



УДК 553. 98+556. 33+556. 383+571. 53

Зона свободного водообмена Верхнечонского нефтегазоконденсатного месторождения в начале этапа промышленной эксплуатации

Б. М. Шенькман (bshenk@crust.irk.ru)

Аннотация. Изучена степень защищенности зоны свободного водообмена (ЗСВ) от техногенных источников загрязнения. Установлена ее уязвимость со стороны поверхностных и подземных источников загрязнения. Степень поражения ЗСВ охарактеризована на примере распространения и развития хлоридного загрязнения в процессе поисково-разведочных работ и в начале этапа промышленной эксплуатации. Сформулирован прогноз наиболее вероятного развития техногенного воздействия на ЗСВ.

Ключевые слова: зона свободного водообмена, защитная зона, источники загрязнения, уязвимость подземных вод, хлоридное загрязнение.

Введение

В пределах Непского свода Сибирской платформы открыты и в разной степени разведаны 8 нефтегазоконденсатных месторождений с общим достигнутым потенциалом 500 млн т, позволяющим довести ежегодную добычу нефти до 20 млн т [4]. Верхнечонское месторождение среди них является уникальным по извлекаемым запасам и единственным, на котором к 2013 г. добыча достигла 10 млн т, т. е. 50 % от потенциально возможного годового извлечения. Его эксплуатация происходит в режиме искусственного поддержания пластового давления (ППД) методом заводнения продуктивного горизонта. Безальтернативным источником для ППД и иных нужд являются подземные воды зоны свободного водообмена (ЗСВ), большая часть ресурсов которых формируется в контуре горного отвода месторождения [7]. Это обстоятельство ставит качественное благополучие ЗСВ в прямую зависимость от нефтедобывающего комплекса. Степень этой зависимости специально не изучалась. Оценка основана на косвенных данных, полученных при проведении: поисково-разведочного этапа (гидроскважины); среднемасштабной гидрогеологической съемки (1991 г.), не завершенной до конца; ОВОС обустройства месторождения; разведки подземных вод (2004–2006 гг.); рекогносцировочных работ по программе Верхнеленского ТПК [5] (1989 г.) и режимных наблюдений за состоянием многолетнемерзлых пород (ММП) на площадке нефтедобычи (2009–2010 гг.). Анализ и обобщение этих материалов позволяют в первом приближении оценить ретроспективное, теку-

щее и прогнозное состояние ЗСВ. Такой пионерный подход может оказаться полезным и для других месторождений Непского свода, впервые нарушивших естественное состояние таежной территории. В статье опускается описание геологического строения и гидрогеологических условий месторождения, подробно рассмотренных ранее [6; 7]. Что же касается геокриологических условий, то они представлены в более детализованном виде.

Геокриологические условия

В границе лицензионного отвода распространена островная мерзлота двух видов. На участке выхода пород литвинцевской свиты ($C_{1-2}lt$) на поверхность земли мощность ММП равна 100–200 м, и она является сплошной, хотя и расчленяется зоной тектонического дробления (сквозной талик) на лево- и правобережный блоки, которые в свою очередь рассекаются русловыми сквозными таликами притоков р. Чоны (реки Нельтошка, Хомдек и Душун-Оегу). К периферии блоки сплошной ММП постепенно утончаются до 20–30 м. Второй вид ММП – линейные тела мощностью до 30–50 м, залегающие в днищах долин притоков р. Чоны между сквозным русловым таликом и основанием коренного склона (рис. 1). Междуречья, за малым исключением, свободны от мерзлоты. Заслуживает внимания одно важное обстоятельство: многолетняя мерзлота является высокотемпературной (до $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$). Таковы основные природные предпосылки, в значительной степени определяющие защитные свойства, которыми обладает ЗСВ со стороны поверхностных источников воздействия. Как следует из приведенных выше оценок, защитная зона ЗСВ отличается крайней пространственной неоднородностью, на что остро отреагировала зона полного насыщения ЗСВ.

Зона свободного водообмена

Наибольшее развитие ЗСВ отмечается в пределах Приленской и Ербогаченской моноклиналей, где ее мощность достигает 100–150 м. Здесь зона сложена породами укугутской (J_{1uk}) и верхоленской свит ($C_{1-2}vl$). На участке распространения литвинцевской свиты ее мощность едва достигает 15–20 м, а на локальных участках существует даже временное смыкание ММП с сезонной мерзлотой. Нижняя граница ЗСВ установлена на основании двух главных показателей – коэффициента фильтрации и химического состава воды. Зональные опытно-фильтрационные работы (ОФР) показали, что водообильность верхоленского комплекса значима до глубины 70–80 м. Ниже этого интервала коэффициент фильтрации уменьшается на 1–2 порядка. В качестве примера в табл. 1 помещены результаты ОФР, проведенных на правобережье р. Чоны. Подобного рода снижение проницаемости прослеживается повсеместно вне зависимости от величины коэффициента фильтрации в интервале преимущественного водопритока.

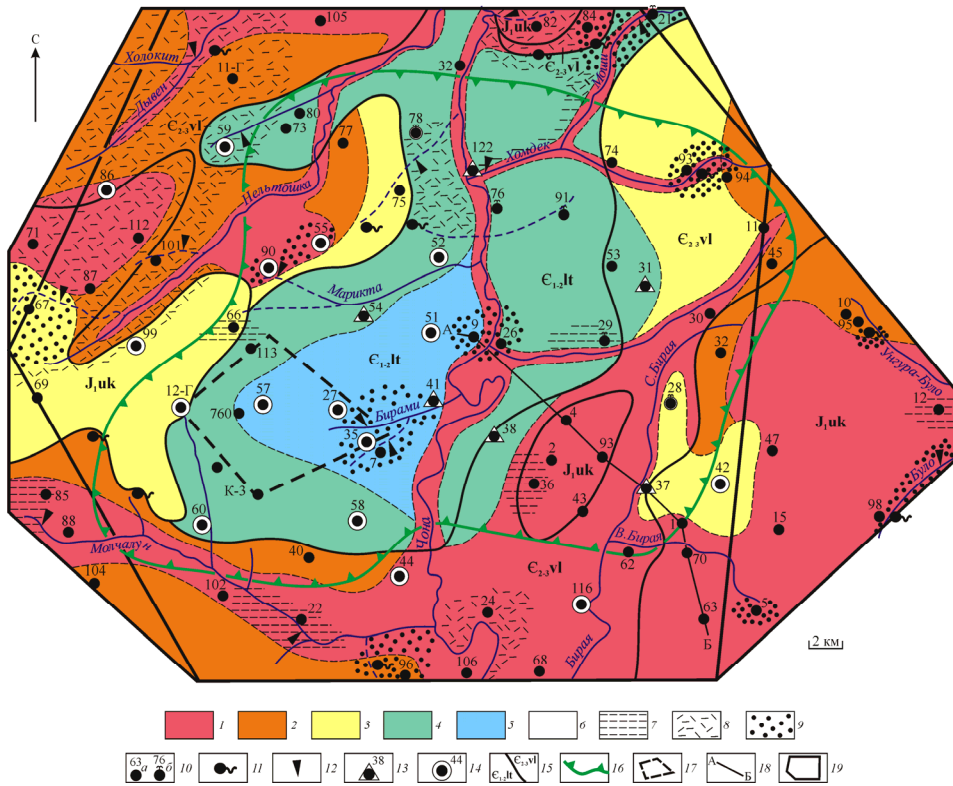


Рис. 1. Геокириологические условия и загрязнение хлоридами поверхностных и подземных вод зоны свободного водообмена

1–5: мощность многолетнемерзлых пород, м: 1 – 0–25; 2 – 25–50; 3 – 50–100; 4 – 100–150; 5 – более 150; 6–9: содержание хлора в природных водах, мг/л: 6 – менее 50; 7 – 50–100; 8 – 100–200; 9 – более 200; 10–11: водопункты: 10 – скважина (а), скважина фонтанирующая (б), цифра – номер по первоисточнику; 11 – родник, пластовый выход, мочажина, заболоченность; 12 – место отбора пробы воды из ручья, временного водотока, реки; 13 – разведочная скважина глубокого бурения, в которой выполнена дискретная термометрия; 14 – законсервированная скважина, вскрывшая нефтепродуктивный горизонт; 15 – стратиграфическая граница; 16 – граница траппового силла в породах ангарской свиты нижнего кембрия (E₃, an); 17 – площадка современной добычи нефти; 18 – линия геокириологического разреза; 19 – граница горного отвода

Химический состав подземных вод относится к смешанному типу с преобладанием гидрокарбонатов или сульфатов. Что же касается минерализации, то в большинстве доминируют пресные воды. Вместе с тем соотношение между ЗСВ и зоной пресных вод (ЗПВ) представляется достаточно сложным. В поле распространения больших мощностей ММП, где развиты надмерзлотные воды, они полностью совмещаются. Межмерзлотные воды отсутствуют, а подмерзлотные имеют минерализацию 3–5 г/дм³. На площадях без ММП или с присутствием ее в долиной форме наблюдаются три соотношения: ЗСВ = ЗПВ, ЗСВ > ЗПВ и ЗСВ < ЗПВ. Преобладание того или иного соотношения зависит, по-видимому, от

двух факторов – пространственной изменчивости загипсованности пород и геоморфологического положения участка. Значительное снижение ЗПВ происходит в днищах долин и основании склонов. На междуречьях, где загипсованность ЗСВ пониженная, мощность ЗПВ в два раза превышает ЗСВ (Бирая-Ньюйское междуречье). При сильной загипсованности ЗПВ утончается до 50 м, что почти в два раза меньше ЗСВ (рис. 2).

Таблица 1

Результаты опытно-фильтрационных работ *

Скважина	Интервал опробования, м	Статический уровень, м	Дебит, л/с	Понижение уровня, м	Удельный дебит, л/с	Коэффициент фильтрации, м/сут	Минерализация воды, г/дм ³
1-Г	33–85	32,46	12,70	0,16	>13,0	47,10	0,62
	72–150	32,25	0,54	10,70	0,05	0,60	1,18
25-Г	27–70	27,16	5,41	5,70	1,53	3,40	0,62
	77–150	28,30	0,57	3,64	0,16	0,30	0,83
30-Г	27–62	27,40	10,00	3,90	2,56	6,10	1,27
	62–150	27,40	0,16	30,60	0,005	0,03	1,95
К-4-1	26–53	25,90	2,90	2,60	1,12	5,00	0,48
	53–150	26,20	0,93	43,00	0,02	0,05	0,50
63-Г	15–73	3,10	3,01	7,51	0,40	0,90	0,30
	68–150	7,80	0,25	57,10	0,004	0,06	0,35

* – точность измерений: уровень воды и его понижение – до 0,01 м; дебит в зависимости от его величины – от 0,01 до 0,1 л/с

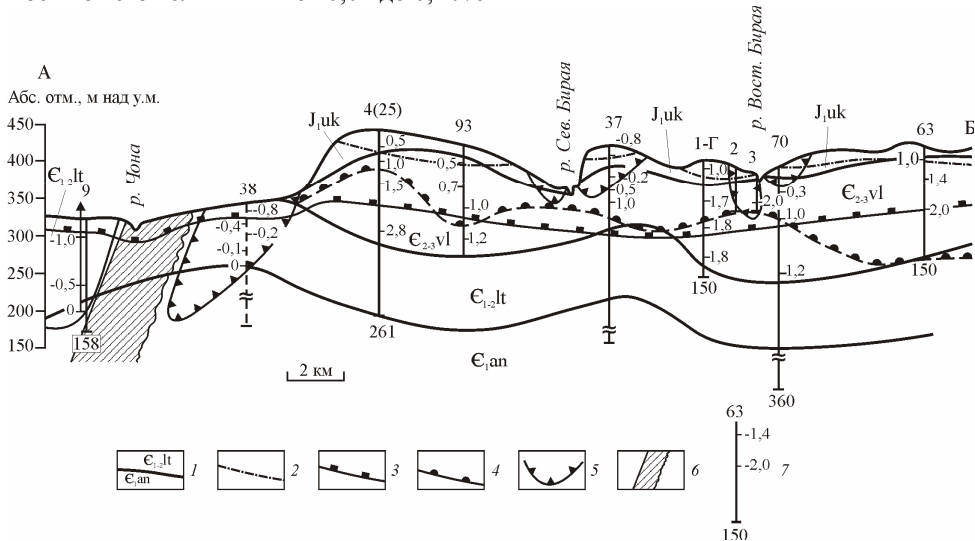


Рис. 2. Геокриологический разрез по правобережью р. Чоны

1 – стратиграфическая граница; 2 – уровень верхоленского комплекса; 3 – подошва ЗСВ; 4 – граница раздела пресных и солоноватых вод; 5 – граница распространения многолетнемерзлых пород; 6 – зона дробления водовыводящего разлома; 7 – скважина: вверху – номер по первоисточнику, внизу – глубина скважины, сбоку – температура пород, °С

Таким образом, относительно полное совмещение обеих зон не является преобладающим. Однако вне зависимости от рассмотренных соотношений важно подчеркнуть, что нижняя граница обеих зон в контуре горного отвода находится выше или на уровне уреза р. Чоны. Это означает, что подземный сток практически целиком находится под дренирующим влиянием ее притоков.

Источники загрязнения

На нефтегазоконденсатных месторождениях набор поверхностных источников загрязнения общеизвестен. В основном это поисково-разведочные, эксплуатационные и нагнетательные скважины, растворные узлы, шламовые и нефтяные амбары, гидроизоляция которых на Верхнечонском месторождении не производилась. Известны также и загрязняющие вещества – хлоридные рассолы, различные химреагенты, нефть, метанол, сернокислый алюминий и др. Интенсивность влияния перечисленных источников, их плотность и длительность воздействия возрастает в ряду *поиски и разведка – обустройство – опытная эксплуатация – промышленная эксплуатация*. В период с 1982 по 2012 г. эта последовательность с небольшим временным перекрытием (за исключением паузы 1991–1995 гг.) сохранялась. Поисково-разведочный этап по числу пробуренных скважин был довольно неоднородным. Так, из 85 скважин 62 % сооружено в 1985–1987 гг. Для лицензионного отвода в целом имеется единая временная точка отсчета потенциально максимального воздействия этапа на ЗСВ. Три последующих этапа реализованы главным образом на участке первоочередной добычи нефти, которому свойственны специфические гидрогеологические условия, обусловленные преимущественно присутствием мощной толщи ММП.

Пока речь шла о поверхностных источниках, почти всегда рассматриваемых в качестве единственно значимых [2], все было более или менее ясно. Их участие в подземном стоке обнаруживалось в естественных водопроявлениях, стоке малых водотоков, эксплуатационных на воду скважинах. Но ЗСВ потенциально уязвима и со стороны нижней границы при достаточно сильном депрессивном и репрессивном изменении гидрогеодинамической обстановки, провоцирующей качественную трансформацию подземных вод. Такого рода угроза реально существует на месторождении пресных и солоноватых подземных вод, эксплуатация которых предполагает понижение уровня до 90 м, что неизбежно приведет к гидрогеодинамической инверсии уровней поверхностных водоносных комплексов. Репрессивное воздействие возможно при закачке, особенно некондиционных вод.

Влияние поверхностных источников загрязнения было прослежено главным образом в течение двух временных этапов – в гидрогеологической съемке и рекогносцировочном обследовании для ОВОС обустройства (1989–1994 гг.) и в процессе поисково-разведочных работ на подземные воды (2006–2007 гг.). На обоих этапах обследована вся площадь горного отвода, учтено примерно равное количество водопунктов без особого нарушения их структуры. Гидрогеохимическое опробование выполнено на сопоставимом качественном уровне. На втором этапе лучше изучен микрокомпонент-

ный состав и радиоактивность, опробованы уцелевшие на буровых площадках гидроскважины. Общим для этих этапов является слабый интерес к другим потенциально значимым загрязняющим веществам: нефтепродуктам, метанолу и химреагентам, используемым в буровых растворах. Таким образом, массовым и наиболее достоверным компонентом загрязняющего комплекса остаются хлориды, определенные во всех пробах воды.

При направленной деформации гидрогеодинамической обстановки по депрессивному сценарию загрязняющими ингредиентами дополнительно к хлоридам остаются железо, марганец, мышьяк, бор, сероводород, α - и β -активность. При репрессивном режиме возможно существенное увеличение минерализации воды за счет хлоридов. Поскольку предусматривается обратная закачка попутных рассолов и неочищенных сточных вод, то не исключается появление ранее отсутствующих загрязняющих веществ.

Загрязнение зоны свободного водообмена хлоридами

Поисково-разведочные работы сопровождались бурением гидроскважин, которые в подавляющем большинстве не выходили за пределы ЗСВ. В пресных и слабосоленоватых водах содержание хлор-иона не превышало 2–3 мг/дм³. Таков был уровень ненарушенного естественного фона. При оценке загрязнения пороговой концентрацией принята величина 10 мг/дм³. Для прослеживания загрязнения на глубину водопункты разделены на три группы. Поверхностные воды (ручьи и временные водотоки) содержат информацию преимущественно о зоне неполного насыщения; родники отражают условия главным образом верхней части зоны полного насыщения; скважины характеризуют нижнюю половину ЗСВ. Степень временной устойчивости загрязнения оценивается сопоставлением двух этапов, разнесенных друг от друга на 12 лет. Результаты выполненного анализа показаны на рис. 3.

Прежде всего следует отметить, что в течение 18 лет уровень загрязнения поверхностных и подземных вод хлором не превышал, за малым исключением, ПДК_в (350 мг/дм³). Внутри этого периода особых изменений не наблюдается: почти все точки на графике $Cl = f(M)$ за 1989–1994 и 2006–2007 гг. совмещаются. Различия, конечно, существуют, но связаны они с распределением концентраций хлор-иона в выборках разных ассоциаций водопунктов (табл. 2). Так, в нижней части ЗСВ преобладают содержания менее 100 мг/дм³. Наиболее близки между собой распределения для поверхностных вод и родников, что хорошо согласуется с преобладающим участием верхней части ЗСВ в общем подземном стоке, особенно в период летне-осенней межени.

Территориально хлоридное загрязнение отличается неоднородностью по степени площадного поражения. В этом отношении наибольшие различия существуют между лево- и правобережной частями водосбора р. Чоны. При этом интенсивность поражения ЗСВ мало отличима – везде присутствует один и тот же набор концентраций. Нетрудно заметить (см. рис. 1), что наиболее уязвимыми оказались площади с минимальной мощностью ММП.

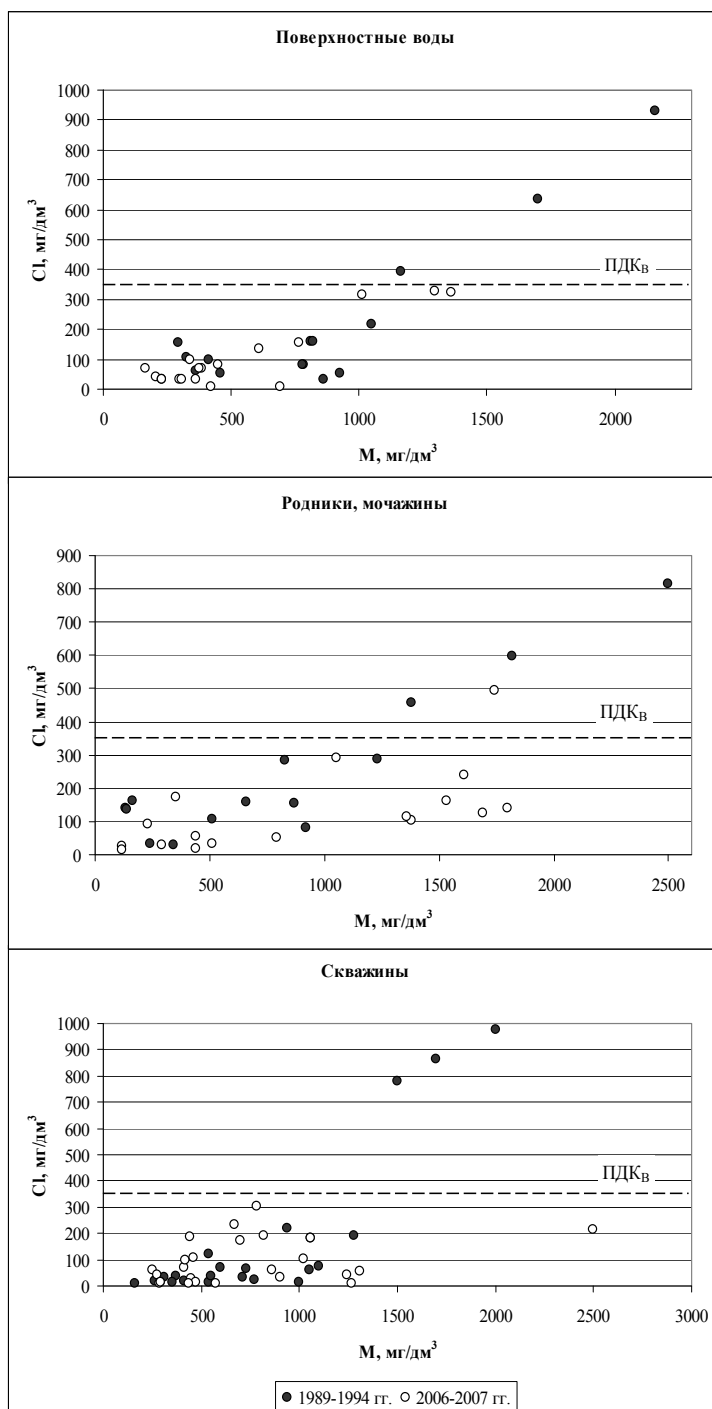


Рис. 3. Концентрация хлор-иона в зависимости от величины минерализации воды в разных типах водопунктов

Более того, если на правобережье преобладают узколокальные очаги загрязнения даже при отсутствии ММП, то на правобережье частные ареалы, скорее всего, сомкнулись, образуя единое поле загрязнения, как это имеет место на водосборах рек Дывэна и Нельтошки. Слияние ареалов представляется вполне возможным, если учесть, что родники, удаленные от буровых площадок на 1,5–3,0 км, содержат хлора до 200–400 мг/дм³. Распространение загрязнения на таком расстоянии от места эмиссии подтверждает вывод о реальной возможности смыкания ареалов, так как размер средней площади, приходящейся на одну скважину, не превышает 50 км², что соответствует равновеликой площади круга радиусом 4 км.

Таблица 2

Распределение концентраций хлор-иона в природных водах

Водопункт	Поверхностные воды (37)*			Родники (34)			Скважины (47)		
	< 100	100–200	> 200	< 100	100–200	> 200	< 100	100–200	> 200
Cl, мг/л									
%	48,6	32,4	19,0	38,0	35,0	27,0	66,0	19,0	15,0

* – количество опробованных водопунктов

При рассмотрении хлоридного загрязнения в стороне оставался вопрос о катионном составе загрязняющего вещества. Изначально предполагалось, что с хлором связан натрий, т. к. это не противоречило гидрогеохимической зональности в надтрапповой части осадочного чехла. В действительности оказалось, что хлор-натриевый компонент при величине отношения $rCl / rNa < 1,2$ обнаружен лишь в трети водопунктов. В остальных пробах хлор-кальциевый компонент постепенно возрастал, пока не стал доминирующим. Изменение катионного состава загрязняющего вещества в известной степени связано с минерализацией воды. На рисунке 4 видно, что почти все точки разместились между огибающей гиперболой $rCl / rNa = f(M)$ и осями координат. Величина отношения $rCl / rNa = k$ варьирует в широком диапазоне – от 0,3 до 10,0. При k , равном 1–10, минерализация не превышает 0,6 г/дм³. При увеличении минерализации до 2,5 г/дм³ k снижается до 0,3. Таким образом, по мере роста минерализации сохраняется устойчивая тенденция снижения величины k . Но так как минерализация возрастает с глубиной, то в этом же направлении снижается значение k . Означает ли это, что с глубиной хлор-кальциевое загрязнение замещается хлор-натриевым? В случае с поверхностными источниками загрязнения такого рода трансформация означала бы значимое участие адсорбционного процесса. Однако для «избытка» натрия в растворе при $k < 1,0$ не нужен катионный обмен. Превышение натрия над хлором вполне обеспечивается особенностью гидрогеохимической зональности, заключающейся в том, что в зоне солоноватых сульфатных вод присутствуют реликты глауберовых вод. При такой трактовке изменения k нет необходимости учитывать адсорбционный процесс и, следовательно, первичное загряз-

няющее вещество без каких-либо изменений распространяется во всем объеме ЗСВ. Если вывод верен, то приоритетным местом загрязнения на буровой площадке является шламовый амбар, так как основной объем шлама поступает из подтрапповой части осадочного чехла, содержащего крепкие рассолы хлоридного натриево-кальциевого состава.

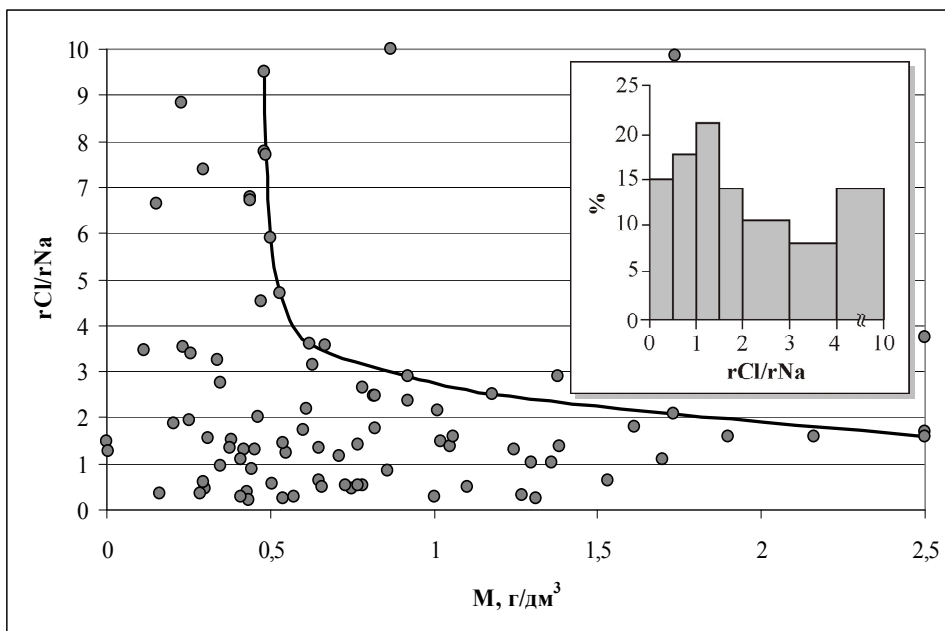


Рис. 4. Обобщенный график связи между минерализацией и хлор-натриевым коэффициентом

Разумеется, хлор-кальциевое загрязнение не является единственным. Не менее значимо и хлор-натриевое, поступающее в шламовые амбары при проходке скважинами надтрапповой осадочной толщи, в нижней половине которой распространены солоноватые хлоридные натриевые воды. Помимо шлама, в загрязнении непосредственно участвуют напорные воды литвинцевского и ангарского над- и подтраппового комплексов, поскольку при бурении ствол до глубины 570 м некоторое время остается открытым. По утраченным буровым журналам составлена неполная сводка (табл. 3) о потерях бурового раствора при проходке ЗСВ.

Таблица 3

Поглощение бурового раствора в зоне свободного водообмена

Водоносный комплекс	Количество скважин	Интервал поглощения		Объем поглощения	
		от	до	полное (скв.)	частичное (м³/час)
Юрский	18	5–35	30–70	5	2–30
Верхоленский	18	10–80	15–150	8	3–40

Но кроме потерь, после вскрытия подтраппового ангарского комплекса, пьезометрическая поверхность которого выше таковой верхоленского, происходит и прямое поглощение хлоридных натриевых рассолов, в той или иной степени разбавленных буровым раствором. Более того, инъекции рассолов аналогичного состава происходят при консервации и ликвидации разведочных скважин. Обследование буровых площадок, где сохранились эксплуатационные на воду скважины, выявило в нескольких из них хлоридные натриевые рассолы с минерализацией до 175 г/дм^3 (табл. 4). От рассолов естественного происхождения они отличаются непропорционально низким содержанием калия и высоким – сульфатов. Соответственно, отношения k/M и SO_4^{2-}/M равны $22 \cdot 10^{-3}$ – $22 \cdot 10^{-4}$ и $33 \cdot 10^{-5}$ – $47 \cdot 10^{-4}$ [1].

Таблица 4

Минерализация и химический состав воды в стволах гидроскважин после ликвидации и консервации разведочных на нефть скважин

Скважина	Глубина, м	Дата первичного опробования	Минерализация, г/дм ³	Содержание Cl, г/дм ³	Дата вторичного опробования	Минерализация, г/дм ³	Содержание Cl, г/дм ³	Статус разведочной скважины
26	10	02.08.1989	0,55	69	04.07.1994	71,2	43,6	Ликвидация по категории Ia
66	150	09.03.1989	0,71	35	29.08.1990	174,6	101,8	Ликвидация по категории VIa
900	195	09.03.1989	0,41	4,2	04.07.1994	138,0	82,6	Консервация для нефтедобычи

При ликвидации разведочных скважин ствол заполнялся рассолом с удельным весом 1,2. При этом, несмотря на затрубную и межтрубную цементацию, рассолы все же вытеснили пресные воды из гидроскважин и, следовательно, были вовлечены в подземный сток ЗСВ. Присутствие рассолов и на площадке с законсервированной скважиной не совсем ясно. Однако одно обстоятельство может свидетельствовать, что случай этот не единичный.

Ранее отмечалось, что степень поражения ЗСВ на лево- и правобережье р. Чоны при примерно одинаковой техногенной нагрузке (44 и 41 скважина) различна. И это при том, что на правобережье за счет весьма незначительного развития ММП защитная зона очень ослаблена. Рассмотрение всех очевидных факторов, которые могут определять наблюдаемые различия, не дает преимуществ ни одному из них. Исключением является только число законсервированных скважин: на левобережье 15, а на правобережье всего 2 (см. рис. 1). Не исключено, что именно они и являются весомым дополнением к иным существующим источникам загрязнения.

О пространственном распределении хлоридного загрязнения на поисково-разведочном этапе и вплоть до начала промышленной добычи сложилось вполне ясное представление. Остается выяснить устойчивость загряз-

нения во времени. Для этого достаточно сопоставить между собой два временных периода (1989–1994 и 2006–2007 гг.), в пределах которых фактологическая основа достаточно однородна количественно, по территориальному распределению и структуре водопунктов. Кроме того, следует иметь в виду, что количественный рост источников загрязнения после 1987 г. быстро пошел на убыль, полностью прекратившись к 1991 г. Появление новых источников произошло при обустройстве месторождения, пробной и промышленной эксплуатации. Однако они размещались исключительно на площадке первоочередного освоения, где мощность ММП максимальна. Таким образом, можно считать, что в промежутке между 1987 и 2007 гг. воздействие на ЗСВ в основном оказывали источники загрязнения, возникшие до 1989 г. Следовательно, загрязнение водных объектов, зафиксированное в 2006–2007 гг., связано с источниками, заложенными в 80-х гг. XX века. Более того, уровень загрязнения во всех диапазонах концентраций хлор-иона остался практически неизменным (рис. 5).

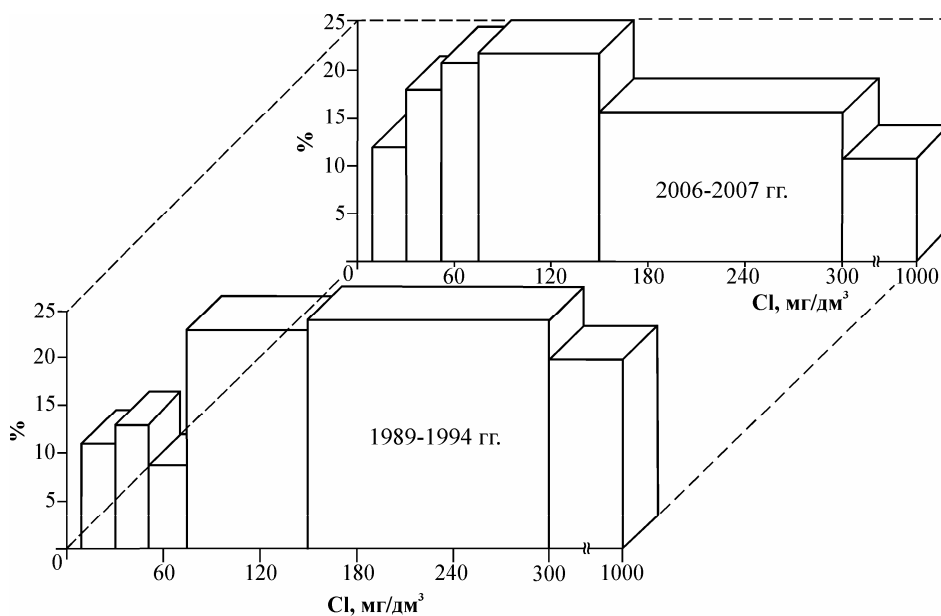


Рис. 5. Гистограмма содержания хлор-иона в водных объектах Верхнечонского месторождения

Это означает, во-первых, что эмиссионная активность источников загрязнения остается почти постоянной. Подобная стабильность свидетельствует также, с одной стороны, о пониженной водопроницаемости покровных отложений (преимущественно делювиальные суглинки). С другой стороны, из-за относительно слабой стоковой активности ЗСВ (модуль подземного стока едва достигает $0,2 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$) рассеивание загрязнения происходит в замедленном темпе. Во-вторых, существующее хлоридное загрязнение –

наследство поисково-разведочного этапа – позволяет сделать заключение о существенной уязвимости ЗСВ. В-третьих, наряду с консервативным поллютантом есть и другие вещества, среди которых не последнее место занимают нефтепродукты. В-четвертых, загрязнение происходило в условиях очень слабого гидродинамического воздействия на ЗСВ. Поэтому влияние нижезалегающих водоносных комплексов, для которых характерна повышенная минерализация, сульфатность, зараженность сероводородом, α - и β -активность, отсутствие растворенного кислорода, большая концентрация закисного железа и марганца, проявилось номинально.

Межпластовый водообмен также стимулируется из юрского комплекса, воды которого обогащены мышьяком. По мере извлечения нефти и снижения пластового давления произойдет увеличение водозабора для ППД, что приведет к снижению урвонной поверхности в водонасыщенной части ЗСВ до глубин, близких к 100 м. Исходя из этой реальной предпосылки и других важных факторов, сделана попытка спрогнозировать возможное изменение гидрогеологической ситуации на период промышленной эксплуатации месторождения.

Прогноз наиболее вероятного изменения гидрогеологической обстановки

В течение этапа промышленной добычи предусмотрено сооружение 199 эксплуатационных и 86 нагнетательных скважин, т. е. суммарно в три раза больше, чем за все предшествующие годы. Однако ранее буровые и опытные работы не сопровождались сколько-нибудь заметным влиянием на гидродинамическую обстановку в ЗСВ. Ввод в эксплуатацию системы ППД кардинально нарушает естественно сложившееся соотношение напоров водоносных комплексов в надтрапповой осадочной толще, что может привести к негативным последствиям в качественном состоянии воды, используемой как для хозяйственно-питьевых нужд, так и ППД.

Гидродинамическое преобразование обусловлено в основном применением ППД. На участке эксплуатационного водозабора (правобережье р. Чоны, водосбор р. Береи) расчетное понижение уровня верхоленского комплекса таково, что приведет к инверсии пьезометрических уровней на площади депрессионной воронки. В этом случае в балансе водопритоков заметное место могут занять воды, находящиеся в низах верхоленской свиты и литвинцевского комплекса. Помимо общего роста минерализации, повышения неустраняемой жесткости, содержания сульфатов и хлоридов, следует ожидать и иных неблагоприятных изменений, касающихся контролируемых веществ, мельком упомянутых ранее.

Снижение урвонной поверхности в зоне полного насыщения ЗСВ и формирование радиального потока приведет к увеличению привноса влаги из зоны неполного насыщения на площади депрессионной воронки, размер которой при дебите 540 л/с окажется громадным. Последствия будут крайне неблагоприятными из-за существенного роста концентрации мышьяка, со-

средоточенного в юрском комплексе. Анализ проб воды (19 родников и 15 скважин) показал, что концентрация мышьяка изменяется в широких пределах – от менее 5 до 60 мкг/дм³, т. е. до 6 ПДК_В. При этом прослеживается устойчивая тенденция: с ростом минерализации воды (и, следовательно, с глубиной) его концентрация снижается. Так, например, в диапазоне 0,06–0,20 г/дм³ количество мышьяка максимально (40–60 мкг/дм³), а при минерализации 0,8 г/дм³ и выше уменьшается до 5–7 мкг/дм³.

В зоне полного насыщения нисходящий межпластовый водообмен при депрессионном режиме преобразуется в восходящий. В этом случае в откачиваемой воде произойдет увеличение концентрации железа, марганца, бора и сероводорода. Содержание двух первых элементов в верхоленском комплексе достаточно и при незначительном возбуждении пласта. Так, в большинстве разведочных и эксплуатационных скважин (16 из 21) вскрыты воды с концентрацией марганца 200–1200 мкг/дм³ (2–12 ПДК_В) и железа до 10,9 мг/дм³. Нарастание содержания происходит с глубиной в направлении смены слабоокислительной обстановки на восстановительную. Поэтому следует ожидать и появления сероводорода, которым насыщена вода литвинцевского комплекса. Наряду с сероводородом отмечается довольно высокая концентрация бора. Даже в воде скважин, вскрывших только верхоленский комплекс, но забой которых приблизился почти вплотную к кровле литвинцевского, обнаружен бор в количестве 500–2150 мкг/дм³ (1–4 ПДК_В). В родниках и скважинах глубиной до 80 м содержание элемента не превышает 100 мкг/дм³ и только в разломной зоне достигает 400–1000 мкг/дм³. Наконец, укажем на повышенную α -активность пресных вод. Наблюдается и β -активность, но ее уровень довольно низкий и лишь в одной из 26 проб она достигла 0,5 Бк/дм³ (0,5 ПДК_В). Что же касается α -активности, то она варьирует от 0,005 до 2,16 Бк/дм³ (0,05–21,6 ПДК_В), причем 62 % проб имеют активность, превышающую ПДК_В. Особенности пространственной неоднородности заключаются главным образом в повышении активности с глубиной – сперва медленно, а по достижении литвинцевского комплекса скачкообразно.

Итак, эксплуатация водозабора при расчетном водоотборе и понижении уровня вероятнее всего приведет к значительному снижению потребительского качества воды за счет увеличения концентрации железа, марганца, мышьяка, бора, сероводорода и α -активности. Но сероводород противопоказан и для использования в ППД. Такова ситуация на правом берегу р. Чоны, которая может сложиться при работе водозабора.

На левобережье, где находится участок первоочередной промышленной эксплуатации, основное влияние на ЗСВ оказывает сама добыча и система ППД. На начальной стадии извлечение нефти происходит в режиме фонтанирования, и влияние кустов скважин выражается в деградации ММП вокруг стволов. Отепляющее воздействие сравнительно невелико, поскольку температура нефти в пластовых условиях не выходит за пределы 18–20 °С, что характерно в целом для Непско-Ботубобинской антеклизы. В интервале глубин залегания ЗСВ температура нефти и попутных рассолов снижа-

ется до 12–13 °С, и следовательно, околоскважинные техногенные талики будут небольшими. При переходе на механический режим добычи и запуска ППД деградация ММП ускорится и расширится. Этот процесс обусловлен прежде всего двумя главными факторами. Первый из них – температура ММП, второй – температура нефти. Представление о первом факторе на площади распространения сплошной ММП можно получить по нескольким термограммам, снятым в разведочных скважинах (рис. 6). Все термограммы, в принципе, однотипны по трем основным показателям: минимальная температура редко ниже минус 1 °С, очень малые вертикальные градиенты, нулевая изотерма находится на близких отметках. Вполне очевидно, что ММП находятся в состоянии деградации.

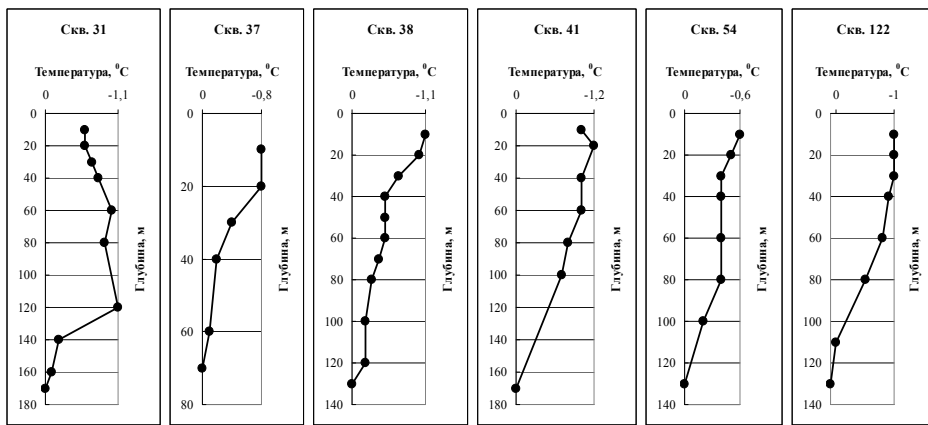


Рис. 6. Термограммы разведочных скважин

Второй фактор может сильнее всего повлиять на процесс извлечения нефти. Для его компенсации воду, используемую для ППД, придется подогреть, поскольку ее температура не более 2 °С. В холодное время года произойдет дополнительное понижение температуры воды во время ее транспортировки к нагнетательным скважинам. Применение подогретой воды приведет к растеплению ММП вокруг скважин с образованием сквозных техногенных таликов. Наблюдения, выполненные в Западной Сибири [3], показали, что при температуре флюида на устье 10–15 °С радиус талика в первые два-три года достигает 4 м. Подогрев воды, допустим, до 50 °С увеличит площадь талика до 700 м². При кучном размещении добывающих и нагнетательных скважин (400 м друг от друга) и длительной их эксплуатации может произойти полное либо частичное смыкание таликов. Возможно, что на участке первоочередной добычи (см. рис. 1) нечто подобное уже произошло в 2008–2009 гг.: в ряде мелких скважин геокриологического мониторинга обнаружены соленые воды и рассолы с примесью нефти. И это притом, что площадка находится в наиболее благоприятных условиях.

Когда извлекаемые запасы нефти на участке современной добычи будут исчерпаны, основная нагрузка на ЗСВ переместится на правобережье р.

Чоны, где защитная зона отличается заметно сниженной эффективностью. Массовое бурение добывающих и поглощающих скважин приведет к появлению столь же массовых незранированных поверхностных источников загрязнения. Помимо источников длительного действия ЗСВ аккумулирует большие объемы буровых растворов в процессе проходки надтрапповой части осадочного чехла. Негативное воздействие будет проявляться, скорее всего, контрастно с небольшим смещением во времени из-за отсутствия ММП и выклинивания траппового сила. Следует также ожидать накопления загрязнений вблизи мест эмиссии и слабого рассеяния, что представляет угрозу для ЗСВ вообще, а для месторождения пресных вод в особенности.

Заключение

Техногенное воздействие, испытанное за 15–20 лет до начала промышленной эксплуатации месторождения, продолжает существовать, мало изменившись по интенсивности и территории. Это означает, что эмиссионная активность источников загрязнения остается в течение 20 лет почти неизменной. Площадная стабильность хлоридного загрязнения сохраняется благодаря слабому рассеянию контоминанта в основном из-за малого объема водообмена. Промышленное освоение месторождения связано по меньшей мере с трехкратным увеличением техногенной нагрузки, причем не эпизодической, а долговременной. Наряду с этим экстремальное воздействие на ЗСВ окажет водоотбор с глубоким преобразованием гидрогеодинамической и гидрогеохимической обстановок. Использование этих вод, предельно подогретых, для ППД приведет к относительно быстрой деградации ММП. В условиях, когда отсутствует гидрогеологический мониторинг, составить прогноз приемлемой оправдываемости маловероятно. Поэтому, учитывая возможное неблагоприятное изменение гидрогеологических условий в пределах ЗСВ, необходимо создание сети гидрогеологического мониторинга, охватывающего промплощадки, водозабор для ППД и фоновые участки.

Список литературы

1. Анциферов А. С. Нефтегазовая гидрогеология юга Сибирской платформы / А. С. Анциферов. – М. : Недра, 1984. – 192 с.
2. Белоусова А. П. Основные принципы и рекомендации по оценке и картированию защищенности подземных вод от загрязнения / А. П. Белоусова // Водные ресурсы. – 2003. – Т. 30, № 6. – С. 667–677.
3. Матусевич В. М. Техногенное гидрогеологическое поле как отражение современного состояния геологической среды / В. М. Матусевич, Л. А. Ковяткина // Подземная гидросфера : материалы Всерос. совещания по подзем. водам востока России. – Иркутск : Географ, 2012. – С. 111–116.
4. Методика и технология открытия крупных и уникальных месторождений нефти и газа на юге Сибирской платформы / М. М. Мандельбаум, Г. А. Хохлов, В. А. Кондратьев, В. Б. Мазур // Разведка и охрана недр. – 2005. – № 2–3. – С. 29–39.

5. Шенькман Б. М. Ресурсы пресных подземных вод Верхне-Ленского ТПК / Б. М. Шенькман, А. А. Панковец // Направления развития экономики Верхне-Ленского ТПК. – Иркутск, 1990. – Ч. 1. – С. 146–159.

6. Шенькман Б. М. Химия подземных вод Верхнечонского нефтегазоконденсатного месторождения (ВЧНГКМ) / Б. М. Шенькман // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о земле. – 2013. – Т. 6, № 1. – С. 206–222.

7. Шенькман Б. М. Ресурсы подземных вод Верхнечонского нефтегазоконденсатного месторождения / Б. М. Шенькман // География и природные ресурсы. – 2013. – № 3. – С. 77–84.

Free Water Exchange Zone of Verkhnechonskoye Oil-Gas-Condensate Deposit in the Early Stage of the Industrial Operation

B. M. Shenkman

Abstract. An extent of the vulnerability of the free water exchange zone (FWEZ) from technogenic pollution sources has been studied. Its vulnerability from influence of the surface and underground pollution sources has been established. The degree of damage of FWEZ is characterized by appearance and expansion of the range of the chloride pollution in the process of exploration and in the early stage of the industrial operation. A prediction of the most probably development of technogenic impact on FWEZ has been formulated.

Keywords: free water exchange zone, protected area, sources of pollution, groundwater vulnerability, chloride pollution.

Шенькман Борис Михайлович
кандидат геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник
Институт земной коры СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128
тел.: (3952) 42–27–77

Shenkman Boris Michailovich
Candidate of Sciences (Geology and
Mineralogy), Senior Research Scientist
Institute of the Earth's crust SB RAS
128, Lermontov st., Irkutsk, 664033
tel.: (3952) 42–27–77