Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. XXX, 1980 г.

УДК 556.388:622.7-17(8·7)

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА УЧАСТКАХ БАССЕЙНОВ ПРОМСТОКОВ

В.З.МАХЛИН

Расширение масштабов добычи бедных руд привело в последние десятилетия к значительному увеличению объемов отходов обогащения. Для складирования хвостов в составе горнообогатительных комбинатов создаются хвостовые хозяйства, которые включают комплекс сооружений и систем гидравлического транспорта и гидравлической укладки хвостов, оборота осветленной воды и очистки сточных вод обогатительных фабрик. Поскольку от надежной работы этого комплекса зависит работоспособность всего предприятия и безопасность окружающей среды, то становится понятной заинтересованность в качественном и надежном проектировании, строительстве и эксплуатации хвостовых хозяйств и собственно хвостохранилищ.

В проектировании мероприятий по охране окружающей среды при эксплуатации хвостовых хозяйств различных горнодобывающих предприятий имеется много общего, поэтому накопленный за рубежом значительный опыт может быть с успехом использован в нашей стране. В статье предпринята попытка обобщить по литературным данным опыт проектирования и проведения активных мероприятий по охране и регулированию режима подземных вод при эксплуатации хвостохранилищ в горнопромышленных районах за рубежом.

В ходе эксплуатации хвостохранилищ нередки случаи загрязнения водоносных горизонтов при попадании в них промстоков из хвостохранилищ [I, 3, II]. Иногда воды обогащаются вредными примесями в процессе фильтрации через «сухие" техногенные отложения или вышелачивания последних при подъеме уровней грунтовых вод [I5]. Загрязнение подземных вод носит самый различный характер: химический, радиоактивный и бактериологический. Особо следует сказать о широко распространенном в настоящее время загрязнении подземных вод нефтепродуктами [I4].

Для снижения вредного воздействия хвостохранилищ на подземные воды проводят следующие мероприятия: I) использование на горно-обогатительных предприятиях оборотного водоснабжения; 2) перехват инфильтрующихся вод путем дренажа оснований хвостохранилищ, дамб и плотин; 3) регулирование уровней в технических водоемах; 4) целенаправленное размещение хвостов

различного гранулометрического состава по площади технических водоемов; 5) изоляция (ограждение) загрязненных участков водоносного горизонта с помощью завес из слабопроницаемого материала и гидрозавес; 6) экранирование ложа технических водоемов глинистыми грунтами, водонепроницаемыми синтетическими пленками и специальными покрытиями.

В системе оборотного водоснабжения во многих случаях используется и вода, которая просачивается через основание и тело ограждающих дамб и собирается с помощью систем дренажей и ограждающих сооружений. Практически все горнорудные предприятия за рубежом имеют оборотное водоснабжение через пруд хвостохранилища. При этом в системе оборотного водоснабжения используется вода, полученная непосредственно со сгустителей (если ее качество удовлетворяет предъявленным требованиям) и вода из хвостохранилища, включая воду, перекачанную системой дренажей. Вода из сгустителей, не удовлетворяющая предъявленным требованиям, подвергается доочистке, причем иногда она в этих целях направляется в пруд хвостохранилища. Таким образом, одним из основных условий обеспечения нормальной работы системы оборотного водоснабжения считается правильное регулирование водного баланса в хвостохранилищах.

Свейгуд и Толенд [13] утверждают, что регулирование водного баланса хвостохранилища поглощает основную часть расходов на складирование хвостов и что от способов регулирования во многом зависит и устойчивость сооружений, и защита поверхностных и подземных вод от загрязнения. Водный баланс регулируется уменьшением испарения и фильтрации из хвостохранилищ, что достигается поддержанием уровня воды в технических водоемах на наиболее низких отметках. Уровень воды в прудке хвостохранилища контролируется с помощью периферийной сливной системы.

При эксплуатации хвостохранилищ происходит дифференциация частиц хвостов. Во внутренней части хвостохранилища очень быстро формируется зона слабопроницаемых тонкодисперсных грунтов, во внешней зоне отлагаются грубозернистые хорошо фильтрующие хвосты [15]. При достаточно резкой границе этих зон к ней приурочивается основная доля утечек воды из хвостохранилища. Для уменьшения утечек желательно регулировать уровень воды в прудке так, чтобы его граница не выходила за пределы распространения слабопроницаемых тонкодисперсных отложений. В частности, такая необходимость воз-

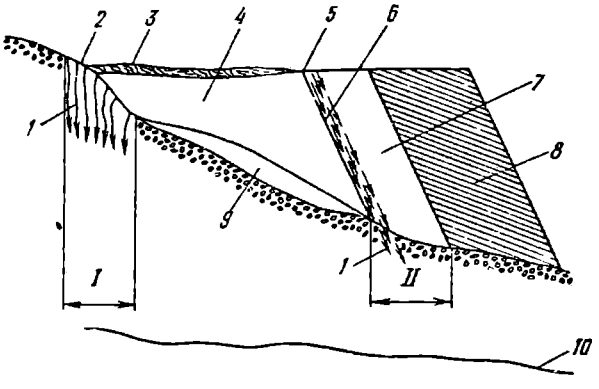


Рис. 1. Схема фильтрации из хвостохранилища
I – зона слабопроницаемых тонкодисперсных грунтов; II – зона грубозернистых хорошо фильтрующихся хвостов; 1 – участок интенсивной фильтрации; 2 – контакт хвостов с естественным грунтом; 3 – вода; 4 – шлам; 5 – контакт шлама с грунтом 2; 6, 7, 8 и 9 – грунты 3, 2, 1 и 4; 10 – граница коренных пород

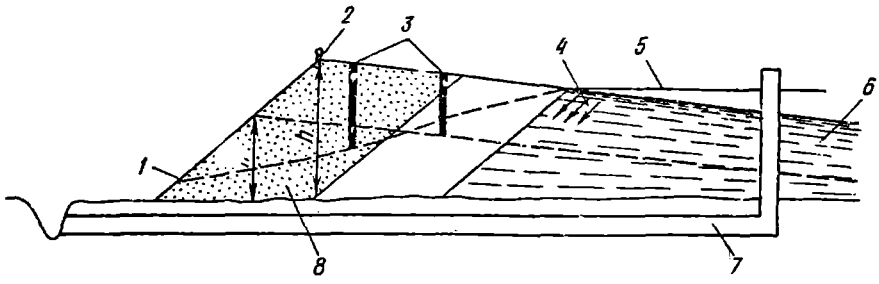


Рис.2. Схема распределения фракций при использовании периферийной сливной системы

1 – уровень подземных вод; 2 – разгрузочная трубка; 3 – пьезометр; 4 – фильтрующая вода; 5 – поверхность воды; 6 – шламы; 7 – сливная система; 8 – грубозернистый песок; h – полная высота плотины; h' – высота ныне действующей плотины

никла на хвостохранилищах в горнорудном районе Кер-де-Лен, на севере штата Айдахо в США (рис.I).

Источником загрязнения подземных вод в этом районе оказались отходы прежних обогатительных фабрик, содержащие тяжелые металлы (свинец, цинк, медь и кадмий) и залегающие на аллювиальных песчан гравийных отложениях в основании хвостохранилищ. Было установлено, что загрязнение происходит в результате выщелачивания этих металлов при подъеме уровня подземных вод до старых хвостов. Для ограничения подъема уровня воды в аллювиальном водоносном горизонте потребовалось уменьшение потерь воды из прудка посредством регулирования его уровня. С этой целью была создана периферийная сливная система, через которую осветленная вода прудка направлялась непосредственно в ручей ниже по течению (рис.2).

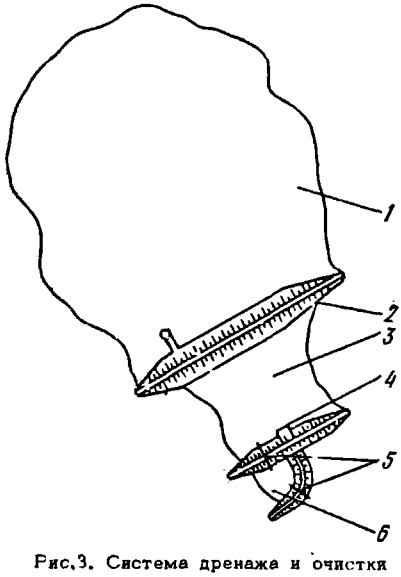


Рис.3. Система дренажа и очистки воды на горно-обогатительном комбинате Тиери

1 – хвостохранилище; 2 – плотина хвостохранилища; 3 – пруд-отстойник; 4 – насосная для подачи профильтровавшихся вод; 5 – отводы; 6 – пруд-очиститель

Если необходимое регулирование уровней воды в прудке оказывается невозможным, то используют те или иные сочетания дренажа и повторный отвод фильтрующихся загрязненных вод.

Оригинальный проект дренажа хвостохранилища площадью 7,4 км^2 разработан фирмой Kilborn Limited для горно-обогатительного комбината медного рудника производительностью 4000 т/сут в канадской провинции Онтарио [6]. Дренаж предполагается осуществлять хорошо проницаемой плотиной (рис.3,4), построенной из местных песков и пустых пород из горных выработок. Плотина удерживает только твердые частицы хвостов и фильтрует через себя технические воды. Ниже по течению этой плотины рас-

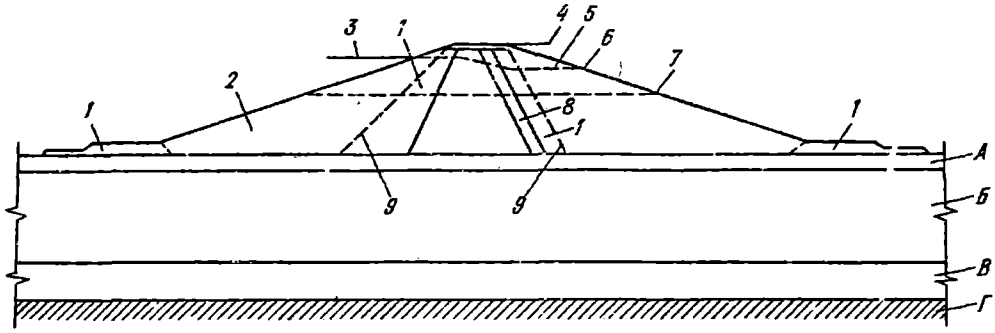


Рис.4. Типичный разрез плотины хвос хранилища
А – торф; Б – переслаивание тонких алевритов и среднезернистых песков; В – глина; Г – коренные породы; 1 – отсеянные тонкие рудничные хвосты; 2 – грубо отсортированные рудничные хвосты; 3 – отметка текущего уровня хвостохранилища (377 м); 4 – гребень плотины (378,5 м); 5 – принятая свободная поверхность во время эксплуатации хвостохранилища; 6 – текущий уровень пруда оборотной воды (375,4 м); 7 – отметка уровня на начальной стадии эксплуатации (372,7 м); 8 – хвосты с размером частиц менее 25.4 мм; 9 – приблизительное положение границы между тонко- и грубозернистыми хвостами

полагаются две водоудерживающих дамбы (см.рис.3 и 5) для сбора профильтровавшихся жидких отходов и их обработки. За первой дамбой образуется пруд оборотной воды, которая частично используется в технологическом процессе, а частично пропускается в нижний пруд, в котором производится обработка воды известью с целью повышения pH и осаждения тяжелых металлов. Очищенная вода сбрасывается в речную сеть.

Отметим, что в качестве строительного материала для дамб могут использоваться крупно- и среднезернистые фракции хвостов, выделенные гидроциклонированием [10]. Интересной особенностью проведения дренажных ме-

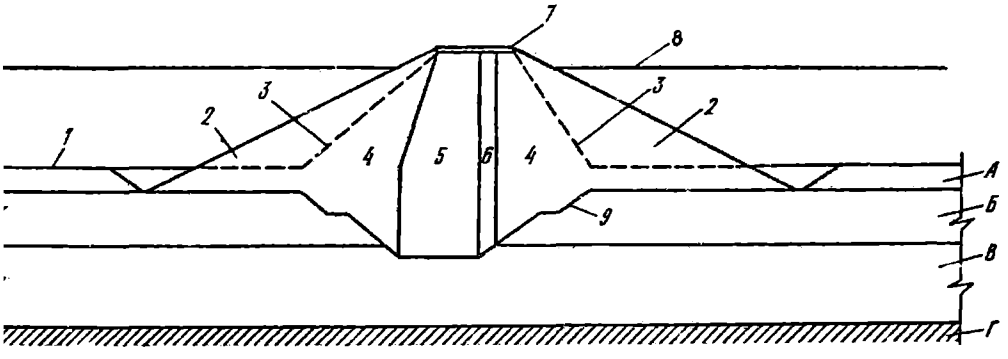


Рис.5. Типичный разрез через плотину пруда оборотной воды
А – торф; Б – переслаивание тонких алевритов и среднезернистых песков; В – глина; Г – коренные породы; 1 – уровень дневной поверхности; 2 – каменная наброска (грубо отсортированные рудничные хвосты); 3 – приблизительное положение границы между тонко- и грубозернистыми хвостами; 4 – переходная зона (тонкие отсортированные рудничные хвосты); 5 – ядро глины из карьера); 6 – фильтр (отсеянный гравелистый песок); 7 – гребень плотины (377 м); – уровень воды в действующем пруде (375 м); 9 – принятая граница земляной выемки, пройденной под плотиной

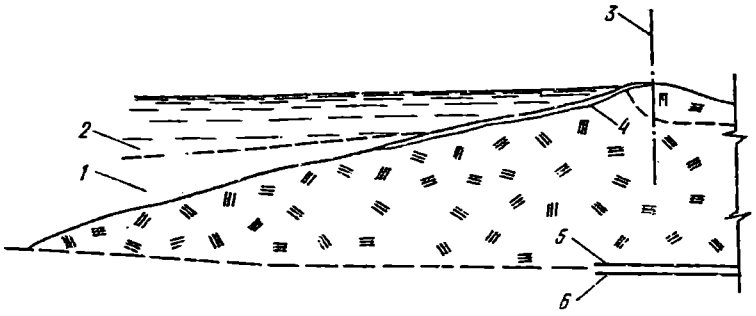


Рис.6. Поперечное сечение плотины
1 и 2 – тонкодисперсные хвост. (соответственно более 20 % и 10-20 % твердых частиц); 3 – ось плотины; 4 – асфальтовый экран; 5 – приблизительное начальное положение земной поверхности; 6 – дренажная призма

роприятий в плотинах и дамбах хвостохранилищ является тенденция перемещения дренажной призмы в сторону верхового откоса, что позволяет значительно снизить уровень воды в теле дамб и плотин и тем самым увеличить их устойчивость [13].

Если технология позволяет направленно распределять тонкие фракции хвостов, то их использование для экранирования наиболее эффективно с экономической точки зрения.

Для уменьшения утечек воды из шламохранилища фосфатного завода в штате Теннесси [16], наряду с асфальтовым экраном в верхней части верхового откоса дамбы, применена искусственная кольматация грунта тела дамбы тонкими хвостами с размером частиц от 0,01 до 0,5 мм (рис.6). Опыты по кольматации, проведенные на дамбе хвостохранилища, показали резкое уменьшение фильтрации, отсутствие выноса глинистых частиц в нижний бьеф.

Однако, когда описанные экономически наиболее выгодные мероприятия не могут предотвратить загрязнения подземных вод, зарубежные фирмы часто идут на сооружение противофильтрационных завес и искусственных экранов.

На урановом руднике Мадавоска в южной части провинции Онтарио [6] для уменьшения поступления радиоактивных отходов из хвостохранилища обогатительной фабрики в гидрографическую сеть была сооружена противофильтрационная завеса. Тремя рядами скважин, ориентированными поперек долины реки, была вскрыта толща песчано-гравийных отложений общей мощностью 21,4 м. В крайние ряды скважин нагнеталась глиноцементная смесь, а в скважины центрального ряда – специальный химический раствор, инициирующий цементацию. Затем верхняя часть цементационной завесы частично вскрывалась и на нее укладывалась бетонная плита. Предполагалось, что этим мероприятием радиоактивность воды в нижнем бьефе хвостохранилища будет уменьшена с 37 до 11,1 Бк.

Для оценки эффективности противофильтрационной завесы были выполнены опытные откачки и отобраны пробы воды. Хотя завеса не была непрерывной, она значительно сократила фильтрационные потери в нижний бьеф. Отмечено также, что в результате ионного обмена, при фильтрации, из воды частично удалялся радий-226.

Иногда противофильтрационные завесы экономичнее проходить не по контуру технических водоемов, а там, где водоупор залегает на минимальных глубинах, как это имело место на золотом руднике Гризли Гали в штате Дакота, в США [5]. Следует отметить, что противофильтрационные завесы применяются лишь в особых случаях; чаще же сокращение загрязнения достигается экранированием ложа технических водоемов.

Чаще всего применяются экраны из утрамбованной влажной глины или пластиковые покрытия. Пластмассовые пленки, полиэтилен или поливинилхлорид обладают следующими преимуществами: они практически непроницаемы, не подвержены коррозии, а экраны из них легко принимают любую форму. Пленка из черного полиэтилена толщиной 300 мкм впервые была использована во Франции, где она изготовлялась в очень больших количествах и при довольно низкой стоимости. Ее целесообразно использовать, когда котлован хвостохранилища хорошо подготовлен (без корней и видимой гальки). Полиэтиленовые пленки более дешевы, менее подвержены старению, чем виниловые, но винил более устойчив к динамическим воздействиям.

Чтобы пленки служили дольше, их надо защищать от механических повреждений. Поэтому рекомендуется пленку присыпать на незалитых участках и там, где глубина воды ниже 30-35 см. Для того чтобы присыпка не сползала, уклон откосов не должен превышать I:3. Некоторые растения проникают через виниловую и полиэтиленовую пленку толщиной до 8 мкм. Поэтому желательно стерилизовать земляное полотно, особенно боковые откосы в местах, где растут жесткие травы. Коммерчески оправдано и применение некоторых химикатов. Если земляное полотно очень грубое по структуре или содержит острые камни, оно должно быть одето предохранительным слоем тонкоструктурного материала, особенно если используется полиэтиленовая пленка. Рекомендуют на I5-сантиметровое покрытие тонкоструктурного материала наносить гравийное такой же толщины. Отсыпка тонкоструктурным материалом используется для предохранения гравия от эрозии и случайного обнажения пленки на откосах [7].

В I960 г. к северу от Солт-Лейк-Сити были выстланы четыре резервуара, входящие в напорную ирригационную систему. Затраты на работы были довольно высоки: стоимость выстилания самого большого резервуара I,75 доллара за I $м^2$. Основные затраты - привозной засыпочный материал. Общая стоимость резервуара, включая его сооружение, в расчете на I $м^2$ составила около четырех долларов. Выстилающая пленка последнего резервуара была размещена четырьмя участками площадью I9,5 х II5,8 м. Нахлестка швов I5 см и была соединена жидким клеем. На боковых склонах поверх выстилающей пленки произвели отсыпку - сначала слоем гравия толщиной I5 см, а затем таким же слоем тонкоструктурного грунта. Лист пленки площадью 28,6 х 9I,44 м легко сворачивается в рулон, для его расстилания нужно менее получаса. Покрытия такого типа уже прослужили I6 лет и полностью устранили фильтрацию воды.

Существенный опыт строительства гидросооружений с полимерными экранами и облицовками накоплен в США, Канаде, Австралии, ФРГ, Италии и других странах. Для облицовки хвостогранилищ, прудов, хранилищ рассолов,

облицовки каналов, сооружения противофильтрационных завес фирма «Дюпон де Немур Интернейшенел» (Швейцария) предложила использовать в качестве пленочного материала полиолефин [9]. Материал выпускается листами толщиной 0,5 мм, шириной 6,1 м и длиной 61 м. Швы свариваются с помощью портативного сварочного оборудования, поставляемого фирмой. Бригада из четырех человек способна облицевать за день более 1800 м^2. Полиолефин хорошо сопротивляется воздействию погодных условий, почвенных микроорганизмов и жидких отходов. Благодаря хорошей устойчивости к ультрафиолетовым лучам для него не требуется земляное покрытие, что уменьшает затраты на его эксплуатацию. Этот же материал ранее применялся в США для облицовки хранилищ пресной воды, сбора промышленных стоков и предотвращения загрязнения подземных вод. В Европе впервые он был применен для покрытия дна запасного пруда большого химического завода в ФРГ. На материал дается десятилетняя гарантия, но полагают, что он будет служить гораздо дольше. Стоимость 1 м^2 покрытия около 11,5 немецких марок ФРГ [12].

Успешное осуществление проекта по изоляции соленых вод от водоносных горизонтов с помощью покрытия из синтетической резины было произведено компанией „Transfield for Texada Mines" [8] на заводе по производству сульфата калия и поваренной соли в 70 км от Карнарвона в Западной Австралии. Монтаж покрытия общей площадью 2800 м^2 был выполнен бригадой из пяти человек за четыре дня. Вначале выстилалось дно пруда, а затем откосы. Полная площадь покрытия включает квадратное дно пруда со стороной 1300 м и откосы с заложением 2:1 и высотой 5 м. Материал покрытия – гипалон (синтетический резиновый материал), изготавляемый фирмой "Дюпон" (США), способен противостоять влиянию атмосферы, загрязненных нефтью и кислотами жидкостей и физическим воздействиям. Покрытие обеспечило эффективное и экономичное решение проблемы хранения загрязняющих флюидов. Обладая высокой гибкостью и эластичностью, он легко приспосабливается к любой форме выработки и неровностям рельефа.

Сравнительная экономическая оценка сооружения различных типов экранов для резервуара размером 108 х 206 м показала, что капитальные затраты на сооружение пленочной облицовки примерно в 1,4 раза ниже, чем на сооружение твердого синтетического или бетонного покрытия (700 тыс.долларов против 1200 тыс.долларов), а ежегодные эксплуатационные затраты (85 тыс.долларов) в 3,5 раза ниже затрат на эксплуатацию твердого синтетического покрытия [2].

Наиболее эффективно, очевидно, сочетание пленочного покрытия с дренажем. Так, в штате Пенсильвания для защиты подземных вод от загрязнения водами, фильтрующимися через отвал городских отходов, проектом предусмотрен непрерывный многослойный экран, отделяющий ненарушенные глины и подземные воды от отвала. Экран состоит из следующих слоев (снизу вверх): сильнопроницаемый песок (мощностью 30,5 см), уложенный на глину ненарушенного сложения; непрерывный непроницаемый лист толстой пленки из поливинилового пластика толщиной 0,5 мм; слой песка мощностью 15,2 см; слой глины мощностью 30,5 см.

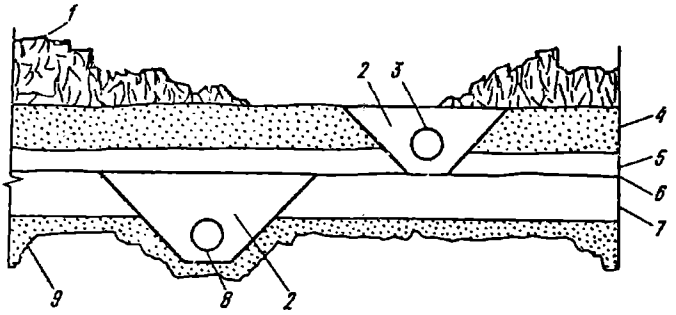


Рис.7. Конструкция пленочного экрана с дренажем
1 – отвал отходов; 2 – песчаный экран; 3 – перфорированная труба дл сбора выщелаченных отходов; 4 – глинистый слой мощностью 30,5 см; 5 – слой песка мощностью 15,2 см; 6 – непроницаемый лист полихлорвиниловой пленки, обеспечивающий изоляцию отвала от окружающей среды; 7 – слой хорошо проницаемого песка мощностью 30,5 см; 8 – перфорированная труба для сбора подземных вод; 9 – ненарушенный грунт

В слое песка мощностью 15,2 см и в гравийной обсыпке укладывается система горизонтальных дренажных труб. Другая система горизонтальных труб укладывается (также в гравийной обсыпке) в 30-сантиметровом слое песка под пленочным покрытием, чтобы обеспечить сбор грунтовых вод, оказавшихся ниже пленки. Нижняя дренажная сеть предоставляет собой одновременно чувствительную систему для определения утечек через пленочное покрытие, которые обнаруживаются отбором проб на концах каждой дренажной трубы (рис.7). Предполагается, что на экранированный таким образом участок будет ежедневно – в течение 10 лет – складываться до 400 т отходов. Общая стоимость складирования отходов составит 5 долларов за тонну [4].

Следует отметить, что в ряде случаев применение полимерных пленок в качестве противофильтрационного экрана не дает ожидаемых результатов. Так, например, для экранирования бассейна у г.Эдмонтона в Канаде в качестве защитного слоя применялись пленочные мешки с песком. Однако по условиям эксплуатации в летнее время бассейн оставался сухим, что способствовало повреждениям пленочного экрана.

Итак, в настоящее время за рубежом проведению активных мероприятий, направленных на ограничение вредного влияния технических водоемов на качество подземных вод в горнодобывающих районах, уделяется большое внимание. Уменьшение фильтрации из прудка хвостохранилища, помимо использования грунтовых экранов и пленок, достигается, в основном, с помощью противофильтрационных устройств, а также оптимальным расположением прудка относительно ограждающих сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. A r g a l l G.O. – World Mining, 1978, v.31, N 10, p.71-75.
2. B r o w n J.H. – Journ.Americ.Water Works Assoc., 1979, v.71, N 6, p.328-331.

3. G a l b r a i t h J.H. - Ground Water, 1972, v.10, N 5, p.38-42.

4. G i d d i n g s M.T. - Ground Water, 1977, v.15, N 1, p.5-14.

5. J e f f r i e s L.F., T c z a p A. - Mining Congress Journ., 1978, v.6' N 11, p.23-28.

6. J o n e s J.D., J e n k i n s R.G. - Canad.Mining and Metallurg. Bull., 1978, v.71, N 798, p.55-59.

7. L a u r i t z e n C.W. - Journ.Americ.Water Works Assoc., 1961, v.53, N 2, p.135-140.

8. Lining a deep brine pond. - Austral.Mining, '974, v.66, N 3, p.36.

9. Material for Reservoir Lining - Mining Jour, 1975, v.284, N 7317, p.368.

10. P e n i n g t o n D.J. - Western Miner, 1971, v.44, N 6, p.102-104.

11. P o l i n g G.W. - Canad.Mining and Metallurg.Bull., 1979, v.72, N 801, p.144-153.

12. Pollution Control: Reservoir Linear of Synthetic Rubber. - Mining Journ., v.282, N 5, p.437.

13. S w e i s g o o d J.R., T o l a n d G.G. - Tailings Disposal Today. Proceedings of the Symposium, Arizona, 1972, p.138-163, Tucson.

14. U r e s h E., W a l t e r H. - Osterreichisch Wasserruirschaft, 1973, H.9/10, s.185-190.

15. W i l l i a m s R., K e a l y D., M i n k L. - Soc. of Mining Engineers, AIME Transactions, 1973, v.253, p.212-216.

16. W e b b S.L., S m i t h E.S. - Mining Engineering taken from SME Preprint, 1977, 71-AG-322, p.59.