
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ ЗАТРУБНОГО ПРОСТРАНСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН

Г.А. Кудайкулова

Геологоразведочный институт

Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева

ул. Сатпаева, 22, Алматы, Казахстан, 050013

Исследована возможность применения казахстанской глины в составе гидроизоляционного материала при загрязнении подземных вод радиоактивными веществами, предложены рецептура гидроизоляционного материала для качественного крепления технологических скважин и конструкции фильтров вокруг них.

Долгое время считалось, что критерием загрязненности окружающей среды являются предельно допустимые концентрации токсичных веществ в воздухе, почвах, водоемах. Все экологические и экономические расчеты предусматривали снижение этих показателей, при этом совершенно не учитывались возможные антропогенные изменения в окружающей среде, так как достижение тех или иных «нормальных» показателей содержания конкретного вещества часто связано с его превращением в другие, более токсичные компоненты. При оценке реальных последствий, которые могут быть вызваны крупномасштабными геолого-изыскательскими работами, добычей и переработкой полезных ископаемых, не уделяется должного внимания их влиянию на подземные воды, а через нее — на живые организмы.

В условиях разведки и эксплуатации урановых руд месторождений Казахстана (на сегодняшний день в республике шесть урановых рудоуправлений) наряду с естественным радиоактивным загрязнением подземных вод происходят интенсивные загрязнения, связанные с некачественной изоляцией затрубного пространства технологических скважин, из-за повреждений обсадной или эксплуатационной колонны, т.е. нарушений их целостности (трещины, поломка), а также через стволы разведочных скважин, если их ликвидация не осуществлялась.

Несмотря на снижение общей активности воды с течением времени в результате двух параллельно протекающих процессов — радиоактивного распада и естественного самоочищения подземных вод — следует отметить тот факт, что концентрация радиоактивных веществ в подземных водах может на несколько порядков превышать среднегодовые допустимые концентрации этих веществ в питьевой воде. А увеличение концентрации радиоактивных веществ в воде и потребление человеком и животными такой воды даже в течение короткого промежутка времени станет опасным.

Одной из основных причин радиоактивных загрязнений является некачественная изоляция затрубного пространства эксплуатационной колонны технологических скважин. Это объясняется тем, что в качестве эксплуатационной колонны используются полиэтиленовые трубы, а полиэтилен относится к неполярным материалам, имеющим низкую адгезию к цементному камню. По этой причине зона

контакта трубы с цементным камнем является зоной сообщения радиоактивных соединений с подземными водами. Поэтому загрязнение подземных вод (ПВ) радиоактивными соединениями требует эффективных и неотложных мер по надежной гидроизоляции заколонного пространства и дезактивации воды, загрязненной выщелоченным урановым раствором.

Для решения указанных задач необходимо провести комплекс исследований, включающих:

— изучение горно-геологических условий урановых месторождений Республики Казахстан;

— анализ ранее проведенных работ на подобных месторождениях ближнего и дальнего зарубежья;

— изучение возможности использования местных материалов, в частности глин, с целью разработки качественно новых и экологически чистых изоляционных тампонажных материалов;

— разработку методов очистки радиоактивно-загрязненных ПВ непосредственно в околоствольной части технологических скважин и в водозаборных скважинах.

С учетом вышеизложенного нами в качестве объекта исследований было выбрано Канжуганское месторождение Центрального рудоуправления (г. Таукент) как наиболее сложное и в то же время наиболее типичное для всех типов урановых месторождений Казахстана.

Урановая минерализация данного месторождения приурочена к рыхлым и слабоуплотненным хорошо проницаемым, мелко- и среднезернистым пескам серого и темно-серого цвета [1]. По составу — это полевые шпаты и кварц, обогащенные углефицированным детритом и сульфидами (пирит, марказит). Полевые шпаты (5,60—9,80%) представлены ортоклазом, микроклином, альбитом, олигоклазом и встречаются в виде белых матовых зерен с зернами кварца. Кварц составляет 77,33—83,23%. Обломочный материал в песках продуктивных горизонтов представлен кварцем, полевым шпатом, обломками кремнистых пород, листочками слюды, обломками детрита. Общее содержание обломочного материала составляет 85—90%. Цементация песков слабая, в воде они легко размокают и размываются. Цементом служит глинисто-алевритовый материал, содержание которого составляет 10—15%. В составе алевритистой фракции цемента преобладают мелкие зерна кварца, полевого шпата, пирита, кальцита. Поровое пространство между алевритовыми частицами заполнено глинистым материалом, в состав которого входит каолинит, монтмориллонит и гидрослюды.

Растворимые породы и руды представлены урановыми минералами — коффинитом (в среднем 58,7%), настураном (в среднем 32,0%), вторичным метаотенитом $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2$ и фосфуранилитом $(\text{UO}_2)(\text{PO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, а также карбонатами, сульфидами, фосфатами и лимонитом. Легкорастворимые формы урана, переходящие в воды, составляют в среднем 8,1%.

Как известно, урановые минералы коффинит и настуран легко переходят в растворимые состояния [2]. Поэтому в подземных водах уран мигрирует в основном в форме анионных комплексов $\text{UO}_2(\text{SO}_4)_3^{4-}$ и $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_4^{4-}$. В катионной

форме, по-видимому, уран мигрирует в виде UO_2^{2+} и UO_2OH^+ . Это тем более вероятно, поскольку во взвешенном состоянии уран встречается в составе обломочного материала. Данные о состоянии радиоактивных веществ в воде, в частности соединений урана, необходимы при выборе сорбента, поскольку очень важно, чтобы при контакте с ним не изменилось состояние радиоактивного вещества в растворе.

При проводке технологических скважин в целях подземного выщелачивания особое значение придается креплению скважин и надежной изоляции затрубного пространства. В зависимости от геологических условий и конструктивных особенностей скважин их крепление осуществляется полиэтиленовыми, металлопластиковыми трубами (МПТ), полимерными шлангами, комбинированными обсадными колоннами. Опыт использования полиэтиленовых труб в качестве обсадных и эксплуатационных показывает, что глубина их установки зависит от типа труб, диаметра и толщины стенки. Необходимым условием для качественного крепления скважин независимо от геолого-гидрологических условий является устойчивость ствола скважины на период спуска и гидроизоляции затрубного пространства обсадной колонны.

В тяжелых условиях эксплуатации обсадных колонн (различные механические нагрузки, химическое воздействие среды, длительность эксплуатации) нашли широкое применение МПТ. Качественное крепление скважин трубами МПТ может быть обеспечено при соблюдении всех технологических параметров при бурении, монтаже обсадной колонны, гидроизоляционных работах и вспомогательных операциях. В связи с тем трубы МПТ обладают жесткостью за счет наличия металлического каркаса, ствол скважины должен быть прямолинейным в пределах допустимой кривизны.

Тампонажные составы технологических скважин подземного выщелачивания должны обладать следующими основными свойствами: водостойкостью, кислотостойкостью, пониженной плотностью раствора, низкой консистенцией и достаточным временем сохранения текучести раствора, положительными объемными изменениями и минимальной водопроницаемостью.

В настоящее время в качестве гидроизоляционных материалов в основном используются цементные растворы. Однако слабое сцепление цементного камня с вышеуказанными трубами является причиной загрязнения подземных вод радиоактивными соединениями.

Исследователями Российского государственного геологоразведочного университета им. С. Орджоникидзе (РГГРУ) и других организаций были предложены различные способы повышения адгезии [3]. Ими установлено, что эффективным способом является нанесение на поверхность полиэтиленовой трубы «крупной» резьбы и крупнозернистого песка. В результате этого увеличивается сцепление цементного камня с полиэтиленовыми трубами на 15% и повышается прочность на сдвиг более чем на 150%. Однако при надрезах резьбы прочность труб уменьшается на 30—40%, что является недопустимым при креплении технологических скважин.

В связи с вышеизложенным для разработки гидроизоляционных материалов нами были проведены исследования по применению глин в качестве наполнителя к цементным растворам и способам повышения их адгезионной способности с полиэтиленовыми трубами. В результате этого нами предложена новая рецептура гидроизоляционного материала, состоящая из цемента, глины и растворимых полимеров. Предлагаемый материал имеет положительное объемное изменение и достаточную механическую прочность. Кроме того, стоимость рекомендуемого состава ниже стоимости широко используемых в настоящее время материалов. Способ повышения адгезионной способности полимерных труб, заключающийся в последовательном нанесении на их поверхность битума и песка, известен [4]. При этом сцепляемость увеличивается примерно на 18—20% по сравнению с цементным камнем.

В дальнейшем нами рассматривались случаи, когда радиоактивно-загрязненные растворы, несмотря на предохранительные меры, проникают в подземные воды и загрязняют их в процессе эксплуатации урановых месторождений.

В практике очистки природных вод от радиоактивных загрязнений наибольшее применение находят различные глинистые минералы. Поэтому важно иметь представление о механизме обмена ионов в них.

В настоящее время для определения структур глинистых минералов пользуются обобщениями, сделанными еще Полингом [5]. По Полингу, в основе строения большинства глинистых минералов лежат два структурных элемента. Один структурный элемент состоит из двух слоев плотноупакованных атомов кислорода или гидроксогрупп, между которыми в октаэдрической координации расположены атомы Al, Fe и Mg, которые равноудалены от атомов кислорода и гидроксогрупп. Второй элемент структуры построен из кремнекислородных тетраэдров, в центре которых расположены атомы кремния, равноудаленные от 4-х гидроксогрупп или атомов кислорода. Кремнекислородные тетраэдры расположены в форме бесконечно повторяющейся гексагональной сетки, образующей слой $\text{Si}_4\text{O}_6(\text{OH})_4$. Указанные структурные элементы составляют основу кристаллической решетки минералов группы монтмориллонита (ММ), каолинита (КЛ) и гидрослюд (ГС). Эти минералы являются наиболее важными в практике очистки природных вод и составляют основу глинистого материала Канжуганского месторождения.

Элементарная ячейка кристаллической решетки КЛ в целом электронейтральна и соответствует формуле $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ или $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$. КЛ не обладает способностью набухать, т.к. не впитывает воду в межpacketные пространства. ММ же, наоборот, способен впитывать воду в межpacketные пространства и вследствие этого значительно набухать. Это происходит из-за подвижности его структурных слоев, благодаря чему молекулы воды проникают между структурными слоями, расширяя их. Этим и объясняется легкая набухаемость ММ, играющая важную роль при очистке воды. Атомная решетка ММ состоит из 3-х слоев — слоя кремнекислородных тетраэдров, заключенных между 2-мя слоями алюмокислородногидроксильных октаэдров. Структура ММ отвечает формуле $\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, где $n\text{H}_2\text{O}$ — вода, разделяющая пакеты.

Из группы ГС наиболее типичным является иллит, или гидромусковит, имеющий атомную структуру, подобную ММ. Различие состоит лишь в том, что для иллита характерны более многочисленные изоморфные замещения, чем для ММ. К ГС относятся также идентифицированные минералы Канжуганского месторождения — вермикулит и глауконит.

Рассмотренные представления о строении глинистых минералов позволяют представить механизм обмена ионов на этих сорбентах. Процесс обмена ионов на ММ осуществляется в межплоскостных слоях, где размещаются обменные катионы. Чаще всего ими являются ионы Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и Al^{3+} . В таблице 1 представлены катионные емкости некоторых минералов.

Таблица 1

Катионная емкость некоторых минералов

Минерал	Емкость, мг-экв/г	Минерал	Емкость, мг-экв/г
Вермикулит	1,7	Галлуазит	0,2
Монтморрилонит	1,5	Каолинит	0,1
Иллит	0,4	Мусковит	0,1
Глауконит	0,3		

Установлено, что природа катиона влияет на сорбционную способность ММ глин [6]. Например, ММ лучше сорбирует радиоактивные элементы из растворов, если в качестве обменного катиона выступает натрий. Это связано с тем, что размеры катионов влияют на межплоскостные расстояния и, в конечном счете, на толщину водных слоев. ММ с натрием в качестве обменного иона обычно содержит между силикатными слоями один слой молекул воды, и межплоскостное расстояние при этом равно 12,5 А. Если же в ММ обменными ионами являются ионы магния, то в межплоскостных слоях содержится два молекулярных слоя воды, а межплоскостное расстояние равно 15,5 А [7].

Минералы группы гидрослюдов имеют атомную структуру, подобную структуре ММ. Различие, как указывалось выше, состоит лишь в том, что для иллита характерны изоморфные замещения. Процесс обмена ионов осуществляется также в межплоскостных слоях. Обменными катионами в ГС являются катионы K^+ , Mg^{2+} , Fe^{2+} (Fe^{3+}). Вермикулит обладает сравнительно высокой ионообменной емкостью (табл. 1) и поэтому успешно используется для очистки вод от радиоактивных загрязнений. Так, например, степень очистки загрязненной сточной воды в Харуэлле (Англия) после обработки вермикулитом достигла 99,95% [8]. Это позволило использовать очищенные вермикулитом воды в промышленных целях.

Изучение сорбционной способности вермикулита при очистке радиоактивных загрязненных вод позволили сделать вывод, что скорость катионного обмена на вермикулите зависит от концентрации катионов, природы и концентрации анионов [9]. При этом обмен протекает несколько медленнее, чем на ММ, и значительно медленнее, чем на КЛ, где сорбция практически мгновенна. Замедленный обмен на вермикулите связан с необходимостью проникновения катионов в межслойные пространства и с тем фактом, что чешуйки вермикулита обладают большой площадью [7].

В КЛ обмен ионов происходит только на поверхности его частиц. Это связано с малым межпакетным расстоянием и неспособностью к их увеличению, отсутствием интермицеллярного поглощения и невысокой степенью дисперсности, а также отсутствием изоморфных замещений в октаэдрических и тетраэдрических слоях. При этом активная поверхность сравнительно меньше, чем у минералов группы ММ и ГС. Однако относительно быстрый (по сравнению с другими минералами) обмен ионов на КЛ делает этот минерал удобным для удаления радиоактивных изотопов из воды в статических условиях [10].

Таким образом, можно сделать вывод, что для очистки радиоактивно-загрязненных вод в первую очередь необходимо выбрать подходящий сорбционный материал. Его выбор определяется несколькими факторами, из которых основными являются его сорбционная способность, механическая, химическая и радиационная стойкость, а также низкая стоимость. Учитывая эти факторы, нами была выбрана Канжуганская глина как наиболее отвечающая требованиям, предъявляемым к сорбционным материалам. В таблицах 2 и 3 приведены данные по химическому и минералогическому составу Канжуганской глины.

Таблица 2

Химический состав Канжуганской глины

Наименование Компонентов	Содержание в %	Наименование компонентов	Содержание в %
SiO ₂	43,02	FeO	0,10
Al ₂ O ₃	16,20	Na ₂ O	1,36
CaO	3,35	K ₂ O	1,54
MgO	1,40	SO ₃	4,01
P ₂ O ₅	0,11	CO ₂	0,77
TiO ₂	0,66	Влажность	5,25
MnO	0,14	ППП	11,57
Fe ₂ O ₃	8,41		

Таблица 3

Минералогический состав Канжуганской глины

Минерал	Содержание в %	Минерал	Содержание в %
Каолинит	до 22,1	Орг. вещество	4,3
Монтморрилонит	до 16,4	Хлорит	2,7
Гидрослюда	11,4	Лимонит	0,5
Мусковит	4,8		

Как видно из таблиц, исследуемая глина по химическому составу представляет собой алюмосиликаты, а по минералогическому составу почти на 50% состоит из минералов КЛ, ММ и ГС, которые и являются основой сорбционного материала. Кроме того, Канжуганская глина соответствует требованиям, предъявляемым к сорбционным материалам при очистке радиоактивно-загрязненных вод.

В настоящее время в практике очистки радиоактивно-загрязненных вод широкое распространение получила комбинированная очистка глинистыми материалами и коагулянтами. Значение коагулянтов заключается в том, что они спо-

способны образовывать гидрофобные коллоидные системы, которые при коагуляции дают хлопья, сорбирующие и захватывающие при осаждении частицы природных загрязнений воды. Поэтому нами рекомендуется обработка воды коагулянт-ом смешанного типа $Al_2(SO_4)_3 + FeCl_3$. Преимущества смешанного алюмо-железного коагулянта заключаются в ускорении процесса хлопьеобразования, улучшении физических параметров взвесей и расширении диапазона оптимальных значений pH воды и снижении расхода реагентов.

Одним из этапов очистки воды является отстаивание. Этот метод применяется тогда, когда радиоактивные вещества взвешены в воде. Необходимая степень дезактивации воды обычно достигается при длительном отстаивании, равной 10—15 периодам полураспада радиоактивного вещества [11].

Для регулирования pH следует добавить мел, а затем воду пропустить через слой песка. Обычное фильтрование через песок не является эффективным средством удаления радиоактивных веществ из-за низкой адсорбционной способности чистого кварцевого песка. В основном дезактивирующее действие процесса фильтрации через песок состоит в удалении радиоактивных веществ, захваченных хлопьями коагулянта. Кроме того, хлопья коагулянта, глина, органические вещества и микроорганизмы, попадая в отстойники, дополнительно адсорбируют радиоактивные вещества из фильтруемой воды.

Применение неорганических (гранулы и порошки металлов, различные соли) и органических (активированные угли) сорбентов прочно вошло в практику очистки радиоактивных загрязненных вод из-за высоких селективных свойств этих сорбентов, простоты их приготовления, доступности исходных химических веществ, а также невысокой стоимости.

Применение ионообменных смол, особенно смешанного ионирования, дает наиболее результативный эффект. Процесс ионного обмена совершается довольно быстро и скорость его в основном определяется диффузионными процессами. При этом важную роль играет состояние, в котором находятся радиоактивные вещества в воде.

Как уже отмечалось выше, уран мигрирует в природных водах Канжуганского месторождения в ионном виде, а также во взвешенном состоянии в составе обломочного материала. Поэтому процесс поглощения радиоактивных веществ ионообменными смолами является весьма целесообразным при очистке радиоактивно-загрязненных подземных вод и позволяет снизить радиоактивность воды практически до уровня, в 100 раз меньше предельно допустимого. Загрязненная вода, прошедшая через такую многослойную систему, очищается на 96—99%.

Нами предлагаются несколько конструкций фильтров для очистки радиоактивно-загрязненных подземных вод, которые могут быть расположены как вокруг ствола технологической скважины, так и в водозаборных скважинах. Фильтр представляет собой многослойную систему, заполненную местной глиной, неорганическими, органическими сорбентами и ионообменной смолой.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. При изучении геологического разреза Канжуганского месторождения показано, что уран мигрирует в подземных водах в форме растворимых анионных и катионных комплексов, что очень важно при выборе сорбента.

2. Предложена новая рецептура гидроизоляционного материала для качественного крепления технологических скважин.

3. Показана возможность применения Канжуганской глины в качестве сорбционного материала при очистке радиоактивно-загрязненных подземных вод в технологических скважинах.

4. Предложены несколько конструкций фильтров, расположенных вокруг технологической скважины.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Отчет АО «Волковгеология» о детальной разведке Канжуганского уранового месторождения. — Алматы, 1995.
- [2] Громов Б.В. Введение в химическую технологию урана. — М.: Атомиздат, 1978.
- [3] Башкатов Д.Н., Панков А.В., Коломиец А.М. Прогрессивная технология бурения гидрогеологических скважин. — М.: Недра, 1992.
- [4] Комплексы подземного выщелачивания / Под ред. О.Л. Кедровского. — М.: Недра, 1992.
- [5] Pauling L. // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. — 1930. — V. 16. — P. 123—134.
- [6] Gunill W.S. // Nucleonics. — 1954. — V. 12. — № 12. — P. 19—24.
- [7] Грим Р.Е. Минералогия глин. — М.: Мир, 1956.
- [8] Amphlett C.B. Treatment and Disposal of Radioactive Wasts. — N.Y., 1961.
- [9] Tsuneo T., Struxness E.G. // Health Phys. — 1963. — V. 9. — P. 697.
- [10] Возбуцкая Л.Е. Химия почвы. — М., 1964.
- [11] Кузнецов Ю.В., Щebetковский В.Н., Трусов А.Г. Основы очистки воды от радиоактивных загрязнений. — М.: Атомиздат, 1974.

ECOLOGICAL ASPECTS OF A WATERPROOFING ANNULUS OF TECHNOLOGICAL WELLS

G.A. Kudaikulova

Geologyprospecting Institute
Kazakh National Technical University
Satpaev str., 22, Almaty, Kazakhstan, 050013

The opportunity of application of the Kazakhstan clay in composition of a waterproofing material are investigated at pollution of underground waters by radioactive substances. For qualitative fastening of technological wells a formulation waterproofing material are offered and designs of filters around of wells are offered.