



УДК 622.271.33:624.131.537

Производство

Рудаков Д.В. /д.т.н./, Собко Б.Е. /д.т.н./,
Перкова Т.И.
ГВУЗ «НГУ»

Полищук С.З. /д.т.н./
ГВУЗ «ПГАСА»

Прогноз эффективности противофильтрационного экранирования хвостохранилища отходов обогащения титано-циркониевых руд

Выполнена оценка изменений физико-механических и фильтрационных свойств пород основания строящегося хвостохранилища отходов переработки титаново-циркониевых руд на Мотроновско-Анновском участке Малышевского месторождения ЧАО «Крымский Титан». Вследствие компрессии следует ожидать уменьшения проницаемости суглинка под слоем хвостов, а технологическое уплотнение грунта при сооружении экрана позволяет на порядок уменьшить его проницаемость. Разработана численная модель фильтрации в неогеновом горизонте, учитывающая различные способы экранирования и влияние строящегося карьера. По результатам моделирования установлено, что наличие экрана приведет к сокращению фильтрационных потерь и площади зоны вероятного подтопления; отсутствие экрана может осложнить отбор воды для оборотного водоснабжения из-за утечек из хвостохранилища. Ил. 2. Библиогр.: 11 назв.

Ключевые слова: хвостохранилища, глинистый экран, проницаемость пород, фильтрационные потери, численное моделирование

The changes of physical and mechanical properties and conductivity of soils below the bottom of the tailing facilities being created for accumulation of titanium and zirconium ore treatment waste at Motronovsko-Annovsky site of Malyshevskoe deposit of PJSC «Crimean Titan» have been evaluated. Clay loam permeability under a layer of tails due to their consolidation is expected to be decreased; technological compression of clays enables diminishing the permeability of a constructed screen up to 10 times. The numerical model of ground water flow in the Neogen aquifer has been developed that accounts for the different ways of clay screen creation and the effects of an open pit being built. Modeling showed that covering the clay loam by the screen will significantly reduce the leakages from the tailing facilities and the area of probable ground water rising; the screen absence can complicate water recovery for water re-use due to leakages from the tailings.

Keywords: tailing facilities, clayey screen, permeability of soils, leakages, numerical modelling

Постановка проблемы

Добыча полезных ископаемых сопровождается складированием отходов обогащения в хвостохранилищах, часто устроенных в эрозионных формах рельефа. Вследствие аккумуляции большого объема водосодержащих хвостов горно-обогатительного производства неизбежны фильтрационные потери, в результате чего формируются зоны с нарушенным гидрогеохимическим и гидрогеомеханическим режимами.

Характерным примером объектов такого типа является хвостохранилище, сооружаемое на Мотроновско-Анновском участке Малышевского месторождения ЧАО «Крымский Титан» в верхней части балки Широкая (Вольногорский район Днепропетровской области). Оно предназначено для приема глинистой и кварцевой фракций хвостов обогатительного производства, в состав которых входят рудные минералы ильменит, рутил, дистен, силлимонит, ставролит, бадделит, титанит (рис. 1).

Хвосты обогатительного производства не токсичны, при попадании в гидросферу не представляют экологической опасности, так как элементы Ti, Zr и Al находятся в связанной форме и не растворимы в воде. Хвосты классифицируются как малотоксич-

ные, IV класса опасности, поэтому не представляют угрозу загрязнения подземных вод. Таким образом, основным воздействием хвостохранилища на окружающую среду является возможное подтопление окружающей территории вследствие утечек из него.

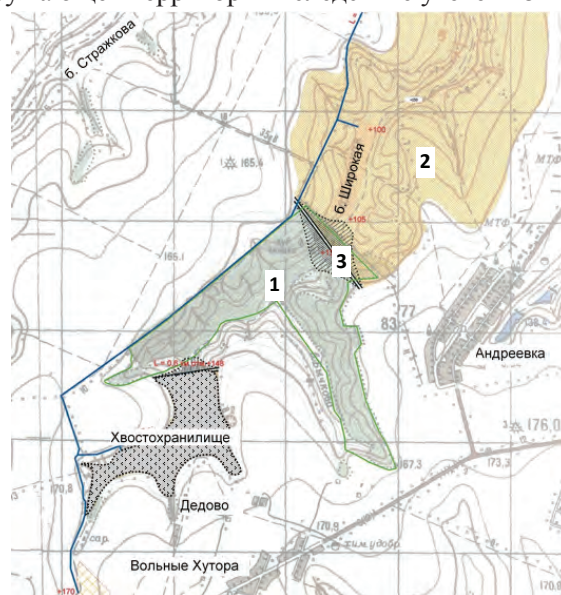


Рис. 1. План-схема расположения хвостохранилища: 1, 2 – контур леса и хвостохранилища (2-ая очередь), 3 – дамба

Связь работы с предыдущими исследованиями

Опыт эксплуатации горно-обогажительных комбинатов показывает, что из общего объема потерь воды в технологическом процессе обогащения руд 75–80 % составляют потери на фильтрацию из хвостохранилищ [1]. В соответствии с горно-геологической практикой последних десятилетий, для предотвращения утечек из гидротехнических объектов применяются различные дренажные устройства и противofильтрационные экраны. Наиболее распространены экраны, выполненные из глинистых грунтов низкой проницаемости, асфальтобетона, полимерных материалов и их комбинации [2–4].

Для обеспечения требуемой водоудерживающей способности чаши хвостохранилища коэффициент фильтрации материала основания должен составлять 10^{-4} – 10^{-5} м/сут. [2, 4], причем наименьшей проницаемостью обладают монтмориллонитовые глины, содержащие катионы Na [5]. При отсутствии местных запасов таких глин устройство экрана из данного грунта требует большого объема перевозок, что влечет за собой дороговизну и длительные сроки строительства. Использование бетонов, глиноцементов часто не дает нужного эффекта в связи с высокой пористостью материала и несовершенством гидроизоляции швов на стыках железобетонных конструкций. Недостатком полимерных пленок является потеря целостности вследствие прорастания придонных растений и механических воздействий.

Формулировка целей

Целью данных исследований является прогноз эффективности противofильтрационного экрана хвостохранилища в верхней части б. Широкая. Его выполнение предполагает: 1) оценку возможных изменений физико-механических и фильтрационных свойств пород основания при эксплуатации хвостохранилища; 2) расчет повышения уровня подземных вод вследствие утечек при различной проницаемости основания объекта в зависимости от способа экранирования.

Методика исследований

Анализ гидрогеологических и инженерно-геологических условий в районе расположения хвостохранилища на Мотроновско-Анновском участке Малышевского месторождения свидетельствует о том, что на дне б. Широкой и по её склонам под слоем чернозема расположен слой четвертичных суглинков с коэффициентом фильтрации 0,04 м/сут. Залегающий ниже неогеновый водоносный горизонт станет основным водоносным горизонтом, по которому будут распространяться фильтрующиеся из хвостохранилища воды.

Экономически целесообразными вариантами экранирования чаши хвостохранилища являются: 1) уплотнение природного суглинистого основания в процессе строительства и под весом складированных пород; 2) создание экрана мощностью до 1 м из местных красно-бурых глин неогенового возраста над слоем суглинка.

В системе «водонасыщенные хвосты–естествен-

ное основание» фильтрационные свойства пород изменяются вследствие консолидации под весом вышележащих пород, технологического уплотнения машинами, и возможной кольматации пор тонкодисперсной фракцией. Анализ гранулометрического состава хвостов и шламов показал, что фракции размером частиц менее 100 мкм составляют 10,7 %. В таких условиях кольматация не окажет заметного влияния на снижение проницаемости пород основания.

Для оценки изменения коэффициента фильтрации пород, подстилающих хвосты обогащения, выполнен расчет комплексной осадки верхнего слоя техногенного массива вскрышных пород и естественного основания в условиях их консолидации. Расчет выполнен для двух вариантов эксплуатации хвостохранилища в б. Широкой.

Согласно варианту 1 предлагается использовать естественный противofильтрационный барьер – слой природного суглинка мощностью 5–10 м с коэффициентом фильтрации 0,04 м/сут. Вариант 2 предусматривает устройство экрана из местных красно-бурых глин неогенового возраста, мощностью до 1 м и с коэффициентом фильтрации 0,005 м/сут., под которым залегают слой суглинка мощностью 2 м.

Методика расчета осадки хвостов [6] основана на выделении двух зон компрессии по высоте намывного массива и подстилающих пород. Отдельно рассмотрены верхняя секция, предназначенная для складирования глинистой фракции хвостов, и нижняя секция – для песчаной фракции.

С учетом слоистой неоднородности, обусловленной залеганием хвостов на естественном глинисто-суглинистом основании, для обоих вариантов рассчитано взвешенное значение предельной пороговой нагрузки, возникающей в активной зоне грунтового массива на разных глубинах, а также величина осадки слоев [6, 7]. Соответствующее изменение проницаемости при уплотнении определено по зависимости Козени-Кармана [8].

При расчете осадки принято допущение, что хвосты намываются равномерно по всей площади хвостохранилища, и начальная нагрузка равномерно распространяется на весь массив. Тогда высота намывной толщи и нагрузка на основание переменны по площади, зависят от гипсометрии поверхности и изменяются во времени. Поэтому расчет осадки выполнен для диапазона мощности хвостов песчаной фракции от 5 до 20 м, глинистой фракцией от 5 до 15 м.

Прогноз подъема уровня воды в неогеновом водоносном горизонте в результате растекания фильтрующихся вод из хвостохранилища выполнен численным моделированием в программном обеспечении Visual Modflow (Schlumberger W.S.) на основе уравнения плановой фильтрации

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(Km \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(Km \frac{\partial h}{\partial y} \right) + W(x, y, t) = \mu_s \frac{\partial h}{\partial t}, \quad (1)$$

где h – уровень воды в неогеновом водоносном горизонте, K – коэффициент фильтрации слагающих его пород, m – его средняя мощность на рассматри-

ваемом участке, W – неравномерное по площади и во времени инфильтрационное питание, μ_s – коэффициент водоотдачи.

Модель фильтрации охватывает область площадью 25 км², размеры блоков сетки составляют 50×50 м. В центре области заданы два источника техногенной инфильтрации, форма которых соответствует форме секций хвостохранилища. Интенсивность инфильтрации при различных способах экранирования определена на основе расчета водного баланса для обеих секций хвостохранилища. Она составила 0,9–2,75 мм/сут. при различных вариантах экранирования.

Обсуждение результатов

При мощности хвостов 5 м, залегающих на природном суглинистом основании (Вариант 1), просадки слоя суглинков толщиной 1 м составят 3,8 см, соответствующее уменьшение пористости – 2,1 %, а проницаемости – 19,3 % для обеих секций. Если высота хвостов достигнет 20 м в песчаной секции и 15 м – в глинистой, возможна осадка слоя суглинка толщиной 1 м на 5,6 см и 3,7 см, соответствующее уменьшение пористости грунта составит 3,2 и 2,1 %, а уменьшение его проницаемости – 27,4 и 18,9 %.

При наличии противофильтрационного экрана осадка слоя глины толщиной 1 м под слоем хвостов 5 м составит 3,8 см, уменьшение пористости – 2,2 %, а проницаемость – 20,3 %. При толщине слоя песчаных хвостов 20 м и 15 м глинистых хвостов осадка противофильтрационного экрана составит 5,5 см и 3,7 см соответственно. Уменьшение пористости глин достигнет 3,2 и 2,2%, а проницаемости – 28,7 и 20,2 %.

Расчет изменений фильтрационных свойств красно-бурых глин в условиях их технологического уплотнения выполнен на основании методики [9] при рекомендуемой минимальной толщине экрана 0,6 м [10]. Технология создания экрана предусматривает послойную отсыпку последовательно уплотняемых слоев влажностью 17–21 % [11]. Степень уплотнения скелета укладываемых в основание глин должна соответствовать максимальной плотности грунта при его оптимальной влажности и достигать 1,74 т/м³. Рекомендуемое значение коэффициента уплотнения красно-бурых глин составляет 0,88–0,915, что достигается давлением машин на грунт 0,05–0,2 МПа [6]. Толщина слоя отсыпки не должна превышать 20–35 см.

При соблюдении технологии послойной укладки экрана и его уплотнения можно достичь уменьшения коэффициента фильтрации экрана до $6,5 \cdot 10^{-4}$ м/сут. [6]. Вследствие относительно малой мощности экрана ниже лежащие суглинки также будут подвергаться компрессии и снижению проницаемости.

Моделирование фильтрации выполнено для следующих вариантов: 1) отсутствие глинистого экрана над слоем суглинков толщиной 10 м с коэффициентом фильтрации $K_{сугл} = 0,04$ м/сут.; 2) наличие глинистого экрана толщиной 0,6 м и $K_{гл} = 6,5 \cdot 10^{-4}$ м/сут. над слоем суглинков с $K_{сугл} = 0,04$ м/сут.

Установлено, что к моменту заполнения хвостохранилища площадь зоны с повышением уровня воды

в неогеновом горизонте более 0,5 м составит от 1,6 до 3,6 км², в зависимости от наличия глинистого экрана (рис. 2). Максимальное повышение уровня воды в неогеновом горизонте прогнозируется на участке хвостохранилища и не превысит 1–3 м спустя 20 лет. За этот период влияние объекта не распространится до русла р. Домоткань.

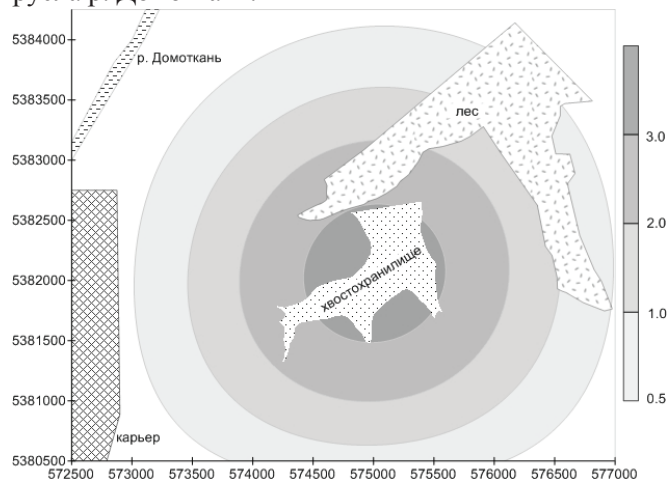


Рис. 2. Прогнозное повышение уровня подземных вод в неогеновом горизонте при эксплуатации хвостохранилища без глинистого экрана

Спустя 8–9 лет с начала эксплуатации ожидается частичная разгрузка фильтрующейся воды в карьер, дополнительный водоприток в карьер при понижении неогенового горизонта на 5 м составит 100–150 м³/сут. спустя 10–15 лет. Если отработка карьера будет вестись без понижения уровня воды в неогеновом горизонте, водоприток составит 3–45 м³/сут.

Выводы

Вследствие компрессии под весом хвостов следует ожидать снижения проницаемости суглинков в основании хвостохранилища. Расчетные оценки с использованием аналитической зависимости между пористостью и проницаемостью показали уменьшение коэффициента фильтрации суглинков на 19–28 %.

Для повышения водоудерживающей способности хвостохранилища и возможности отбора воды для обратного водоснабжения целесообразно сооружение глинистого экрана в его основании. Соблюдение технологии послойной укладки и уплотнения пород позволит уменьшить коэффициент фильтрации глинистого экрана до $6,5 \cdot 10^{-4}$ м/сут., что приведет к сокращению фильтрационных потерь на 60–70 %. При этом площадь зоны повышения уровня воды в неогеновом водоносном горизонте уменьшится в 1,5–2 раза.

При отсутствии экрана уровень воды в секциях может быть ниже поверхности хвостов из-за фильтрационных потерь, что существенно осложнит отбор воды для обратного водоснабжения. Риск подтопления и нанесения экологического ущерба ближайшим значимым объектам при таком варианте эксплуатации гидротехнического объекта можно исключить, так как зона влияния хвостохранилища фактически не распространится до русла р. Домоткань и карьера. Спустя 15–20 лет при условии проведения

рекультивации произойдет существенное растекание этой зоны и снижение уровня воды в неогеновом горизонте.

Библиографический список

1. Результаты исследований по обезвоживанию хвостов для сухого складирования / Н.Е. Вовк, А.М. Писарев // Горный журнал. – 1976. – № 2. – С. 76–79.
2. Гавриш П.Д., Канарский В.Ф., Кондратьев В.М. и др. Водохранилища и водооградительные сооружения ГАЭС, ТЭС и АЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 192 с.
3. СНиП 3.06.05 – 84. Плотины из грунтовых материалов. – М.: Госстрой СССР, 1985.
4. Дидович М.Я. Экспериментальные исследования формирования противofильтрационного экрана из высоковлажного глинистого грунта. Тр. ин-та ВОДГЕО – М.: Изд-во АН СССР, 1970. - Вып. 27. – С. 97–100.
5. Проницаемость и фильтрация в глинах / В.М. Гольдберг, Н.П. Скворцов. – М.: Недра, 1986. – 160 с.
6. Методические рекомендации по сооружению земляного полотна автомобильных дорог из грунтов повышенной влажности. – М.: СоюзДорНИИ, 1980. – 58 с.
7. Возведение земляного полотна автомобильных дорог: учеб. пособие / М.Н. Першин, Г.И. Артюхина. – СПб.: СПбГАСУ, 2007. – 117 с.
8. Физико-математические основы фильтрации воды / Я. Бэр, Д. Заславски, С. Ирмей. – М.: Мир, 1971. – 451 с.
9. Рекомендации по методике лабораторных испытаний грунтов на водопроницаемость и суффозионную устойчивость. – Л.: ВНИИГ, 1984. – 88 с.
10. Железняков Г., Ибадзаде Ю., Иванов П. и др. Гидротехнические сооружения – справочник проектировщика; под общ. ред. Недриги В.П. – М.: Стройиздат, 1984. – 543 с.
11. ДБН В.3.4-5:2013. Хвостосховища і шламонакопичувачі. Ч. I. Проектування Ч. II. Будівництво. – К.: Мінрегіон України, 2013. – 71 с.

Поступила 08.10.2013

УДК 622.418: 622.8

Лапшин А.А. /к.т.н./

ГВУЗ «Криворожский НУ»

Производство

Промышленные исследования микроклимата и состояния проветривания горных выработок в глубоких рудных шахтах

Статья посвящена промышленным исследованиям состояния микроклимата и эффективности проветривания горных выработок глубоких рудных шахт. Целью работы является установление параметров микроклимата в глубоких рудных шахтах, необходимых для его нормализации. В статье содержатся фактические значения температуры горных пород и воздуха забоев шахт, обеспеченность воздухом и необходимой скоростью его движения в горных выработках. Ил. 1. Табл. 4. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: микроклимат, промышленные исследования, проветривание, нормализация, горная выработка

The article is devoted to industrial researches of microclimate and effectiveness of ventilation in mine workings in deep ore mines. The aim is to establish the parameters of the microclimate in the deep ore mines, which are necessary for its normalization. The article contains the actual values the temperature of rocks and air, provision of air and the required speed of its movement in the mine workings.

Keywords: microclimate, industrial researches, ventilation, normalization, mine working

Постановка проблемы

Состояние микроклимата в глубоких шахтах Кривбасса и Запорожского железорудного комбината (ЗЖРК) ухудшается вследствие повышения температуры воздуха в горных выработках и снижения эффективности их проветривания.

Изложение материала и результаты исследований

Методикой промышленных исследований пред-

усматривалось: проведение воздушно-депрессионных съемок в сквозных и тупиковых выработках глубоких горизонтов шахт Кривбасса и «ЗЖРК»; измерение температуры горных пород в шпурах и в скважинах; измерение температуры шахтных вод в скважинах, забоях, водосточных канавах и шахтных водосборниках.

Замеры температуры горных пород производили глубинными электрическими термометрами сопро-

© Лапшин А.А., 2014 г.