению их прочности во времени.

В условиях существенной изменчивости показателей прочности пород основания было предложено реализовать асимметричный намыв, позволяющий значительно продлить сроки эксплуатации действующих хвостохранилищ (табл. 2).

---

[x] Дашко Р.Э. Инженерно-геологический анализ процесса консолидации водонасыщенных глинистых пород // Инженерная геология. 1981. № 1.

Таблица 1

Физико-механические свойства пород в основании хвостохранилища ПО "Фосфорит"

Тип разреза	Порода	Мощность, м	Свойства пород		
			Плотность, т/м³	Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения
I	Песчаник ϵ_1 ts	15	2,50	0,2	30°
II.1.1	Суглинки g III	2,0	2,20	0,09	9
		0,5	2,05	0,05	5
II.1.2	Суглинки g III	1,5	2,30	0,06	23
II.2	Суглинки lg III	2,6	1,98	0,066	4
	Суглинки g III	2,4	2,09	0,05	5
II.3.1	Суглинки lg III	2,0	2,00	0,054	10
		1,0	1,86	0,02	6
II.3.2	Суглинки lg III	3,0	1,90	0,03	8
	Глины lg III	0,5	1,72	0,024	0
II.3.3	Суглинки lg III	3,0	1,85	0,024	7
	Глины lg III	0,5	1,76	0,018	0
II.3.4	Супеси lg III	1,0	1,76	0,10	8
	Суглинки lg III	1,5	1,95	0,025	6
	Глины lg III	1,0	1,90	0,018	3
II.3.5	Супеси lg III	3,0	1,76	0,006	8
	Глины lg III	1,0	1,90	0,018	3

Стабилизацию отметки зеркала пруда возможно осуществить за счет дноуглубления прудковой зоны. При условии утилизации техногенных песков и постоянной работе механизмов (земснарядов) с целью увеличения объемов пруда можно отказаться от отчуждения территорий для размещения следующей очереди накопителей. Так значительно сокращается количество источников загрязнения и одновременно решается проблема рационального использования земельных ресурсов.

Как уже говорилось, комплекс физико-химических процессов, главным образом сорбционных, протекающих при фильтрации загрязненных вод, приводит к их самоочищению. Следовательно, толщу глинистых пород в основании хвостохранилища и за его пределами нужно рассматривать как "сорбционное окно".

Прудковые и подземные воды в данном случае являются смешивающимися жидкостями, и их тип движения в толще пород можно анализировать как гидродинамическую дисперсию. Последняя представляет собой постоянный и необратимый процесс, характеризующийся расширением переходной зоны с непрерыв-

Таблица 2

Рекомендации по увеличению отметки намыва и углов заложения внешних откосов на хвостохранилищах № 1 и № 2 ПО "Фосфорит"

Тип разреза	Отметка намыва, м		Угол заложения откоса	Примечание
	существующая	рекомендуемая		
I	+43,0	Не регламентируется	Равен естественному углу откоса	
II.1.1.	+33,0	+72,0	18°	Возможно дальнейшее увеличение отметки намыва
II.1.2	+43,0	Высота намыва не регламентируется		
II.2	+33,0	+60,0	16	Возможно дальнейшее увеличение отметки намыва
II.3.1	+30,0	+30,0	16	Указана предельная отметка намыва
II.3.2	+35,0	+40,0	8	То же
III.3.3	+31,0	+36,0	8	-"-
III.3.4	+33,0	+36,0	8	
III.3.5[x]	+39,0	+36,0	8	-"-

[x] На участке фиксируются подвижки; рекомендуется перекладирование песков в гребне намыва до отметки +36,0.

но меняющейся концентрацией. При условии активно протекающих сорбционных процессов концентрация загрязняющих компонентов существенно уменьшается, что значительно замедляет скорость их распространения.

Для хвостохранилищ ПО "Фосфорит" в качестве загрязняющих можно выделить три основные группы компонентов: фосфаты, фториды, органические вещества (нефтепродукты и талловые мыла). Результаты многолетних гидрохимических наблюдений на ПО "Фосфорит" свидетельствуют об активных процессах самоочищения от фосфатов, фторидов и таллового мыла (полярного органического соединения).

Наиболее сложный характер взаимодействия наблюдается при миграции нефтепродуктов, в нашем случае, керосинов. В подземных водах нефтепродукты могут находиться в виде однофазного жидкого слоя, тонкодисперсной эмульсии или истинных растворов, а при деструкции нефтепродуктов возможно появление газовой фазы[x]. В системе порода – вода – воздух нефтепродукты обычно вступают в физико-химическое, химическое и биогенное взаимодействие.

О сорбции нефтяных продуктов из водных растворов минеральной составляющей пород единого мнения нет. Известно, что наиболее полно реализует-

[x] Гольдберг В.М., Гаэде С. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. М.: Недра, 1984.

ся сорбция полярных компонентов нефтепродуктов. Наибольшей сорбционной способностью по отношению к нефтепродуктам обладают сухие и маловлажные породы, а при росте степени водонасыщения сорбционная активность падает. Насыщенные водой дисперсные породы связывают только так называемое остаточное количество нефтепродуктов в форме жидкой фазы. Если содержание нефтепродуктов превышает "остаточное", то его избыток вытесняется в верхние слои толщи, обладающие более низкой влажностью. При этом образуется зона, содержащая максимальное количество нефтепродуктов. Такие зоны, обогащенные нефтепродуктами, наблюдаются в техногенных песках на хвостохранилищах ПО "Фосфорит" непосредственно над уровнем грунтовых вод.

Кроме сорбции, в подземных водах происходит разложение нефтепродуктов за счет химического их окисления и в результате действия микроорганизмов. Наиболее активно инсоляционное окисление нефтепродуктов. В результате таких процессов образуются различные полярные, растворимые в воде соединения – кислоты, фенолы и др.

Непосредственно в подземных водах деструкция нефтепродуктов может также идти за счет биогенных процессов, которые наиболее интенсивно протекают в аэробных условиях. При недостатке кислорода этот процесс носит замедленный характер.

Толщу пород (вне зоны хвостохранилища), в которой наблюдается загрязнение нефтепродуктами, по глубине можно расчленить на три зоны:

I – зона, где за счет биологического разложения углеводородов породы могут содержать газовую составляющую в форме CO_2, NO_2.

II – зона, расположенная ниже, должна содержать избыточное количество нефтепродуктов за счет оттеснения их избытка при сорбции "остаточной" части углеводородов в водонасыщенной среде;

III – зона грунтовых вод, в которой наличествуют частично сорбированные углеводороды на зернах дисперсных пород, а также растворенные или эмульгированные нефтепродукты, причем в значительно меньших количествах, чем в зоне II.

Следует отметить, что по данным опробования подземных вод на нефтепродукты, их содержание не превышает 0,3 мг/л за пределами контура хвостохранилищ и соответственно загрязнения р.Дуги нефтепродуктами не наблюдается.

Необходимо также подчеркнуть, что на движение нефтепродуктов существенно влияет неоднородность слоев по проницаемости. При переслаивании пород с различной проницаемостью распространение нефтепродуктов резко замедляется. Возможно также изменение направления их движения независимо от гидравлического градиента потока. Закономерности распределения нефтепродуктов в природных водах имеют сложный характер, и в каждом конкретном случае изучение их движения следует проводить в натурных условиях.

Совершенно неисследованными являются вопросы влияния сорбции и разложения нефтепродуктов на свойства песчано-глинистых пород, в частности на изменение их фильтрационной способности и прочности.

Таким образом, сооружения промышленной гидротехники требуют комплексного подхода к прогнозу обеспечения их устойчивости и снижения отрицательного воздействия на геологическую среду.