

7. Калинин, Ю.А. Золотоносные коры выветриванию юга Сибири / Ю.А. Калинин, Н.А. Росляков, С.Г. Прудников. — Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2006. — 339 с.
8. Миронов, А.А. Геологическое строение и поисковая модель Харанурского месторождения золота в корях выветривания / А.А. Миронов // Руды и металлы. — 2014. — № 3. — С. 27–33.
9. Немчинов, В.Г. Особенности осадконакопления в позднем кайнозое и условия формирования россыпей золота в Окинском горном районе Восточного Саяна / В.Г. Немчинов: Автореф. дис.... канд. геол.-минер. наук. — Улан-Удэ, 1997. — 17 с.
10. Рощектаев, П.А. Золото Бурятии. Кн. 1. Структурно-металлогеническое районирование, геологическое строение месторождений, ресурсная оценка / П.А. Рощектаев, А.Г. Миронов, Г.И. Дорошкевич и др. — Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2000.
11. Чебаков, Г.И. Комплекс геофизических методов при поисках коренных месторождений золота в Восточном Саяне / Г.И. Чебаков, П.А. Рощектаев // Геофизические методы поисков и разведки. Технология и техника геологоразведочных работ, горное дело: Матер. Междунар. науч.-техн. конф. Горно-геологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науки и пр.-ва. — Томск, 2001. — С. 171–175.
12. Chen, D. Metallogenic features and metallogenic model of laterite gold deposits in Southern China / D. Chen, M. Yang // Acta Geologica Sinica. — 2000. — Vol. 74. — №3. — P. 565 — 569.
13. Colin, F. Behavior of gold in the lateritic equatorial environment: weathering and surface dispersion of residual gold particles, at Dondo Mabi, Gabon / F. Colin, P. Vieillard // Applied Geochemistry. — 1991. — Vol. 6. — P. 279–290.
14. Glasson, M.J. Gold exploration in the Callion Area, Eastern Goldfields, Western Australia / M.J. Glasson, R.W. Lehne, F.W. Wellmer // Journal of Geochemical Exploration. — 1988. — Vol. 31 — P. 1–19.
15. Goldfarb, R.J. Distribution, character and genesis of Gold Deposits in Metamorphic terranes / R.J. Goldfarb, T. Baker, B. Dube, D.I. Groves, C.J. Hart, P. Gosselin // Economic Geology. — 2005. — 100th Anniversary Volume (1905–2005). — P. 407–450.
16. Groves, D.I. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types / D.I. Groves, R.J. Goldfarb, M. Gebre-Mariam, S.G. Hagemann, F. Robert // Ore Geology Reviews. — 1998. — Vol. 13. — P. 7–27.
17. Larizzatti, J.H. Morphology and composition of gold in a lateritic profile, Fazenda Pison «Garimpo», Amazon, Brasil / J.H. Larizzatti, S.M.B. Oliveira, C.R.M. Butt // Journal of South American Earth Sciences. — 2008. — Vol. 25. — P. 359–376.

© Татьков И.Г., Дамдинов Б.Б., 2018

Татьков Иван Геннадьевич // tatkovgeo@gmail.com
Дамдинов Булат Батуевич // damdinov@mail.ru

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 556.3.06

Логинов А.А. (ООО «НТПЦ СЕНОМАН»)

ХАРАКТЕРНЫЕ НЕДОСТАТКИ, ДОПУСКАЕМЫЕ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ИССЛЕДОВАНИЙ С ЦЕЛЬЮ ГЕОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ПОДЗЕМНОГО ЗАХОРОНЕНИЯ ПРОМСТОКОВ НА ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ЭТОГО УЧАСТКАХ НЕДР

*Рассмотрены недостатки изучения участков недр, предназначенных для захоронения промстоков, в том числе вопросы методологии опытно-фильтрационных работ и обработки их результатов. **Ключевые слова:** полигон захоронения, промстоки, опытно-фильтрационные работы, поглощающий пласт-коллектор, фильтрационные параметры, депрессия, репрессия.*

Loginov A.A. (NTPC CENOMANIAN)

TYPICAL DRAWBACKS ALLOWED WHEN PERFORMING STUDIES TO THE GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL SUBSTANTIATION OF UNDERGROUND DISPOSAL OF WASTES AT DESIGNATED SUBSOIL

*The shortcomings of the study of subsoil plots for burial of wastes, including questions of methodology of experimental-filtration works and results processing. **Keywords:** landfill, industrial waste, development of filtration, absorbent reservoir bed, filter settings, depression, repress.*

О многих недостатках исследований, выполняемых на участках недр, предназначенных для захоронения промстоков, и способах преодоления этих недостатков

сообщалось в наших статьях, опубликованных в журнале «Недропользование XXI век» [6–8]. Тем не менее, значительная часть этих недостатков, судя по отчетам, представляемым на экспертизу в ГКЗ, не искоренена до сих пор. Это, а также накопление новых данных по проблематике подземного захоронения промстоков послужило основанием для автора вновь обратиться к этому вопросу и изложить его с переосмыслением и переработкой некоторых из опубликованных ранее материалов в новой редакции в одном из наиболее уважаемых специализированных научных изданий.

Непременным условием обоснования захоронения промстоков в глубокие подземные горизонты является количественный прогноз ожидаемых изменений гидродинамической обстановки при эксплуатации полигонов подземного захоронения (ППЗ). Исходными данными для прогноза служат гидрогеологические параметры поглощающих скважин и целевых поглощающих пластов-коллекторов.

Для установления последних 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, в пределах которых предполагается захоронение промстоков. К прямым методам относятся опытно-фильтрационные работы (ОФР). Проведение их желательно на всех стадиях исследований по обоснованию подземного захоронения, но абсолютно обязательны они на разведочной стадии, поскольку при правильной методике и технологии выполнения обеспечива-

ют 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, 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, поскольку даже прямые методы исследований не всегда обеспечивают возможность получения достоверных значений этих параметров. Об этом свидетельствует большой опыт таких исследований, выполненных на участках углеводородных месторождений Российской Федерации с целью обоснования захоронения на них различного вида промстоков. В подавляющем большинстве случаев при выполнении опытных закачек стоков в глубокие подземные горизонты используются одиночные поглощающие скважины, поскольку за редким исключением на участках проектных ППЗ глубокие наблюдательные скважины отсутствуют, т.к. их бурение весьма трудо- и финансово затратно.

На участках будущих или уже действующих полигонов широкое распространение получила практика определения основных гидрогеологических параметров поглощающих пластов-коллекторов, таких как коэффициенты водопроницаемости и пьезопроводности по результатам одиночных закачек. При том что бессмысленность определения коэффициента пьезопроводности по данным возмущающих скважин общеизвестна (приходится только удивляться, почему это некоторыми исследователями не принимается во внимание при обработке результатов одиночных закачек); с определением коэффициента водопроницаемости по результатам таких исследований не все так однозначно. При изучении месторождений подземных вод, когда отсутствует возможность проведения кустовых опытов, довольно часто водопроницаемость рассчитывается по результатам одиночных *откачек*, которые обеспечивают получение более или менее объективного значения этого параметра. В связи с этим и по результатам одиночных *закачек* можно рассчитывать на получение аналогичных значений водопроницаемости. Однако, как выяснилось по опыту проведения таких закачек, водопроницаемость, определенную по их результатам, нельзя относить даже к категории ориентировочной, поскольку ее достоверность, как правило, стремится к нулю. Обусловлено это следующим. Теоретически водопроницаемость пласта не должна зависеть от знака его возмущения (откачек или закачек). Практически это подтверждается результатами кустовых исследований, когда водопроницаемость определяется с высокой степенью надежности по данным прослеживания изменения уровня в наблюдательных скважинах, независимо от того возмущается пласт откачками или закачками. В случае одиночных гидро-

динамических исследований знак возмущения оказывает исключительно большое влияние на результаты определения гидрогеологических параметров пластов-коллекторов и опробуемой скважины, т.к. одна и та же величина дебита откачки и закачки достигается при несопоставимых величинах депрессии и репрессии. Так, даже в случае высоких ФЕС пласта (например, апт-альб-сеноманского, который обычно в нефтегазоносных районах Западной Сибири эксплуатируется и как водоносный комплекс, и как поглощающий пласт-коллектор) закачка жидких промоотходов в скважину, оборудованную на этот пласт, с дебитом порядка 500–1000 м³/сут выполняется при значительных избыточных давлениях (до 100 атм. и более) на устье и соответственно больших репрессиях. В случае откачки указанный дебит достигается при понижении уровня обычно не превышающего первые десятки метров. Это приводит к большим различиям, во-первых, в величинах удельного дебита и коэффициента приемистости одной и той же скважины, во-вторых, в значениях коэффициента водопроницаемости пласта-коллектора, полученного по результатам разнонаправленных одиночных его возмущений. Водопроницаемость, рассчитанная по результатам одиночных закачек, практически всегда намного меньше той, которая установлена по результатам одиночных откачек. Подтверждением этому является работа автора [7], в которой в числе прочего выполнена сравнительная оценка параметров, полученных по итогам разнонаправленных одиночных опытных возмущений триасово-юрских водоносных толщ, на нефтепромыслах Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (северо-восток Европейской части РФ). Итоговые результаты этой оценки сведены в таблицу, на основании которой нетрудно убедиться, что коэффициенты водопроницаемости, полученные по результатам одиночных закачек, как правило, весьма невысоки, что полностью противоречит высоким коллекторским свойствам и водообильности исследованных горизонтов, установленных на многочисленных водозаборных участках в пределах нефтяных месторождений Тимано-Печорской провинции за многолетний период их изучения и эксплуатации. Не менее существенные различия в коэффициентах водопроницаемости установлены по результатам изучения одиночными закачками и различного вида откачками (одиночными, кустовыми, групповыми) апт-альб-сеноманского водоносного комплекса на таких нефтяных месторождениях Западной Сибири, как: Ватинское, Аганское, Мегионское, Малореченское, Полуденное, Мыхпайское, Первомайское, Усть-Балыкское, Тепловское, Тюменское, Западно-Асомкинское, Южно-Тамбейское и множестве других месторождений. Результаты этих исследований представлялись на экспертизу в ГКЗ в виде геологических отчетов. Во всех случаях водопроницаемость указанного комплекса, полученная на этих месторождениях по данным одиночных закачек, была на порядок-два меньше таковой, установленной по результатам откачек.

Такой итог разнонаправленных одиночных гидродинамических возмущений пласта в части определения коэффициента водопроницаемости вполне закономерен для случаев, когда последний рассчитывается аналитически по формулам установившегося движения с учетом абсолютной величины изменения уровня (давления) в процессе возмущения. Поскольку величина коэффициента водопроницаемости обратно пропорциональна величине изменения уровня, вполне естественно, что при закачке и высокой репрессии коэффициент водопроницаемости меньше того, который определен по результатам откачки с небольшой депрессией. Однако и использование зависимостей неустановившейся фильтрации (в частности, графо-аналитического метода временного прослеживания изменения уровня) при обработке данных одиночных закачек не приводит к получению объективного значения водопроницаемости, хотя указанный метод, казалось бы должен исключать влияние несовершенства скважин на этапе достижения квазистационарного режима фильтрации подземных вод, как это происходит в случае одиночных откачек, и таким образом обеспечивать относительную достоверность указанного параметра. Тем не менее этого не происходит.

Одной из главных причин этого является различная реакция исследуемых пластов на закачку и откачку. В.А. Мироненко объяснил это различие тем, что сжимаемость пород при снижении напора в ходе откачки подземных вод, существенно больше упругого расширения этих пород при повышении напора в ходе закачки жидкости в пласт [9]. Для того чтобы закачать определенный объем жидкости в пласт, необходимо приложить больше усилий (так называемых эффективных напряжений [9]), чем при откачке этого же объема жидкости из пласта. Соответственно при одинаковых дебитах закачиваемой и откачиваемой жидкости даже без учета скин-эффекта скважин, абсолютная величина изменения уровня при закачке должна быть больше таковой при откачке. Очевидно, что в максимальной степени это проявляется в точках возмущения пласта. При кустовых исследованиях, учитывая снижение масштаба возмущения с увеличением расстояния от возмущающей скважины, разница между величинами репрессий и депрессий, а также закономерностями изменения уровня в наблюдательных скважинах становится малозначимой (во всяком случае, не превышающей погрешностей гидрогеологических расчетов). В связи с этим установленные по результатам прослеживания этих изменений коэффициенты водопроницаемости независимо от знака возмущения оказываются практически одинаковыми. В то же время коэффициенты пьезопроводности, рассчитанные по результатам кустовых возмущений проти-

воположных знаков, обязательно будут отличаться. Это обусловлено тем, что пьезопроводность помимо того, что зависит от водопроницаемости, при откачках отражает влияние упругой водоотдачи пласта, а при закачках — упругой емкости, которые заметно различаются по величине. На это обстоятельство обращено внимание в работе [3] и рекомендовано использовать для прогнозных расчетов захоронения промстоков величину пьезопроводности, установленную по результатам кустовых закачек.

Из вышеизложенного следует, что гидродинамические прогнозы захоронения промстоков нельзя выполнять на основании фильтрационных параметров пластов-коллекторов, установленных по результатам одиночных закачек.

Вместе с тем этот вывод мог бы оказаться неправомерным, если бы удалось доказать, что получаемый по результатам одиночной закачки коэффициент водопроницаемости является неким комплексным параметром, характеризующим и водопроницаемость прифильтровой зоны, и конструктивные особенности скважины, в том числе ее несовершенство. Указанный комплексный параметр 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 (таблица). Если считать, что полученный с помощью графоаналитического метода по данным закачки подтоварных вод в эту скважину коэффициент водопроницаемости целевого пласта-коллектора (9,81 м²/сут) является вполне объективным комплексным параметром, то подсчи-

Результаты определения коэффициента водопроницаемости по данным одиночных опытных откачек и закачек на участках месторождений Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции

Наименование объекта (нефтяного месторождения, участка)	№ скв.	Возраст изученного с помощью ОФР пласта-коллектора	Коэффициент водопроницаемости, м ² /сут	
			по результатам откачек	по результатам закачек
Варандейское месторождение	5п	$J_{1+2}+T_3nm$	89,7	1,36
	1п		100	9,81
поселок Варандей	1п	T_2sh+T_3nm	18,2	2,82
Тобойское месторождение	1п	T_1hr	26,8	0,45
		T_2an	20,4	0,43
		T_3nm	49	1,82
		J_{1+2}	106,5	4,31
Тэдинское месторождение	1В	T_3nm	33,4	0,26
		J_{1+2}	116,6	69,4
Инзырейское месторождение	2п	J_{1+2}	84	36,4

танное 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 следующие: $Q = 658,5 \text{ м}^3/\text{сут}$ — дебит опытной закачки; $t = 1 \text{ сут}$ — продолжительность закачки; $a = 2,3 \cdot 10^5 \text{ м}^2/\text{сут}$ — коэффициент пьезопроводности, установленный по данным кустовых откачек, выполненных на полигоне; $r = 0,1 \text{ м}$ — радиус скважины. 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 составить $9,5 - 2,2 = 7,3 \text{ атм}$. Фактически же устьевое давление при закачке было равным 45 атм. Таким образом, приведенный пример (далеко не единственный) наглядно свидетельствует о том, что получаемый по результатам одиночных откачек коэффициент водопроницаемости не является сколь-либо объективным комплексным параметром.

Очевидно, что для получения достоверных результатов прогнозов захоронения следует использовать фильтрационные параметры, полученные по материалам кустовых исследований. Однако если по объективным причинам нельзя провести кустовые откачки или закачки, то в прогнозных расчетах следует использовать водопроницаемость, определенную по результатам одиночных *откачек*. Что касается пьезопроводности, то ни одиночные откачки, ни тем более, одиночные закачки не могут обеспечить получение даже ориентировочного значения пьезопроводности. Поэтому допустимо в случае невозможности проведения кустовых возмущений использовать пьезопроводность, установленную по данным ГИС. Как правило, эти данные, согласно очень большому опыту их использования для определения фильтрационных параметров проницаемых пластов в нефтегазоносных районах Западной Сибири, обеспечивают получение довольно объективного значения пьезопроводности этих пластов (особенно гранулярных), что обуславливает приемлемые погрешности в результатах прогнозов захоронения, тем более, что величина пьезопроводности влияет на достоверность последних не слишком сильно, поскольку в расчетных формулах находится под знаком логарифма.

Следует отметить, что неудовлетворительные результаты определения фильтрационных параметров по данным одиночных закачек не умаляют достоинств последних в части возможности установления факти-

ческой производительности поглощающих скважин (расходов, закачиваемых в них стоков) и коэффициентов приемистости этих скважин, без которых невозможно обосновать проектные нагрузки на скважины. Кроме того, коэффициенты приемистости при однотипных конструкциях скважин могут использоваться для качественной (не количественной) сравнительной характеристики фильтрационных свойств целевых горизонтов разных участков недр на ранних этапах их исследования.

При этом, несмотря на всю несомненную важность получения достоверных фильтрационных параметров для выполнения надежных прогнозов роста пластовой репрессии в процессе эксплуатации полигона, такой прогноз не является самоцелью, тем более, что величины пластовых репрессий по опыту эксплуатации многочисленных полигонов в нефтегазоносных провинциях России независимо от фильтрационных свойств поглощающих пластов, как правило, незначительны, во всяком случае уже на небольшом удалении (порядка нескольких сотен метров) от поглощающих скважин не превышают первые метры. Поэтому достоверный прогноз репрессии необходим главным образом для увеличения надежности прогноза устьевых давлений поглощающих скважин при эксплуатационной закачке в них протомстоков, т.к. эти давления регламентируются допустимыми значениями.

Выполнение такого прогноза на расчетный срок эксплуатации полигона при наличии достоверной величины пластовой репрессии на конец этого срока и опытных данных об устьевых давлениях, обеспечивающих заданный дебит закачки, не должно составлять трудности, поскольку итог прогноза достигается простым суммированием расчетной пластовой репрессии и достигнутого в опыте устьевого давления. Однако трудности все же возникают. Во-первых, часто неправильно определяются фильтрационные параметры (в частности, из-за того, что для этого используются результаты одиночных закачек) и, во-вторых, в опытах не всегда достигаются проектные дебиты закачек.

Последнее приводит к тому, что устьевые давления без учета роста репрессии во времени за счет неустановившегося режима фильтрации определяются не опытным путем, а экстраполяцией давлений, обеспечивающих небольшие фактические дебиты опытных закачек на более высокие проектные дебиты. Между тем такой прием вряд ли правомерен. При экстраполяции принимается условие — зависимость между устьевым давлением и дебитом аппроксимируется прямой линией, однако это далеко не всегда соответствует действительности. Скорее, наоборот, прямолинейность чаще не сохраняется, поскольку при значительном увеличении дебита и соответственно скорости закачиваемой жидкости гидравлические сопротивления скважин возрастают непропорционально этому увеличению. Кроме того, прямолинейность может нарушаться в связи с гидроразрывом поглощающего пласта-коллектора, который далеко не всегда можно спрогнозировать. В силу

указанных причин предугадать угол, на который изменит направление прямая линия графика зависимости давления от дебита и вектор этого направления, невозможно. Следовательно, и использовать метод экстраполяции для определения устьевых давлений при более высоких дебитах, чем достигнуты в опытах, тоже нельзя, как соответственно нельзя надежно обосновать таким способом возможность достижения более высоких проектных дебитов. Единственным во всех отношениях безукоризненным способом их обоснования являются результаты представительных по продолжительности опытных закачек, выполненных с дебитами, соответствующими проектным.

Одиночные закачки почти всегда на углеводородных месторождениях выполняются на разных режимах по дебиту. Причем нередко количество этих режимов достигает 5–10 и не только на разведываемых участках ППЗ, но и на эксплуатируемых, на которых уже установлена приемистость скважин, что исключает необходимость их дополнительного изучения на приемистость. Между тем такие разнорежимные закачки существенно усложняют технологию проведения опытов и обработку их результатов, что в итоге может приводить к существенным погрешностям в последних.

По результатам разнорежимных исследований обычно строятся так называемые индикаторные диаграммы, по сути, не дающие ничего для прогнозов захоронения. Авторы этих диаграмм придерживаются другого мнения и с их помощью определяют, например, дополнительные сопротивления поглощающих скважин, обусловленные их несовершенством или скин-эффектом. В данном случае, вероятно, более правильно применять именно последний термин (скин-эффект), так как этим термином обычно обозначают комплексный показатель, учитывающий суммарное дополнительное сопротивление (общий «скачок» давления), обусловленное не только собственно несовершенством скважины (обеспечивающим основную долю сопротивлений и соответственно дополнительных давлений), но и потерями напора при движении закачиваемой жидкости по эксплуатационной колонне скважины.

В связи с этим следует отметить, что многочисленные аналитические способы определения дополнительных сопротивлений за счет несовершенства скважин предложены еще в прошлом столетии весьма авторитетными исследователями (Маскет, Н.Н. Веригин, А.Л. Хейн, Хантуш, Ф.М. Бочеввер и др.). Благодаря их работам стало очевидным, что единственным надежным способом определения суммарного «скачка» уровня (давления) являются кустовые опыты. Все остальные способы, как правило, приводят к получению ориентировочных значений этого параметра. Методика оценки этого «скачка» по результатам кустовых исследований с помощью расчетов или графоаналитическим способом давно известна и изложена в ряде публикаций. Применительно к закачным исследованиям графоаналитический способ (являющийся наиболее удобным и простым) изложен, например, в ра-

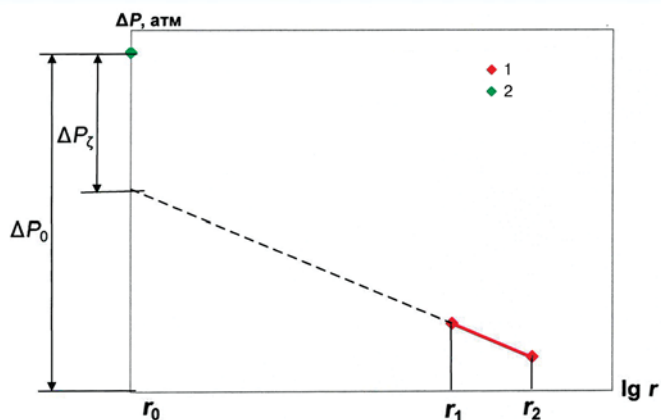


Рис. 1. График $\Delta P - \lg r$: 1 — репрессии в наблюдательных скважинах; 2 — репрессия в возмущающей скважине

боте [3]. На наш взгляд, не будет лишним привести здесь позаимствованный из указанной работы типовой график, построенный в координатах $\Delta P - \lg r$ для того, чтобы с его помощью наглядно показать возможность графоаналитического метода оценки дополнительного «скачка» давления в возмущающей скважине при производстве кустовой закачки (рис. 1).

На оси абсцисс рис. 1 показаны логарифмы расстояний от первой (r_1) и второй (r_2) наблюдательных скважин до возмущающей скважины с радиусом r_0 . Разница между фактической величиной повышения давления в возмущающей скважине ΔP_0 и отрезком на оси ординат, полученным в результате продления прямолинейного тренда повышения давления в наблюдательных скважинах до пересечения с этой осью, характеризует суммарный скачок давления (ΔP_c), обусловленный скин-эффектом.

На многих полигонах, как уже указывалось, существует неоправданная практика определения скин-эффекта по результатам одиночных опытных разнорежимных закачек. Технология этого определения основана на результатах построения вышеупомянутых индикаторных диаграмм. Последние разбиваются на несколько участков, которые аппроксимируются в виде прямых линий. Пересечение этих линий с осью давлений закачки, по мнению авторов диаграмм, характеризует величины дополнительных давлений, обусловленных скин-эффектом скважин при закачке в них промстоков с тем или иным расходом. Однако доказать правомерность такого утверждения авторы не могут, т.к. отрезки на оси давлений характеризуют не дополнительные давления, а начальные ординаты прямых линий, проведенных на индикаторных диаграммах далеко не всегда обосновано, поэтому выбираются участки диаграмм для последующей их линеаризации довольно произвольно. Отрезки, отсекаемые на оси давлений такими прямыми линиями, в некоторых геологических отчетах называются «кажущимися» дополнительными сопротивлениями. Заметим, что в традиционной гидрогеологии [2] «кажущимися» принято называть *ложноквалифицируемые* параметры, что отвечает сути указанных дополнительных сопротивле-

ний, поскольку они в лучшем случае могут только казаться некоторым исследователям таковыми, на самом деле не имея ничего общего с реальными дополнительными давлениями, обусловленными гидравлическими сопротивлениями скважин. Это следует хотя бы из того, что согласно диаграммам указанные отрезки номинально характеризуют давление закачки при отсутствии самой закачки. Чтобы было более понятно, о чем идет речь, обратимся к рис. 2. На нем показана диаграмма, приведенная в одном из отчетов по обоснованию захоронения подтоварных вод, представившихся на экспертизу в ГКЗ. По мнению авторов этого отчета, дополнительное давление за счет скин-эффекта по одному варианту интерпретации диаграммы составляет порядка 30 атм, другому — 45 атм. Как видно из диаграммы, указанным давлениям закачки соответствует нулевой дебит. Но откуда взяться давлению закачки, если самой закачки нет?

Кроме отсутствия теоретического обоснования изложенного способа определения дополнительных давлений, его абсурдность подтверждается и фактическим опытом закачек, потому что всегда закачки осуществляются при устьевом давлении на устье поглощающей скважины значительно большем того, которое может быть получено расчетом при суммировании установленного с помощью индикаторных диаграмм «кажущегося» дополнительного давления и прогнозной пластовой репрессии. Почему-то авторы представляемых в ГКЗ отчетов по обоснованию подземного захоронения промстоков на месторождения углеводородов не обращают внимание на указанный обстоятельство и с упорством, достойным лучшего применения, продолжают определять по результатам одиночных закачек, выполненных на разных режимах, якобы дополнительные давления закачки, обусловленные скин-эффектом.

Но не только последний в ряде случаев определяется по результатам одиночных разнорежимных закачек. На государственную экспертизу представляются отчетные материалы, в которых по данным таких закачек установлены, например, «коэффициенты ствола

скважины», «подвижности», «радиуса исследования», «радиуса дренирования» и другие не менее экзотические параметры, которые в прогнозных расчетах не используются. В связи с этим возникает закономерный вопрос, зачем они вообще определяются и приводятся в отчетах, засоряя их ненужной информацией сомнительного качества?

Все перечисленные выше недостатки определения гидрогеологических параметров обусловлены в основном тем, что эти определения базируются на результатах одиночных закачек. Однако нередки случаи, когда недостоверные параметры определяются и по результатам кустовых ОФР из-за того, что, во-первых, последние выполняются с методическими нарушениями (недостаточная длительность исследований, несоблюдение требуемого количества и качества замеров уровня и дебита, неучет включений/выключений незадействованных в опыте соседних эксплуатационных скважин и т.п.), во-вторых, из-за того, что допускаются технические ошибки при обработке результатов этих ОФР. Рассмотрим наиболее характерные из них.

Общеизвестно, что одним из самых надежных представительных и поэтому наиболее часто используемых методов интерпретации результатов ОФР для определения основных гидрогеологических параметров пластов-коллекторов является графоаналитический метод. Способы интерпретации (временное, площадное, комбинированное прослеживание изменения уровня подземных вод в процессе возмущения пласта) досконально разработаны и достаточно легко реализуются на практике. При обосновании подземного захоронения промстоков в большинстве случаев используются временные графики, поскольку площадные и комбинированные графики не удается построить из-за ограниченного количества скважин, используемых на полигонах для проведения опытных закачек (обычно не более 2 скважин).

Для получения гидрогеологических параметров пласта по временным графикам, как известно, должны использоваться угловые коэффициенты (C_1) и начальные ординаты (A_1) прямых линий, которыми аппроксимируются асимптотические участки указанных графиков. Однако нередко вместо этих коэффициентов, характеризующих прямолинейные протяженные участки временных полулогарифмических графиков, используются коэффициенты, найденные при обработке весьма ограниченных участков по фактическим точкам замеров уровня. Причем принимаются в расчет соседние точки, полученные в конце наблюдений, когда различия в значениях замера уровня

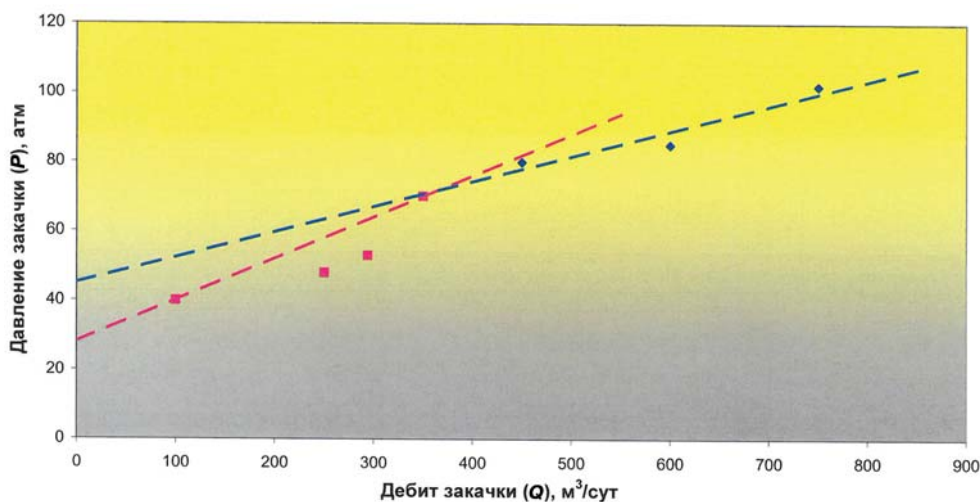


Рис. 2. Индикаторная диаграмма

ничтожны, что обуславливает мизерный уклон графика и соответственно столь же мизерный угловой коэффициент C_t . В результате коэффициент водопроницаемости исследуемого пласта получается завышенным (поскольку он обратно пропорционален C_t) по сравнению с тем, который должен был быть получен в случае использования истинного более высокого значения C_t , характеризующего действительный уклон представительного прямолинейного участка временного графика.

С помощью такого нехитрого и явно неправомерно-го приема можно получить (и в ряде случаев некоторые интерпретаторы получают даже по результатам одиночных закачек) коэффициенты водопроницаемости, сопоставимые с таковыми, установленными по результатам кустовых закачек, чего достичь на самом деле невозможно по изложенным выше причинам. Разнообразные ухищрения (типа выше охарактеризованного приема искусственного уменьшения углового коэффициента временного графика), предпринимаемые с целью получения завышенных значений водопроницаемости поглощающих пластов, конечно, не могут считаться правомерными и поэтому только затрудняют прохождение отчетов в ГКЗ.

На наш взгляд, следует обратить внимание еще на один момент, при неучете которого, могут быть получены недостоверные значения водопроницаемости пластов-коллекторов, даже несмотря на высокую представительность выполненных ОФР. Речь идет о маловероятной технической ошибке при определении коэффициента водопроницаемости графоаналитическим методом. Эта ошибка допускается довольно часто. 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 водопроницаемости графоаналитическим методом размерность этого параметра зависит только от размерности дебита [1, 4]. Между тем это не так. Если построить по одним и тем же фактическим данным два графика в координатах $\Delta P - \lg t$, 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 C 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 водопроницаемости (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, т.к. угловой коэффициент в таком случае тоже будет измеряться в метрах и, следовательно, при дебите закачки (Q) в $m^3/сут$ водопроницаемость по известной зависимости $km = 0,183 Q/C$ получится в $m^2/сут$, в отличие от непонятной размерности этого параметра по графику с осью ординат в атмосферах.

Если по каким-то причинам необходимо построить графики с размерностью репрессии в атмосферах, то для получения истинного значения km в зависимости от которой он определяется $km = 0,183 Q/C$ следует вводить уменьшающий коэффициент 1/10. Но более правильно, на наш взгляд (во всяком случае, в плане получения соответствующей физическому смыслу km размерности), заранее переводить атмосферы в метры и соответственно строить график с осью Y (репрессий) в метрах. Это позволит избежать грубой технической ошибки и установить достоверный коэффициент водопроницаемости исследуемого пласта.

Можно указать еще на один довольно распространенный недостаток, который допускается при обработке результатов кустовых закачек. Этим недостатком является неучет наследства закачки при обработке результатов восстановления (снижения) уровня (давления) после прекращения опытных кустовых закачек с более или менее постоянным дебитом. На необходимость учета наследства закачки (откачки) при реализации указанного способа обращается внимание практически во всех работах, посвященных методике определения фильтрационных параметров целевых пластов-коллекторов по данным ОФР. При определении параметров поглощающих пластов-коллекторов на полигонах захоронения промышленных стоков об этом часто забывают. Влиянием наследства возмущения пласта можно пренебречь при условии, если $t \leq 0,1 T$, где t — продолжительность восстановления уровня, T — продолжительность закачки (откачки). В силу разных причин (часть из них указана в работе [7]) после прекращения закачек на восстановление уровня требуется гораздо больше времени, чем после откачек, поэтому указанный временной критерий при возмущении пласта закачками почти всегда превышает, т.е. $t > 0,1 T$ и, следовательно, если параметры определяются по временным графикам, то они должны строиться в координатах $\Delta P - \lg \frac{t}{t+T}$, а не $\Delta P - \lg t$.

Игнорирование этого может, согласно [2], привести к существенной погрешности определения коэффициента водопроницаемости.

В представляемых на экспертизу отчетных материалах, посвященных проблематике подземного захоронения, имеются также недостатки, обусловленные необоснованностью количества промстоков, которое якобы необходимо захоранивать, проектных нагрузок на поглощающие скважины и допустимых давлений закачки этих промстоков.

В частности, известны прецеденты, когда, несмотря на то что согласно опытным исследованиям, приемистость поглощающих скважин не может обеспечить без превышения допустимого давления необходимый суммарный дебит закачки (суммарную производительность ППЗ); авторы отчетных материалов пытаются обосновывать такую возможность расчетами, согласно которым приемистость скважин увеличивается за счет дополнительной перфорации поглощающих скважин. Не отрицая такой возможности, заметим, что доказывать это следует не расчетами, а результатами опытов, тем более что согласно приведенным в работе [3] данным не всегда увеличение длины фильтров поглощающих скважин обеспечивает повышение их приемистости. В частности, согласно указанной работе, на ППЗ Игналинской АЭС первоначально планировалось использовать для размещения промстоков два горизонта — кембрийский и вендский. Это «мотивировалось тем, что при закачке стоков в оба горизонта через соответствующим образом оборудованную скважину проводимость этих пластов суммируется, приемистость увеличивается и для закачки всего проектного количества стоков достаточно будет одной скважины» [3]. Однако по результатам разведки участка ППЗ выяснилось, что при оборудовании скважины на два горизонта рабочим служит практически только один из них — кембрийский, поскольку в него через поглощающую скважину поступает 90 % закачиваемых промстоков. Таким образом, стало очевидным, что увеличение длины фильтровой части скважины и вовлечение в эксплуатацию дополнительно к кембрийскому вендского горизонта не приведет к заметному повышению приемистости скважины. Авторы работы [3] объясняют это тем, что имеются значительные различия в физических свойствах промстоков и пластовых вод. Более легкие, чем пластовые воды, промстоки распространяются только в верхнем кембрийском горизонте, а в нижний вендский горизонт в силу своей «легкости» не могут проникнуть. На наш взгляд указанный результат может быть обусловлен тем, что верхний горизонт характеризуется более высокими, чем нижний фильтрационными параметрами, за счет чего закачиваемые в скважину промстоки в первую очередь фильтруются в наиболее проницаемые пласты, а до менее проницаемых просто не доходят. В этой связи нет гарантий и того, что дополнительная перфорация поглощающих скважин, ориентированных на широко используемый в качестве поглощающего в Западной Сибири аптальб-сеноманский водоносный комплекс, в обязательном порядке приведет к увеличению приемистости этих скважин.

В технических заданиях недропользователей в большинстве случаев количество промстоков, которое нужно захоранивать существенно завышается. Делается это «про запас» на тот случай, если объем промстоков вдруг значительно увеличится. При этом в стремлении сэкономить на организации и последующей эксплуатации полигонов недропользователи ограничивают количество поглощающих скважин, что при-

водит к необходимости увеличения нагрузок на эти скважины по расходу закачиваемых в них промстоков. Это, в свою очередь, обуславливает высокие устьевые давления, которые могут превышать давления опрессовки скважин, что чревато нарушением целостности последних и не соблюдением экологической безопасности при эксплуатации ППЗ, т.к. не гарантирует исключение фильтрации промстоков (нередко токсичных) в нецелевые водоносные горизонты, в том числе горизонты питьевых вод.

Давление опрессовки скважин тоже зачастую является проблемным вопросом. На полигонах нефтепромыслов в подавляющем большинстве случаев для закачки промстоков используются не специально пробуренные поглощающие скважины, а переведенные из нефтяного фонда. Обычно они солидного возраста и поэтому не всегда характеризуются хорошим техническим состоянием. При переводе их на целевой пластоколлектор выполняется установка цементных мостов, изолирующих продуктивные на углеводороды горизонты (как правило, они залегают ниже целевых пластов), и последующая перфорация интервалов для закачки подтоварных вод. Все эти операции не способствуют улучшению технического состояния бывших нефтяных скважин, и потому выполнить их опрессовку на нужное давление не всегда удается. Очевидно, что в таких случаях следует ориентироваться на фактически достигнутые давления опрессовки поглощающих скважин и учитывать их при обосновании необходимого для обеспечения проектной производительности полигонов количества этих скважин.

В особую категорию недостатков следует выделить далеко не всегда обоснованное применение методов моделирования геофильтрационных и миграционных процессов при обосновании подземного захоронения промстоков. Согласно справедливому утверждению авторов работы [5], «в эпоху всеобъемлющей компьютеризации численное моделирование превратилось в своего рода символ передового научного подхода, в важнейший показатель качества проведенного исследования». На участках ППЗ моделирование зачастую применяется для обоснования захоронения промстоков даже тогда, когда его эффективность несколько не выше, а иногда даже ниже элементарных аналитических расчетов. Обычно полигоны располагаются на участках с очень несложными геолого-гидрогеологическими условиями (это присуще участкам полигонов на нефте- и газопромыслах, особенно в Западной Сибири) и часто представляют собой простейшую схему, состоящую из 1–2 поглощающих скважин. Моделирование захоронения в таких условиях, согласно работе [3], «абсолютно лишено каких-либо преимуществ перед аналитическими расчетами и выполняет, таким образом, чисто *бутафорскую функцию*». Несмотря на это некоторые исследователи используют моделирование (предположительно в расчете на возможность получения дополнительного денежного вознаграждения) даже тогда, когда разрез участка захоронения изучен только по данным ГИС и экспертным оценкам. При

этом строятся многослойные модели с разными ФЕС пластов, гидравлически связанных или наоборот не связанных с разнообразными граничными условиями и другими параметрами, при нулевой изученности исследуемых участков прямыми методами, т.е. опытно-фильтрационными работами, что, конечно, не может обеспечить достоверность прогноза захоронения. Неуместность и неадекватность применения математического моделирования в подобных случаях, на наш взгляд, совершенно очевидна.

В заключение следует отметить, что автор настоящей статьи очень надеется на то, что она будет принята во внимание специалистами, принимающими участие в работах по обоснованию подземного захоронения промстоков на предназначенных для этого участках недр, и послужит подспорьем при выполнении таких работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биндеман, Н.Н. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод / Н.Н. Биндеман, Л.С. Язвин. — М.: Недра, 1970. — 120 с.

2. Боровский, Б.В. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек / Б.В. Боровский, Б.Г. Самсонов, Л.С. Язвин. — М.: Недра, 1979. — С. 13–33.

3. Гидрогеологические исследования для обоснования подземного захоронения промышленных стоков / Под ред. В.А. Грабовникова. — М.: Недра, 1993. — С. 134, 145–147, 242.

4. Климентов, П.П. Методика гидрогеологических исследований / П.П. Климентов. — М.: Высшая школа, 1989. — 116 с.

5. Ломакин, В.А. Численное моделирование геофильтрации / В.А. Ломакин, В.А. Мироненко, В.М. Шестаков. — М.: Недра, 1988. — С. 3.

6. Логинов, А.А. Проблемы гидрогеологического обоснования подземного захоронения нефтепромысловых стоков на полигонах нефтяных месторождений (по опыту экспертиз отчетных материалов в отделе подземных вод ГКЗ) / А.А. Логинов, Б.М. Зильберштейн, Е.С. Ловчева, А.Ю. Сорокин // Недропользование XXI век. — 2007. — № 3. — С. 13–20.

7. Логинов, А.А. Некоторые аспекты проведения опытно-фильтрационных работ и обработки их результатов с целью обоснования подземного захоронения промстоков / А.А. Логинов // Недропользование XXI. — 2011. — № 4 (29). — С. 18–23.

8. Логинов, А.А. В очередной раз о недостатках обработки результатов ОФР / А.А. Логинов // Недропользование XXI век. — 2013. — № 5 (42). — С. 84–87.

9. Мироненко, В.А. Динамика подземных вод / В.А. Мироненко. — М.: МГГУ, 2001. — С. 55, 69.

© Логинов А.А., 2018

Логинов Александр Андреевич // Login1951@mail.ru

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ

УДК (696.6+628.9 622.143) (075.8)

Лимитовский А.М., Башкуров А.Ю. (МГРИ-РГГРУ)

ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ОБЪЕКТАХ ОСВОЕНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ

*В работе рассмотрены разновидности современного отечественного электротехнического оборудования наиболее приемлемого для условий ведения работ, связанных с освоением объектов минерально-сырьевого комплекса и типовые схемы электроснабжения. Целью работы является поиск разновидностей электротехнического оборудования для ведения работ на объектах минерально-сырьевого комплекса. **Ключевые слова:** централизованная система электроснабжения.*

Limitovskiy A.M., Bashkurov A.Yu. (MGRI-RGGRU)

CENTRALIZED ELECTRICITY SUPPLY SYSTEMS AT THE FACILITIES FOR THE DEVELOPMENT OF MINERAL RESOURCES

*The paper discusses the varieties of modern domestic electrical equipment is most appropriate for the conditions of the work associated with the development of the objects of the mineral complex and a typical supply scheme. The aim of this work is the search for varieties of electrical equipment for doing works on the objects of the mineral complex. **Keywords:** centralized power supply system.*

Традиционно подавляющее большинство предприятий, ведущих работы по освоению минерально-сырьевого комплекса, несмотря на их особенности, связанные часто с территориальной удаленностью от энергосистем и передвижным характером работ, ориентируются на централизованное электроснабжение, обеспечивающее более низкую себестоимость электроэнергии, высокое ее качество и надежность, по сравнению с локальными энергоисточниками.

Централизованная система электроснабжения представляет собой совокупность электростанций, трансформаторных подстанций, линий электропередач и распределительных устройств, где в качестве генераторных систем используются обычно паротурбинные установки, в которых потенциальная энергия пара превращается в кинетическую, а последняя преобразуется в механическую энергию вращения вала генератора.

В настоящее время создано много различных конструкций паровых турбин, которые классифицируются по ряду признаков: числу ступеней, направлению потока (осевые, радиальные), по принципу действия тока (активные, реактивные). Основными узлами паротурбинной установки являются (рис. 1):

— парогенератор (котел или реактор) 1, в котором вода под давлением превращается в пар; — пароперегреватель 2, где температура пара повышается до заданной величины;

— турбина 3;