Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им.Г.В.Плеханова,
1986, т. 109

УДК 624.131.1:502.76

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОХРАНЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ШЛАМОХРАНИЛИЩ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК КАЛИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Р.Э.ДАШКО

Расширение добычи и переработки калийных руд требует увеличения площадей, занимаемых под складирование твердых и жидких отходов обогащения. В пределах Верхнекамского месторождения ежегодно отчуждается свыше 20-25 га. Одним из основных источников засоления поверхностных и подземных вод являются шламохранилища, в меньшей степени - промплощадки обогатительных фабрик и солеотвалы, что подтверждается данными наблюдений и расчетов[x]. Засоление подземных вод распространяется как по площади, так и на глубину, причем отмечается постепенный рост минерализации не только подземных, но и поверхностных вод во времени, поскольку разгрузка водоносных горизонтов идет, в основном, в логах и долинах рек (рис.I).

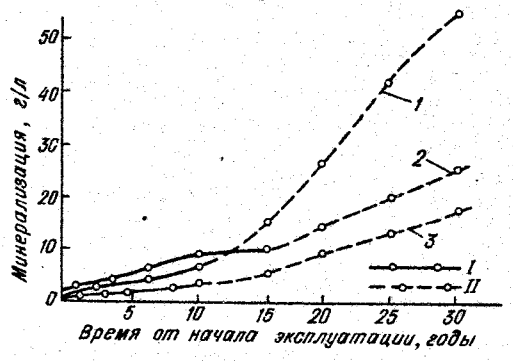


Рис.1. Прогноз изменения минерализации природных вод при фильтрации рассолов из шламохранилищ (по данным кафедры гидрогеологии ЛГИ)
I и II - фактические и прогнозные данные; 1 и 2 - терригенно-карбонатная и пестроцветная толщи; 3 - глубокие слои Верхне-Зырянковского водохранилища

Постепенный рост утечек рассолов из шламохранилищ объясняется тем, что глинистые отложения, залегающие в основании накопителей и являющиеся естественным экраном, существенно изменяют свои свойства в процессе взаимодействия с рассолами. На стадии проектирования этих шламохранилищ было высказано предположение, что наличие пятиметровой толщи суглинков в их основании служит надежной защитой подземных вод от

[x] Булатов Р.В. Предложения по борьбе с засолением природных вод в районах калийных месторождений Предуралья. - В кн.: Использование и охрана подземных вод Урала. Свердловск, изд. УНЦ АН СССР, 1983.

засоления. На участках с меньшей мощностью глинистых отложений было рекомендовано произвести дополнительное экранирование слоем укатанны. местных суглинков, что и было реализовано на отдельных участках шламохранилища БКРУ-3.

Четвертичные глинистые породы (средние или тяжелые пылеватые суглинки) основания чаши шламохранилищ БКРУ-2 и БКРУ-3 перекрывают хорошо проницаемые трещиноватые породы пермского возраста. Состояние глинистых отложений меняется от твердого до мягкопластичного. В четвертичных суглинках, по данным исследований ЛГИ, отмечалась трещиноватость, особенно заметно проявляющаяся до глубины 4,0 м. Наливы в шурфы с использованием красящего вещества, не сорбируемого породой, показали, что фильтрация рассолов в глинистых породах идет, в основном, по трещинам, поровая фильтрация фиксировалась только в пределах первых 3 см. На стадии проектирования наличие трещиноватости не было принято во внимание при оценке проницаемости экранирующей толщи и в качестве расчетного коэффициента фильтрации было предложено значение $n \cdot 10^{-3}$ м/сутки, а для нижних горизонтов - $n \cdot 10^{-5}$ м/сутки. При таких значениях коэффициента фильтрация рассолов через суглинки должна была бы идти с малой скоростью, и фронт засоления достиг бы подошвы основания глинистой толщи только через 20-30 лет, в то время как срок эксплуатации шламохранилищ 10-15 лет. Кроме того, на стадии проектирования было высказано предположение, что небольшое засоление глинистых пород на 3-5 % повлечет за собой снижение коэффициента фильтрации.

Однако уже в первые годы эксплуатации начались значительные утечки рассолов из шламохранилищ, которые со временем не уменьшались, а возрастали. Основной поток рассолов направлен на север, в сторону водохранилищ. По отношению к водохранилищам и долине реки Зырянки шламохранилища БКРУ-2 и БКРУ-3 следует рассматривать как подвешенные (рис.2).

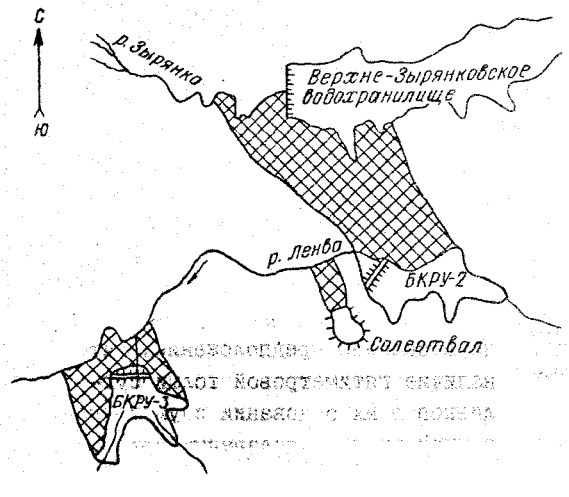


Рис.2. Схема засоления природных вод за счет рассолов шламохранилищ калийных предприятий по данным кафедры гидрогеологии ЛГИ (ореолы засоления заштрихованы)

Наличие трещин в глинистых породах позволяет оценивать эту толщу как среду с двойной пористостью (трещиновато-блочную). Движение рассолов в глинистых породах основания чаши накопителей в зависимости от действующих градиентов напора может происходить как конвективным, так и диффузионным путем (при градиентах напора, близких к нулю). Кроме того, возможна комбинация конвективного и диффузионного механизмов, когда значения градиентов напора достигают сотых долей. Принимая во внимание изменчи-

вость мощности глинистых пород по площади шламохранилищ, а также значительные перепады глубин прудка и отметки уровня грунтовых вод, в пределах контуров накопителей могут быть выделены участки с различным механизмом движения солей. Степень засоления пород на определенный промежуток времени зависит от механизма движения солей: при конвективном переносе должно фиксироваться наибольшее содержание солей, при диффузионном – наименьшее. Соли накапливаются в породе за счет процессов ионного обмена, сорбции и физического поглощения, причем на стадии насыщения начинается кристаллизация солей из порового раствора. Скорость накопления солей зависит от механизма их привноса.

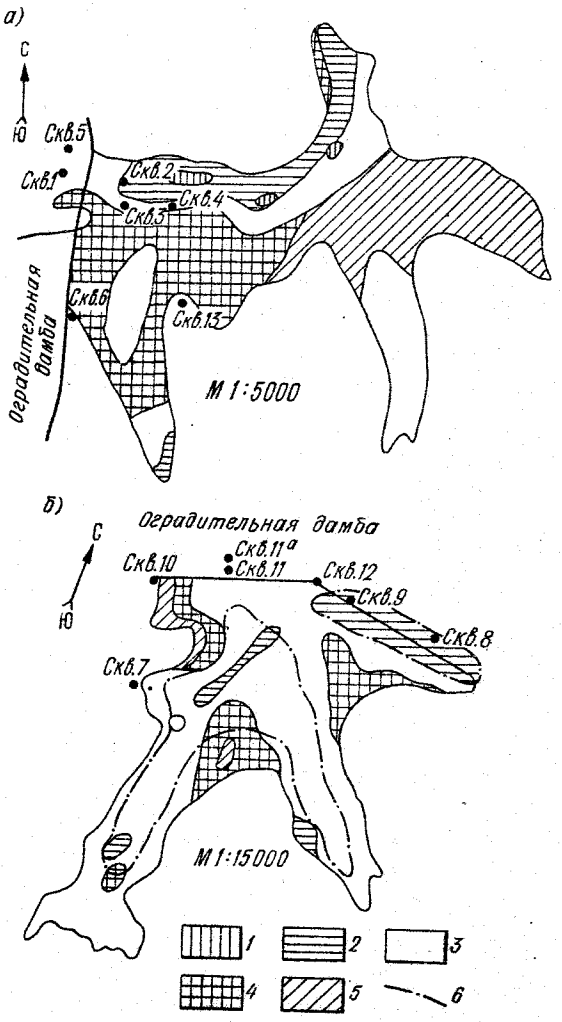


Рис.3. Расположение скважин для оценки засоления глинистых пород в основании чаши шламохранилища БКРУ-2 (а) и БКРУ-3 (б)

1,2,3,4 и 5 – мощность четвертичных отложений соответственно < 2, 2-5, 5-10, 10-15, и > 15 м; 6 – контур экранирования ложа водохранилища

На участках с определенным механизмом движения рассола в пределах контуров шламохранилищ БКРУ-2 и БКРУ-3 были пройдены скважины, вскрывшие глинистые отложения на полную мощность. Наибольшие фильтрационные потери отмечены в северной части примыкания плотины шламохранилища БКРУ-2 к бс_ту долины реки Ленвы (рис.2). В пределах этой зоны были пробурены скважины 2-4 (рис.3). Оказалось, что повсеместно в четвертичных отложениях фиксируется наличие горизонта рассолов, свидетельствующее о процессе конвективного засоления, наличие которого предполагает возможность максимального засоления. Именно в этой зоне фильтрация происходит под действием высоких градиентов напора. Снижение градиентов напора предполагает и возможность уменьшения роли конвективного засоления, что должно повлечь и снижение величины засоления. С этой целью были пройдены скважи-

ны I и 5 (высота тела дамбы соответственно 10,5 и 4,5 м).

Южный борт шламохранилища БКРУ-2 является нефильтрующим (см. рис.2). Основной механизм засоления на этом участке имеет диффузионный характер. Для подтверждения этого положения были пробурены скважины 6 и 13.

Расположение скважин в пределах контуров шламохранилища БКРУ-3 также определялось возможным механизмом движения солей. О засолении пород при фильтрации рассолов под плотиной шламохранилища и в обход ее должны свидетельствовать данные опробования скважин 10-12 (высота тела дамбы, пройденного скважинами 10 и 11 соответственно 9 и 6 м). Засоление пород при плановой фильтрации из шламохранилища было исследовано по результатам бурения скважин 7-9. Скважины 8 и 9 должны были также ответить на вопрос об эффективности использования экрана, уложенного на правом борту Восточного лога. Опробование глинистых пород по скважинам показало, что наибольшие значения засоления отмечаются по скважинам 2-4 (рис.4,а). По мере снижения градиентов напора и увеличения мощности суглинков падает и величина засоления (рис.4,б). В пределах нефильтрующегося южного борта получены самые низкие значения засоления (рис.4,в). Таким образом, за 11,5 лет эксплуатации шламохранилища БКРУ-2 средние величины засоления при конвективном движении солей составляют 12 %, при диффузионном - 3,5 %. Меньшие сроки эксплуатации шламохранилища БКРУ-3 (около 7 лет), значительно большие мощности глинистых отложений, их более легкий гранулометрический состав определяют и более низкие величины засоления. В основании центральной части плотины, где отмечаются наибольшие глубины прудка и, следовательно, высокие градиенты напора, засоление равно 7-8 % (скважина 12), в примыканиях плотины, где наблюдается снижение градиентов напора, средняя величина засоления 6 % (рис.5,а). При плановой фильтрации механизм массопереноса может быть оценен как конвективно-диффузионный и величина засоления снижается до 4 % (рис.5,б). Следует также отметить, что под укатанными глинистыми экранами, уложенными на правом борту шламохранилища БКРУ-3, величина засоления пород оказалась лишь на 0,5-0,8 % ниже, чем в глинистых породах при тех же условиях проникновения солей, но неэкранированных.

Засоление существенно влияет на изменение гранулометрического состава, состояния и свойств пород. По данным массовых полевых определений отмечено снижение числа пластичности на 3-5 %. В пределах основания чаши шламохранилища БКРУ-2 влажность засоленных глинистых пород уменьшилась на 5 %, на БКРУ-3 - на 2 %. Для участков, где отмечаются самые высокие величины засоления, характерны твердая и тугопластичная консистенция пород. С уменьшением величины засоления показатель консистенции растет. Изменение состава и физического состояния пород при засолении сказывается на ее внешнем облике и внутреннем строении. Она становится менее пластичной и более комковатой. Кристаллизация солей в глинистых отложениях вызывает появление растягивающих напряжений, которые приводят к образованию микротрещин. Засоленные породы растрескиваются на более мелкие блоки, чем незасоленные разности. Агрегированность засоленных пород влияет на измене-

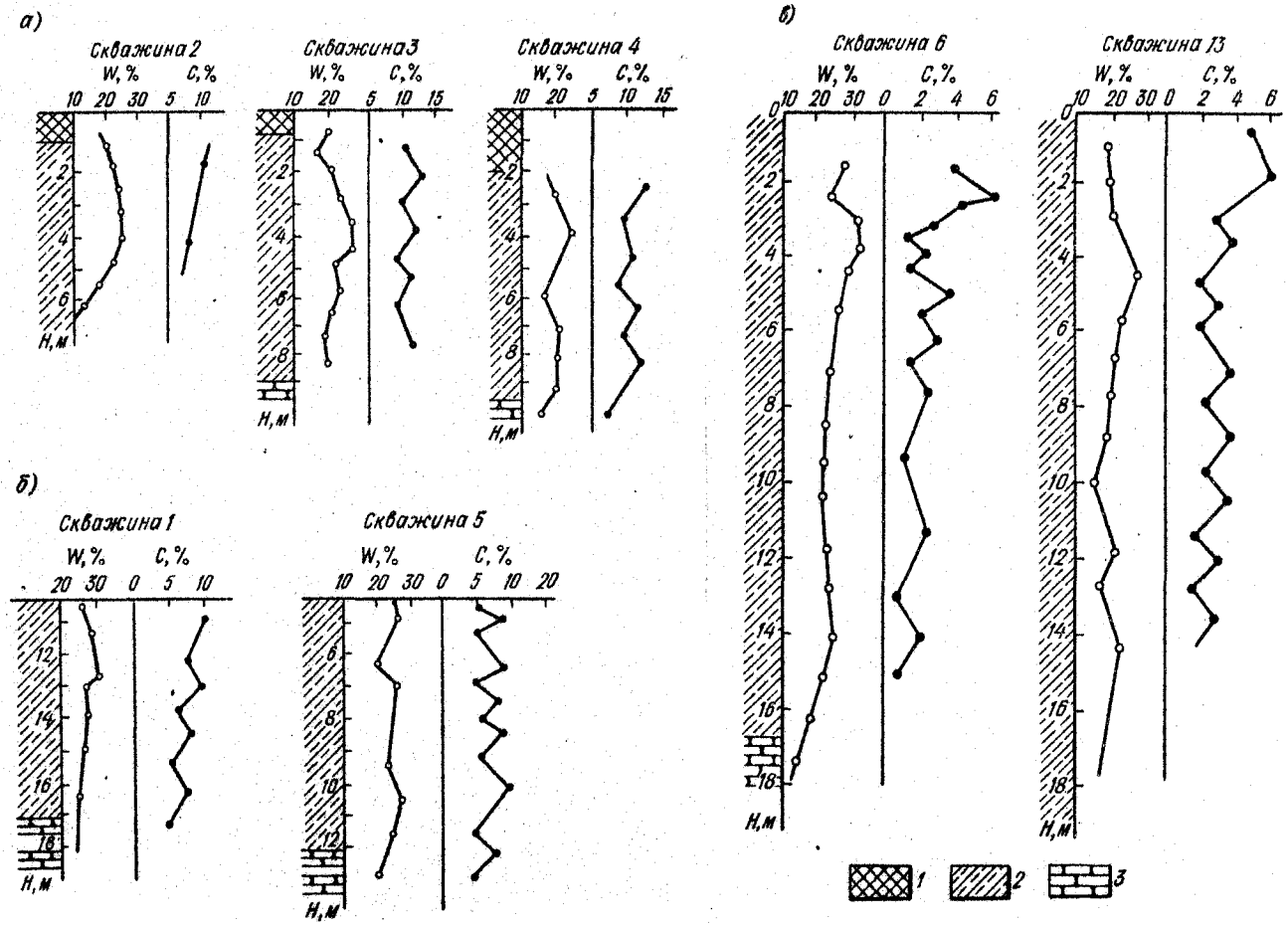


Рис.4. Эпюры засоления глинистых пород в основании шламохранилища БКРУ-2 в зоне конвективного (а), диффузионно-конвективного (б) и диффузионного (в) переносов

1 – шламы; 2 – четвертичные суглинки; 3 – коренные породы

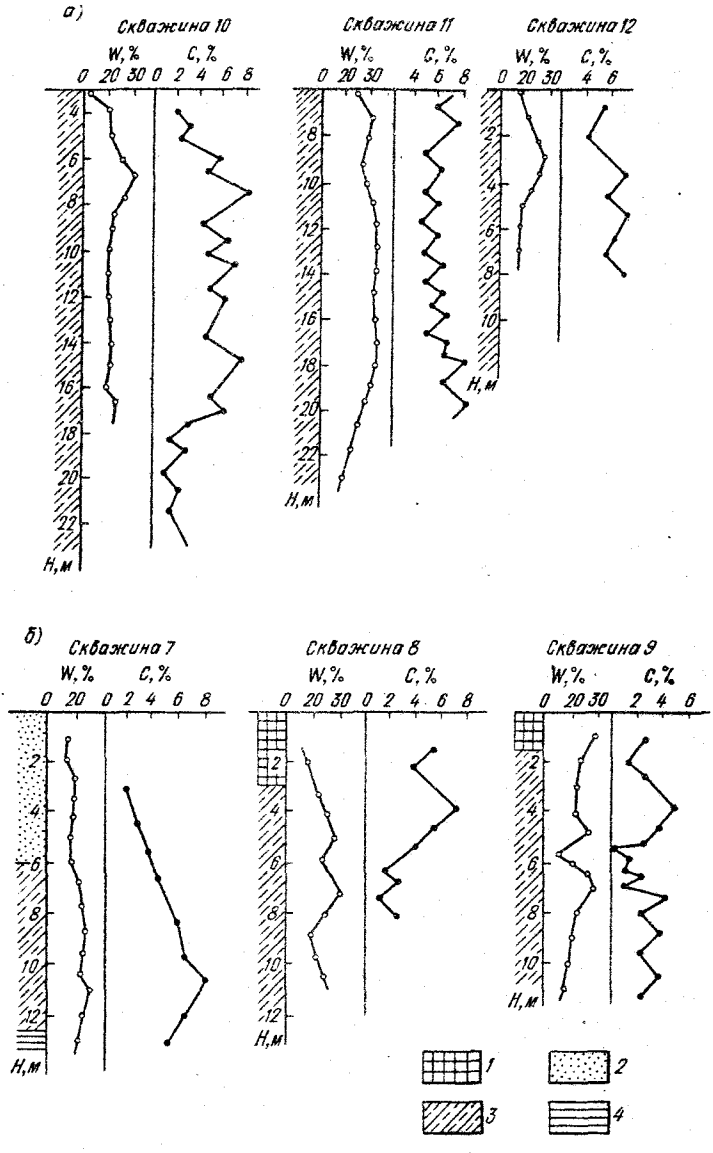


Рис.5. Эпюры засоления глинистых пород в основании шламохранилища БКРУ-3 в зоне диффузионно-конвективного (а) и конвективно-диффузионного (б) массопереносов

1 – экран из укатанных суглинков; 2 – пески; 3 – суглинки; 4 – коренные породы

ние геометрии порового пространства: наблюдается рост размера пор. В процессе засоления глинистых пород при движении через них рассолов проницаемость толщи постепенно увеличивается за счет роста агрегированности породы, появления микротрещиноватости под действием кристаллизации солей в породе и повышения раскрытости существующих трещин при осмотическом оттоке воды из отдельных блоков породы. Наливы в незасоленные и засоленные породы позволяют сравнить коэффициенты фильтрации, которые различаются на один-два порядка. Более высокие значения отмечаются в засоленных разностях пород, причем по мере увеличения засоления растет и коэффициент фильтрации.

Анализ изменения состояния и свойств глинистых пород при их взаимодействии с рассолами следует проводить, рассматривая толщу отложений как среду с двойной пористостью. Заполнение трещин глинистых пород рассолом приводит к развитию двух процессов, протекающих в противоположных направлениях: осмотического движения воды из пористых блоков отложений в сторону больших концентраций и диффузии солей из рассолов в блоки глинистой породы (в сторону меньших концентраций). Эти процессы наблюдаются до выравнивания концентраций порового и фильтрующегося растворов C_{Φ}.

При оценке глинистых толщ как естественного противофильтрационного экрана необходимо установить значение концентрации фильтрирующегося рассола, при котором начинается усадка блоков пород за счет осмотического оттока влаги. Такая величина концентрации была названа "порогом осмотической усадки" - C_{Π}. При $C_{\Pi} < C_{\Phi}$ происходит увеличение степени раскрытия трещин, при $C_{\Pi} \geq C_{\Phi}$ наблюдается неизменность либо постепенное закрытие трещин в процессе набухания блоков глинистых пород. При прогнозе осмотических процессов необходимо учитывать интенсивность их протекания в различных типах глинистых пород в зависимости от их исходного физического состояния, гранулометрического и минерального состава. Специально проведенные экспериментальные исследования показали, что интенсивное развитие осмотических процессов, приводящее к потере влаги, наблюдается при влажности пород выше $W_{\text{р}}$. Значение "порога осмотической усадки" C_{Π} может быть определено по эмпирической формуле (для хлоридно-натриевых рассолов) $C_{\Pi} = B\sqrt{M_{\text{с}}}/(W - W_{\text{р}})$, где $M_{\text{с}}$ - относительное содержание глинистой фракции в породе; B - эмпирический коэффициент, зависящий от гранулометрического и минерального состава породы, для гидрослюдистых глин B = 14÷16 г/л, для суглинков того же состава B = 10÷12 г/л; W - начальная влажность глинистой породы при условии ее полного водонасыщения в естественных условиях залегания (до поступления промстоков); $W_{\text{р}}$ - влажность породы на пределе раскатывания. Эта формула справедлива, если начальное засоление пород близко к нулевому значению.

Возможность использования приведенной выше эмпирической формулы для прогноза осмотического оттока влаги из глинистых отложений была проверена с учетом их напряженного состояния. Результаты таких испытаний показали, что отток воды из породы при действии осмотических сил не зависит от напряженного состояния в условиях завершившегося уплотнения под дейст-

вием внешнего давления. Интенсивность этого процесса определяется в основном влажностью пород (при прочих равных условиях).

Для суглинков, слагающих основание чаши шламохранилищ, величина $C_п$ в зависимости от содержания глинистой фракции и естественной влажности изменяется в пределах 45–50 г/л. Следовательно, при $C_ф$ = 270÷300 г/л осмотический отток воды из блоков породы будет протекать с высокой степенью интенсивности и соответственно будет расти степень раскрытия трещин в толще глинистых отложений.

Таким образом, основное внимание при засолении глинистых пород в процессе эксплуатации накопителей хлоридных калиево-натриевых рассолов должно быть уделено характеру изменения проницаемости и связанных с ним фильтрационных утечек.

Анализ взаимодействия рассолов с глинистыми породами показал, что использование естественных и искусственных глинистых экранов без их специальной химической обработки бесперспективно при условии длительной эксплуатации накопителей рассолов калийного производства.

В настоящее время радикальная борьба с фильтрацией рассолов из шламохранилищ и соответственно с засолением подземных вод и пород может вестись по следующим направлениям. Первое – создание новых типов шламохранилищ, в которых предусмотрены рассредоточенный намыв глинистых шламовых отложений, которые могут быть использованы как противофильтрационный экран; аккумуляция сбрасываемых рассолов в специальных собирателях, имеющих небольшие по площади размеры и отделенных от остальной части шламохранилища специальной фильтрующей дамбой, что позволяет получить рассолы без механических взвесей для их дальнейшего использования в оборотном цикле. Возможность применения шламовых отложений в качестве противофильтрационных экранов была подтверждена специальными полевыми наблюдениями и исследованиями, которые позволили сделать вывод, что процессы самоуплотнения данных образований протекают в короткие сроки и уже в первые месяцы влажность и плотность их таковы, что полученные значения коэффициентов фильтрации по результатам наливов составляют $n \cdot 10^{-4} – n \cdot 10^{-5}$ м/сутки, что на два-три порядка ниже коэффициента фильтрации засоленных глинистых пород. Следует также принимать во внимание, что дополнительного засоления шламовых отложений не будет наблюдаться, поскольку их формирование происходит в рассолах[x].

Второе направление – разработка специальных противофильтрационных экранов из местных глинистых материалов, которые подверглись гидрофобизации органическими соединениями, в частности, высокоалифатическими углеводородами – аминами, применяющимися при флотации калийных руд в качестве катионного собирателя. Фильтрационные свойства гидрофобизированных глинистых образований отличаются высокой стабильностью и не меняются в процессе

---

[x] Дашко Р.Э., Кравченко Л.П., Крысов О.Ю. Основные принципы разработки мероприятий по борьбе с фильтрацией из шламохранилищ в условиях ПО "Уралкалий". – В кн.: Использование и охрана подземных вод Урала. Свердловск, изд. УНЦ АН СССР, 1983.

фильтрации рассолов. Такой вывод получен на основании длительных полевых исследований противофильтрационных экранов, уложенных из аминизированных суглинков, а также большого объема выполненных лабораторных работ.

Высокая степень надежности охраны природных вод и толщ пород от засоления может быть достигнута при укладке гидрофобизированных экранов на дно чаши шламохранилища, последующем рассредоточенном намыве шламов и отделении рассолов в специальные рассолосборники для более полного их использования в оборотном водоснабжении.