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

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД В ОСНОВАНИИ ДЕЙСТВУЮЩИХ ХВОСТОХРАНИЛИЩ ПО "ФОСФОРИТ"

Ю.Г.ВИШНЕВСКАЯ

Обеспечение устойчивости оградительных дамб, откосов и тела хвостохранилищ невозможно без прогноза изменения характеристик прочности глинистых пород их основания во времени. Учитывая то, что эксплуатация хвостохранилищ ПО "Фосфорит" ведется более 20 лет, можно проследить направленность процесса техногенных преобразований, происходящих с глинистыми породами, залегающими под этими накопителями.

В разрезе основания преобладают водонасыщенные глинистые разности, представленные озерно-ледниковыми супесями, суглинками и ленточными глинами от тугопластичной до текучей консистенции. Техногенные изменения глинистых отложений в данном случае определяются процессами, протекающими в них под воздействием следующих факторов:

1) давления толщи намываемых отходов производства;

2) гидродинамического давления, формирующегося в результате фильтрации промышленных стоков из прудковой зоны;

3) физико-химических преобразований в глинистых породах при миграции через них загрязненных вод многокомпонентного состава.

Постоянство основных показателей физического состояния глинистых отложений, подтвержденное результатами исследований кафедры инженерной геологии ЛГИ за последние 12 лет, свидетельствует о том, что их уплотнение за счет процесса фильтрационной консолидации не происходит. Отсутствие фильтрационного уплотнения подтверждается и изучением характера развития порового давления [2].

Полевыми наблюдениями установлено, что поровое давление составляет приблизительно 20 % от внешнего, создаваемого толщей намытых песков. Если сравнивать реально действующие градиенты напора в глинистых породах с градиентами начала фильтрационной консолидации, то возможность повышения прочности глинистых пород основания хвостохранилищ за счет их уплотнения исключается [1]. Именно поэтому в расчетах устойчивости хвостохранилищ рекомендуется использовать параметры неконсолидированного состояния пород.

Гидродинамическое давление, определяющее устойчивость откосов хвостохранилищ, зависит от технологии намыва, определяющей отметку уровня пруда, скорость его роста, положение пруда в плане (расстояние от уреза воды в пруде до внешних откосов), т.е. тех факторов, которые могут регулироваться в ходе работ. Таким образом, гидродинамическое давление при правильной организации намыва не будет негативно влиять на устойчивость сооружения.

В настоящее время практически не изучены процессы физико-химического взаимодействия, протекающие в глинистых отложениях при миграции через них компонентов промышленных стоков обогатительной фабрики производства удобрений на базе фосфатных месторождений. Эти процессы требуют изучения, так как при эксплуатации сооружения они могут обусловливать изменение прочности пород основания и соответственно их несущей способности.

Характер и направленность такого взаимодействия определяется физико-химической активностью глинистых пород, химическим составом прудковых вод, гидродинамическим режимом подземных вод на рассматриваемом участке и временем взаимодействия компонентов с породой. Учитывая относительно низкую фильтрационную способность глинистых пород основания хвостохранилищ ПО "Фосфорит", можно предположить, что наиболее вероятным механизмом переноса загрязняющих компонентов является молекулярная диффузия. Последний обеспечивает возможность длительного по времени взаимодействия глинистых пород с флотореагентами, содержащимися в прудковой воде. Химический состав прудковых вод (табл.I) отражает реагентную композицию всех стадий процесса флотации фосфоритов.

Таблица 1

Химический состав прудковых вод хвостохранилища № 2 по данным опробования

Год опробования	Содержание компонентов, мг/л										pH	M, г/л
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^{+}+K^{+}$	Cl^{-}	SO_4^{2-}	HCO_3^{-}/CO_3^{2-}	F^{-}	PO_4^{3-}	Талловое мыло	Керосин		
1986	15	15	759	60	200	1647/1800	4,4	6,2		-	9,0	5,0
1987	27	10	923	337	57	800/1208	4,1	3,0			8,9	8,2
1988	24	11	747	177	73	488/84	2,6	37,5	168,0	16,9	8,9	1,7

Наибольшее влияние на изменение свойств глинистых пород оказывают органические соединения (аполярное - керосин и полярное - талловое мыло), в значительно меньшей степени - фосфаты и фториды. Кроме того, в прудковых водах присутствует жидкое стекло, которое, по-видимому, взаимодействует с кварцем и алюмосиликатами путем избирательной "сверхэквивалентной" адсорбции в силу сродства аниона и природных силикатов песчано-глинистых пород. По экспериментальным данным, полученным на кафедре инженерной геологии ЛГИ, установлено, что жидкое стекло в концентрациях, меньших 50 г/л,

заметно не влияет на прочность глинистых пород. В нашем случае концентрация жидкого стекла в прудковой воде меньше 100 мг/л. Талловое мыло, являясь полярным соединением, активно сорбируется глинистыми минералами, снижая при этом их гидрофильность. Аполярные органические вещества (керосин) могут взаимодействовать только с малогидрофильной или гидрофобной поверхностью минеральных частиц [3]. Следовательно, более полно их сорбция будет протекать на поверхности кварцевых песчаных и пылеватых частиц, а также на гидрофобизированной в результате сорбции таллового мыла поверхности глинистых частиц. Подтверждением этого является установленное снижение концентраций керосина и таллового мыла в прудковых водах при их фильтрации через пески тела хвостохранилищ и песчано-глинистые породы основания.

Исследования влияния процессов физико-химического взаимодействия промышленных стоков с глинистыми породами с целью выявления характера изменения прочности последних проводились в лабораторных условиях в режиме диффузионного насыщения, наиболее полно отражающем характер этих процессов в природных условиях. Приготовленные образцы глинистых пород нарушенного сложения с заданными значениями влажности в интервале пределов пластичности (табл.2) помещались в стеклянные емкости и заливались прудковой водой. При этом для каждой из четырех серий образцов оставлялись контрольные, которые заливались пресной водой. Во избежание размокания каждый образец изолировался прослоем крупнозернистого песка. По минеральному составу глинистая составляющая образцов имеет гидрослюдисто-каолинитовый состав. По гранулометрическому составу образцы характеризуются как тяжелые пылеватые суглинки и пылеватые глины.

Таблица 2

Гранулометрический состав, физические и физико-химические свойства образцов глинистых пород

Номер серии	Содержание фракций, %			Влажность W, %	Плотность ρ, г/см^3	Пределы пластичности		Число пластичности J_p, %	Емкость поглощения E, мг-экв на 100 г породы
	песчаной (>0,1 мм)	пылеватой (0,1–0,002 мм)	глинистой (<0,002 мм)			текучести $W_т$, %	раскатывания $W_р$, %		
1	20	57	23	26	2,02-2,05	27	14	13	7,18
2	23	51	26	28-29	2,01-2,05	29	15	14	7,42
3	13	56	31	29	2,00-2,03	33	18	15	8,92
4	13	53	34	29-30	2,02-2,05	36	17	19	9,90

Тенденция изменения прочности пород изучалась методом пенетрации. Определения прочности велись до начала опыта и далее через 30, 50, 100, 160 и 210 суток для каждой серии образцов, включая помещенные в чистую воду. Каждый раз проводилось определение плотности, влажности, пределов пластичности, емкости поглощения и состава обменных катионов, кроме то-

го, велось наблюдение за изменением pH взаимодействующих растворов.

Анализ показал, что при длительном взаимодействии глинистых пород с прудковыми водами происходит уменьшение числа пластичности по сравнению с тем же показателем у пород, помещенных в чистую воду (рис.1). По изменению этого показателя можно косвенно судить об агрегации глинистой составляющей образцов в процессе опыта. При этом необходимо отметить, что плотность и влажность образцов оставались постоянными. Полученные результаты показывают, что длительная обработка глинистых пород слабощелочными промышленными растворами снижает их обменную емкость на большую величину, чем при взаимодействии с пресной водой (рис.2). Что касается изменения состава обменных катионов, то наблюдается незначительное уменьшение содержания Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}. Исключение составляет некоторое увеличение обменного натрия в результате взаимодействия образцов пород с прудковыми растворами, имеющими хлоридно-гидрокарбонатный натриевый состав

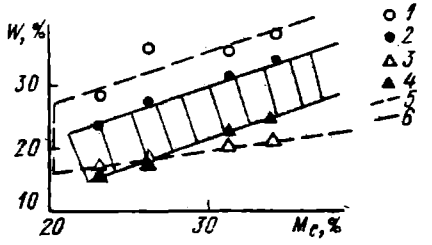


Рис.1. Изменение степени агрегированности глинистых пород

1 и 2 – предел текучести глинистой породы после взаимодействия с чистой и прудковой водой соответственно; 3 и 4 – предел раскатывания после взаимодействия с чистой и прудковой водой; 5 и 6 – число пластичности после взаимодействия с чистой и прудковой водой; M_c – содержание глинистой фракции

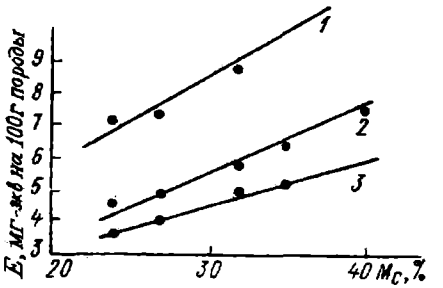


Рис.2. Изменение емкости поглощения глинистых пород

1 – до взаимодействия с растворами; 2 и 3 – после взаимодействия соответственно с водопроводной водой и прудковым раствором (за 160 суток)

Таблица 3

Состав обменных катионов глинистых пород, взаимодействующих с прудковой водой в течение 160 суток, мг-экв на 100 г породы

Номер серии	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}
1	4,34/1,52	3,39/3,10	0,93/1,47	0,20/0,18
2	4,35/4,00	2,90/3,05	1,04/1,59	0,26/0,23
3	4,85/3,08	4,36/2,50	0,93/1,31	0,26/0,20
4	4,84/3,50	3,85/3,55	0,72/1,68	0,16/0,12

Примечание. В числителе и знаменателе – соответственно до и после взаимодействия.

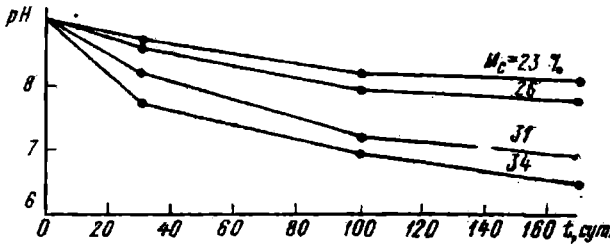


Рис.3. Изменение pH прудковой воды при взаимодействии с глинистыми породами

(табл.3). В процессе опытов наблюдалось постепенное снижение pH прудковой воды, в которую были помещены глинистые образцы (рис.3).

Изучение изменения прочности образцов глинистых пород во времени (табл.2, серия 4) показало, что максимальное тиксотропное упрочнение образ-

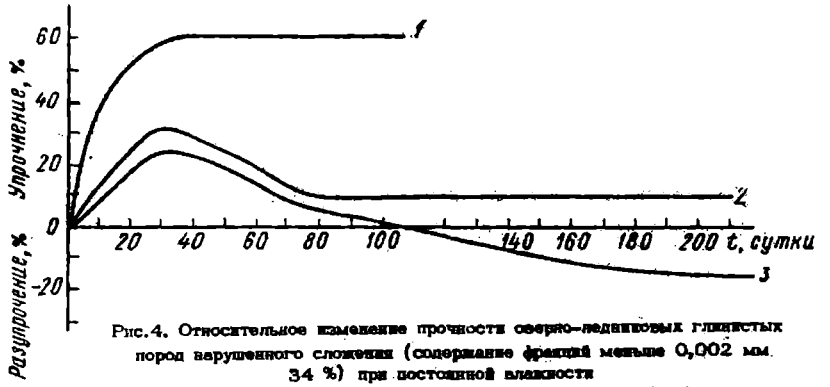


Рис.4. Относительное изменение прочности сверхо-ледниковых глинистых пород нарушенного сложения (содержание фракций меньше 0,002 мм 34 %) при постоянной влажности
1 – на воздухе; 2 и 3 – в водопроводной и прудковой воде

цов глинистых пород при сохранении стабильной влажности на воздухе составляет 60 % (рис.4). Время достижения пика прочности 30 суток. Нарастание прочности образцов в водной среде происходит за тот же промежуток времени, однако интенсивность ее увеличения снижается: в чистой воде максимальный прирост составляет 30 %, в прудковой 24 %. В дальнейшем у этих образцов наблюдается довольно заметное снижение прочности в течение 40 суток. Затем прочность образцов, находящихся в чистой воде, практически не изменялась до конца опыта. Прочность образцов глинистых пород, взаимодействующих с прудковым раствором, продолжала снижаться (на 210-е сутки она была меньше первоначальной на 15 %). Полученные результаты можно объяснить физико-химическим взаимодействием глинистой породы с используемыми растворами. Вероятнее всего, наблюдаемое снижение прочности образцов глинистых пород, взаимодействующих с водопроводной водой, определяется процессом разложения каолинита в чистой воде (pH = 7), при котором часть полуторных оксидов (SiO_2 и Al_2O_3) переходит в раствор [4]. Учитывая низкую минерализацию водопроводной воды и относительно простой компонентный состав, процессы физико-химического взаимодействия и связанное с ними изменение прочности образцов глинистых пород завершается достаточно быстро.

Прудковая вода имеет сложный химический состав и более высокую минерализацию (см. табл.I). Поэтому процессы, протекающие при ее взаимодействии с образцами в условиях диффузионного насыщения более длительны и сложны. Кроме того, на физико-химические изменения, происходящие с глинистой породой, влияют органические соединения (талловое мыло и керосин), содержащиеся в прудковой воде.

Лабораторные эксперименты соответствуют результатам исследований физико-механических свойств озерно-ледниковых глинистых отложений, проведенных в полевых условиях в 1976-1977 и 1986-1987 гг., которые показали, что интервалы изменения влажности и плотности этих пород при условии их полного водонасыщения до начала эксплуатации хвостохранилищ и в процессе ее остаются постоянными (табл.4). Прочность глинистых отложений постепенно уменьшается, причем эта тенденция особенно выражена для образцов, отобранных непосредственно из-под толщи намытых песков. Снижение характеристик прочности (сцепления и угла внутреннего трения), вероятно, связано с физико-химическими процессами, происходящими в глинистых породах при взаимодействии их со слабощелочными промышленными растворами.

Под воздействием флотационного реагента - гидрофобизатора, содержащегося в прудковом растворе (талловое мыло), снижается смачиваемость глинистых минералов водой, т.е. уменьшается их гидрофильность, что приводит

Таблица 4

Изменение физико-механических свойств озерно-ледниковых отложений верхней зоны за 10-летний период

Год	Сцепление C, МПа	Угол внутреннего трения φ	Влажность W, %	Плотность ρ, т/м^3	Число пластичности J_p, %
1976-1977	0,048-0,068 / 0,025-0,045	9-11° / 10-14	23-29 / 22-40	1,97-2,06 / 1,92-2,09	14-18 / 12-17
1986-1987	0,032-0,045 / 0,023-0,036	4-6 / 5-8	23-28 / 24-32	1,84-2,03 / 1,92-2,10	13-18 / 10-14

Примечание. В числителе и знаменателе - соответственно в контурах хвостохранилищ № 1 и 2.

к снижению пластичности пород за счет уменьшения толщины водной пленки вокруг глинистых частиц и усилению молекулярного взаимодействия между частицами. В результате изменяется степень дисперсности породы. Снижение емкости поглощения глинистых пород в результате их физико-химического взаимодействия с прудковыми растворами связано, вероятно, с уменьшением числа активных центров на поверхности глинистых минералов в результате процессов сорбции полярных и неполярных органических соединений. Постепенное снижение pH прудкового раствора определяется большой сорбционной способностью глинистых пород по отношению к талловым мылам, растворы которых дают щелочную реакцию.

Результатом описанной агрегации глинистой составляющей является постепенное снижение связности глинистых пород, которым можно объяснить уменьшение их прочности (сцепления). Сорбция аполярных углеводородов должна вызывать дополнительное снижение прочности (уменьшение угла внутреннего трения). Поскольку связность суглинков определяется сравнительно невысоким содержанием глинистой составляющей, малейшее изменение ее содержания вызывает и более ощутимую потерю прочности, чем у глин.

Отмеченное в ходе экспериментов и при полевых наблюдениях уменьшение прочности глинистых отложений оснований хвостохранилищ может быть объяснено только на основе рассмотрения физико-химических процессов, протекающих при их взаимодействии с определенными компонентами промышленных стоков.

Поскольку глинистые породы имеют сравнительно невысокую емкость поглощения (см. табл.I) и, судя по результатам эксперимента, состав их обменных катионов меняется незначительно, основные преобразования свойств глинистых отложений связаны с процессом сорбции на них органических полярных и аполярных соединений, роль каждого из них должна анализироваться и уточняться в дальнейшем.

Практическое значение проблемы взаимодействия промышленных стоков сложного состава с глинистыми породами для прогноза изменения несущей способности пород основания и решения вопросов природного самоочищения подземных вод, а также оценки сорбционной емкости глинистых пород в условиях их естественного залегания во времени неоспоримо.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Д е й к о Р.Э. Инженерно-геологический анализ процесса консолидации водонасыщенных глинистых пород // Инженерная геология. 1981. № 2.

2. Д е й к о Р.Э. Роль геологических процессов при оценке слабых глинистых пород как оснований сооружений // Фундаментостроение в условиях слабых и мерзлых грунтов: Межвуз. сборник / Ленинградский инженерно-строительный ин-т. Л., 1983.

3. К о г а н о в с к и й А.М. Адсорбция и ионный обмен в процессах водоподготовки и очистки сточных вод. Киев: Наукова Думка, 1983.

4. К о р р е н с К.В. Опыты по разложению силикатов и некоторые вопросы химического выветривания // Вопросы геологии и минералогии бокситов / Под ред. В.П.Петрова. М.: Мир, 1964.