

ВЛИЯНИЕ ЗАХОРОНЕНИЯ СТОЧНЫХ ВОД НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВ НА ПОДЗЕМНЫЕ МИКРОБИОЦЕНОЗЫ

Букаты М.Б., Наливайко Н.Г., Сидоренко Т.Н.

Экспериментальное исследование влияния захоронения сточных вод на подземные микробиоценозы, выполненное на примере Советского нефтяного месторождения (Западная Сибирь), показало, что химическая среда пластовых вод оказывается благоприятной для развития гетеротрофной, нефтеокисляющей и сульфатредуцирующей микрофлоры хозяйственно-бытовых вод при любых разбавлениях. Интенсивность развития аммонифицирующих бактерий хозяйственно-бытовых вод в химической среде пластовых вод напротив обычно понижается, а железобактерии в смесях любых пропорций полностью исчезают. В химической среде пресных хозяйственно-бытовых вод интенсивно развиваются гетеротрофные, аммонифицирующие и сульфатредуцирующие бактерии пластовой воды, но снижается количество нефтеокисляющих бактерий за счет исчезновения видов, типичной средой обитания которых являются пластовые воды. Малые разбавления, в целом, способствуют жизнедеятельности привносимых микроорганизмов, увеличивая общее число бактерий, тогда как при высоких разбавлениях, превышающих 1:5000, пластовые воды действуют на инородные микробиоценозы угнетающе.

В условиях Западной Сибири распространена практика подземного захоронения сточных вод нефтегазопромислов и сопутствующих им производств вместе с подтоварными и другими природными водами, используемыми в системах поддержания пластового давления. В этой связи всегда возникает проблема эколого-гидрогеологического обоснования нормативов допустимых вредных воздействий утилизации сточных вод нефтепромыслов на подземные нефтегазоводонасыщенные горизонты, в которые они закачиваются, для разработки на основе таких нормативов технических регламентов, обеспечивающих экологическую безопасность подземного захоронения жидких отходов [1].

Изучение данной проблемы применительно к работе Советского нефтегазопромисла Стрежевского района Западной Сибири, где в ближайшие годы планируется удаление нетехнологических сточных вод в скважины системы поддержания пластовых давлений (СППД), показало, что, если исключить влияние захоронения промышленных и хозяйственно-бытовых стоков на зону пресных вод и считать изначально нецелесообразным бальнеологическое или промышленное использование пластовых вод в пределах горного отвода месторождения, то дальнейший анализ возможных экологических и технологических последствий закачки стоков можно ограничить лишь вопросами химической совместимости стоков с природной водоносной системой и оценкой последствий ее возможного микробиологического заражения. Вместе с тем, опресненность промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод и подобие их состава с химическим составом пластовых вод обуславливает их достаточно высокую химическую совместимость. Поэтому с природоохранной точки зрения изначально ведущими можно считать не возможные негативные последствия вторичного солеобразования, как это обычно предполагается [2], а техногенные изменения естественных подземных микробиоценозов, которые, как известно, принципиально отличаются от таковых в сточных, и прежде всего, хозяйственно-бытовых водах. При этом следует учитывать, что температуры в 57-70⁰С, преобладающие в основных принимающих отходы пластах,

которые под их влиянием к тому же охлаждаются, не являются, как часто утверждается многими геологами, сколько ни будь значимым препятствием развитию большинства видов бактерий, присутствующих в природных и сточных водах.

В этой связи основной целью настоящей работы стало выполнение серии специальных лабораторных экспериментов по изучению возможностей и интенсивности развития микрофлоры, вносимой в глубоководные водоносные горизонты хозяйственно-бытовыми стоками, и оценке её влияния на подземные микробиоценозы месторождений нефти и газа на примере Советского нефтегазопромысла Западной Сибири.

Геологические условия и состав природных и сточных вод Советского нефтяного месторождения

Месторождение находится на границе Томской и Тюменской областей в 10 км на запад от г.Стрежевой. Оно приурочено к Соснинскому, Советскому и Медведевскому локальным поднятиям, осложняющим северную часть Соснинского вала, который в свою очередь, расположен в юго-восточной части Нижневартовского свода [3]. Все поднятия выявлены сейсморазведочными работами МОВ в 1957-60 гг. В 1962 г. было открыто Советское, а в 1963 г. – Медведевское и Соснинское месторождения. С 1966 г месторождение находится в промышленной разработке и по состоянию на начало 1997 г. на нем пробурено 75 разведочных и 1397 эксплуатационных и нагнетательных скважин. По отражающему горизонту II^а (подошва баженовской свиты) Соснинское и Советское поднятия оконтуриваются одной изогипсой -2410, а Медведевское поднятие изогипсой -2450 м, их амплитуды 50, 25, 70 м, соответственно. По верхним отражающим горизонтам нижнего мела контрастность структур ослабевает. Их амплитуды становятся меньше высоты залежи, поэтому залежь в горизонте А₁ объединяет все три локальные структуры в единое месторождение, названное Советским. Общая структура представляет собой крупную брахиантиклиналь северо-западного простирания (рис. 1).

Размеры складки в пределах оконтуривающей изогипсы -1650 м (по изогипсе кровли пласта А₁) составляют 36×15 км при амплитуде 40-50 м. Промышленная нефтеносность месторождения связана с отложениями верхней части палеозоя, юры и нижнего мела. Основными продуктивными пластами являются пласт Б₈ (мегионская свита) и А₁ (нижняя пачка алымской свиты). Более мелкие залежи нефти приурочены к пластам: М (верхняя часть палеозойских образований), Ю₂ (кровля тюменской свиты), Ю₁ (верхневасюганская подсвита), Б₆, Б₅, Б₄, Б₃, Б₁ (нижневартовская подсвита), А₈, А₇, А₆, А₄, А₃ и А₂ (верхневартовская подсвита). Всего на Советском месторождении выявлено 29 залежей нефти, этаж нефтеносности составляет около 1100 м.

Ввиду длительной эксплуатации, в настоящее время природные пластовые воды месторождения в чистом виде в эксплуатируемых пластах в непосредственной близости от разрабатываемых залежей отсутствуют и при добыче нефти, вместе с ней извлекается смесь пластовых вод (контурных, подошвенных, верхних, нижних и внутризалежных) с сеноманскими, а также полигенетичными природно-техногенными подтоварными и другими водами, использованными ранее для поддержания пластового давления. Добываемые с

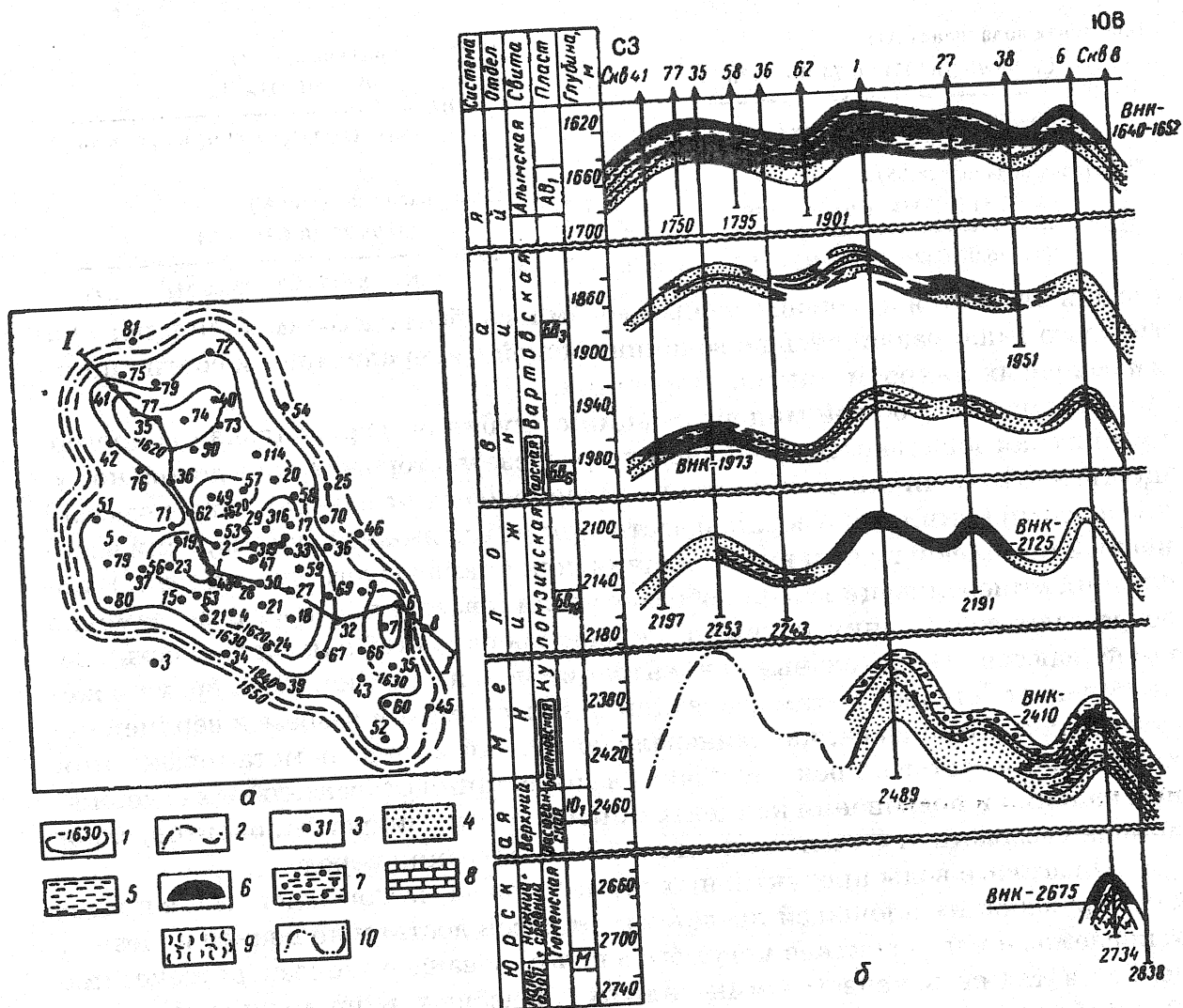


Рис. 1. Структурный план и разрез продуктивной толщи [3]
 а – структурная карта по кровле пласта А₁; б – геологический разрез продуктивных отложений.
 1 – изогипсы кровли пласта А₁; 2 – внешний контур нефтеносности; 3 – скважины; 4 – песчаники; 5 – аргиллиты и алевролиты; 6 – песчаники нефтеносные; 7 – аргиллиты битуминозные; 8 – известняки; 9 – кора выветривания; 10 – отражающий горизонт II^а

нефтью воды, после отделения от нее, образуют новую подтоварную воду, которая в смеси со сточными водами вновь сбрасывается в пласты продуктивных и/или других горизонтов.

К настоящему времени накоплено более 1000 анализов пластовых вод. Среди них лишь часть отвечает их неизмененному начальному составу. Довольно значительное число химических анализов начальных пластовых вод накоплено также в период поисково-разведочных работ, но и они, как это обычно бывает, в большинстве случаев содержат в своем составе то или иное количество примеси фильтрата бурового раствора. Поэтому общее представление о реальном составе ненарушенных поровых пластовых вод дает лишь сравнительно небольшое число проб, отбравшихся из общей выборки с учетом условий опробования и статистического анализа данных по их составу. Состав пластовых вод по этим данным в разрезе месторождения довольно однообразен. Как видно по формулам солевого состава:

Пластовая вода (пласт А1)

19.103 $\frac{\text{Cl}^- 98.90 (\text{HCO}_3^-) 0.74 \text{ Br}^- 0.26}{\text{Na}^+ 80.01 \text{ Ca}^{2+} 16.92 \text{ Mg}^{2+} 3.04}$

Пластовая вода (пласт Б8)

25.376 $\frac{\text{Cl}^- 98.81 (\text{HCO}_3^-) 0.91 \text{ Br}^- 0.19}{\text{Na}^+ 76.02 \text{ Ca}^{2+} 22.47 \text{ Mg}^{2+} 1.20 (\text{NH}_4)^+ 0.29}$

Пластовая вода (пласт Ю2)

39.107 $\frac{\text{Cl}^- 98.27 (\text{HCO}_3^-) 1.59}{\text{Na}^+ 82.82 \text{ Ca}^{2+} 11.95 \text{ Mg}^{2+} 5.20}$

Пластовая вода (пласт М)

35.303 $\frac{\text{Cl}^- 98.25 (\text{HCO}_3^-) 1.74}{\text{Na}^+ 81.17 \text{ Ca}^{2+} 15.86 \text{ Mg}^{2+} 2.98}$

все они относятся к сильно соленым водам и слабым рассолам хлоридного натриевого типа, различаясь по величине общей минерализации и соотношениям основных макро- и микрокомпонентов.

Кроме роста общей минерализации с глубиной, вертикальная гидрогеохимическая зональность проявляется в разрезе месторождения в довольно существенном различии состава вод в нижнемеловых отложениях (неокомский водоносный комплекс) и верхней части юры от вод нижней юры (юрский водоносный комплекс) и коры выветривания пород складчатого фундамента. В последних минерализация скачкообразно увеличивается почти в 2 раза, заметно возрастают содержания магния и гидрокарбонатов (общая щелочность), но уменьшаются относительные концентрации ионов кальция, йода, брома и железа (падает "степень метаморфизации"). В неокомском разрезе и верхней части юрского комплекса, как минерализация, так и степень метаморфизации химического состава, проявляющаяся в возрастании относительных содержания кальция и повышении концентраций основных микрокомпонентов, закономерно возрастают с увеличением глубины залегания пород.

Пластовые воды продуктивных горизонтов на месторождении и в пределах окружающих площадей представляют собой достаточно ценное полезное ископаемое и в перспективе могут быть использованы в теплоэнергетических целях, а также в качестве минеральных лечебных и промышленных вод (прежде всего йодо-бромных и стронциевых), что обуславливает необходимость минимизации изменения геологической среды в ходе эксплуатации залежей нефти и газа и сопутствующей хозяйственной деятельности и локализации таких изменений в пределах горного отвода.

Проектными пластами для СППД на Советском месторождении являются пласты А₁₋₄, А₆, А₈, Б₀₋₁, Б₃, Б₄, Б₈ и горизонт Ю₁, в которые вместе с основными агентами поддержания давления могут закачиваться сточные воды. Реально в 2000-2001 гг. в пласты А₁₋₄, А₆, А₈, Б₀₋₁, Б₃, Б₄, Б₈ закачивались лишь подтоварные воды и промстоки, а поддержание давлений с привлечением вод апт-альб-сеноманского комплекса или поверхностных не проводилось.

Все закачиваемые в подземные горизонты воды носят условное название подтоварных, хотя в действительности представляют собой смесь собственно подтоварных вод (отделяемых от нефти на УПСВ, в отстойниках ТХУ и в сырьевых, технологических и товарных РВС) с пресной водой из артезианских скважин цеха пароводоснабжения (используемой для обессоливания нефти), водами ливневой канализации и, частично, хозяйственно-бытовыми стоками объектов ЦТП, а также техническими стоками Стрежевского нефтеперерабатывающего завода (НПЗ).

Суммарные объемы закачки составили в 1999 г. 15 950 880 м³ (в том числе 180100 м³ воды, добытой из сеноманских отложений, количество которой

было чуть более 1% от общего объема), а в 2000 г. – 16 237 000 м³. Из них более 90% приходится на нагнетательные скважины СППД и 8-10% на поглощающие скважины. Большая доля закачки в настоящее время осуществляется в пласт А₁ (65-70%), тогда как на пласты А₃, А₄, Б₀₊₁, и Б₈ приходится по 5-8%, а в каждый из пластов А₂, А₆, А₈₊₁, Б₃ и Б₄ – от 0.5 до 3.6% от общей суммы. Подавляющая часть сбрасываемых в недра вод приходится на их товарную составляющую, тогда как, например, на долю технических вод НПЗ (64540 м³ в 2000 г.), преобладающих среди других стоков, приходится около 1:250, а на другие типы – менее 1:1500 общего объема. При этом в дальнейшем, по мере выработки извлекаемых запасов, доля подтоварных вод будет возрастать, а других, соответственно, уменьшаться. Исключением, возможно, станут стоки НПЗ, которые при планируемом наращивании его мощности могут достичь 100000 м³/год или 1:160 от объема закачки 2000 г.

Исключая появление сульфатов и несколько меньшую минерализацию, состав закачиваемых смесей подтоварных и других вод практически не отличается от состава пластовых вод:

Советск м-е, смесь подтов+сточных вод, БКНС-7			
	Cl ⁻	99.14 (HCO ₃) ⁻	0.74 (SO ₄) ₂ ⁻ 0.12
16.233			
	Na ⁺	79.72 Ca ²⁺	17.47 Mg ²⁺ 2.81

Мало отличаются от них соотношениями основных макрокомпонентов и, следовательно, общим химическим типом составы изученных смесей вод, добавляемых к подтоварным водам, которые отличаются существенно более низкой минерализацией (они солоноватые и слабо соленые) и повышенными содержаниями гидрокарбонат-иона:

Советское м-е, смесь произв+бытов стоков (МБ-1)			
	Cl ⁻	93.28 (HCO ₃) ⁻	6.66
4.210			
	Na ⁺	82.53 Ca ²⁺	12.87 Mg ²⁺ 2.88 (NH ₄) ⁺ 0.79 K ⁺ 0.67 Fe ²⁺ 0.23

Наконец, захороняемые на Советском месторождении технические стоки Стрежевского НПЗ представлены, по сути, относительно мало измененными пресными водами зоны активного водообмена, обладающими характерными для данного района признаками, в частности, смешанным катионным составом с некоторым преобладанием натрия. От неглубокозалегающих и поверхностных вод данного района их отличают лишь повышенные содержания хлоридов:

Стреж НПЗ, технич стоки			
	(HCO ₃) ⁻	66.46 Cl ⁻	29.05 (SO ₄) ₂ ⁻ 4.24 (CO ₃) ₂ ⁻ 0.24
0.425			
	Na ⁺	52.96 Ca ²⁺	31.14 Mg ²⁺ 15.90

и весьма высокое количество нефтепродуктов.

Изучение состава водорастворенного органического вещества на хроматомасс-спектрометре GC/MS Ins. показало, что в технических стоках НПЗ оно представлено практически исключительно типичными соединениями нефтяного ряда. В смесях производственных и бытовых стоков, наряду с такими компонентами, содержащимися в подчиненном количестве, заметную роль приобретают органические соединения, характерные для наземной высшей растительности, вероятно связанные с ливневыми стоками, а в смеси закачи-

ваемых подтоварных и сточных вод присутствуют как те, так и другие при существенном преобладании нефтяных компонентов.

Отмеченные особенности состава сточных вод находят свое отражение и в составе присутствующей в них микрофлоры, результаты анализа которой представлены в табл. 1.

Результаты микробиологического анализа сточных вод

Таблица 1.

Микроорганизмы, кл. в 1 мл/балл		Норма для чистой воды, кл/мл	Проба	
			1*	2
Микрофлора геохимического цикла углерода				
Сапрофиты на МПА 1:10	<800	300000	400000	
в т.ч.:				
споровые				
Олиготрофы	<140	14000	20000	
индекс олиготрофности ОЛГ:МПА	<6000	880000	1000000	
Нефтеокисляющие	>1	2.4	50	
	<500 (320)	31800	16000	
Микрофлора геохимического цикла азота				
Аммонифицирующие	<140	50000	380000	
Микрофлора геохимического цикла серы				
Сульфатредуцирующие	30-50	1000/15	1000/12	
Аллохтонная микрофлора				
Плесневые грибы (почвенное загрязнение)	10-30	0	0	
Дрожжи (воздушное загрязнение)	1-2	0	0	
Условно-патогенная микрофлора				
Протей	0	0	0	
Vacillus cereus (почвенное загрязнение)	0	0	0	
*отобраны перед РВС-5000 №17 (смесь производственных и бытовых стоков)				

*отобраны перед РВС-5000 №17 (смесь производственных и бытовых стоков)

Эти данные также свидетельствуют о нефтяном загрязнении сточных вод и присутствии в них сульфатов, которые в анаэробных восстановительных условиях способны восстанавливаться до сероводорода.

Методика изучения микробиологической совместимости вод

Изучение микробиологической совместимости пластовых и сточных вод месторождения и прогноз возможных последствий их смешения при совместном подземном захоронении осуществлялось экспериментально. Целью экспериментов было изучение возможности развития микрофлоры хозяйственно-бытовых стоков в современных пластовых водах Советского месторождения нефти и взаимовлияния их составов на формирование совместных микробиоценозов. Промышленные стоки НПЗ, доля которых в закачиваемых смесях преобладает над хозяйственно-бытовой составляющей, в отношении микрофлоры мало интересны, так как они проходят в технологическом цикле термическую обработку и, соответственно, в значительной мере стерилизуются. В качестве аналога сточного раствора при проведении экспериментов использовался свежий деконтат хозяйственно-бытовых стоков, собирающихся на очистных сооружениях г. Томска, отобранный после их отстаивания (до следующей очистки), а за усредненную современную пластовую воду принята смесь подтоварных вод, собирающихся на месторождении, отобранная из напорного водовода перед резервуаром-отстойником РВС-5000 № 17 (до добавления промышленных и других стоков). Варианты эксперимента предусматри-

вали разведение сточной воды пластовой водой в соотношении объемов: 1:1600, 1:1000, 1:500 и 1:100. Первое из этих соотношений примерно отвечает текущему, а остальные предусматривают гипотетическое увеличение доли хозяйственно-бытовых стоков в смеси.

Непосредственно перед разведением был выполнен анализ микробиологического состава как пластовой, так и хозяйственно-бытовой вод. В пробах выявлялись наиболее значимые для биогеохимического круговорота органических веществ физиологические группы микроорганизмов: гетеротрофные, аммонифицирующие, нефтеокисляющие, железобактерии и сульфатвосстанавливающие. При исследовании микрофлоры использовались методики, изложенные в руководствах [4-6]. Все определения выполнялись в 3-х повторностях. Исследуемая вода высевалась или на твердые среды в чашки Петри, или на жидкие в пробирки. На чашках подсчитывалось количество выросших колоний. Посев в пробирки осуществлялся методом предельных разведений, и о количестве бактерий судили по визуальным изменениям среды, свойственным каждой физиологической группе бактерий. Интенсивность роста оценивалась в баллах.

Гетеротрофы, являющиеся показателями общего количества микробов, осуществляющих деструкцию органических веществ различных классов, выявляли на мясопептонном агаре, разведенном в 10 раз. Посевы культивировали при температуре 19–24°C в течение 7 суток. Аммонифицирующие бактерии, разлагающие белковоподобную органику с выделением в среду аммиака, выявляли чашечным способом на среде РВ. Считается, что за счет продуктов своего метаболизма данные микроорганизмы снижают вязкость нефти.

Выявление нефтеокисляющих бактерий, разлагающих нефть и ее производные с использованием кислорода и выделением в воду углекислого газа и органических кислот, осуществляли на агаризованной среде Мюнца с нефтью в качестве единственного источника углерода и энергии. Посевы культивировали при температуре 19–24°C в течение трех недель. По истечении срока инкубации подсчитывали выросшие колонии.

Железобактерии, связывающие водорастворенное железо в органоминеральные комплексы, выращивали на среде Калиненко чашечным способом при комнатной температуре, подсчитывая выросшие колонии после двухнедельного инкубационного периода.

Сульфатредуцирующие бактерии культивировали на среде Таусона-Штурм с лактатом кальция в качестве источника органического вещества. Посев осуществляли способом предельных разведений. Об интенсивности процесса редукции сульфатов судили по появлению в среде черного осадка сульфида железа, образующегося в результате реакции сероводорода (результат микробной редукции сульфатов) и находящегося в среде железа. Интенсивность редукции сульфатов оценивалась в баллах по скорости образования осадка и по интенсивности цвета этого осадка. Шкала оценки по скорости образования осадка составлена следующим образом: баллом 5 оценивается осадок, появляющийся в течение 5-7 дней; баллом 4 оценивался осадок, появившийся спустя 6-10 дней; баллом 3 – через 11-20 дней; баллом 2 – через 21-40 дней и баллом 1 оценивается осадок, появившийся спустя 41-60 дней от начала посева. Шкала оценки по цвету осадка: 1 балл – осадок бледно-серый; 2 балла – осадок бурый; 3 балла – осадок интенсивного черного цвета. Произведе-

ние балла оценки скорости образования осадка на балл оценки цвета дает итоговый балл интенсивности сульфатредукции.

Результаты экспериментов и их обсуждение

Результаты микробиологического анализа пластовой воды, отобранной одновременно в 10 различных стерильных емкостей и представленные в табл. 2, показали, что в ней в различных количествах, характерных для данного месторождения, содержатся все изучавшиеся физиологические группы микроорганизмов.

Таблица 2.

Микробиологический состав пластовой воды (кл/мл; в скобках - баллы)

№№ проб	Гетеротрофы	Аммонифицирующие	Нефтеокисляющие	Железобактерии	Сульфатредуцирующие
1	18940	6820	3030	200	1000 (15)
2	8840	3780	7700	220	1000 (15)
3	18140	5900	4110	180	1000 (15)
4	81800	34550	30000	430	1000 (15)
5	21140	7180	9170	220	1000 (15)
6	17570	6330	7190	200	1000 (15)
7	19800	5880	8740	200	1000 (15)
8	19280	6120	8220	360	1000 (15)
9	19660	4700	8180	320	1000 (15)
10	52900	38640	2570	200	1000 (15)
Среднее	27807	11990	8891	253	1000 (15)
Усредненная проба	20090	7500	30000	120	1000 (15)

Различные порции пластовой воды по количеству микрофлоры отличаются незначительно. В то же время, три пробы (№№ 2, 4 и 10) выделяются численным содержанием микробов, что, возможно, связано с отклонениями в степени их аэрации при отборе. Наиболее низким содержанием отличаются железобактерии. Сульфатредуцирующие бактерии характеризуются высокой биохимической активностью, хотя присутствуют в не очень большом для пластовой воды количестве.

Из отдельных проб пластовой воды для эксперимента была приготовлена усредненная смешанная проба, содержащая равные количества пластовой воды из каждой порции. Микробиологический состав такой пробы в целом отвечал содержанию микрофлоры в индивидуальных порциях пластовой воды, за исключением нефтеокисляющих бактерий, количество которых возросло более чем в 4 раза, чему, возможно, способствовала дополнительная аэрация, возникавшая в процессе манипуляции пробами.

Микробиологический состав хозяйственно-бытовой воды отличается от пластовой низким содержанием нефтеокисляющих бактерий и большой численностью гетеротрофов (табл. 3). Здесь также выявлены сульфатредуцирующие бактерии, которые, по-видимому, в связи с иным видовым составом, при существенно меньшем количестве обладают сопоставимой с пластовыми водами активностью.

Таблица 3.

Микрофлора хозяйственно-бытовой воды (кл/мл; в скобках - баллы)

Проба	Гетеротрофы	Аммонифицирующие	Нефтеокисляющие	Железобактерии	Сульфатредуцирующие
Хозбытовая исходная	40900	13500	920	80	100 (15)

Результаты разведения хозяйственно-бытовой воды в различных пропорциях стерильной пластовой водой представлены в табл. 4. Её данные указывают на то, что состав пластовой воды в целом вполне благоприятен для развития микрофлоры хозяйственно-бытовых вод, поскольку при всех применявшихся разведениях количество практически каждой из изучавшихся групп микроорганизмов увеличилось. Исключением стали лишь железобактерии, которые в среде пластовых вод практически исчезли.

Результаты аналогичного посева пластовой воды в стерильную хозяйственно-бытовую воду в различных пропорциях приведены в табл. 5. В результате такого разведения немного уменьшилось количество нефтеокисляющих микроорганизмов, и снизилась активность сульфатредуцирующих бактерий, хотя во всех случаях такое уменьшение далеко не пропорционально простому разведению. Из приведенных данных очевидно, что хозяйственно-бытовые воды также являются благоприятной средой для развития пластовой микрофлоры.

Таблица 4.

Результаты посева хозяйственно-бытовой воды в различные количества стерильной пластовой воды (кл/мл; в скобках - баллы)

Вариант опыта	Гетеротрофы	Аммонифицирующие	Нефтеокисляющие	Железобактерии	Сульфатредуцирующие
Хозбытовая исходная	40900	13500	920	80	100 (15)
Разведение 1:1600	77900 26	3300 8	2810 1	0 0	1000 (15) 0 (0)
Разведение 1:1000	151900 41	4850 14	13600 1	0 0	1000 (15) 0 (0)
Разведение 1:500	180900 82	6310 27	7320 2	0 0	1000 (15) 0 (0)
Разведение 1:100	321700 409	13200 135	10200 9	0 1	1000 (15) 1 (0)
Усредненная пластовая (не стерильная)	20090	7500	30000	120	1000 (15)

Здесь и в последующих таблицах верхняя строка – опыт, нижняя – значение, ожидаемое исходя из простого разведения.

Таблица 5.

Результаты посева пластовой воды в различные количества стерильной хозяйственно-бытовой воды (кл/мл; в скобках - баллы)

Вариант опыта	Гетеротрофы	Аммонифицирующие	Нефтеокисляющие	Железобактерии	Сульфатредуцирующие
Усредненная пластовая	20090	7500	30000	120	1000 (15)
Разведение 1:1600	36600 13	18040 5	4930 19	10 0	100 (12) 1 (0)
Разведение 1:1000	36900 20	24560 8	6300 30	0 0	100 (12) 1 (0)
Разведение 1:500	13800 40	24100 15	6800 60	0 0	100 (12) 2 (0)
Разведение 1:100	125400 201	37800 75	5900 300	0 1	100 (12) 10 (0)
Хозбытовая исходная (не стерильная)	40900	13500	920	80	100 (15)

При закачке стоков в пласт на развитие микрофлоры могут оказывать влияние не только факторы состава вод, но и взаимоотношения аборигенной пластовой и закачиваемой микрофлоры.

Для установления характера таких взаимоотношений не стерильная хозяйственно-бытовая вода была смешана в соответствующих пропорциях с нестерильной пластовой водой, что ближе всего отражает реальное поведение микрофлоры при захоронении стоков без дополнительных мероприятий по стерилизации смешиваемых вод (табл. 6). В этом случае установлено более низкое количественное содержание изучаемых физиологических групп бактерий по сравнению с предыдущими вариантами, но, в общем, оно остается довольно высоким, что говорит о том, что конкурентные взаимоотношения различных популяций микроорганизмов важны, но не имеют решающего значения.

Таблица 6.

Результаты посева хозяйственно-бытовой не стерильной воды в не стерильную пластовую воду (кл/мл; в скобках - баллы)

Вариант опыта	Гетеротрофы	Аммонифицирующие	Нефтеокисляющие	Железобактерии	Сульфатредуцирующие
Усредненная пластовая	20090	7500	30000	120	1000 (15)
Разведение 1:1600	26510	6910	2450	0	100 (15)
	20103	7504	29982	120	999 (15)
Разведение 1:1000	21580	7530	2830	0	100 (12)
	20111	7506	29971	120	999 (15)
Разведение 1:500	48900	14500	18000	0	100 (12)
	20132	7512	29942	120	998 (15)
Разведение 1:100	77920	12460	17400	0	100 (12)
	20296	7559	29712	119	991 (15)
Хозбытовая исходная	40900	13500	920	80	100 (15)

Проведенные эксперименты показали, что микроорганизмы изучаемых физиологических групп по-разному относятся к изменениям среды обитания, сопровождающим смешение вод. Количество гетеротрофных бактерий увеличивалось во всех вариантах экспериментов, но особенно благоприятными для их развития были разведения 1:500 и 1:100. Аналогично ведут себя и аммонифицирующие бактерии, но рост их числа в смесях менее выражен. В некоторых случаях содержания этих бактерий возрастают даже по сравнению с их исходными количествами в добавляемой хозяйственно-бытовой воде.

В то же время, количество нефтеокисляющих бактерий при смешении различных типов вод увеличивалось по отношению к хозяйственно-бытовой воде, но уменьшалось в сравнении с пластовой. В частности, при добавлении к пластовой воде различных количеств хозяйственно-бытовых вод из биоценоза исчезали родококки, являющиеся основными деструкторами нефти и нефтепродуктов и обитающие преимущественно в пластовых водах.

Железобактерии при смешении вод сразу же выпадали из биоценоза, вероятно по причине их исходной малочисленности, не выдерживая конкуренции с другими микроорганизмами новых микробиоценозов. Уменьшение количества и активности сульфатредуцирующих бактерий произошло заметно лишь в последнем случае, когда использовались не стерильные воды. Вероятно такая ситуация будет наблюдаться в природных условиях. Но даже при такой численности и активности сульфатредуцирующих бактерий в пласте мо-

гут наблюдаться негативные процессы, обусловленные их деятельностью. Правда они не превышают по своей интенсивности эффект закачки в пласты чистых подтоварных вод.

В отношении суммарного поведения привносимых микробиоценозов весьма показательным оказалось изучение влияния различных концентраций пластовой воды на общее количество микробов в хозяйственно-бытовой воде. Для этого одна часть хозяйственно-бытовой воды разводилась стерильной пластовой водой в 10, 100, 1000, 10 000, 100 000 и 1000 000 раз. Результаты таких испытаний приведены в табл. 7.

Согласно этим данным, разведение хозяйственно-бытовой воды стерильной пластовой в 10, 100 и 1000 раз практически не приводило к существенному изменению исходного количества микробов. Резкое уменьшение общего числа бактерий наблюдалось при разведении в 10000 раз и, в меньшей степени, при последующих разведениях.

Таблица 7.

Влияние разведения не стерильной хозяйственно-бытовой воды различным количеством стерильной пластовой воды на общую численность микрофлоры

Разведение	Количество микробов	
	Опыт	Расчет по степени разведения
нет	10^{11}	10^{11}
в 10 раз	10^{11}	10^{10}
в 100 раз	10^{11}	10^9
в 1000 раз	10^{10}	10^8
в 10 000 раз	10^6	10^7
в 100 000 раз	10^4	10^6
в 1000 000 раз	10^3	10^5

Графическое представление этих данных на рис. 2 показывает, что микрофлора хозяйственно-бытовой воды может активно размножаться при смешении ее с пластовой водой, но при пропорциях смешения превышающих 1:1000 активность их развития резко снижается.

Поскольку речь идет о гетеротрофной микрофлоре, наиболее вероятной причиной этого является снижение вблизи каждой отдельно взятой живой клетки вероятности нахождения белковых органических соединений и продуктов разложения и фрагментов других ранее погибших клеток, которые необходимы для нормального воспроизводства гетеротрофных микроорганизмов, достигающее при определенных стадиях разведения критического уровня.

При разведении равном примерно 1:5000 общее число бактерий в опыте сравнивается с ожидаемым исходя из простого разведения, а при больших разведениях снижается относительно него на 1-2 порядка. С учетом дисперсии в пласте после нагнетания смеси в пласт это отношение может быть снижено еще примерно в 5 раз, поскольку доля проточной пористости рассматриваемых горизонтов, как правило, не превышает 20%, что отвечает разбавлению сточных вод подтоварными и современными пластовыми в 1000 раз и более. Именно это отношение, как показывает приведенное выше рассмотрение, может быть принято в качестве норматива предельно допустимых вредных воздействий, с точ-

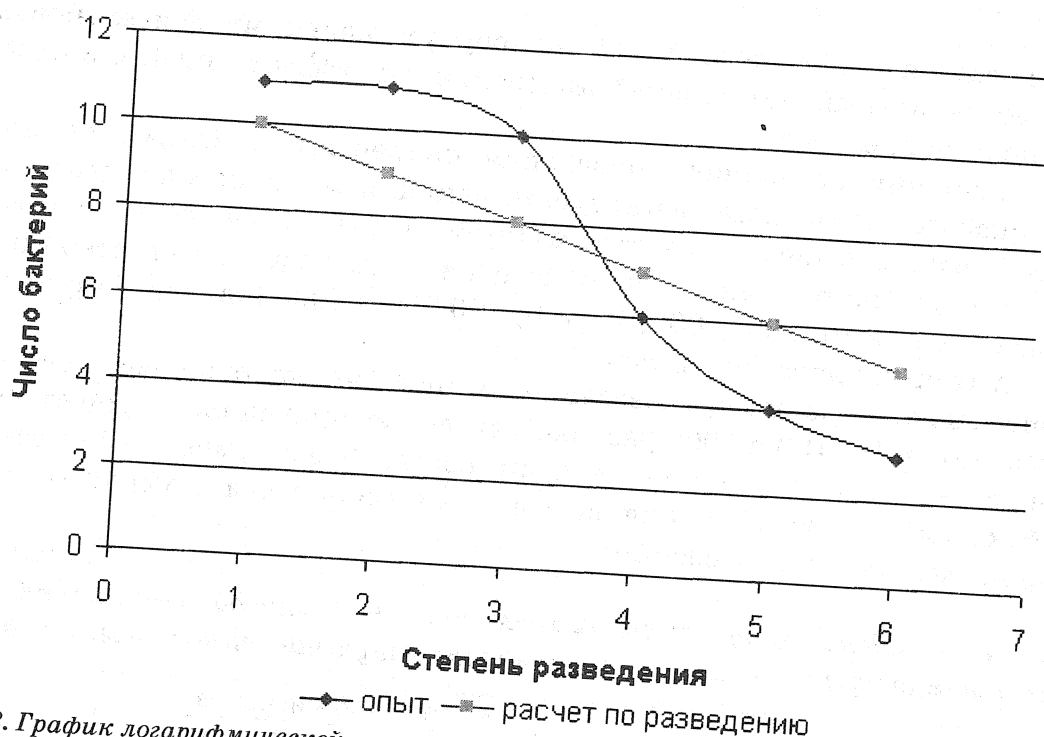


Рис. 2. График логарифмической зависимости интенсивности развития бактерий от степени разбавления хозяйственно-бытовых вод стерилизованными пластовыми водами

ки зрения недопущения необратимых изменений естественных подземных микробиоценозов. Правда оно не ограничивает возможности микробиологической редукции сульфатов, но, учитывая незначительность их концентрации в смесях с такими и, особенно, более высокими пропорциями, этот процесс будет компенсироваться химическим связыванием образующегося сероводорода закисным железом терригенных осадков, для чего необходимо лишь достаточное удаление нагнетательных скважин от действующих эксплуатационных.

Закключение

Подводя итог выполненным исследованиям, может быть сделан ряд выводов, важных для понимания влияния химического состава вод на условия развития микрофлоры разных типов и взаимовлияния биоценозов хозяйственно-бытовых и пластовых вод при их смешении в различных пропорциях. Причем для различных групп бактерий такие влияния могут быть разнонаправленными.

Так, химическая среда пластовых вод оказывается весьма благоприятной для развития гетеротрофной, нефтеокисляющей и сульфатредуцирующей микрофлоры хозяйственно-бытовых вод, что проявляется при любых разбавлениях. В тоже время интенсивность развития аммонифицирующих бактерий хозяйственно-бытовых вод в химической среде пластовых вод понижается, особенно при малых их добавках, восстанавливаясь до уровня, наблюдаемого в сточных водах, с повышением доли этих вод в смеси до 0.01, а железобактерии в смесях любых пропорций полностью исчезают. Аналогично в химической среде пресных хозяйственно-бытовых вод интенсивно развиваются гетеротрофные, аммонифицирующие и сульфатредуцирующие бактерии пластовой воды, но снижается количество нефтеокисляющих бактерий за счет исчезновения видов, типичной средой обитания которых являются пластовые воды.

Наконец, проведенные эксперименты позволили выявить весьма любопытную особенность развития микробиоценозов хозяйственно-бытовых вод в зависимости от степени их разбавления подтоварными и пластовыми водами

в условиях Советского месторождения – малые разбавления способствуют, в целом, жизнедеятельности входящих в них микроорганизмов, увеличивая общее число бактерий, тогда как при высоких разбавлениях, превышающих 1:5000, пластовые воды действуют на такие микробиоценозы угнетающе.

Исходя из оценки масштабов и тенденций развития подземной микрофлоры в продуктивной толще месторождения при утилизации в нее промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод, при разработке нормативов допустимых воздействий захоронения хозяйственно-бытовых стоков в систему ППД следует учитывать, что с учетом ожидаемой дисперсии доля последних в закачиваемых смесях не должна превышать 1:1000 от объема закачки подтоварных вод. Если, кроме того, иметь в виду химическую совместимость текущих составов закачиваемых смесей и пластовых вод, изучавшуюся методами численного физико-химического моделирования, то в рассматриваемых условиях основным, если не единственным, объектом захоронения сточных вод с технологических и бытовых объектов месторождения должны быть верхние пласты группы А. Для технических стоков Стрежевского НПЗ при увеличении существующих объемов захоронения промышленных и хозяйственно-бытовых стоков захоронение, исходя из этих соображений, следует осуществлять только в пласт А₁.

Для локализации изменений подземной гидросферы в пределах объема пород, ограниченного горным отводом, общий накопленный объем захороненных техногенных сточных вод не должен, в целом, превысить накопленного объема добытой нефти. С учетом возможной микробиологической редукции сульфатов до сероводорода и ограниченной скорости их вывода из раствора активными формами железа вмещающих осадочных пород, при захоронении промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод (исключая предположительно стерильные воды НПЗ) в систему ППД, захоронение допустимо только при удалении нагнетательных скважин от нефтедобывающих на расстояние не менее 100-200 м. Наконец очевидно, что захоронение техногенных стоков может осуществляться лишь при неукоснительном соблюдении принятых в настоящее время нормативов допустимого содержания взвешенных веществ.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 02-05-64623 и 02-05-81014).

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические указания по разработке нормативов предельно допустимых вредных воздействий на подземные водные объекты и предельно допустимых сбросов вредных веществ в подземные водные объекты. – М.: МПР РФ, 1998. – 38 с.
2. Кащавцев В.Е., Гаттенбергер Ю.П., Люшин С.Ф. Предупреждение солеобразования при добыче нефти. – М.: Недра, 1985. – 215 с.
3. Геология нефти и газа Западной Сибири. / А.Э.Конторович, И.И.Нестеров, Ф.К.Салманов и др. – М.: Недра, 1975. – 680 с.
4. Практикум по микробиологии. / Под ред. Н.С. Егорова – М., 1976. – 307 с.
5. Родина А.Г. Методы водной микробиологии. Практическое руководство. – М.–Л., 1965. – 286 с.
6. Кузнецов С.И., Романенко В.И. Микробиологическое изучение внутренних водоемов. – М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1963. – 189 с.

INFLUENCE OF A BURIAL PLACE WASTE WATER OF OIL DEPOSIT ON UNDERGROUND MICROBIOTENOSSES

M.B Bukaty, N.G. Nalivayko, T.N, Sidorenko

Experimental research of influence of a burial place of waste water on underground microbiotensos, executed on an example of the Soviet petroleum deposit (Western Siberia), has shown, that chemical environment underground of waters appears rather favorable for development heterotrophic, oil microbes and sodium microflora of household waters, that is shown at any quality. The intensity of development ammonium of bacteria of household waters in chemical environment underground of waters opposite is usually lowered, and железобактерии in mixes of any proportions completely disappear. In chemical environment of fresh household waters intensively develop heterotrophic, ammonium and sodium of a bacterium underground of water, but the quantity oil of bacteria is reduced at the expense of disappearance of kinds typical environment, which are underground of water. Small quality, as a whole, the abilities to live of introduced microorganisms promote, increasing general number of bacteria, whereas at high разбавлениях, exceeding 1:5000, underground of water work on alien microbiotensos kelled.

УДК 550.42:546.7:621.039

НОВЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ РАДИОАКТИВНОГО СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Протасевич Е.Т.

Предложен метод мониторинга радиоактивного состояния природной среды путём регистрации излучений атомарного водорода или гидроксидов в местах нахождения залежей урана и других радиоактивных минералов.

1. Введение

XX век по праву считается веком физики. Практически успехи всех других наук обусловлены внедрением в них последних достижений физики. В науках о Земле это обстоятельство наиболее ярко проявляется в геофизике. Ничуть не умаляя известные методы обнаружения радиоактивных минералов за счёт гамма-спектроскопии, хотелось бы указать на возможность определения залежей радиоактивных минералов путём регистрации ионизирующего излучения в СВЧ-диапазоне длин волн.

Цель настоящей работы – обратить внимание специалистов на возможность поиска урана и других радиоактивных минералов по регистрации в СВЧ-диапазоне длин волн излучений атомарного водорода и гидроксидов ОН.

2. Теоретическое описание метода

В [1] автором предложен принципиально новый метод регистрации радиоактивного загрязнения окружающей среды. Его суть сводится к следующему.

Известно, что пары воды принадлежат к числу наиболее распространённых компонентов атмосферы, и при их оптимальном содержании во влажном воздухе возникают условия, обеспечивающие длительное свечение ионизированной