



А. А. Логинов
канд. г.-м. наук,
Ведущий специалист
ООО «НТПЦ СЕНОМАН»
Login1951@mail.ru

Некоторые аспекты проведения опытно-фильтрационных работ

и обработки их результатов с целью
обоснования подземного захоронения
промстоков

Рассмотрены некоторые вопросы технологии проведения опытно-фильтрационных работ и обработки их результатов с целью получения достоверных фильтрационных параметров поглощающих пластов-коллекторов для надежного обоснования захоронения в них промстоков.

Address some issues of technology development experience-filtration works and the processing of their results in order to obtain reliable filtration of the parameters of the absorbing reservoirs for safe disposal in their study of industrial wastes.

Ключевые слова: полигон захоронения, промстоки, опытно-фильтрационные работы, поглощающий пласт-коллектор, фильтрационные параметры, депрессия, репрессия.

Keywords: landfill, industrial waste, development of filtration, absorbent reservoir bed, filter settings, depression, re-press.

Одним из непереносимых условий обоснования захоронения промстоков в глубокие подземные горизонты является количественный прогноз изменений гидродинамической обстановки на участках недр, проектируемых под полигоны подземного захоронения (ППЗ). Исходными данными для прогноза служат гидрогеологические параметры целевых поглощающих пластов-коллекторов и проектных поглощающих скважин.

Для получения гидрогеологических параметров пластов-коллекторов используются, как известно, косвенные и прямые методы исследований. Косвенные методы (наиболее распространенные из них – методы ГИС) обеспечивают возможность получения ориентировочных параметров, поэтому эти методы целесообразно применять на предварительной (поисковой) стадии изучения участков недр (полигонов), в пределах которых предполагается захоронение промстоков. К прямым методам относятся опытно-фильтрационные работы (ОФР). Проведение этих работ желательно на всех стадиях исследований по обоснованию подземного захоронения, но абсолютно обязательны они, несомненно, на разведочной стадии, так как при методически правильном выполнении обеспечивают возможность получения объективных гидрогеологических параметров, что, собственно, и требуется для достоверного гидродинамического прогноза захоронения промстоков.

Параметры поглощающих скважин можно установить только с помощью прямых методов исследований этих скважин, т.е. опытным путем при выполнении закачек и откачек. Как правило, установление этих параметров не вызывает затруднений, если осуществляется соответствующий полноценный мониторинг опытных работ. Иная ситуация с определением гидрогеологических параметров поглощающих пластов-коллекторов. Как свидетельствует опыт рассмотрения в ГКЗ отчетных материалов по проблематике подземного захоронения промстоков, даже прямые методы исследований водоносных пластов не всегда позволяют получить их достоверные гидрогеологические параметры.

Рассмотрим это на примере изучения ППЗ промстоков на нефтепромыслах, так как отчетные материалы по обоснованию работы именно таких полигонов в настоящее время в подавляющем большинстве случаев представляются на экспертизу в ГКЗ.

Опытно-фильтрационные исследования на участках указанных ППЗ, как правило, проводятся по одиночным скважинам, что,

в принципе, понять и, вероятно, с определенными оговорками, принять можно, учитывая известные трудности с бурением глубоких наблюдательных скважин. Однако нередки случаи, когда даже при наличии близко расположенных простаивающих скважин, оборудованных на целевой поглощающий пласт-коллектор, выполняются только одиночные закачки, что никакими объективными причинами, конечно, оправдать нельзя. Как бы то ни было, по результатам одиночных гидродинамических исследований авторами отчетных материалов делаются попытки определения фильтрационных параметров (во всяком случае, одного из них – коэффициента водопроницаемости) целевого пласта-коллектора. В этой связи следует отметить следующее. Теоретически водопроницаемость пласта не зависит от знака его возмущения (откачек или закачек). Однако, на практике подтверждение этого можно получить только по результатам кустовых исследований, когда водопроницаемость определяется по данным прослеживания изменения уровня в наблюдательных скважинах, что обеспечивает получение истинного значения этого параметра независимо от того, возмущается ли пласт откачками или закачками. В случае же одиночных гидродинамических исследований знак возмущения пласта оказывает исключительно большое влияние на результаты определения гидрогеологических параметров пласта-коллектора и опробуемой скважины, так как одна и та же величина дебита откачки и закачки достигается при несопоставимых величинах депрессии и репрессии. Даже в случаях высоких ФЕС целевого водоносного комплекса (например, апт-альб-сеноманского, который обычно в нефтегазоносных районах Западной Сибири используется как объект эксплуатации и для добычи подземных вод и захоронения подтоварных вод) закачка подтоварных вод в скважину, оборудованную на этот комплекс, с дебитом порядка 500-1000 м³/сут. выполняется при значительных избыточных давлениях (до 100 и более атм.) на устье. Между тем в случае откачки указанный дебит достигается при понижении уровня, обычно не превышающего первых десятков метров. Это приводит к большим различиям, во-первых, в величинах удельного дебита (продуктивности) и коэффициента приемистости одной и той же скважины, во-вторых, в значениях коэффициента водопроницаемости пласта-коллектора, полученного по результатам разнонаправленных возмущений пласта. Последнее объясняется тем, что коэффициент водопроницаемости находится в обратно пропорциональной

зависимости от величины повышения уровня (репрессии) при закачках или его снижения (депрессии) при откачках. Соответственно, по результатам обработки данных возмущающей скважины при закачке, когда достигается большая величина репрессии (зачастую на порядок превышающая депрессию при откачке), коэффициент водопроводимости должен быть существенно меньшим, чем тот, который получен по данным откачки, особенно если этот параметр определен аналитически по зависимости установившейся фильтрации с учетом абсолютной величины изменения уровня. Графоаналитические методы обработки результатов одиночных откачек и закачек (основанные на зависимостях неустановившейся фильтрации) согласно существующим на указанную проблему представлениям должны обеспечивать более объективную оценку коэффициента водопроводимости, в особенности если определять его по данным прослеживания восстановления (снижения) уровня после остановки закачки или откачки. В этом случае указанный параметр теоретически не должен зависеть от абсолютной величины изменения уровня в исследуемой одиночной скважине, так как закономерность изменения уровня (в остановленных закачной или откачной скважинах) при достижении квазистационарного режима уже не зависит от несовершенства скважины и не закономерных колебаний дебита в процессе работы скважины, вызванных техническими причинами (например, эрлифтной откачкой или закачкой с помощью цементировочного агрегата). Однако опыт многочисленных исследований по одиночным разнонаправленным возмущениям пластов-коллекторов свидетельствует об обратном. Независимо от метода интерпретации коэффициент водопроводимости исследуемого пласта-коллектора получается всегда существенно меньшим по результатам одиночных закачек, чем по результатам таких же откачек. Об этом свидетельствуют, в частности, результаты определения рассматриваемого параметра по временным графикам прослеживания изменения уровня после прекращения одиночных откачек и закачек, которые были выполнены с непосредственным участием автора на нефтепромыслах Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (северо-восток Европейской части РФ) с целью подсчета запасов технических подземных вод песчаных горизонтов триасово-юрского водоносного комплекса для поддержания пластового давления (ППД) и обоснования захоронения в этот комплекс подтоварных вод (**табл. 1**). Заметим, что отчетные материалы с результатами

Результаты определения коэффициента водопроводимости по данным одиночных опытных откачек и закачек

Таблица 1

Наименование объекта (нефтяного месторождения, участка)	№ скважины	Возраст изученного с помощью ОФР пласта-коллектора	Коэффициент водопроводимости, м ² /сут.	
			по результатам откачек	по результатам закачек
Варандейское месторождение	5п	J1+2+T3nm	89,7	1,36
	1п		100	9,81
поселок Варандей	1п	T2sh+T3nm	18,2	2,82
Тобойское месторождение	1п	T1hr	26,8	0,45
		T2an	20,4	0,43
		T3nm	49	1,82
		J1+2	106,5	4,31
Тэдинское месторождение	1В	T3nm	33,4	0,26
		J1+2	116,6	69,4
Инзырейское месторождение	2п	J1+2	84	36,4

Фактические данные вполне убедительно свидетельствуют о том, что по результатам одиночных закачек невозможно получить достоверное (истинное) значение коэффициента водопроводимости пласта-коллектора.

этих исследований прошли экспертизу в ГКЗ и получили одобрение. Таким образом, имеется вполне официальное подтверждение объективности приведенных в таблице данных.

Согласно этим данным, водопроводимость пластов-коллекторов, установленная по результатам одиночных откачек, всегда превышает таковую, определенную по результатам закачек, причем в большинстве случаев не менее чем на 1-2 порядка. Дать стройное теоретическое объяснение этому пока не представляется возможным. Не исключено, что по одиночным гидродинамическим исследованиям (особенно недостаточно продолжительным) в большей степени характеризуются фильтрационные параметры прифильтровой зоны, нежели всего пласта. При этом реакция пласта вблизи скважины (в прифильтровой зоне) на закачку и откачку различна в связи с различием в параметрах упругого сжатия и расширения пород при разнонаправленных возмущениях. Очевидно, что закачать

в напорный пласт жидкость, преодолевая противодействие пласта, намного труднее, чем изъять из этого пласта подземную воду, снижая при этом пластовое давление, что приводит к разуплотнению воды, расширению пород за счет упругих сил и, тем самым, как бы к выдавливанию воды в скважину без дополнительных усилий. Возможно, что именно это обуславливает значительные различия в величине водопроводимости, полученной по одиноким разнонаправленным возмущениям пласта.

Естественно, что мизерные коэффициенты водопроводимости триасово-юрских водоносных горизонтов, полученные по результатам одиночных закачек, далеко не объективны и полностью противоречат высоким коллекторским свойствам этих горизонтов, установленным на многочисленных полигонах и водозаборных участках Тимано-Печорской провинции за многолетний период их изучения и эксплуатации.

Низкая водопроводимость пластов-коллекторов по данным возмущающих скважин при закачках в них промстоков может быть обусловлена еще и тем, что прослеживание восстановления (снижения) уровня (давления) в них после остановки закачки выполняется, как правило, в течение короткого промежутка времени, недостаточного для достижения первоначального (статического) уровня. Поэтому определение водопроводимости выполняется при невосстановленном уровне. Соответственно, на временных графиках для определения указанного параметра выбирается асимптотический участок, который может быть сформирован под влиянием несовершенства скважины, а тот участок, на котором уже не должно сказываться несовершенство скважины, просто не фиксируется из-за недостаточной длительности наблюдений. Заметим при этом, что, учитывая большую величину репрессии по сравнению с величиной депрессии, период восстановления уровня после остановки закачки по сравнению с таковым после откачки, должен быть существенно более продолжительным.

Как бы то ни было, вышеприведенные фактические данные, по нашему мнению, вполне убедительно свидетельствуют о том, что по результатам одиночных закачек невозможно получить достоверное (истинное) значение коэффициента водопроводимости пласта-коллектора. При этом следует отметить, что получение этого значения для прогноза пластовой репрессии в процессе эксплуатации полигонов захоронения промстоков вряд ли следует считать первостепенной задачей.

По опыту эксплуатации многочисленных полигонов в нефтегазоносных районах РФ пластовые репрессии в глубоких пластах при закачке в них подтоварных вод независимо от фильтрационных параметров, как правило, незначительны, во всяком случае, уже на небольшом удалении (порядка нескольких сотен метров) от поглощающих скважин не превышают первые метры. Поэтому более важным представляется определение истинного значения водопроводимости пласта-коллектора для достоверного прогноза давления на устье поглощающей скважины при эксплуатационной закачке в нее подтоварных вод, так как это давление регламентируется допустимым значением, превышение которого чревато нежелательными негативными последствиями (гидроразрывом целевого пласта-коллектора и изолирующих его водоупорных толщ, нарушением целостности обсадных труб поглощающих скважин и др.). Но для того чтобы выполнить достоверный прогноз устьевого давления, помимо истинных значений фильтрационных параметров поглощающих пластов-коллекторов, необходимо знать величины скачка давления за счет несовершенства скважины и гидравлических сопротивлений при закачке в нее жидкости. Как известно, достоверно установить последнее по результатам одиночных закачек нельзя. Таким образом, и для прогноза устьевого давления определять фильтрационные параметры пластов-коллекторов по результатам одиночных закачек весьма малопродуктивно, если вообще не бессмысленно.

Вместе с тем этот вывод мог бы оказаться неправомерным, если бы удалось доказать, что получаемый по результатам одиночной закачки коэффициент водопроводимости является неким абсолютным параметром, комплексно характеризующим проводимость прифилтровой зоны и конструктивные особенности скважины (в том числе ее несовершенство). Указанный комплексный параметр в таком случае вполне можно было бы использовать для достоверного прогноза устьевых давлений. Однако практика исследований одиночных поглощающих скважин опровергает такую возможность. Поясним это на конкретном примере. Для этого проанализируем данные, полученные на одном из наиболее изученных в Тимано-Печорской провинции полигонов захоронения подтоварных вод – «Варандейском». Наряду с проведением полноценного мониторинга эксплуатации этого полигона, на нем выполнены многочисленные ОФР, в том числе одиночные закачки. Рассмотрим

результаты таковых, например, по скважине 1п (*табл. 1*). Если считать, что полученный с помощью графоаналитического метода по данным закачки подтоварных вод в эту скважину коэффициент водопроводимости целевого пласта-коллектора (9,81 м²/сут.) является вполне объективным комплексным параметром, то подсчитанное с использованием этого параметра устьевое давление на устье опытной скважины должно соответствовать фактическому устьевому давлению, достигнутому при производстве опытной закачки. Проверим это расчетами, используя известную формулу Тэйса:

$$\Delta P = \frac{0,183Q}{km} \lg \frac{2,25at}{r^2},$$

и фактические параметры опытной закачки подтоварных вод в скважину 1п. Эти параметры таковы: Q – дебит опытной закачки = 658,5 м³/сут.; t – продолжительность закачки = 1 сутки; a – коэффициент пьезопроводности, установленный по данным кустовых откачек, выполненных на полигоне = 2,3·10⁵ м²/сут.; r – радиус скважины = 0,1 м. Повышение давления (репрессия) в пласте, исходя из приведенных данных, при условии достоверности полученного по одиночной закачке km, должно было бы составить:

$$\Delta P = \frac{0,183 \cdot 658,5}{9,81} \lg \frac{2,25 \cdot 2,3 \cdot 10^5 \cdot 1}{0,01} = 95 \text{ м (9,5 атм.)}$$

В таком случае избыточное давление на устье скважины «1п» с учетом статического уровня подземных вод, равного 22 м, должно равняться 9,5-2,2=7,3 атм. Фактически же устьевое давление при закачке было равным 45 атм. Таким образом, приведенный пример (далеко не единственный) весьма наглядно свидетельствует о том, что получаемый по результатам одиночных закачек коэффициент водопроводимости на самом деле не является сколь-либо объективным комплексным параметром. В связи с этим очевидно, что ни пластовую репрессию, ни устьевое давление прогнозировать с использованием этого параметра нельзя. Тем не менее необходимость проведения опытных закачек, в том числе и одиночных, при обосновании подземного захоронения промстоков не вызывает сомнения. Результаты одиночных закачек позволяют установить гидрогеологические параметры поглощающих скважин, в частности коэффициенты приемистости, устьевые давления на разных режимах закачки и на основе опытных данных оценить возможную максимальную производительность

(расход) закачки. Кроме того, коэффициенты приемистости скважин при однотипных их конструкциях могут использоваться для качественной сравнительной характеристики фильтрационных свойств пластов-коллекторов разных участков на предварительной стадии их исследований.

При этом, несомненно, что оптимальными для получения достоверных фильтрационных параметров поглощающих пластов при обосновании ППЗ являются кустовые исследования (закачки-откачки). В крайнем случае, если действительно невозможно выполнить такие исследования, для получения более или менее объективного значения водопроводимости следует выполнять одиночные откачки, причем определять водопроводимость целесообразно по результатам прослеживания восстановления уровня после прекращения откачки, а не снижения во время ее выполнения, чтобы в максимальной степени избежать влияния дефектов откачки (колебаний дебита, потерь напора при дивизии воды по стволу скважины и т.п.).

Помимо вышеизложенного заслуживает внимания, на наш взгляд, еще один момент, при не учете которого также могут быть получены недостоверные значения водопроводимости пластов-коллекторов, даже несмотря на высокую представительность выполненных ОФР. Речь идет о возможной технической ошибке при определении коэффициента водопроводимости графоаналитическим методом. Дело в том, что при выполнении опытных закачек на изучаемых с целью обоснования захоронения промстоков участках, особенно на нефтепромыслах, в большинстве случаев в качестве измерительной аппаратуры для прослеживания изменения пластового давления в скважинах используются глубинные манометры. Естественно, что давление этими манометрами регистрируется в атмосферах. Эту же размерность некоторые исследователи используют при построении графиков временного прослеживания роста пластового давления (репрессии - ΔP) по результатам закачек. При этом никакие поправочные коэффициенты не применяются. Вероятно, здесь сказывается распространенное мнение о том, что при определении водопроводимости графоаналитическим методом размерность этого параметра зависит только от размерности дебита [1, 2]. Между тем это не совсем так. Если построить по одним и тем же фактическим данным два графика в координатах ΔP-igt, но при этом на одном из графиков ось ординат (ΔP) будет построена в атмосферах, а на другом – в метрах, то при одном и том же

наклоне прямой угловой коэффициент «С» этих графиков, вычисленный по зависимости

$$C = \frac{\Delta P_2 - \Delta P_1}{\lg t_2 - \lg t_1}$$

будет отличаться в 10 раз. Соответственно и коэффициент водопроводимости (km), определенный по этим графикам, тоже будет отличаться в 10 раз, несмотря на то, что в обоих случаях дебит закачки учитывается в одной и той же размерности. При этом очевидно, что правильное значение km будет получено по графику, на котором ось репрессий построена в метрах, так как угловой коэффициент в таком случае тоже будет измеряться в метрах и, следовательно, при дебите закачки (Q) в м³/сут. водопроводимость по известной зависимости km=0.183Q/C получится

в м²/сут., в отличие от непонятной размерности этого параметра по графику с осью ординат в атмосферах.

Если все же по каким-то причинам необходимо построить графики с размерностью репрессии в атмосферах, то для получения истинного значения km в зависимости, по которой он определяется как km=0.183Q/C, следует вводить уменьшающий коэффициент 1/10. Но более правильно, на наш взгляд (во всяком случае, для получения соответствующей физического смысла km размерности), заранее переводить размерность «атмосферы» в «метры» и, соответственно, строить график с осью Y (репрессий) в метрах. Это позволит избежать грубой технической ошибки и установить достоверный коэффициент водопроводимости исследуемого пласта. ❊

Литература

1. Биндеман Н.Н., Язвин Л.С. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. М: Недра, 1970.ы с. 120.
2. Климентов П.П. Методика гидрогеологических исследований. М: Высшая школа. 1989. с. 116.

ЗАО «ИИТПИМУН»



Закрытое акционерное общество «Институт инновационных технологий, проектирования и методов управления недропользованием»

Квалифицированное составление проектно-сметной документации по геологическому изучению недр по заявкам недропользователей в соответствии с нормативными документами геологоразведочной отрасли, сопровождение ПСД на всех стадиях разработки для прохождения экспертизы.

Организация обладает опытом разработки ПСД по различным видам полезных ископаемых: углеводородное сырье, твердые полезные ископаемые, подземные воды, общераспространенные полезные ископаемые.

ЗАО «ИИТПИМУН» предоставляет следующие услуги:

- предэкспертная проверка проектно-сметной и картографической документации, ее комплектность и полнота;
- составление сметы на геологоразведочные работы в традиционном виде, а также с применением автоматизированной системы проектирования АС «ГЕОсмета»;
- проведение экспертизы промышленной безопасности ПСД;

- оказание информационно-консультационных услуг недропользователям на всех стадиях разработки и утверждения проектно-сметной документации на геологоразведочные работы;
- разработка рекомендаций по оптимизации геологоразведочных работ, внедрению инновационных технологий, новейших методов недропользования.

В состав консультационных услуг входит анализ представленных материалов с целью определения оптимальных условий недропользования и соответствия материалов по форме и содержанию инструктивно-методическим, справочно-нормативным и законодательным документам.

Высокий уровень предоставления услуг гарантирует качество выполнения проектных работ, снижает сроки рассмотрения материалов при прохождении государственной экспертизы.

Институт сотрудничает с Обществом экспертов России по недропользованию (ОЭРН), с юридическими и физическими лицами, осуществляющими свою деятельность в сфере недропользования – институтами; экспертными организациями, геологоразведочными предприятиями; предприятиями, выполняющими разведку месторождений твердых полезных ископаемых и углеводородного сырья, проектными организациями, Федеральным агентством по недропользованию.