

2 (45) февраль 2008

ГОРНЫЕ ВЕДОМОСТИ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

**ВОПРОСЫ СТРАТЕГИИ ВЫБОРА
ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ
ПОИСКОВО-ОЦЕНОЧНЫХ РАБОТ
В ПРЕДЕЛАХ СЕВЕРНЫХ РАЙОНОВ
ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

**ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ДОСТОВЕРНОСТИ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ПЛАСТОВЫХ
ВОД НА ПРИМЕРЕ ДРУЖНОГО, ЛОВИНСКОГО,
НИВАГАЛЬСКОГО И ПОКАЧЕВСКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЙ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОДСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ
СЛОИСТЫХ НЕФТЕНАСЫЩЕННЫХ
КОЛЛЕКТОРОВ НЕОКОМСКИХ
ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

*«Богатство недр
есть залог величия державы»*

М.В. Ломоносов

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ДОСТОВЕРНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ПЛАСТОВЫХ ВОД НА ПРИМЕРЕ ДРУЖНОГО, ЛОВИНСКОГО, НИВАГАЛЬСКОГО И ПОКАЧЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

М.Ю. Зубков, Р.В. Коваленко, Н.Ф. Улыбина¹, А.Г. Плавник²

¹ООО ТФ «КогалымНИПИнефть», г. Тюмень; ²ЗСФ ИНГГ СО РАН, г. Тюмень

АННОТАЦИЯ

На примере результатов гидрохимических анализов вод, отобранных из нескольких пластов разведочных, добывающих, нагнетательных и водозаборных скважин, пробуренных в пределах Дружного, Ловинского, Нивагальского и Покачевского месторождений доказана слабая достоверность и низкое качество анализов пластовых вод, отобранных из разведочных скважин. Разработаны критерии для оценки степени достоверности определения минерализации пластовых вод. Предложен способ определения минерализации пластовых вод по результатам гидрохимических анализов вод из эксплуатационных скважин.

RELIABILITY EVALUATION OF MEASUREMENTS OF FORMATION WATER SALINITY, BY THE EXAMPLE OF DRUZHNOE, LOVINSKOE, NIVAGALSKOE AND POKACHEVSKOE FIELDS (WESTERN SIBERIA)

M.Yu. Zubkov, R.V. Kovalenko, N.F. Ulybina¹, A.G. Plavnik²

¹ООО ТФ KogalymNIPIneft, Tyumen; ²Western Siberian Office of Institute of Petroleum

Geology and Geophysics at the Siberian Branch of RAS, Tyumen

ABSTRACT

Poor reliability and low quality of analyses of formation water taken from exploration wells were proved by reviewing the results of hydrochemical analyses of water samples taken from several formations in exploration, production, injection and water supply wells in Druzhnoe, Lovinskoe, Nivagalskoe and Pokachevskoe fields. Criteria for reliability evaluation of measurements of formation water salinity have been developed. A method has been suggested to measure formation water salinity using the results of hydrochemical analyses of water samples taken from production wells.

ВВЕДЕНИЕ

Величина минерализации пластовых вод является одним из наиболее важных параметров, необходимых при интерпретации данных ГИС и петрофизических исследований, результаты которых используются при подсчете запасов углеводородов. Поэтому оценка качества и степени достоверности определения величины минерализации пластовых вод, присутствующих наряду с углеводородами в продуктивных пластах, является чрезвычайно актуальной.

Основной причиной низкого качества и слабой достоверности определения минерализации пластовых вод, отобранных из разведочных скважин, является несоблюдение правил отбора проб воды, из-за чего в них присутствует большее или меньшее количество технических жидкостей, используемых в процессе бурения и опробования скважин. Поэтому в настоящей работе рассмотрены основные типы и составы технических жидкостей с целью исключения из рассмотрения результатов гидрохимических анализов пластовых вод, в которых обнаруживаются признаки присутствия этих жидкостей.

Подавляющее большинство месторождений Западной Сибири, особенно Шаимского района, а также Широтного Приобья, давно разрабатывается, и, кроме исследований вод, отобранных из различных пластов в разведочных скважинах, получено огромное количество анализов попутно добываемых и закачиваемых с целью ППД вод. Более того, имеются продуктивные пласты, из которых вообще не были отобраны пробы пластовой воды. Поэтому обширный гидрохимический материал, накопленный по эксплуатационным скважинам, представляет большой научный и практический интерес. Его обобщение и использование при обосновании средних значений минерализации пластовых вод, присутствующих в разновозрастных продуктивных отложениях тех или иных месторождений, выполнено в настоящей работе.

АНАЛИЗ ИСХОДНОЙ ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ И ОСОБЕННОСТЕЙ СОСТАВОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН

Основой для написания настоящей работы послужили результаты 190 гидрохимических анализов пластовых вод, отобранных из разведочных и порядка 5 552 анализов, полученных по эксплуатационным скважинам.

Результаты анализов пластовых вод из разведочных скважин распределены по месторождениям следующим образом: 25 — из скважин Дружного,

12 — из скважин Ловинского, 94 — из скважин Нивагальского и 59 — из скважин Покачевского месторождений. Забегая вперед, отметим, что далеко не все пласты охарактеризованы пробами вод, отобранными из разведочных скважин.

Напротив, из всех продуктивных пластов рассматриваемых месторождений отобраны многочисленные пробы вод из эксплуатационных скважин. Пробы попутно добываемых и закачиваемых вод распределяются следующим образом.

Дружное месторождение — всего имеется порядка 2 524 анализов, отобранных из 606 добывающих, 76 нагнетательных и 9 водозаборных скважин.

Ловинское месторождение — собрано около 475 анализов; из них порядка 438 получено по водам из добывающих и 37 из нагнетательных скважин.

Нивагальское месторождение — всего имеется порядка 560 анализов, отобранных из 301 скважины, из которых 283 — это добывающие, а 18 — нагнетательные.

Покачевское месторождение — собрано и проанализировано порядка 1 991 анализа, полученных по водам, отобранным из 911 скважин, из которых 821 — добывающая, 89 — нагнетательных и 1 — водозаборная.

Таким образом, совершенно очевидно, что число анализов пластовых вод, полученных по эксплуатационным скважинам, во много раз (в 29 раз) превышает таковые, полученные по разведочным скважинам. Соответственно, можно предполагать, что достоверность и статистическая устойчивость результатов гидрохимических анализов вод, поднятых из эксплуатационных скважин, гораздо выше, чем полученных на основе исследований проб пластовых вод из разведочных скважин.

Известно, что основной причиной неверного определения ионного состава и величины минерализации пластовых вод, поднятых из разведочных скважин, является присутствие в них примесей технических жидкостей, используемых при бурении скважин и вскрытии продуктивных пластов.

Поэтому с целью более точного установления возможного состава технических примесей, которые могут попасть в пластовые воды, нами анализировались составы буровых растворов, использовавшихся при бурении разведочных и эксплуатационных скважин в пределах рассматриваемых месторождений.

Установлено, что при бурении скважин в пределах рассматриваемых месторождений применялись главным образом следующие типы буровых растворов: полимер-глинистый с малым содержанием твердой фазы, полимер-малоглинистый, глинистый соленащенный, стабилизированный.

Из перечисленных типов буровых растворов минимальное влияние на пластовую воду оказывает полимер-глинистый раствор с малым содержанием твердой фазы.

В состав растворов, применявшихся при бурении разведочных и эксплуатационных скважин, в виде добавок и различного рода стабилизаторов использовались следующие реагенты: сода (в т.ч. кальцинированная), гашеная известь, фосфат натрия, хлориды натрия, кальция, калия, реже магния, гидроокись натрия и другие компоненты. Применение перечисленных выше добавок вызывает резкое изменение химического состава пластовых вод, если эти технические жидкости попадают в них, что проявляется в повышенных или «ураганных» содержаниях в пробах гидрокарбонат-иона, сульфат-иона, гидроксидов ($\text{pH} > 9$), ионов натрия, хлора, реже кальция.

Использование в виде добавок в буровом растворе упомянутых соединений (сода и фосфатов натрия) приводит к осаждению в виде нерастворимых солей, в первую очередь катионов магния и в меньшей степени кальция, поэтому по низкому содержанию или полному отсутствию этих катионов в пробах воды можно однозначно заключить, что в них содержится большее или меньшее количество фильтрата бурового раствора.

Поскольку из разведочных скважин отбирались единичные пробы, то проследить характер изменения концентраций основных солеобразующих ионов даже на протяжении непродолжительного интервала времени не представляется возможным. Напротив, из эксплуатационных скважин пробы вод отбираются регулярно на протяжении всего периода разработки месторождения, поэтому можно пронаблюдать, как меняется содержание отдельных ионов и суммарной (или общей) минерализации вод, получаемых из них в течение продолжительного времени.

Следует также помнить, что точность, с которой определяется величина минерализации пластовых вод, составляет в среднем 10%, а некоторые исследователи считают, что неопределенность определения минерализации пластовой воды для нефтяных месторождений достигает 20%, следовательно, при реальной минерализации пластовой воды, равной, например, 20 г/л, в гидрохимической лаборатории с равным успехом могут определить ее минерализацию равной как 18, так и 22 г/л; этот факт нужно иметь в виду, когда проводится статистическая обработка гидрохимических данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ изменения концентраций основных анионов (Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-}) и катионов (Na^+ ,

K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}), присутствующих в пробах пластовых вод, а также их суммарной минерализации в течение периода разработки того или иного продуктивного пласта не позволил установить каких-либо закономерностей. Наблюдается стохастическое распределение значений концентраций тех или иных ионов в пробах вод во времени вблизи средних значений без какой-либо тенденции уменьшения или возрастания их содержания по мере разработки пластов. Однако практически во всех случаях отмечается явное преобладание концентраций иона магния в пробах вод, полученных из эксплуатационных скважин по сравнению с пластовыми водами, поднятыми из разведочных скважин. Кроме того, обычно отмечается немного более высокая величина суммарной минерализации вод, отобранных из эксплуатационных скважин, по сравнению с таковыми, поднятыми из разведочных скважин, что подтверждает отмеченный выше факт разбавления пластовой воды менее минерализованной или пресной технической водой.

Как уже отмечалось выше, наиболее информативным параметром (наряду с другими), свидетельствующим о наличии в пробе пластовой воды фильтрата бурового раствора, является концентрация магния, а самым важным (использующимся для интерпретации результатов электрических методов ГИС и построения петрофизических зависимостей) является величина суммарной минерализации. Поэтому именно эти два параметра нами и будут рассмотрены ниже более подробно.

Поскольку обычно получаемые среднеарифметические значения общей минерализации вод по каждому из продуктивных пластов (даже после предварительной выбраковки явно ошибочных анализов) нам представляются не вполне корректными, несмотря на то, что с формальной точки зрения они могут считаться статистически обоснованными, то нами предложен иной способ определения наиболее вероятных значений суммарной минерализации пластовых вод. Этот способ заключается в следующем. Все значения суммарной минерализации, полученные в пробах вод, отобранных из разведочных, добывающих и нагнетательных скважин того или иного продуктивного пласта, выстраиваются друг за другом по мере роста величин этого параметра (интегральная форма зависимости). Затем полученную интегральную зависимость дифференцируют и получают наиболее вероятные (чаще всего встречающиеся) значения параметра (дифференциальная форма зависимости).

Для удобства сравнения результатов гидрохимических анализов вод, полученных из разведочных и эксплуатационных скважин, макси-

мальные, минимальные и средние значения параметров, определенных в пластовых водах, отобранных из разведочных скважин, нанесены на графики параметр — время в виде прямых линий, параллельных осям абсцисс.

Поскольку весь собранный и обработанный материал невозможно рассмотреть в настоящей публикации из-за его огромного объема, то рассмотрим обсуждаемые параметры и зависимости более подробно на примере гидрохимических анализов вод, отобранных из нескольких продуктивных пластов обсуждаемых месторождений.

ЛОВИНСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ

Концентрации магния и суммарной минерализации в водах, отобранных из нагнетательных и особенно добывающих скважин пластов ЮШ₅₋₆, изменяются в широких пределах (рис. 1). Определенных тенденций в характере изменений концентраций иона магния и суммарной минерализации со временем не наблюдается. Можно лишь отметить, что по мере разработки пластов отмечается небольшое уменьшение размаха колебаний суммарной минерализации вод, полученных из добывающих скважин. Сопоставляя концентрации магния и значения суммарной минерализации в водах из разведочных с теми же параметрами вод из эксплуатационных скважин, можно отметить, что и содержание магния, и величина суммарной минерализации в последних в среднем немного выше, чем в первых (см. рис. 1).

Анализ интегральных и дифференциальных форм зависимостей показал, что для разведочных скважин имеется одно наиболее вероятное значение суммарной минерализации, равное 9.32 г/л (рис. 26). Воды, полученные из добывающих скважин, характеризуются асимметричным дифференциальным распределением значений суммарной минерализации, но главный максимум равен величине 9.34 г/л, что лишь на две сотые больше такового, полученного для пластовых вод из разведочных скважин (рис. 26). Дифференциальное распределение значений суммарной минерализации, полученное для нагнетательных скважин, имеет более явную «двугорбую» форму. Один максимум приходится на значение суммарной минерализации, равное 9.51 г/л, а второе — 11.54 г/л. Таким образом, наиболее вероятные значения суммарной минерализации пластовых вод, полученных из пластов ЮШ₅+ЮШ₆, близки к 9.40 г/л. Менее выраженные локальные максимумы на дифференциальной кривой с большими и меньшими значениями минерализации соответствуют некачественным пробам пластовых вод, разбавленным техническими жидкостями, либо пробам, в которых присутствует

заметная доля пресных вод, использовавшихся для ППД после прекращения фонтанного периода разработки месторождения или его участков.

Чем объясняется присутствие второго вероятного значения суммарной минерализации, наиболее отчетливо проявившегося на дифференциальной кривой для нагнетательных скважин, пока трудно сказать. Возможно несколько объяснений. Самое простое заключается в предположении, что первоначальная минерализация пластовых вод была близка к 11.5 г/л, а второй максимум на рис. 26 появился вследствие разбавления пластовых вод закачиваемыми пресными. Можно также допустить, что в пределах месторождения существуют два типа пластовых вод с различной минерализацией.

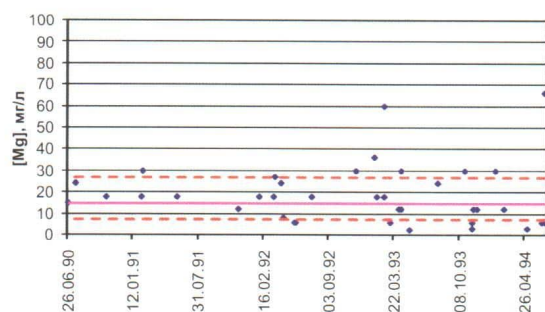
Наконец, не следует забывать о том, что месторождение расположено в активной тектонической зоне и вполне возможно проникновение по зонам дробления более пресных гидротермальных флюидов, которые могли сформировать отличные по составу и минерализации типы пластовых вод в пределах рассматриваемого месторождения.

ПОКАЧЕВСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ

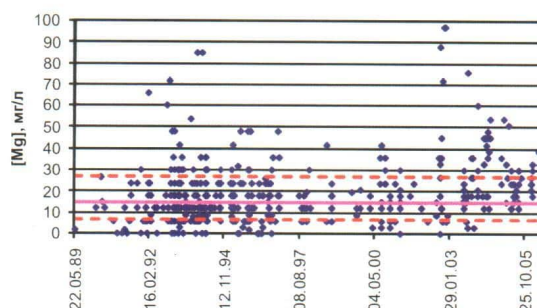
В качестве примера слабоизученного с точки зрения химического состава проб пластовой воды рассмотрим пласт АВ₁. Из этого пласта получены всего две пробы пластовой воды и одна проба воды из нагнетательных скважин. Поэтому основную информацию о минерализации пластовых вод рассматриваемого пласта можно получить лишь на основе анализа результатов вод из добывающих скважин.

Концентрация магния во всех пробах вод, отобранных из добывающих скважин пласта АВ₁, заметно выше, чем в пробах вод, отобранных из разведочных скважин, что однозначно указывает на присутствие в последней заметной примеси технической жидкости, представленной, скорее всего, фильтратом бурового раствора (рис. 3а). То же самое справедливо и для значений суммарной минерализации, которые для вод из добывающих скважин имеют гораздо более высокие значения, чем величины минерализации пластовой воды из разведочных скважин (рис. 3б).

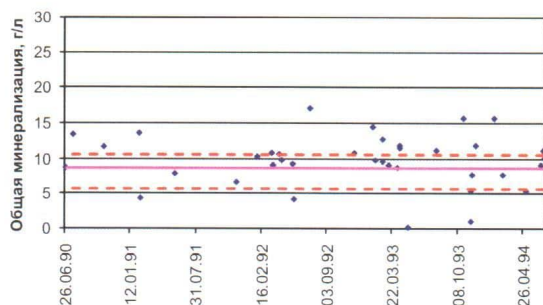
На дифференциальной зависимости четко выделяется одно наиболее вероятное значение суммарной минерализации вод, полученных из добывающих скважин, равное 20.78 г/л (рис. 4б). Полученный максимум на дифференциальной кривой для значений суммарной минерализации вод из добывающих скважин близок к величине суммарной минерализации пробы воды из нагнетательной скважины, чего нельзя



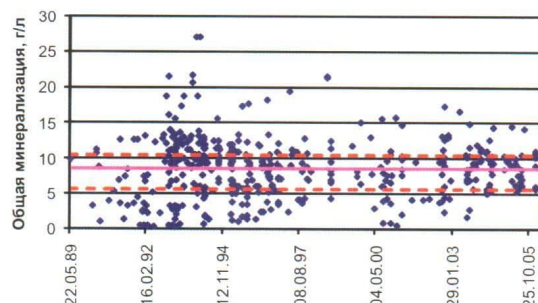
а



б



в



г

Условные обозначения:

- — — минимальное и максимальное значения содержания магния и общей минерализации пластовых вод из разведочных скважин;
- — — среднее значение содержания магния и общей минерализации пластовых вод из разведочных скважин.

Рис. 1. Изменение содержания магния (а, б) и общей (суммарной) минерализации (в, г) в пробах вод, отобранных из нагнетательных (а, в) и добывающих (б, г) скважин Ловинского месторождения в процессе работ с 22.05.1989 по 21.01.2005 (пласты ЮШ₅ + ЮШ₆)

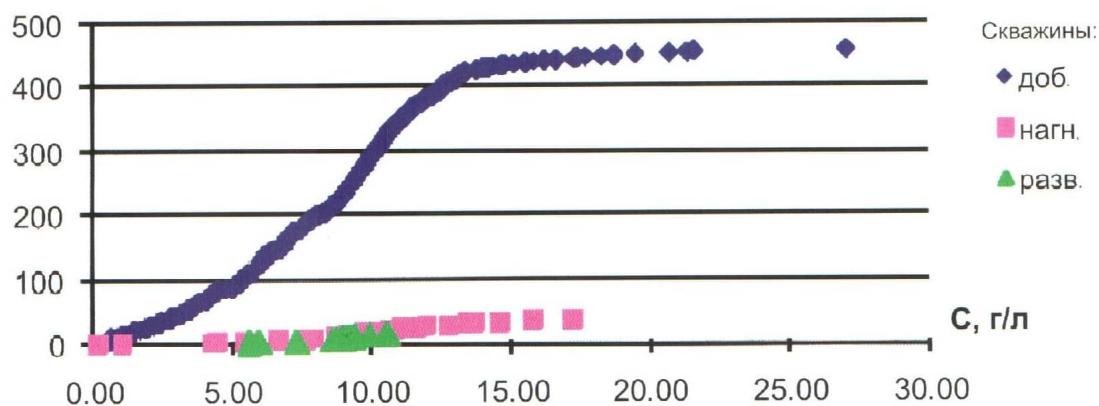
сказать о минерализации пластовой воды, полученной из разведочных скважин (рис. 4). Из двух значений минерализации пластовых вод нами оставлено лишь максимальное, равное 18,26 г/л. Но даже это значение оказалось ниже наиболее вероятной величины суммарной минерализации, полученной на основе анализа результатов гидрохимических анализов вод из добывающих скважин (рис. 4б).

Очевидно, что лишь по результатам гидрохимических исследований вод, полученных из добывающих скважин, для пласта АВ₁ возможно определение наиболее вероятного значения величины суммарной минерализации пластовой

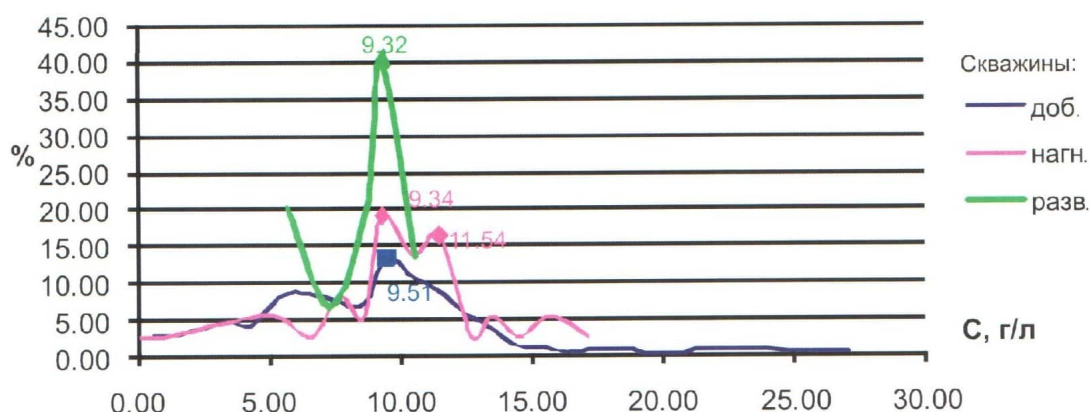
воды из этого пласта, которое близко к 20,8 г/л (рис. 4б).

НИВАГАЛЬСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ

Как и в ранее рассмотренных примерах, в пробах вод, отобранных из эксплуатационных скважин пласта АВ₁, отмечаются заметно более высокие концентрации иона магния, чем в пробах пластовых вод, поднятых из разведочных скважин, что свидетельствует о разбавлении последних фильтратом бурового раствора (рис. 5). Действительно, значения суммарной минерализации, определенной в пробах вод, полученных из эксплуатационных скважин, пусть незначительные, но



а



б

Рис. 2. Интегральное (а) и дифференциальное (б) распределения общей минерализации проб вод, отобранных из разведочных, добывающих и нагнетательных скважин Ловинского месторождения (пласты ЮШ₅ + ЮШ₆)

все же выше таковой из разведочных скважин (рис. 5б, г).

Анализ дифференциальной формы записи распределения минерализаций вод, отобранных из рассматриваемого объекта, показал, что наиболее вероятными значениями для пласта АВ₁ по результатам их гидрохимических анализов для добывающих скважин является значение 20.50 г/л, а для разведочных скважин — 19.54 г/л (рис. 6). Значения суммарной минерализации вод из нагнетательных скважин равномерно распределились в интервале от 16.0 до 23.5 г/л, образовав прямую линию, на которой отсутствуют точки перегиба, поэтому наиболее вероятное значение их суммарной минерализации определить невозможно. По этой причине на рис. 6 приведено среднеарифметическое значение суммарной минерализации вод

из нагнетательных скважин, которое равно 19.54 г/л, что полностью совпадает с результатами определения наиболее вероятного значения суммарной минерализации по результатам гидрохимических анализов пластовых вод из разведочных скважин. Тем не менее наиболее вероятным значением суммарной минерализации пластовых вод следует считать величину 20.50 г/л, так как она получена на гораздо большем числе (около 100) гидрохимических анализов из добывающих скважин, в то время как из нагнетательных и разведочных скважин поднято всего от 5 (первые) до 17 (вторые) проб воды.

ДРУЖНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ

Анализ значений концентраций магния в пробах вод, отобранных из эксплуатационных

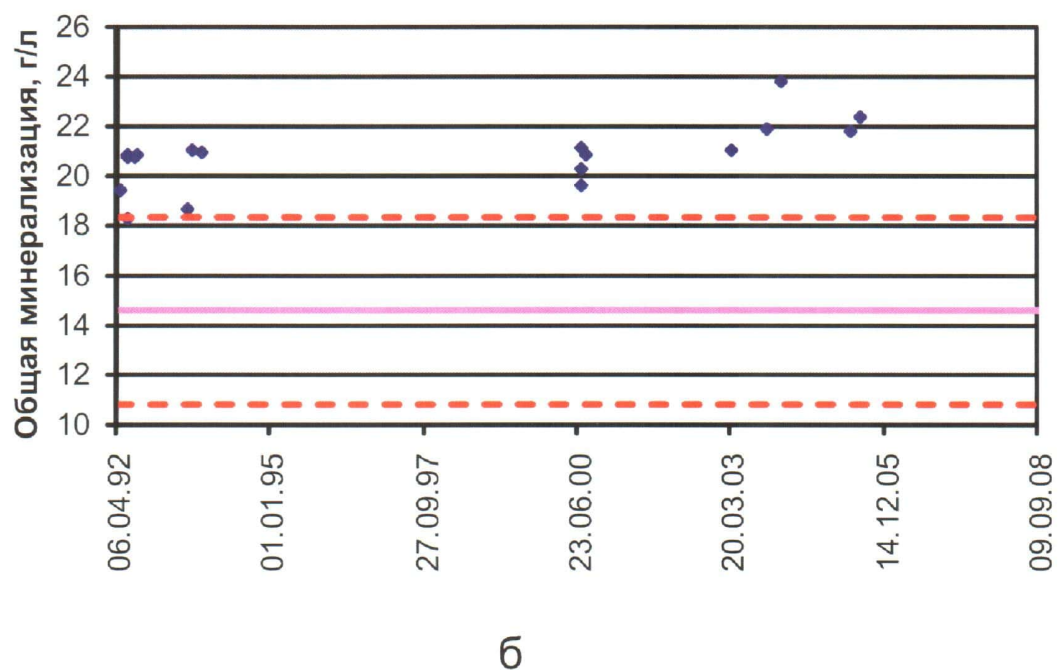
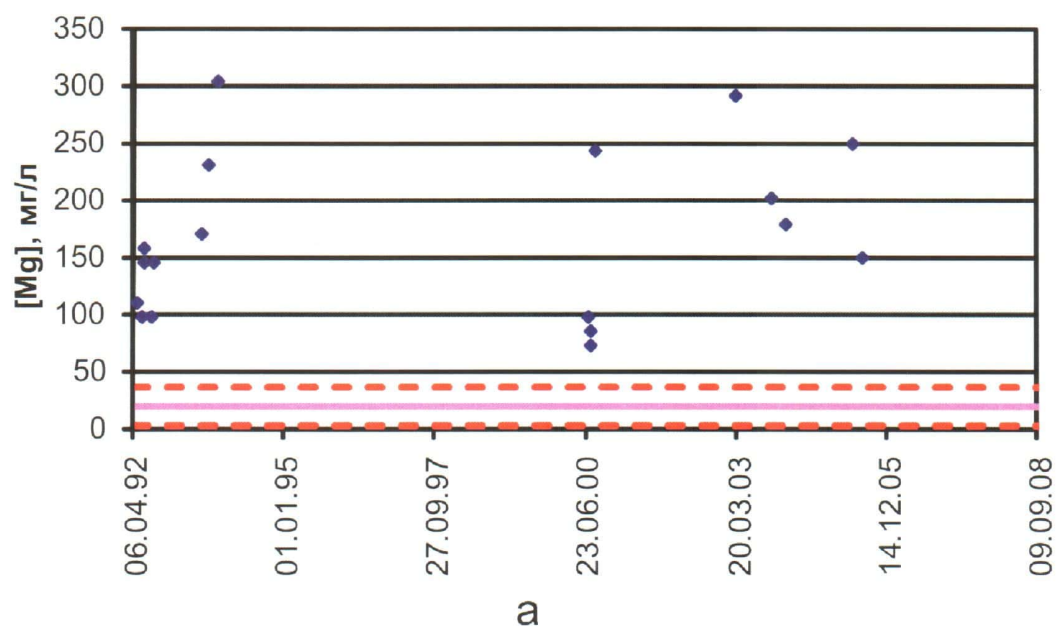
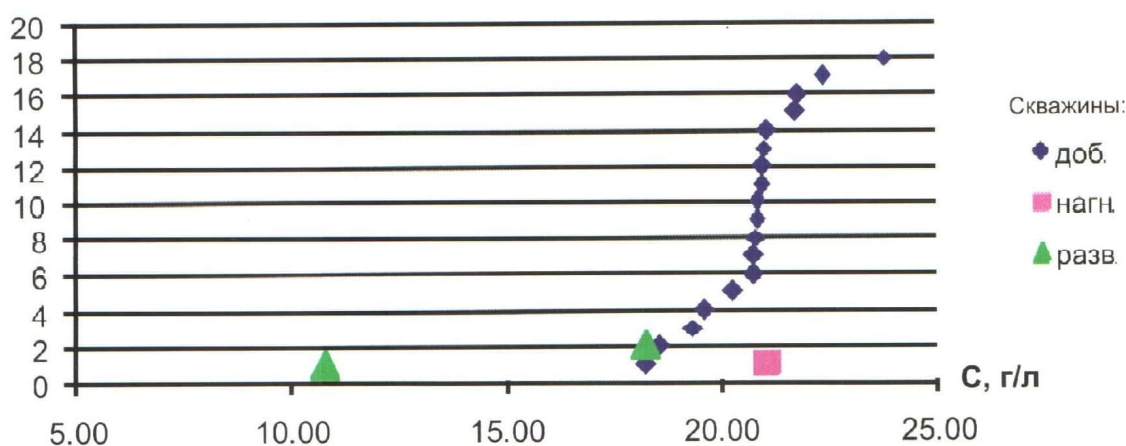
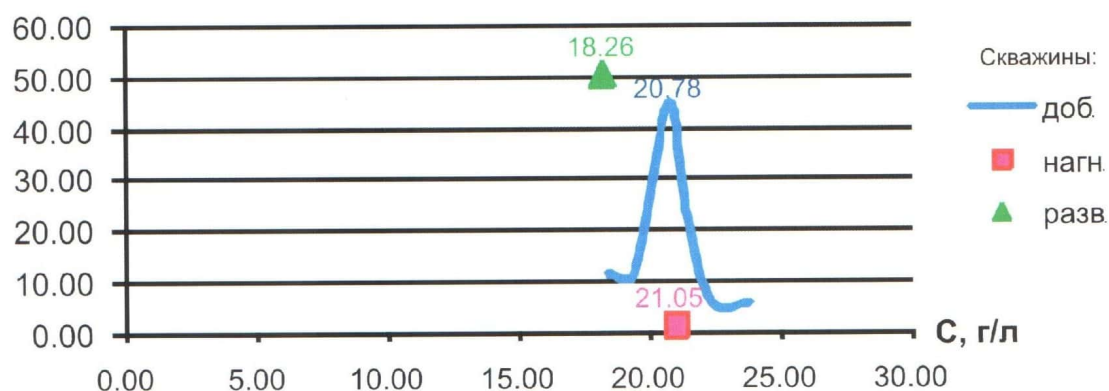


Рис. 3. Изменение содержания магния (а) и общей минерализации (б) в пробах воды, отобранных из добывающих скважин Покачевского месторождения в процессе разработки с 06.04.1992 по 09.09.2006 (пласт АВ₁)



а



б

Рис. 4. Интегральное (а) и дифференциальное (б) распределения (добывающие скважины) и единичные значения (разведочные и нагнетательные скважины) общей минерализации проб вод, отобранных из пласта АВ, Покачевского месторождения

скважин пласта ЮС₁, показал, что, как и в ранее рассмотренных случаях, они заметно выше, чем в таковых из разведочных скважин (рис. 7а, в). Суммарная минерализация вод, отобранных из эксплуатационных скважин, также в среднем заметно выше, чем таковая в пластовых водах, поднятых из разведочных скважин (рис. 7б, г).

Дифференциальная форма записи распределения суммарной минерализации в водах рассматриваемого пласта свидетельствует о том, что в водах из добывающих скважин отмечаются два наиболее вероятных значения суммарной минерализации: 21.59 г/л и 33.60 г/л (рис. 8). Для нагнетательных скважин выделяется один слабо выраженный максимум на дифференциальной кривой, равный 20.45 г/л. Для разведочных скважин дифференциальное распределение значений сум-

марной минерализации получить не удалось, т.к. имеется всего два результата гидрохимических анализов (рис. 8).

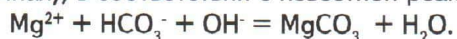
С формальной точки зрения можно бы было предположить, что наиболее вероятным значением суммарной минерализации пластовых вод рассматриваемого пласта можно считать значение, равное 21.59 г/л (первый максимум на дифференциальной кривой, построенной по результатам гидрохимических анализов добывающих скважин), тем более что и по нагнетательным скважинам получено близкое значение (20.45 г/л). Однако из разведочных скважин поднята явно разбавленная технической водой проба пластовой воды с минерализацией, равной 25.08 г/л, не говоря уже о том, что и в добывающих, и нагнетательных скважинах получены

пробы воды с еще более высокими минерализациями (рис. 8). Поэтому можно допустить, что действительной величине суммарной минерализации пластовой воды соответствует второй максимум на дифференциальной кривой, построенной по результатам анализов вод, полученных из добывающих скважин, равный 33.60 г/л (рис. 8).

Первый максимум на обсуждаемой дифференциальной кривой, равный 21.59 г/л, вероятно, соответствует минерализации вод, закачиваемых в пласт с целью ППД (это обычно подтоварные воды из верхних горизонтов и/или из сеноманских водозаборных скважин (пласт ПК)). Воды с рассматриваемой минерализацией добываются из скважин, в которых пластовые воды практически полностью вытеснены подтоварными и сеноманскими водами. Лишь второй пик на дифференциальной кривой с более высокой минерализацией соответствует минерализации собственно пластовых вод, еще не разбавленных и не замещенных подтоварными и/или сеноманскими водами (рис. 8).

Рассмотрим некоторые особенности ионного состава сеноманских вод на примере пласта ПК Дружного месторождения, которые используются для цели ППД. Бросается в глаза явное отличие распределения концентраций иона магния в водах из разведочных и водозаборных скважин, пробуренных на этот пласт. Действительно, если для всех без исключения проб вод из неокотских и юрских продуктивных пластов в них отмечалось преобладание иона магния в эксплуатационных скважинах по сравнению с водами из разведочных скважин, то в рассматриваемых сеноманских водах, наоборот, в пробах воды из разведочных скважин содержание иона магния заметно выше, чем в таковых из водозаборных скважин (рис. 9а). Зато концентрация гидрокарбонат-иона, напротив, в водах из водозаборных скважин гораздо выше, чем из таковых, поднятых из разведочных скважин (рис. 9б).

Отмеченный феномен легко объясняется с точки зрения действия карбонатного равновесия, в соответствии с которым появление в составе сеноманских вод примеси технической жидкости с немного более высокой, чем в них, концентрацией Mg вызывает образование карбоната магния, особенно если среда щелочная (даже слабощелочная), в соответствии с известной реакцией:



В результате этого в составе возникшей смеси пластовой и технической воды концентрация бикарбонат-иона уменьшается (рис. 9б).

Сейчас трудно точно установить состав технической жидкости или жидкостей, использо-

вавшихся для бурения разведочных скважин на пласт ПК, но в них явно были соединения, содержавшие магний, например, бишофит, используемый обычно при бурении интервала, сложенного вечномёрзлыми породами.

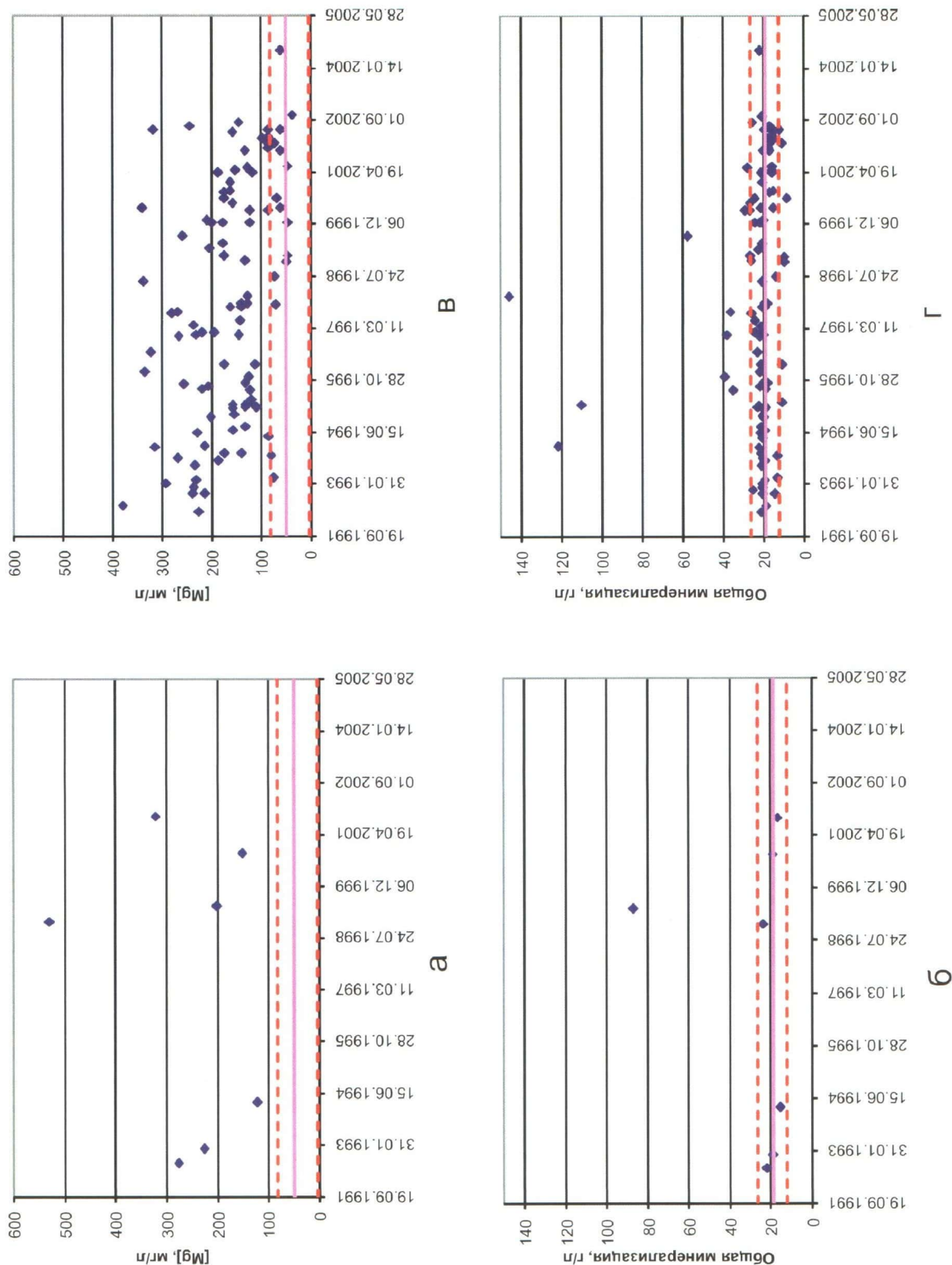
Тем не менее минерализация проб воды, отобранных из разведочных скважин, немного ниже, чем минерализация таковых, полученных из водозаборных скважин (рис. 9в), что может свидетельствовать о том, что технические воды с повышенной концентрацией магния были все-таки слабоминерализованными.

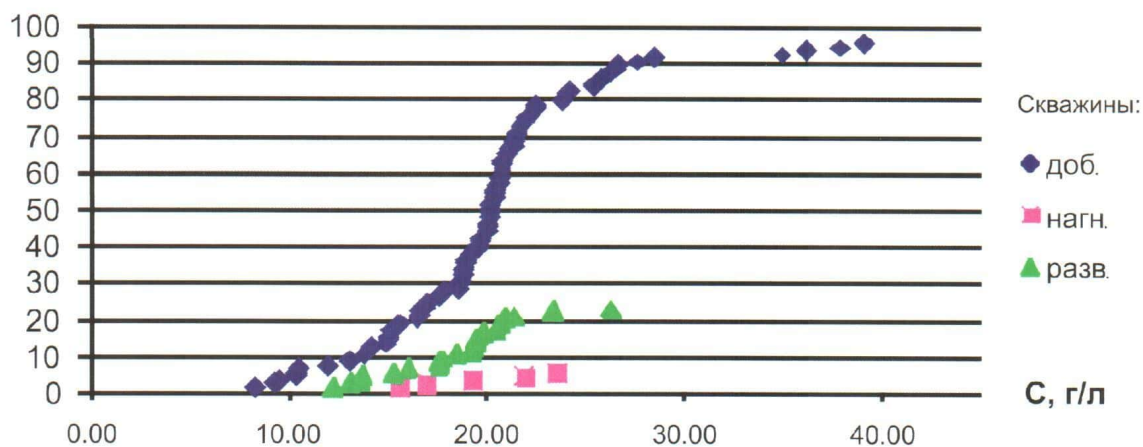
Действительно, анализ кривых дифференциального распределения суммарных минерализаций показал, что наиболее вероятное значение минерализации пластовых вод из разведочных скважин немного ниже, чем наиболее вероятная минерализация вод, отобранных из водозаборных скважин (рис. 10). Обращает на себя внимание тот факт, что первый максимум на кривой дифференциального распределения суммарной минерализации вод, полученных из добывающих скважин, разрабатывающих пласт ЮС₁, почти полностью совпадает по значению с таковым, характерным для вод из водозаборных скважин (сравни рис. 8б и 10б). Поэтому можно предположить, что обсуждаемый максимум на кривой дифференциального распределения суммарных минерализаций вод из пласта ЮС₁ Дружного месторождения получен за счет проб из добывающих скважин, в которых продуктивный пласт промыт или в него внедрились сеноманские воды, вытеснившие из него исходные пластовые воды.

В заключение хотелось бы обсудить степень информативности для решения рассматриваемой в настоящей статье проблемы величины концентрации SO_4^{2-} в пробах пластовых вод. Многие исследователи совершенно справедливо полагают, что присутствие в пробах пластовых вод из разведочных скважин повышенных содержаний сульфат-иона свидетельствует о некачественном отборе проб. Действительно, в пластовых условиях, особенно в нефтенасыщенном пласте, существует восстановительная среда, в которой анион SO_4^{2-} в принципе не может существовать. В этих условиях сера может присутствовать лишь в форме восстановленных соединений (сульфиды, персульфиды, самородная сера или сероорганические соединения, входящие в состав нефти в виде смол и асфальтенов).

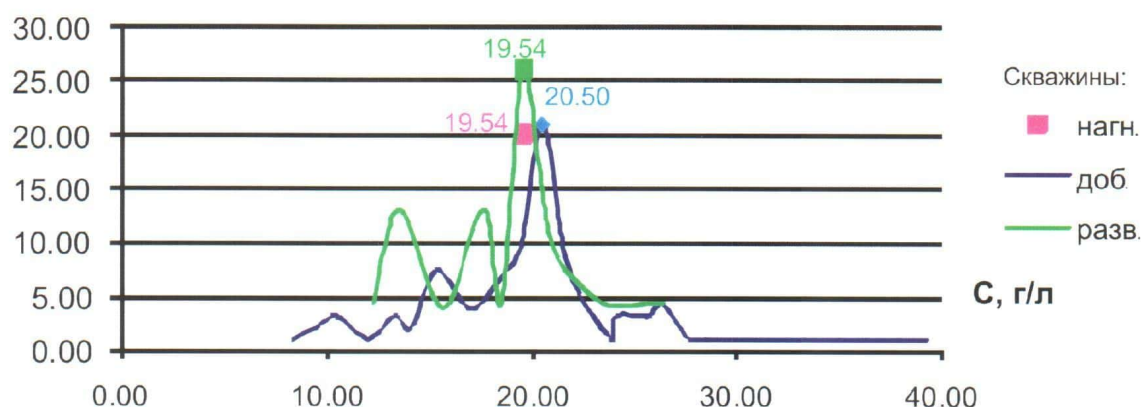
Поэтому появление в составе проб пластовых вод сульфат-иона однозначно свидетельствует о том, что в пробу попали технические воды, содержащие в своем составе сульфаты, либо был занесен кислород (в растворенном в поверхностных водах состоянии), который активно реагирует с восстановленными соединениями серы,

Рис. 5. Изменение содержания магния (а, в) и общей минерализации (б, г) в пробах (а, б) и добытых из нагнетательных (а, б) и добывающих (в, г) скважин Нивагальского месторождения в процессе разработки с 19.09.1991 по 28.05.2005 (пласт АВ₁)





а



б

Рис. 6. Интегральное (а) и дифференциальное (б) распределения общей минерализации проб вод, отобранных из разведочных, добывающих и нагнетательных скважин Нивагальского месторождения (пласт АВ₁)

присутствующими в пласте, окисляя их до SO_3 , который, взаимодействуя с водой, превращается в конечном счете в серную кислоту. Последняя в водном растворе диссоциирует на сульфат-ион и ионы водорода. В результате этого полученный водный раствор становится кислым с pH, меньшим 7.

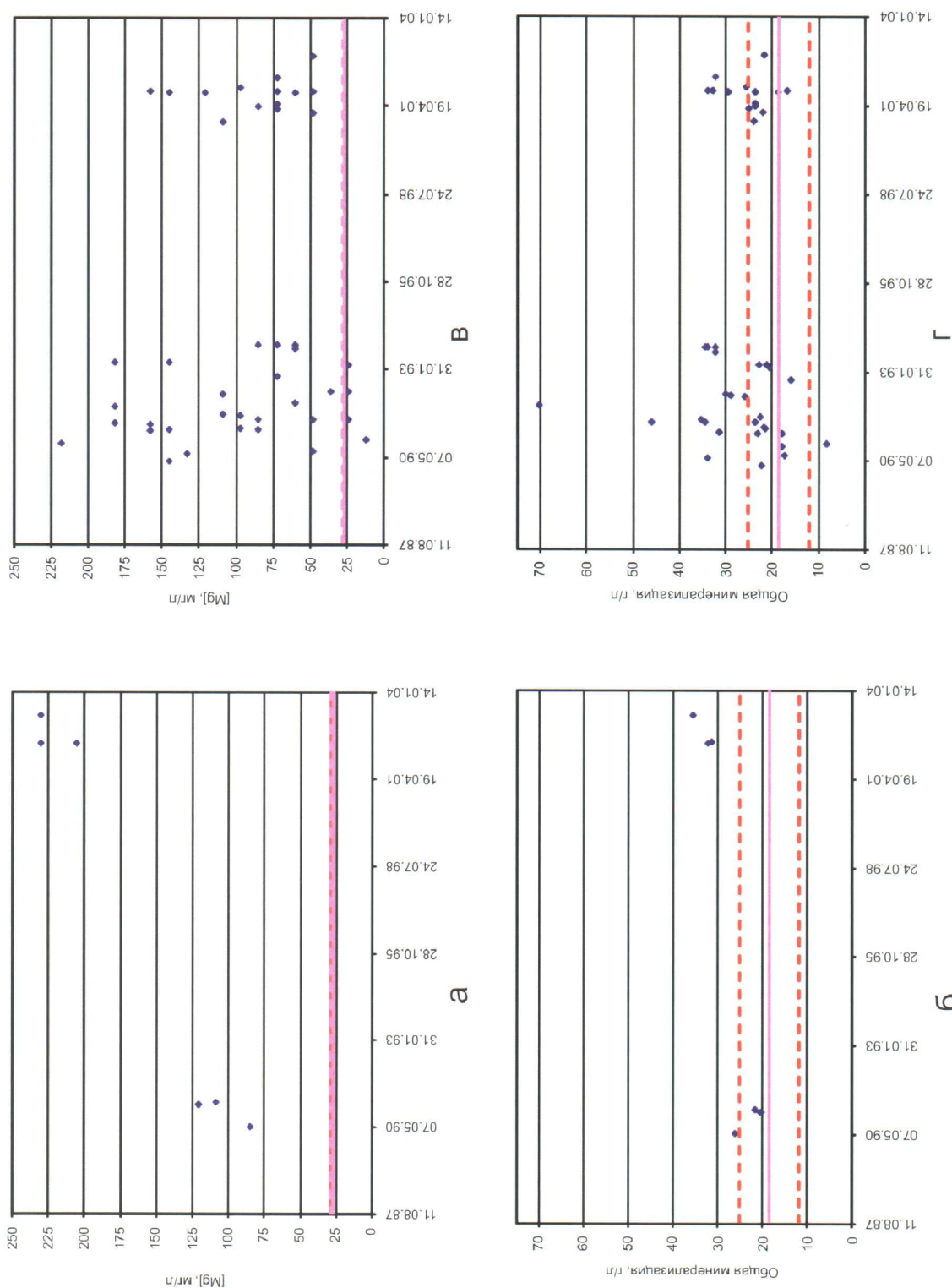
Если в пласте присутствуют карбонаты, например, кальцит, то образовавшиеся сульфат-ионы связываются с ионами кальция и образуется слабо растворимый осадок — гипс. В этом случае pH снова возвращается к нормальной величине, а концентрация иона SO_4^{2-} в водном растворе не превышает следовых концентраций.

В том случае, когда в пласте отсутствуют соединения, нейтрализующие SO_4^{2-} и H^+ -ионы

(например, как рассмотренный выше кальцит), они накапливаются в пробе, которая характеризуется в этом случае пониженными значениями pH. Сказанное выше справедливо лишь в том случае, если в пласте, из которого отбиралась проба воды, присутствуют восстановленные соединения серы, причем достаточно активные в химическом отношении, т.к. некоторые ее соединения, присутствующие в пласте, например, в виде пирита, чрезвычайно устойчивы и практически не реагируют с кислородом.

Из сказанного становится понятным, что по величине концентрации сульфат-иона в пробе пластовой воды трудно судить о количестве присутствующей в ней примеси технического раствора или поверхностной воды. Тем не менее

Рис. 7. Изменение содержания магния (а, в) и общей минерализации (б, г) в пробах вод, отобранных из нагнетательных (а, б) и добывающих (в, г) скважин Дружного месторождения в процессе разработки с 11.08.1987 по 19.04.2001 (пласт ЮС-1)



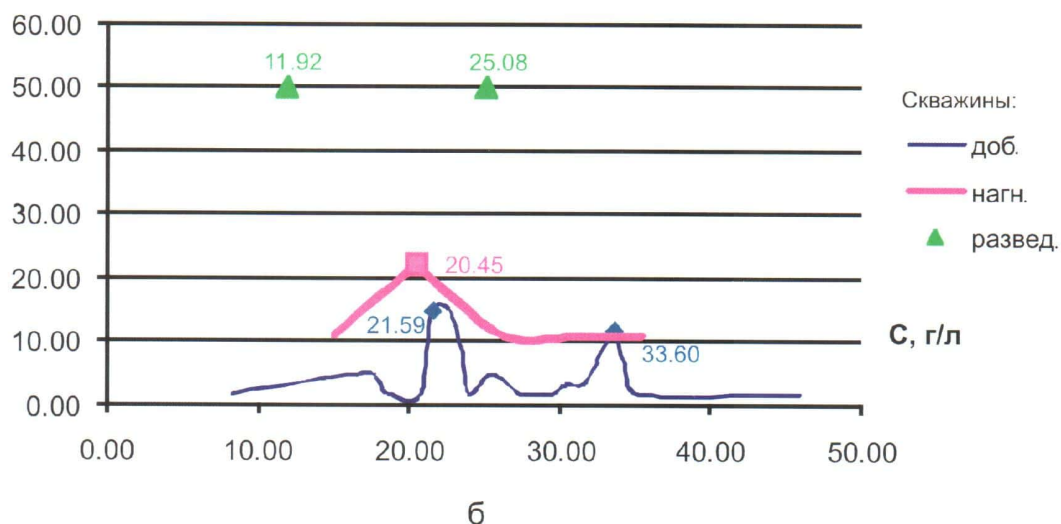
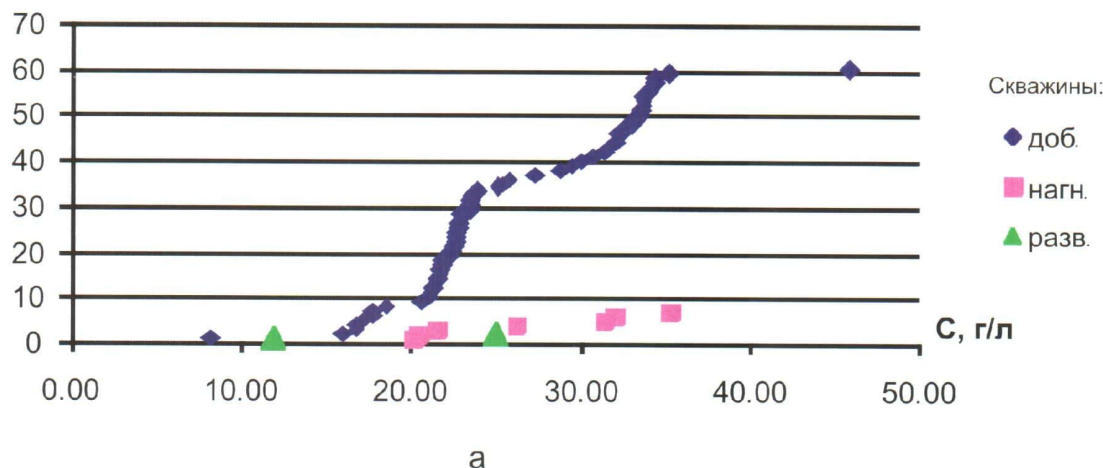


Рис. 8. Интегральное (а) и дифференциальное (б) распределения (добывающие и нагнетательные скважины) и единичные значения (разведочные скважины) общей минерализации проб вод, отобранных из разведочных, добывающих и нагнетательных скважин Дружного месторождения (пласт ЮС₁)

можно предположить, что при прочих равных условиях, чем больше доля поверхностной воды с растворенным в ней кислородом в пробе пластовой воды, тем выше должна быть концентрация SO_4^{2-} иона.

Однако анализ собранных нами результатов гидрохимических анализов позволил установить, что существует скорее тенденция, чем связь между концентрацией SO_4^{2-} иона в пробах пластовой воды из разведочных скважин и их минерализацией. Эта тенденция, как и следовало ожидать, носит обратно пропорциональный характер. То есть, как правило, в пробах пластовых вод, отобранных из разведочных скважин (из одного и того же пласта), имеющих минимальную по срав-

нению с другими пробами минерализацию, отмечается повышенное содержание сульфат-иона.

ВЫВОДЫ

1. До настоящего времени пластовые воды не всех продуктивных отложений рассмотренных месторождений охарактеризованы гидрохимическими анализами.

2. Пробы пластовых вод, отобранные из разведочных скважин, нельзя считать достаточно представительными из-за малочисленности проведенных анализов и низкой их достоверности.

3. Отбор проб пластовой воды из разведочных скважин в подавляющем большинстве случаев проводился с явными нарушениями суще-

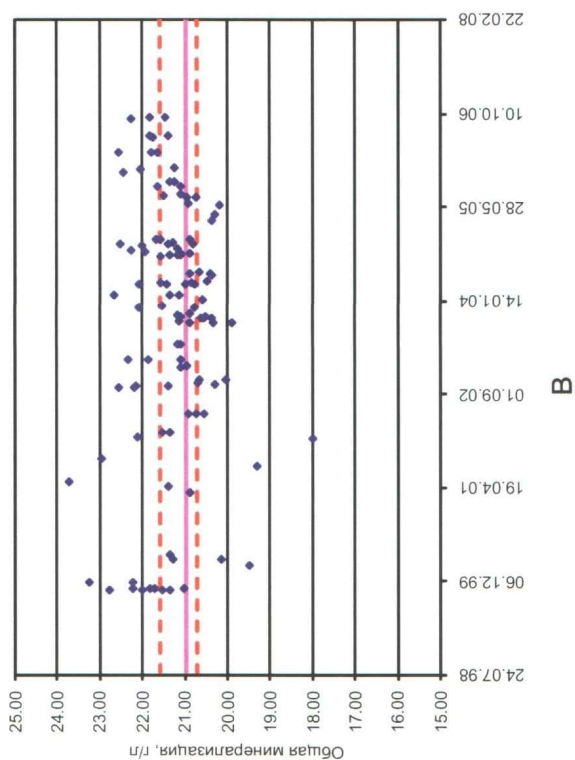
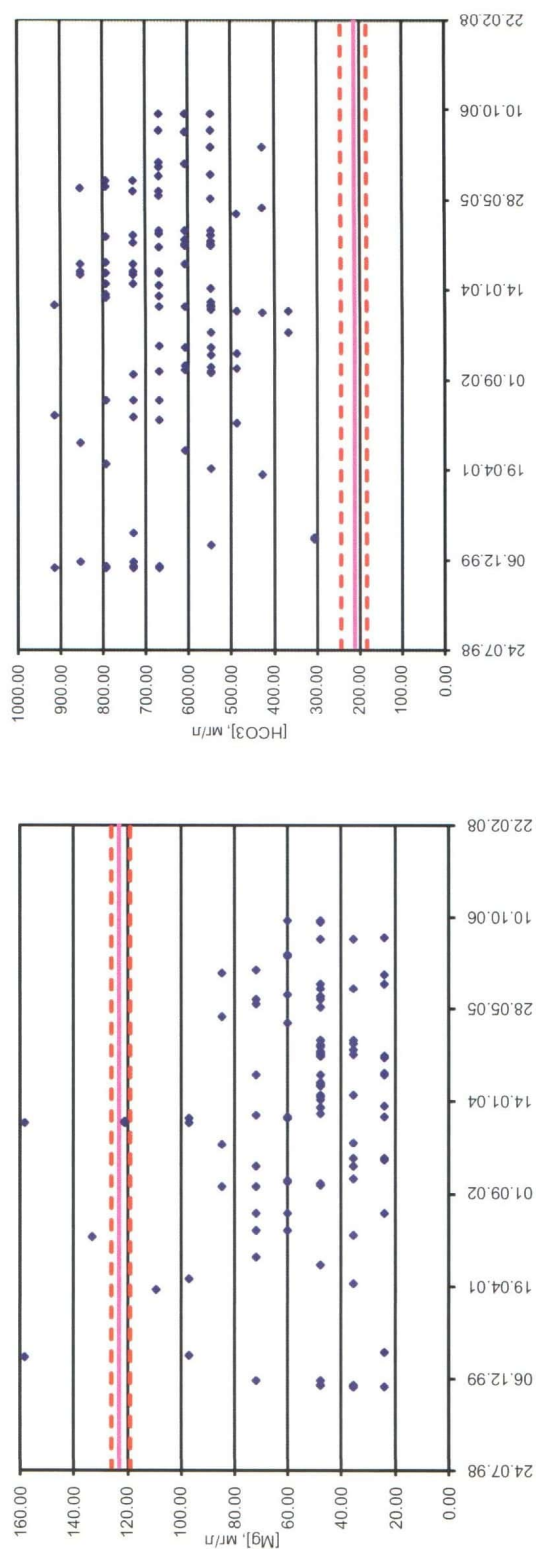
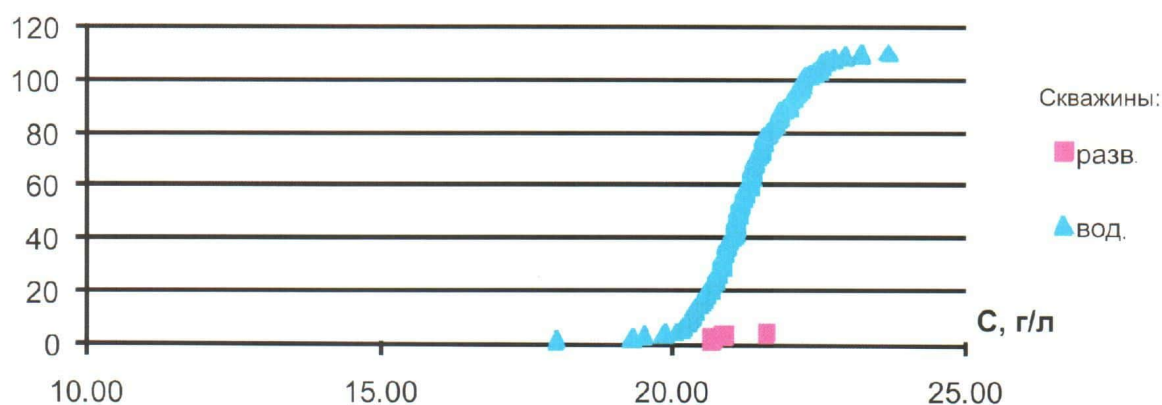
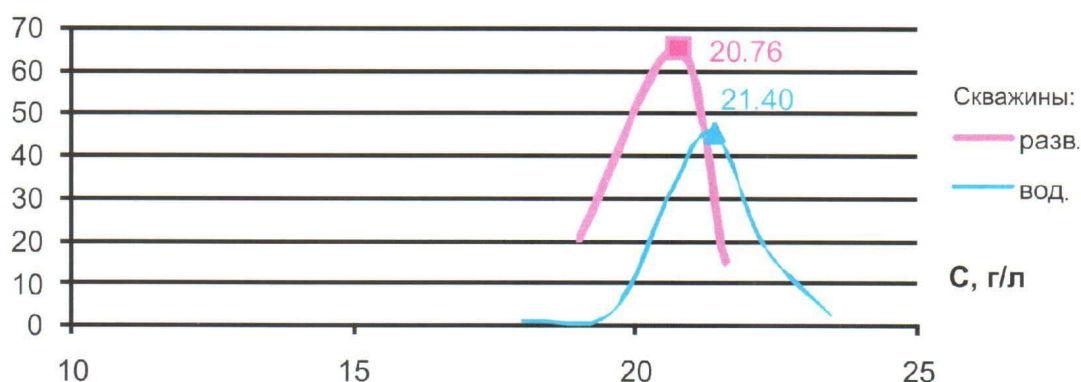


Рис. 9. Изменение содержания магния (а), гидрокарбоната-иона (б) и общей минерализации (в) в пробах вод, отобранных из пласта ПК Дружного месторождения в процессе разработки с 24.07.1998 по 20.02.2006 (пласт ЮС₁)



а



б

Рис. 10. Интегральное (а) и дифференциальное (б) распределения общей минерализации проб вод, отобранных из разведочных и водозаборных скважин Дружного месторождения (пласт ПК)

ствующей методики (операторы не дожидались стабилизации величины минерализации пластовой жидкости), поэтому в преобладающем числе этих проб присутствует та или иная доля фильтрата бурового раствора или другой технической примеси.

4. Величина суммарной минерализации проб пластовых вод, отобранных из одного и того же пласта в разведочных скважинах, изменяется в очень широких пределах, что также указывает на низкое качество отбора этих проб, поэтому их нельзя принимать в качестве опорных значений при проведении петрофизических исследований и интерпретации данных ГИС.

5. Результаты определения состава попутно добываемых вод зачастую бывают гораздо более информативными и достоверными по сравнению с

такowymi, полученными из разведочных скважин, что объясняется следующими причинами:

- в попутно добываемых водах, как правило, отсутствуют техногенные примеси (исключая те случаи, когда, например, пробу воды отбирали после ремонта скважины или применения тех или иных методов интенсификации с использованием различных химических реагентов, и в стволе скважины могла остаться жидкость глушения или химические реагенты, но в этом случае присутствие этих компонентов легко устанавливается, а результаты анализов выбраковываются);

- природная система обладает значительными буферными свойствами, зависящими от объема порового пространства того или иного продуктивного объекта, поэтому влияние особенностей

состава закачиваемой в пласт жидкости на пластовую в той или иной степени сглаживается;

- пресная или сеноманская воды используются в системе ППД на этапе разработки продуктивных объектов, следующим после окончания фонтанного периода эксплуатации; затем по мере накопления объемов подтоварных вод прекращают использовать пресную и сеноманскую воды и продолжают пользоваться для целей ППД только подтоварной, в составе которой преобладающую долю составляют именно пластовые воды, добытые вместе с нефтью;

- если в разведочных скважинах из отдельных продуктивных объектов получены единичные пробы воды, то из добывающих скважин — десятки и сотни анализов, что увеличивает статистическую устойчивость и достоверность полученных результатов.

6. Так как в пределах месторождения даже для одного и того же пласта наблюдаются изменения термодинамических условий, существующих в нем, то и минерализация пластовой воды не может быть абсолютно одинаковой по всей площади распространения этого пласта.

7. В целом для рассматриваемых месторождений в большинстве случаев характерно отсутствие трендовых составляющих в изменении состава закачиваемых вод в зависимости от времени.

8. Концентрация магния практически во всех пробах закачиваемых и попутно добываемых вод выше, чем в пластовых, что указывает на присутствие в последних фильтрата бурового раствора с растворенными в нем стабилизаторами.

9. Появление в составе закачиваемых и/или добываемых вод повышенных концентраций сульфат-иона обычно свидетельствует о присутствии в них поверхностных вод, т.к. в пластовых условиях существуют восстановительные условия, а сульфат-ион неустойчив в этой обстановке.

10. Повышенные концентрации бикарбонат-иона в пробах вод, скорее всего, свидетельствует об использовании технических жидкостей, содержащих соду.

11. «Ураганные» содержания в водах хлоридов натрия (иногда в сумме с калием, реже кальцием) свидетельствуют о том, что в пробу попала жидкость глушения и эту пробу следует выбраковать.

12. Результаты определения минерализации и отдельных компонентов в закачиваемых и особенно добываемых водах, как правило, более достоверны, чем данные, полученные из разведочных скважин; однако это справедливо лишь в тех случаях, когда для целей ППД используется подтоварная вода, отобранная из одного и того же пласта, а если смешиваются воды из

различных пластов, то информативность исследований закачиваемых и добываемых вод резко уменьшается.

13. В тектонически активных районах, например, Шаимском, по зонам дробления возможно проникновение глубинных (гидротермальных) флюидов, которые могут резко изменить состав и, соответственно, минерализацию пластовых вод, поэтому в пределах одного месторождения в одном и том же пласте возможно присутствие вод различного состава и резкая смена типов вод в местах появления эндогенных флюидов.

14. Интегральная форма представления полученных гидрохимических данных характеризует главным образом диапазон изменения суммарной минерализации вод, поднятых из разведочных и эксплуатационных скважин.

15. Дифференциальная форма представления данных о суммарной минерализации позволяет выделить наиболее вероятные значения минерализации пластовых вод.

16. В исходной исторической гидрохимической информации отсутствуют данные об условиях вскрытия и опробования продуктивных пластов, из которых отбирались пробы пластовой воды, без чего невозможно однозначно определить качество и достоверность проведенного отбора проб пластовых флюидов.

17. Обычно используемое различными специалистами усреднение показателей состава воды и установление закономерностей гидрохимического поля по материалам статистической обработки таких анализов, без предварительной оценки содержания в пробах доли пластовой воды, представляется явно ошибочным методом, приводящим к случайным (хотя и статистически обоснованным) итоговым значениям.

18. Выбранные и обоснованные критерии, на основе которых можно судить о качестве отобранных проб пластовых флюидов, позволяют это сделать лишь на качественном уровне.

19. Для того чтобы по результатам гидрохимических анализов глубинных проб воды оценить содержание в ней пластовой воды и технической примеси, необходимо иметь эталоны пластовой воды, которые, к сожалению, отсутствуют для продуктивных пластов месторождений Западной Сибири.

20. Для создания эталонов пластовой воды по всем продуктивным горизонтам месторождений ООО «ЛУКОЙЛ — Западная Сибирь», а также других нефтегазодобывающих компаний необходимо проведение специальных работ, содержащих комплекс гидрохимических исследований, изложенных в соответствующих руководящих документах.