

УДК 556.38:556.013(571.1)

**ОЦЕНКА ПОГЛОЩАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СЕНОМАНСКОГО
ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТА НА УЧАСТКАХ ЗАКАЧКИ СТОЧНЫХ ВОД
НА ПРИМЕРЕ ЗАПОЛЯРНОГО НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**EVALUATION OF THE ABSORPTION CAPACITY OF THE CENOMANIAN
AQUIFER IN GROUNDS OF WASTEWATER INJECTION ON THE EXAMPLE
OF ZAPOLYARNOYE OIL/GAS-CONDENSATE FIELD**

Р. А. Бабаев, Ю. В. Кравцов, Т. В. Семенова

R. A. Babaev, Y. V. Kravtsov, T. V. Semenova

ООО «ТюменьНИИГазпрогаз», г. Тюмень

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

*Ключевые слова: фильтрационно-емкостные параметры; водоносный горизонт;
закачка сточных вод; опытные нагнетания; кривые восстановления давления;
геофизические исследования скважин*

*Key words: formation reservoir properties; aquifer; wastewater injection; experimental injection;
pressure buildup curve; well logging*

Проблема обезвреживания (утилизации) сточных вод нефтегазодобывающих предприятий крайне актуальна, так как ряд стоков, в частности «подтоварные» воды, образующиеся после сепарации водонефтяной эмульсии, обладают высокой токсичностью и повышенной минерализацией (15–20 г/дм³). Они не могут быть очищены до состояния, делающих их безопасными для сброса в речную сеть. В условиях Севера эта проблема нередко представляется вообще трудноразрешимой. Ставка на традиционные очистные сооружения далеко не всегда оправдывает себя. Объясняется это сложностью эксплуатации этих сооружений в суровых климатических условиях, их невысокой эффективностью, необходимостью отчуждения больших площадей дефицитных земель для их строительства, длительностью строительного процесса и высокой, нередко неадекватной их стоимостью в сравнении с объектами, стоки которых необходимо обезвредить. Кроме того, традиционные очистные сооружения, как правило, загрязняют воздушный бассейн и грунтовые питьевые воды в зоне своего размещения.

Обозначенные выше обстоятельства очень часто приводят к тому, что стоки практически без очистки и обезвреживания (или недостаточно очищенные и обезвреженные) сбрасываются в водоемы, водотоки и на рельеф. В результате ухудшаются атмосфера, гидросфера, растительность и животный мир. Это в конечном счете отрицательно сказывается и на здоровье самого человека.

Ежегодно в исследуемом регионе в природные водные объекты сбрасывается свыше 50 млн м³ сточных вод. Основная часть всех стоков приходится на поверхностные водные объекты — около 40 млн м³ (80 %) [1].

Сжигание промышленных сточных вод на факелах, которое в настоящее время практикуется на нефтепромыслах, наносит экологический урон окружающей среде, так как сопровождается образованием углекислоты, выкристаллизацией растворенных в пластовой воде солей, выбрасываемых в атмосферу и затем осаждающихся на поверхности земли. При этом происходит также выжигание кислорода, содержание которого в атмосфере Севера и так понижено. Кроме этого, применяемые в промышленных масштабах методы очистки и установки по сжиганию не обеспечивают степень очистки от загрязнений и ликвидацию значительных объемов сточных вод.

В настоящее время на нефтегазовых месторождениях севера Западной Сибири широко практикуется захоронение сточных вод в недра, что предотвращает за-

грязнение земной поверхности, открытых водоемов и пресных подземных вод. В Ямало-Ненецком нефтегазодобывающем регионе, являющимся основным газодобывающим регионом страны, захоронение сточных вод выступает самостоятельной отраслью при разработке газовых месторождений и составной частью технологического процесса при добыче нефти. К настоящему времени здесь обустроено 57 полигонов захоронения [2].

Подземное захоронение на нефтегазоконденсатных месторождениях ЯНАО осуществляется в подстилающий газовую залежь сеноманский водоносный горизонт, а участки захоронения находятся внутри контура газоносности месторождений. На всех месторождениях региона основным объектом разработки является газовая залежь, залегающая в интервале глубин 850–1 300 м в массивном резервуаре песчаных сеноманских отложений. Покрышкой газовой залежи служат глины верхнего мела и палеогена. Подстилается газовая залежь мощной водонапорной системой песчаных отложений сеномана, альба, в которую и производится захоронение стоков на глубину 990–1 600 м (чаще 1 100–1 400) [3].

Высокие коллекторские свойства песчаных пород (пористость 25–30 %, проницаемость не менее $0,5 \text{ мД}$) обеспечивают высокую приемистость скважин, составляющую при опытных нагнетаниях от 600 до 2 400 $\text{м}^3/\text{сутки}$ технической воды при устьевом давлении 0,2–0,6 МПа. Поглощающий горизонт надежно изолирован от межмерзлотных, надмерзлотных водоносных горизонтов и открытых водоемов сеноманской газовой залежью, развитым над ней региональным глинистым экраном, толщиной многолетнемерзлых пород (ММП) мощностью 420 м. Закачка (захоронение) стоков в недра производится в специальные поглощающие скважины. Использование зоны депрессионной воронки газовых месторождений для закачки стоков позволяет закачивать значительные объемы стоков, не опасаясь роста пластового давления.

Система захоронения промышленных сточных вод включает в себя нагнетательные (поглощающие) скважины. Конструкция скважин почти однотипная: удлиненное направление (от 110 до 550 м) диаметром 324 мм, кондуктор диаметром 245 мм (иногда 219 мм), опущенный на глубину до 600 м (чаще 550 м), и эксплуатационная колонна 168 мм диаметром (реже 219 и 146 мм) на всю длину ствола. Все колонны зацементированы на всю длину. Сцепление цемента с эксплуатационной колонной на 50–60 % от ее длины характеризуется как хорошее и частичное. Закачка стоков осуществляется насосно-компрессорными трубами (НКТ) диаметром от 89 до 114 мм. Устья скважин оборудованы колонными головками и фонтанной арматурой [2].

Закачиваемые стоки по химическому составу хлоридные натриевые. Они маломинерализованные, величина минерализации стоков обычно до 1 г/дм^3 , редко до $5\text{--}7 \text{ г/дм}^3$, плотность около 1 г/см^3 . Содержание (мг/дм^3) взвешенных частиц не более 130 (чаще 20–35), железа до 40, йода до 2, брома до 8, нефтепродуктов до 75 (чаще 5–30). Содержание метанола и диэтиленгликоля в стоках высокое [1].

Перед закачкой в недра сточные воды проходят водоподготовку, которая включает в себя их предварительное отстаивание, фильтрационное удаление твердых взвешенных частиц и взвеси, удаление плавающих нефтепродуктов (на нефтеловушках).

Одной из важнейших задач на этапе проектирования захоронения сточных вод в поглощающие горизонты является оценка фильтрационно-емкостных параметров поглощающего горизонта. На основании данных параметров осуществляется обоснование границ участков закачки, определяется количество нагнетательных скважин и их конструкция, дается прогноз повышения пластового давления в пласте-коллекторе за весь период функционирования участка закачки при проектных объемах закачиваемой воды.

Оценка основных параметров закачки сточных вод в подземный коллектор выполняется в основном на стадии геологоразведочных работ или на стадии опытно-

промышленной эксплуатации. По результатам оценочных работ комиссия по запасам подземных вод при территориальных управлениях по недропользованию «Ямалнедра» производит государственную геологическую экспертизу и утверждение заявленных для закачки в пласт-коллектор объемов сточных вод или жидких отходов производств. При этом чем полнее и точнее определены фильтрационные (коэффициенты фильтрации) и гидродинамические (коэффициенты пьезопроводности) параметры, тем достовернее прогноз реальной емкости пласта-коллектора и его гидродинамической реакции на закачиваемые сточные воды.

Определение выше перечисленных параметров обычно выполнялось тремя методами:

- по интерпретации данных геофизических исследований в скважинах (ГИС) поисково-разведочных и поглощающих скважин;
- по данным пробных откачек и нагнетаний с последующим отслеживанием восстановления уровня воды в скважине (метод кривой восстановления давления (КВД));
- по данным опытных кустовых нагнетаний.

В качестве примера авторами статьи приводятся данные оценки фильтрационных и гидродинамических параметров по участкам закачки УКПГ-1С, УКПГ-2С и УКПГ-3С Заполярного нефтегазоконденсатного месторождения.

Для определения коэффициента пористости (K_n) в интервалах залегания сеноманских отложений использованы алгоритмы расчета по данным поляризации самопроизвольной (ПС) и методов электрометрии. С целью оценки достоверности и точности определяемой величины коэффициента пористости (K_n), авторами статьи выполнено сопоставление данного коэффициента, полученного различными способами, с коэффициентами пористости, определенными по керну. Для расчета была использована регрессионная зависимость коэффициентов проницаемости ($K_{пр}$) от пористости (K_n).

С целью определения основных фильтрационных и гидродинамических параметров по данным восстановления давления (после опытных откачек и нагнетаний) построены графики КВД (рис. 1).

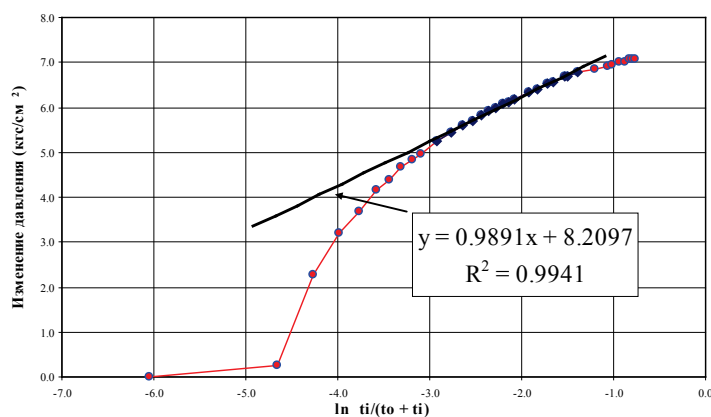


Рис. 1. Обработка кривой восстановления после откачки

Начальные криволинейные участки КВД отражают значительное влияние несовершенства скважин, поэтому данные участки кривых для расчета параметров не использовались (см. рис. 1). Для определения параметров авторами использовался второй участок кривой, где выбирались отрезки близкие к прямой линии.

По результатам опытных кустовых нагнетаний на УКПГ-1С и УКПГ-2С построены графики зависимости изменения давления $S(\Delta P)$ от расстояния между

скважинами ($\lg r$), по которым рассчитывались значения водопроводимости (формула Дюпюи для стационарного режима) и пьезопроводности (для нестационарного режима) (рис. 2). Расчеты коэффициентов водопроводимости (km) и пьезопроводности проводились по формулам

$$km = \frac{0,366 Q_{cp}}{Cr},$$

где km — коэффициент водопроводимости, $m^2/сут$; Q_{cp} — средний расход нагнетания, $m^3/сут$; C_r — угловой коэффициент;

$$\lg a = \frac{5,47 km \cdot S}{Q} \lg \frac{(2,25t)}{r^2},$$

где a — коэффициент пьезопроводности, $m^2/сут$; S — повышение уровня в скважине, m ; t — время нагнетания, $сут$; r — расстояние между скважинами, m .

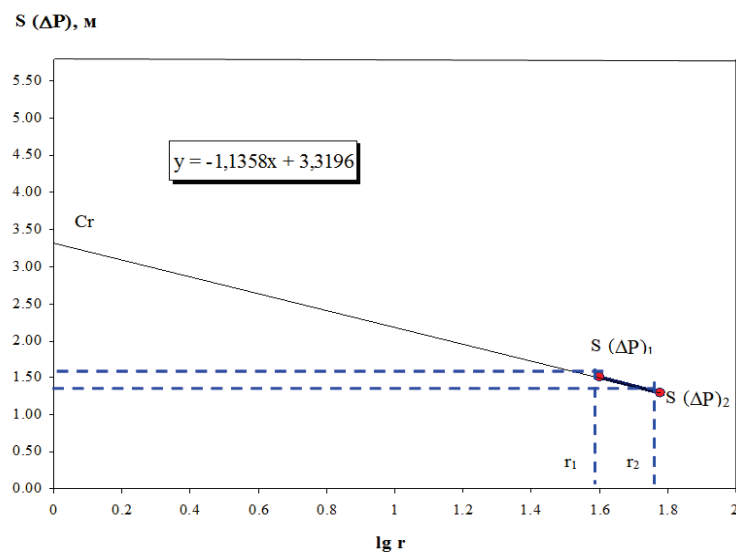


Рис. 2. Обработка данных опытных нагнетаний

Фильтрационные параметры коэффициентов проницаемости ($K_{пр}$), фильтрации (K_f) и водопроводимости (k_m), полученных по данным обработки КВД после кратковременных откачек и нагнетаний (таблица), получают заниженными в 2–3 раза относительно значений, полученных по данным опытных кустовых нагнетаний и полученных по данным ГИС. Это объясняется кратковременностью опыта, который, как правило, длится не более 3–5 часов и большими фильтрационными сопротивлениями прифилтрового пространства скважин. Также значительную роль играет и тот факт, что опыт по восстановлению давления после откачки или нагнетания проводится на фоне разработки газовой залежи, в процессе которой происходит падение пластового давления со скоростью 0,2–0,4 см/час.

При геологической экспертизе материалов гидрогеологических исследований участков закачки сточных вод предпочтение отдается результатам опытных кустовых нагнетаний при достаточных объемах нагнетания (не меньше проектных) и их достаточной длительности, не менее 3–5 суток. При этом следует отметить, что в условиях разработки газовой залежи при постоянном и часто неравномерном падении давления пласта для оценки фильтрационных параметров коэффициента водопроводимости следует использовать формулы стационарного движения с

фиксированными значениями повышения напора в наблюдательных скважинах и фильтрационных сопротивлений в опытных и наблюдательных скважинах (формулы Дюпюи для напорного пласта).

*Результаты определения фильтрационных и гидродинамических параметров
различными методами на участках закачки УКПГ-1С, УКПГ-2С, УКПГ-3С
Заполярного нефтегазоконденсатного месторождения*

Наименование параметра	Вид исследования	Поглощающие скважины УКПГ-1С			Средние значения	Поглощающие скважины УКПГ-2С			Средние значения	Поглощающие скважины УКПГ-3С			Средние значения
		13-П	14-П	15-П		21-П	22-П	23-П		31-НГ	31-П	32-П	
Коэффициент пористости, доли единиц (K_D)	ГИС	0,33	0,3	0,29	0,3	0,25	0,30	0,32	0,29	0,33	0,32	0,29	0,31
Коэффициент проницаемости, мкд^2 (K_F)	ГИС	0,63	0,6	–	0,62	–	–	1,26	1,26	0,75	0,39	0,26	0,47
	Пробные откачки	–	–	–	–	0,18	0,55	0,12	0,28	0,21	0,10	0,17	0,16
	Пробные нагнетания	–	–	–	–	0,18	0,63	0,38	0,39	0,04	0,10	0,45	0,20
Коэффициент фильтрации, $\text{м}^3/\text{сут}$ (K_F)	ГИС	0,66	0,63	–	0,65	–	–	1,42	1,42	0,79	0,40	0,26	0,48
	Пробные откачки	–	–	–	–	0,19	0,56	0,14	0,30	0,22	0,11	0,17	0,17
	Пробные нагнетания	–	–	–	–	0,19	0,65	0,43	0,42	0,04	0,11	0,45	0,20
Коэффициент водопроводимости, $\text{м}^2/\text{сут}$ (k_p)	ГИС	48,8	40,3	–	43,82	–	–	93,60	71,28	58,50	31,50	16,79	35,50
	Пробные откачки	–	–	–	–	–	23,4	9,2	–	6,32	2,70	5,48	4,83
	Пробные нагнетания	–	–	–	–	8,47	26,06	28,73	21,08	2,97	8,70	28,94	14,5
	Опытные кустовые нагнетания	–	33,45	33,4	33,45	–	48,2	48,2	48,2	–	–	–	–
	Опытные кустовые нагнетания	–	33,45	33,4	33,45	–	48,2	48,2	48,2	–	–	–	–
Коэффициент пьезопроводности, $\text{м}^2/\text{сут}$	ГИС	$2,84 \cdot 10^5$	$2,86 \cdot 10^5$	–	$2,05 \cdot 10^5$	–	$1,62 \cdot 10^5$	$5,79 \cdot 10^5$	$3,89 \cdot 10^5$	$3,89 \cdot 10^5$	$1,79 \cdot 10^5$	$1,26 \cdot 10^5$	$2,19 \cdot 10^5$
	Пробные откачки	$5,47 \cdot 10^4$	$4,22 \cdot 10^4$	$2,59 \cdot 10^4$	$4,09 \cdot 10^4$	$8,69 \cdot 10^4$	$2,26 \cdot 10^5$	$5,92 \cdot 10^4$	$1,24 \cdot 10^5$	$9,41 \cdot 10^4$	$4,79 \cdot 10^4$	$7,93 \cdot 10^4$	$7,38 \cdot 10^4$
	Пробные нагнетания	–	–	–	–	$8,69 \cdot 10^4$	$2,63 \cdot 10^5$	$1,79 \cdot 10^5$	$1,77 \cdot 10^5$	$1,81 \cdot 10^4$	$4,77 \cdot 10^4$	$2,06 \cdot 10^5$	$9,06 \cdot 10^4$
	Опытные кустовые нагнетания	–	$5,66 \cdot 10^3$	$5,66 \cdot 10^3$	$5,66 \cdot 10^3$	–	$1,54 \cdot 10^5$	$1,54 \cdot 10^5$	$1,54 \cdot 10^5$	–	–	–	–
	Опытные кустовые нагнетания	–	$5,66 \cdot 10^3$	$5,66 \cdot 10^3$	$5,66 \cdot 10^3$	–	$1,54 \cdot 10^5$	$1,54 \cdot 10^5$	$1,54 \cdot 10^5$	–	–	–	–

Данные результатов ГИС для водонасыщенной части сеноманского водоносного горизонта дают достаточно полную среднестатистическую картину фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) коллекторов, но тем не менее они должны быть подтверждены результатами представительных опытно-фильтрационных работ (опытных кустовых нагнетаний), что особенно важно на стадии геологоразведочных работ на объектах закачки сточных вод.

Окончательная оценка поглощающей способности коллекторов для захоронения сточных вод дается на стадии опытно-промышленной эксплуатации нагнетательных скважин, в условиях которой проводятся и кустовые нагнетания, особенно в периоды закачки максимальных объемов сточных вод (при накоплении ливневых вод, промывочных вод при поршневании трубопроводов и др.)

Это позволяет корректировать режим закачки в процессе промышленной эксплуатации нагнетательных скважин и при необходимости обосновать изменение объемов закачки сточных вод в сторону их увеличения или уменьшения, что достаточно часто случается на практике.

Метод обезвреживания промышленных стоков путем захоронения их в глубокие поглощающие горизонты в настоящее время является наиболее рациональным.

Подземное захоронение этих стоков является важным природоохранным мероприятием.

Способ подземного захоронения (закачка через поглощающие скважины) сточных вод имеет ряд преимуществ перед обычными методами их удаления:

- возможность надежного и безопасного (по санитарным требованиям) захоронения, исключающего сброс стоков в поверхностные водоемы и водотоки;
- отсутствие необходимости в тщательной очистке и обезвреживании стоков;
- относительно невысокая (во многих случаях) стоимость удаления отходов.

Только применение метода подземного захоронения сточных вод обеспечит охрану водоемов от их загрязнения. Многие исследователи с этим согласны. Можно с уверенностью сказать, что захоронение сточных вод в Ямало-Ненецком нефтегазодобывающем регионе в настоящее время является наиболее экологически безопасным методом их обезвреживания [1].

Список литературы

1. Бешенцев В. А., Семенова Т. В. Захоронение сточных вод на нефтепромыслах Западной Сибири // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2014. – № 5. – С. 6–10.
2. Бешенцева О. Г., Ильченко В. П., Матусевич В. М. Мировой и отечественный опыт подземного захоронения сточных вод // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2000. – № 2. – С. 4–9.
3. Бешенцев В. А., Семенова Т. В., Павлова Е. И. Гидрогеологические условия захоронения сточных вод на территории Ямало-Ненецкого нефтегазодобывающего региона. Материалы II Всероссийской научно-практической конференции. – Екатеринбург: Изд-во УГТУ. – 2013. – С. 13–16.

Сведения об авторах

Бабаяев Роман Алигедарович, ООО «ТюменНИИгипрогаз», научный сотрудник, тел. 8(3452)286668, e-mail: gidrogeo@tngg.ru

Кравцов Юрий Васильевич, к. г.-м. н., доцент кафедры геологии месторождений нефти и газа, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)286009, e-mail: gidrogeo@tngg.ru

Семенова Татьяна Владимировна, к. г.-м. н., доцент кафедры геологии месторождений нефти и газа, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)390346, e-mail: t_v_semenova@list.ru

Information about the authors

Babaev R. A., Researcher at LLC «TyumenNIIGiprgaz», phone: 8(3452)286668, e-mail: gidrogeo@tngg.ru

Kravtsov Yu. V., Candidate of Geology and Mineralogy, Associate Professor at the Department of Geology of Oil and Gas Fields, Industrial University of Tyumen, phone: 8(3452)286009, e-mail: gidrogeo@tngg.ru

Semenova T. A., Candidate of Geology and Mineralogy, Associate Professor at the Department of Geology of Oil and Gas Fields, Industrial University of Tyumen, phone: 8(3452)390346, e-mail: t_v_semenova@list.ru

УДК 550.8

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

PROSPECTS OF DEVELOPING TECHNOLOGIES OF COMPREHENSIVE EXPLOITATION OF MINERAL RESOURCES IN WESTERN SIBERIA

Р. М. Бембель, Гао Ян, Мяо Юй Фэн, И. А. Щетинин

R. M. Bembel, Gao Yang, Miao Yu Feng, I. A. Schetinin

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Ключевые слова: геосолитоны; поиск и разведка твердых полезных ископаемых; радиоактивные и редкоземельные элементы

Key words: geosoliton; prospecting and exploration of solid commercial minerals; radioactive and rear-earth elements

Геологоразведка и разработка различных типов месторождений полезных ископаемых в Сибири и в Китае убедительно показали, что богатейшие из них, как правило, связаны с локальными очагами геосолитонной дегазации вещества и энергии из глубинных геосфер Земли. Малоразмерные по площади, но аномально геотектонически активные субвертикальные зоны деструкции горных пород на платформах, в геосинклиналях и в переходных тектонических поясах между ними,