

Эколого-геофизический мониторинг окружающей среды при разработке сверхвязкой нефти

Даны эколого-геофизические предпосылки и результаты обнаружения техногенных изменений в зоне активного водообмена при разработке сверхвязких нефтей паротепловым методом на Ашальчинском поднятии сверхвязких нефтей. При паротепловом воздействии на зону активного водообмена имеются геолого-гидрогеологические и физико-химические предпосылки изменения геологической среды, проявляющиеся в геофизико-геохимическом поле. При извлечении углеводородного сырья по внутрислоевой технологии могут наблюдаться аномальные явления: прорыв теплоносителей в вышележащие отложения, проникновение газообразных продуктов физико-химических реакций в покрывающую залежь толщью вплоть до дневной поверхности. Рекомендуется применение электротомографических наблюдений и газовой съемки в составе комплексных эколого-гидрогеологических исследований на территории Черемшано-Бастрыкской зоны Южно-Татарского свода.

Ключевые слова: залежь, сверхвязкая нефть, природные битумы, мониторинг, электротомография, геохимическая съемка, нефтепродукты, углекислый газ, углеводородные газы.

В связи с перспективой интенсивного освоения месторождений сверхвязкой нефти (СВН) на территории Черемшано-Бастрыкской зоны (ЧБЗ) существуют экологические риски, обусловленные возможным прорывом теплоносителя в зону пресных вод, загрязнением пресных поверхностных и подземных вод, атмосферного воздуха и почв.

Эколого-гидрогеологические аспекты разработки месторождений сверхвязкой нефти (природных битумов) тепловыми методами изучаются в институте «ТатНИПИнефть» с 1992 г.

С 2006 г. исследования ведутся на разрабатываемом Ашальчинском поднятии Ашальчинского месторождения СВН в следующих направлениях:

1. Изучение гидрогеологических условий битумных залежей:

- фиксирование фоновых показателей состава вод битумных залежей и вод зоны активного водообмена;
- оценка природной защищенности подземных вод от загрязнения «сверху» и «снизу»;
- создание/развитие сети гидромониторинга.

2. Прогноз возможных негативных последствий разработки на подземную гидросферу:

- дальнейшее изучение природной защищенности подземных вод «снизу»;
- ведение гидромониторинга (гидрохимические и гидродинамические наблюдения в контуре и за контуром залежи СВН);
- экологическая оценка техногенных изменений в зоне активного водообмена на основе гидрогеофизического мониторинга.

Для успешного решения вопроса по прогнозированию и выявлению факторов, вызывающих загрязнение верхнего интервала осадочных пород, содержащего пресные водоносные горизонты, необходимо использование комплекса современных методов и методик в рамках научно-исследовательских работ.

Установлено, что при паротепловом воздействии на зону активного водообмена имеются геолого-гидрогео-

логические и физико-химические предпосылки изменения геологической среды, проявляющиеся в геофизико-геохимическом поле.

При извлечении углеводородного сырья по внутрислоевой технологии могут наблюдаться аномальные явления: прорыв теплоносителей в вышележащие отложения, проникновение газообразных продуктов физико-химических реакций в покрывающую залежь толщью вплоть до дневной поверхности (Хисамов и др., 2007). Вследствие этого представляется важным своевременное обнаружение зон, опасных с точки зрения прорыва теплоносителя. Это могут быть как природные пути перетоков (литологические окна, тектонические трещины), так и техногенные (заброшенные стволы старых, плохо ликвидированных структурных скважин) (Мингазов и др., 2009).

Основные ожидаемые изменения верхней части геологического разреза, связанные с эксплуатацией месторождения сверхвязкой нефти, проявляющиеся в геофизическом поле (Гареев и др., 2015):

1. Подток высокоминерализованных вод из нижележащих горизонтов по затрубному пространству скважин. Конфигурация и глубина залегания ореолов широко варьируют. Наблюдается значительное снижение электросопротивления пород (Харьковский, 1998).

2. Поступление горячих вод и пара из нагнетательных скважин. Повышение температуры подземных вод сопровождается заметным (как минимум в несколько раз) понижением электросопротивления грунтов.

3. Компактные зоны внедрения тяжёлых нефтепродуктов и ореолы их рассеяния в растворённом и эмульгированном виде. Зоны развития собственно тяжёлых нефтепродуктов могут характеризоваться повышенным электросопротивлением, ореолы рассеяния продуктов разложения и биодegradации нефтепродуктов, как правило, проявляются в электроразведочных полях как области с заметно пониженным электросопротивлением. При этом области с неглубоким (до 10-15 м) залеганием нефтепродуктов характеризуются газовыми аномалиями в приповерхностном слое, в основном – высокими (первые про-

центры) концентрациями углекислого газа (Коротков и др., 2007).

Таким образом, на территории месторождения СВН ожидается очень пёстрое строение поля удельного электрического сопротивления как в плане, так и в разрезе. В настоящее время электроразведочным методом, который может достоверно локализовать сложнопостроенные техногенные аномалии, является электротомография.

Как правило, участки сосредоточения нефтепродуктов отмечаются в поле электросопротивления как низкоомные аномалии (Шакуро, 2010). Тот факт, что нефтепродукты, представляя в чистом виде изоляторы, в естественных природных условиях снижают удельное электросопротивление грунтов, имеет несколько объяснений. Во-первых, в большинстве случаев, вещество, слагающее тело линзы является не чистым нефтепродуктом, а его водной эмульсией, которая сама по себе на фоне сухих пород не является высокоомным объектом. Во-вторых, активные процессы аэробной и анаэробной биodeградации нефтепродуктов, протекающие в естественных условиях, приводят к образованию и накоплению как в пределах интервалов в разной степени насыщенных нефтепродуктами, так и зоне аэрации над ними органических и неорганических (угольной) кислот и их солей, существенно снижающих электросопротивление породы. Так, над одной из «старых», истощённых линз нефтепродуктов, залегающей на глубине порядка 20 м, электротомографией зафиксирован низкоомный ореол в зоне аэрации на глубинах не более 5-10 м, сформировавшийся в течение 20-30 лет под действием восходящих потоков углеродсодержащих газов (Шевнин, Модин, 1999).

Результаты моделирования демонстрируют, что в указанном интервале глубин электротомография позволяет детально закартировать низкоомные ореолы загрязнения (минерализованные воды, горячие воды, продукты физико-химических реакций).

На рисунке 1 показана условная модель, где на фоне разреза с удельным сопротивлением 25 Ом·м имеются внедрение низкоомного (5 Ом·м) субстрата сложной конфигурации и расчётный разрез кажущегося сопротивления для предлагаемой дипольной установки зондирования.

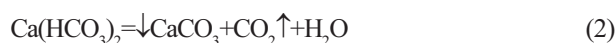
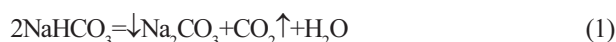
Изучение распределения концентраций углеродсодержащих газов в почвенном воздухе является одним из наиболее эффективных геохимических методов картирования загрязнения (Пинчук и др., 2012). Обнаружение аномальных концентраций сероводорода, углекислого газа и метана представляет особенный интерес.

Интенсивность газогеохимических аномалий определяется рядом независимых факторов. В зоне развития линзы нефтепродуктов, при её неглубоком залегании, состав почвенного газа существенно отличается от фонового за счёт присутствия как собственно углеводородных газов, так и продуктов естественной биodeградации поллютантов (в аэробных условиях – CO_2 , в анаэробных условиях – CH_4). В местах дислокации «старых» загрязнений нефтепродуктами в почвенном воздухе присутствуют те же компоненты, но в несколько иных пропорциях – здесь преобладает углекислый газ как продукт аэробной деградации. Аномальные содержания в почвенном воздухе углекислого газа также характерны для участков загрязнения тяжёлыми нефтепродуктами, поскольку последние практически не образуют летучих фракций. Выявленные аномалии картируют каналы миграции гравитационно-подвижных нефтепродуктов.

Учеными ТатНИПИнефть установлено, что массовое содержание серы в сверхвязкой нефти Ашальчинского месторождения достигает 6 % (Сахабутдинов, Малофеев, 2010). В результате тепловой деструкции, вызванной закачкой пара, сераорганические соединения нефти могут разлагаться с выделением сероводорода. Учитывая величину обводненности добываемой эмульсии, равную 80 %, получено, что при паротепловом воздействии на Ашальчинском месторождении продуцируется от 0,61 до 1,51 кг сероводорода в пересчете на одну тонну добываемой СВН. Основная часть сероводорода, образовавшегося в результате акватермолиза, находится в растворенном состоянии в попутно добываемой воде – до 150 мг/дм³. В состав этой воды входят пластовая минерализованная вода и конденсат закачиваемого пара.

В пластовой воде битумных залежей присутствуют в достаточных количествах бикарбонат натрия (NaHCO_3) и кальция ($\text{Ca(HCO}_3)_2$).

Гидрокарбонаты начинают интенсивно разлагаться при нагревании выше 50 °С и полностью разлагаются, превращаясь в карбонаты, при 100-150 °С.



По расчетам из одного литра пластовой воды при нагревании выделяется при н. у. 0,5-0,7 дм³ CO_2 , соответственно, из 1 м³ пластовой жидкости выделяется 0,5-0,7 м³ углекислого газа (Амерханов, 2010).

Появление повышенных концентраций CO_2 – результат паротеплового воздействия на карбонатные породы. Наличие карбонатных разностей характерно как для са-

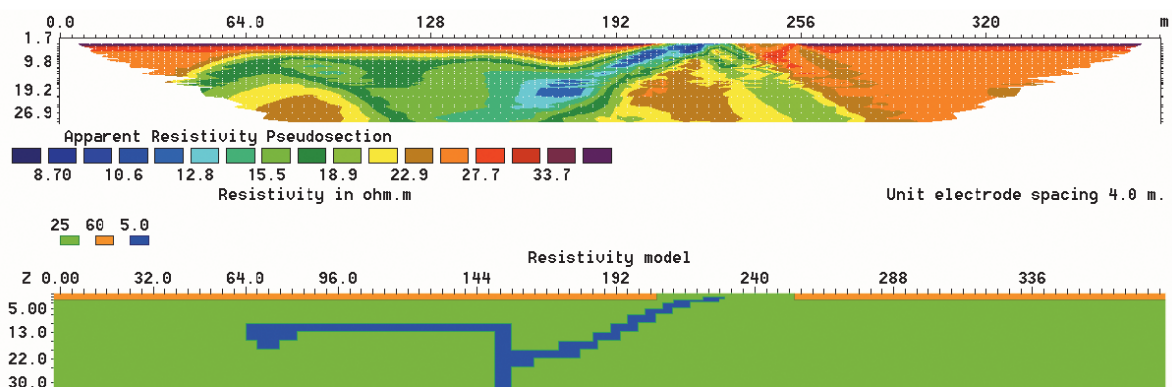


Рис. 1. Геоэлектрическая модель загрязнения (внизу) и расчётный разрез кажущегося сопротивления для дипольной установки зондирования (вверху).

Компоненты	Мольная доля, %						
	Скв. 240 н. 18.08.2009	скв.230 н. 7.10.2009	Скв. 232 н. 7.10.2009	Скв. 230 н. 11.11.2009	Скв. 232 н. 11.11.2009	Скв. 232 24.12.2009	Скв. 230 24.12.2009
H ₂ S	0,56	2,38	0,9	2,37	0,72	1,33	1,66
CO ₂	4,58	47,4	85,44	78,43	84,72	86,76	58,29
N ₂	1,92	1,6	-	-	-	-	-
C ₁	92,64	47,78	12,35	18,47	13,5	9,82	31,59
C ₂	0,01	0,02	-	-	-	0,01	0,03
C ₃	0,04	0,02	-	-	-	0,04	0,01
iC ₄	0,01	0,03	0,02	0,02	0,02	0,04	1,91
nC ₄	0,01	0,01	-	-	-	0,01	2,06
iC ₅	0,03	0,04	0,06	0,03	0,05	0,03	0,11
nC ₅	0,05	0,05	0,01	-	-	0,09	0,14
C ₆	0,08	0,28	0,34	0,3	0,38	0,8	3,38
C ₇ +выше	0,07	0,39	0,88	0,38	0,61	1,07	0,82
Итого	100	100	100	100	100	100	100

Табл. 1. Состав газа в затрубном пространстве добывающих скважин (данные ТамНИПИнефть).

мой залежи СВН (в виде цемента), так и в окружающих породах. Коэффициент карбонатности продуктивной части песчаниковой пачки может достигать 30 %. Сложные термические и гидравлические процессы могут привести к нарушению целостности покрывки («лингуловые» глины) и возникновению путей миграции, по которым продукты физико-химических реакций могут попасть в вышележащие горизонты, в том числе сложенные карбонатными породами («среднеспириферовый» известняк).

Расщепление карбонатов CaCO₃ на кислотный оксид – углекислый газ CO₂ и оксид – негашеную известь CaO происходит при нагревании до 900-1000 °С, т.е. при осуществлении метода SAGD этого происходить не будет. Однако в воде с углекислым газом CaCO₃ растворяется, образуя кислотную соль – гидрокарбонат кальция Ca(HCO₃)₂, который при нагреве опять распадется на CaCO₃ и CO₂ (Ханипова и др., 2015).

Сложные физико-химические явления, сопровождающие процесс термодеструкции битуминозной нефти при паротепловом воздействии, приводят к образованию газовой выделений состава CH₄, C₆H₆ и др. (Муслимов, и др., 1995).

Паротепловое воздействие на пластовой битум сопровождается его низкотемпературным фракционированием с выделением преимущественно углеводородов C₅-C₆, незначительных количеств C₂-C₄, появления заметного числа непредельных углеводородов и сероводорода (Смеркович и др., 2000).

В таблице 1 представлен состав газа в затрубном пространстве добывающих скважин. Установлено, что газ в затрубном пространстве горизонтальных добывающих скважин представлен в основном углекислым газом (до 80 %).

В итоге в газе, выделяющемся при осуществлении метода SAGD, присутствует 70-80 % CO₂, 10-15 % – CH₄, 1-3 % – H₂S, а также следы других газов.

Появление в приповерхностной зоне над залежью битумов повышенных концентраций метана, углекислого газа и сероводорода является подтверждением общности продуктивного пласта с вышележащими отложениями. Наличие аномальных содержаний углеводородных и неуглеводородных газов свидетельствует об их миграции по трещиноватым породам.

Углекислый газ может накапливаться в низинах,

в почвах, на дне оврагов и других местах. Накопление углекислого газа представляет (Обжиров, 2014) опасность удушья. Важно учитывать, что при разработке залежи СВН метан может проникать в подземные помещения, имеющиеся на нефтепромысле. При накоплении метана в атмосфере воздуха в закрытом

помещении до концентрации 6-12 % от искры происходит взрыв. Эти явления следует учитывать в районе нефтепромысла (подвалы, гаражи различных инженерно-технических сооружений и др.). Особенно внимательным надо быть при чрезвычайных природных явлениях, разливах рек (р. Шешма) и подтоплении объекта (Гареев и др., 2015).

Существующие предпосылки по изменению геологической среды как непосредственно в пласте, так и в вышележащей зоне доказаны результатами электротомографических и газогеохимических исследований на Ашальчинском поднятии Ашальчинского месторождения СВН.

Электротомография позволяет получить детальную геологическую картину и выявить весьма «тонкие» особенности геологического разреза. В результате интерпретации выявлены субвертикальные и площадные зоны пониженных сопротивлений, связанные с возможной миграцией углеводородов, продуктов паротеплового воздействия в вышележащие верхне- и нижнеказанские отложения.

По материалам газогеохимической съемки определяется суммарное содержание углеводородных газов по метану ΣCH₄ и концентрации углекислого газа. Газогеохимические исследования позволяют выделить и указать места техногенных загрязнений окружающей среды, выявить возможность вертикальной миграции углеводородных газов из пласта.

Достоверность прогноза увеличивается при комплексировании методов: гидрохимических режимных исследований, электротомографии с газогеохимической съемкой. Целесообразно геофизические и геохимические исследования проводить по одним и тем же профилям в местах наибольшей мощности песчаниковой пачки. Дополнительно выполняется кондуктометрия по поверхностным водотокам.

Для контроля экологической обстановки принимается следующая технология (Гареев и др., 2015):

- гидрохимические исследования;
- исследование характера распределения геофизических и геохимических полей по профилям и в плане;
- эколого-гидрогеологическое истолкование полученных геофизических, гидрохимических и газогеохимических материалов.

Предлагается:

1. Вертикальное электрическое зондирование (электротомография) в профилно-площадном варианте. Уточ-

няется геологическое строение приповерхностной толщи (литологическое расчленение разреза), выделяются грунты, подверженные загрязнению, трассируются каналы миграции загрязняющих веществ (соленые воды, нефтепродукты, продукты физико-химических реакций, происходящих в пласте в результате парогравитационного дренажа).

2. Газогеохимическая съемка в профилно-площадном варианте для выделения аномальных зон нефтепродуктового загрязнения и подтверждения трасс движения поллютантов. Регистрируются следующие компоненты: сумма углеводородных газов и углекислый газ.

3. Акваториальная геофизика (термометрия и резистивиметрия) вдоль береговой линии поверхностного водотока. Фиксируются выходы подземных вод, возможно загрязненных.

4. Режимные гидрохимические наблюдения на созданной сети гидромониторинга.

Система мониторинга окружающей среды в соответствии с требованиями к проведению геоэкологических исследований определяется с привязкой к наиболее информативным точкам возможного проявления гидрогеохимических и литологогеохимических аномалий. Поэтому на месторождении СВН должен проводиться мониторинг особо опасных объектов, участков, зон, т.е. импактный мониторинг.

Рекомендуемый импактный мониторинг на участках разработки СВН (территория ЧБЗ) включает гидрохимические (режимные гидрохимические наблюдения родников, артезианских скважин, эколого-гидрогеологических скважин, водопостов), электротомографические исследования и газогеохимическую съемку. Рекомендуется контроль по оценке техногенного воздействия при паротепловом методе разработки СВН осуществлять по той же сети профилей, по которой уже получены результаты, являющиеся основой для дальнейших мониторинговых исследований.

Данная система гидрогеофизико-геохимических наблюдений охватывает всю площадь месторождения как единого объекта с расстоянием между профилями в среднем 200-300 м, размещенных, как правило, в местах наибольшей мощности продуктивного пласта. Целесообразно увеличение плотности сети профилей газогеохимической съемки путем уменьшения расстояния между ними до 50-100 м.

Литература

Геофизические методы подготовки и контроля процессов эксплуатации месторождений природных битумов. М.Я. Боровский, Э.К. Швыдкин, Р.З. Мухаметшин, Ю.Э. Халабуда, Б.В. Успенский. М: ГЕОС. 2000. 170 с.

Боровский М.Я., Бабаянц П.С., Трусов А.П., Скловский С.А. Экологические последствия процессов освоения углеводородов сланцевых толщ и геофизические методы их картирования и прогноза. *Нефть. Газ. Новации*. 2015. № 2. С.74-77.

Гареев Р.М., Боровский М.Я., Петрова Г.И., Кубарев П.Н., Богатов В.И., Шакуро С.В., Филимонов В.Н. Разработка месторождений сверхвязких нефтей паротепловым воздействием: эколого-геофизический мониторинг. *Мат. Межд. науч.-практ. конф. Особенности разведки и разработки месторождений нетрадиционных углеводородов*. Казань: Ихлас. 2015. С. 139-144.

Коротков А.И., Учаев В.К. Гидрогеоэкологические исследования в нефтедобывающих районах Республики Татарстан. Казань: Репер. 2007. 300 с.

Мингазов М.Н., Петрова Г.И., Терновская И.А., Боровский М.Я., Большов В.А., Фархутдинов Е.Г. Эколого-гидрогеофизическое прогнозирование техногенных изменений в зоне пресных вод при разработке Ашальчинского месторождения сверхвязких нефтей. *Нефть, газ, новации*. 2011. № 2. С. 26-31.

Муслимов Р.Х., Тахаутдинов Ш.Ф., Васясин Г.И., Чендарев В.В., Чаганов М.С., Гатиятуллин Н.С., Романов Г.В., Юсупов И.Г., Покровский В.А., Иванов А.В., Магалимов А.Ф. Мониторинг природной среды при разработке битумных залежей. под ред. Э.М. Хакимова. Казань: Мониторинг. 1995. 244 с.

Пинчук Н.П., Юнак А.И., Покутник А.С., Хархордин А.И., Абрамов В.Ю. Изучение и очистка водоносных горизонтов и зоны аэрации, загрязненных нефтепродуктами. М. 2002. 265 с.

Петрова Г.И., Мингазов М.Н., Каримов М.Ж., Терновская И.А. Экологические аспекты разработки сверхвязких нефтей Ашальчинского месторождения. *Нефтяное хозяйство*. 2009. № 6. С. 106-109.

Сахабутдинов Р.З., Малофеев В.В., Шаталов А.Н. Появление сероводорода в продукции скважин в результате паротеплового воздействия на пласт при разработке Ашальчинского месторождения сверхвязкой нефти. *Сборник научных трудов ТатНИПИ-нефть. ОАО «Татнефть»*. М: ОАО «ВНИИОЭНГ». 2010. Вып. 78. С. 254-260.

Семкин В.И., Юсупова Т.Н., Романов Г.В., Маргулис Б.Я., Волков Ю.А. Изучение термического поведения карбонатных пород при моделировании паротеплового воздействия на пласт. *Тезисы докладов науч.-практ. конф. Математическое и физическое моделирование процессов разработки нефтяных месторождений и методов повышения нефтеотдачи пластов*. Казань. Альметьевск. 1990. С. 46-48.

Ханипова Ю.В., Рахимова Ш.Г., Амерханов М.И., Андриянова О.М. Исследование изменения свойств и состава СВН и попутно добываемой воды в процессе разработки Ашальчинского месторождения способом ПГВ. *Мат. Межд. науч.-практ. конф. Особенности разведки и разработки месторождений нетрадиционных углеводородов*. Казань: Ихлас. 2015. С. 301-305.

Хисамов Р.С., Боровский М.Я., Гатиятуллин Н.С. Геофизические методы поисков и разведки месторождений природных битумов в Республике Татарстан. Казань: Фэн. 2007. 247 с.

Шакуро С.В. Комплексные геофизические исследования техногенных линз лёгких нефтепродуктов. *Мат. VI Межд. науч.-практ. конф. Инженерная и рудная геофизика-2010. EAGE*. Гелленджик. 2010.

Шевнин В.А., Модин И.Н. Геоэкологическое обследование предприятий нефтяной промышленности. М: РУССО. 1999. 511 с.

Сведения об авторах

Равиль Мансурович Гареев – начальник технологического отдела по борьбе с коррозией и охране природы
ПАО «Татнефть»
423400, Республика Татарстан, г. Альметьевск, ул. Ленина, д. 75

Петр Николаевич Кубарев – начальник отдела экологической безопасности при разработке нефтяных месторождений, канд. тех. наук.

Гузель Инзировна Петрова – заведующая лабораторией, канд. геол.-мин. наук.

Ирина Андреевна Терновская – младший научный сотрудник

Институт «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина
423230, Республика Татарстан, г. Бугульма, ул. М. Джалиля, 32. Тел: (85594) 7-89-78

Михаил Яковлевич Боровский – директор ООО «Геофизсервис», канд. геол.-мин. наук.

Сергей Владимирович Шакуро – ведущий геофизик
ООО «Геофизсервис»
420029, г. Казань, ул. Журналистов, д. 7, кв. 69

Ecological and Geophysical Monitoring of the Environment in Development of Ultra-Viscous Oil

R.M. Gareev¹, P.N. Kubarev², G.I. Petrova², I.A. Ternovskaya², M.Ya. Borovskiy³, S.V. Shakuro³

¹PJSC Tatneft, Almetevsk, Russia

²Tatar Oil Research and Design Institute (TatNIPIneft) PJSC Tatneft, Bugulma, Russia, e-mail: ontonti@tatnipi.ru

³LLC Geofizservis, Kazan, Russia

Abstract. Ecological and geophysical conditions are given and the results are shown of detection of man-made changes in area of active water exchange in the development of ultra-viscous oil by steam stimulation method on Ashalchinsky uplift. During steam stimulation in active water exchange area, there are geological and hydro-geological, physical and chemical conditions for the geological environment changes, identified in geophysical and geochemical fields. When extracting hydrocarbons by intrastratal technology the following anomalies can be observed: breakthrough of coolants into overlying sediments, penetration of gaseous products of physical and chemical reactions into cap up to the daylight surface. It is recommended to apply electrical tomographic observations and gas survey in complex ecological and hydrogeological investigations in Cheremshano-Bastryksky area of the South-Tatar arch.

Keywords: reservoir, ultra-viscous oil, natural bitumen, monitoring, electrical tomography, gas geochemical survey, oil products, carbon dioxide, hydrocarbon gases.

References

Geofizicheskie metody podgotovki i kontrolya protsessov ekspluatatsii mestorozhdeniy prirodnykh bitumov [Geophysical methods of preparation and control over processes of natural bitumen exploitation]. M.Ya. Borovskiy, E.K. Shvydkin, R.Z. Mukhametshin, Yu.E. Khalabuda, B.V. Uspenskiy. Moscow: GEOS. 2000. 170 p. (In Russian)

Borovskiy M.Ya., Babayants P.S., Trusov A.P., Sklovskiy S.A. Environmental consequences of the processes of shale hydrocarbon strata development and geophysical methods of mapping and forecast. *Neft'. Gaz. Novatsii* [Oil. Gas. Innovations]. 2015. № 2. Pp. 74-77. (In Russian)

Gareev R.M., Borovskiy M.Ya., Petrova G.I., Kubarev P.N., Bogatov V.I., Shakuro S.V., Filimonov V.N. Development of heavy oil by steam stimulation: ecological and geophysical monitoring. *Osobennosti razvedki i razrabotki mestorozhdeniy netraditsionnykh uglevodorodov: materialy Mezhd. nauch.-prakt. konf.* [Proc. Int. Sci. and Pract. Conf. «Features of exploration and exploitation of unconventional hydrocarbons»]. Kazan. 2015. Pp. 139-144. (In Russian)

Korotkov A.I., Uchaev V.K. Gidrogeoekologicheskie issledovaniya v nefteobnyayuschikh rayonakh Respubliki Tatarstan [Hydrogeoeological studies in oil-producing regions of the Republic of Tatarstan]. Kazan: Reper. 2007. 300 p. (In Russian)

Mingazov M.N., Petrova G.I., Ternovskaya I.A., Borovskiy M.Ya., Bol'shov V.A., Farkhutdinov E.G. Ecological and hydrogeophysical forecasting of technological changes in the area of fresh water in the development of Ashalchinsky heavy oil field. *Neft', gaz, novatsii* [Oil, gas and innovations]. 2011. № 2. Pp. 26-31. (In Russian)

Muslimov R.Kh., Takhautdinov Sh.F., Vasyasin G.I., Chendarev V.V., Chaganov M.S., Gatiyatullin N.S., Romanov G.V., Yusupov I.G., Pokrovskiy V.A., Ivanov A.V., Magalimov A.F. Monitoring prirodnoy sredy pri razrabotke bitumnykh zalezhey [Monitoring of the environment in the development of bitumen deposits]. Ed. E.M. Khakimova. Kazan: Monitoring. 1995. 244 p. (In Russian)

Pinchuk N.P., Yunak A.I., Pokutnik A.S., Kharkhordin A.I., Abramov V.Yu. Izuchenie i ochildka vodonosnykh gorizontov i zony aeratsii, zagryaznennykh nefteproduktami [The study and treatment of aquifers and vadose zone, polluted with oil products]. Moscow. 2002. 265 p. (In Russian)

Petrova G.I., Mingazov M.N., Karimov M.Zh., Ternovskaya I.A. Ecological aspects of development of heavy oil reservoirs in

Ashalchinsky oil field]. *Neftyanoe khozyaystvo* [Oil industry]. 2009. № 6. Pp. 106-109. (In Russian)

Sakhabutdinov R.Z., Malofeev V.V., Shatalov A.N. Hydrogen disulfide in the production wells as a result of steam-heat stimulation in the development of extra-viscous oil deposits on the Ashalchinsky field. *Sb. nauch. trudov TatNIPIneft' OAO «Tatneft'»* [TatNIPIneft OAO «Tatneft»: Collected papers]. Moscow: OAO «VNII OENG». 2010. Is. 78. Pp. 254-260. (In Russian)

Semkin V.I., Yusupova T.N., Romanov G.V., Margulis B.Ya., Volkov Yu.A. Thermal behavior of carbonate rocks in thermal-steam stimulation modelling. *Matematicheskoe i fizicheskoe modelirovanie protsessov razrabotki neftyanykh mestorozhdeniy i metodov povysheniya nefteotdachi plastov: tezisy dokladov nauch.-prakt. konf.* [Abstracts Sci. and Pract. Conf. «Mathematical and physical modeling of oil field development and EOR methods»]. Kazan. Almetevsk. 1990. Pp. 46-48. (In Russian)

Khanipova Yu.V., Rakhimova Sh.G., Amerkhanov M.I., Andriyanova O.M. Changes in the properties and composition of SRI and produced water in the process of Ashalchinsky oil field development by PRTs. *Materialy Mezhd. nauch.-prakt. konf. Osobennosti razvedki i razrabotki mestorozhdeniy netraditsionnykh uglevodorodov* [Proc. Int. Sci.-Pract. Conf. «Features of exploration and exploitation of unconventional hydrocarbons»]. Kazan: Ikhlas. 2015. Pp. 301-305. (In Russian)

Khisamov R.S., Borovskiy M.Ya., Gatiyatullin N.S. Geofizicheskie metody poiskov i razvedki mestorozhdeniy prirodnykh bitumov v Respublike Tatarstan [Geophysical methods of prospecting and exploration of natural bitumen in Tatarstan]. Ed. R.S. Khisamov. Kazan: Fen Publ. 2007. 247 p. (In Russian)

Shakuro S.V. Complex geophysical research of technological lens of light oil. *Inzhenernaya i rudnaya geofizika-2010. Materialy VI Mezhd. nauch.-prakt. konf.* [Proc. VI Int. Sci.-Pract. Conf. «Engineering and mining geophysics-2010»]. EAGE. Gelendzhik. 2010. (In Russian)

Shevnin V.A., Modin I.N. Geoekologicheskoe obsledovanie predpriyatii neftyanoy promyshlennosti [Geoecological survey of the oil industry enterprises]. Moscow: RUSSO. 1999. 511 p. (In Russian)

Information about authors

Ravil' M. Gareev – Head of the Technology Department on the corrosion prevention and environmental protection PJSC Tatneft. 423400, Russia, Tatarstan Republic, Almetevsk, Lenina St., 75

Petr N. Kubarev – PhD (Tech.), Head of the Environmental Safety in Oil Field Development Department

Guzel' I. Petrova – PhD (Geol. and Min.), Head of the Laboratory

Irina A. Ternovskaya – Junior Researcher Tatar Oil Research and Design Institute (TatNIPIneft) PJSC «Tatneft»

423236, Russia, Tatarstan Republic, Bugulma, M. Djalil St., 32. Phone: (85594) 7-89-78

Mikhail Ya. Borovskiy – PhD (Geol. and Min.), Director, OOO «Geofizservis»

Sergey V. Shakuro – Leading Geophysicist OOO «Geofizservis»

420029, Russia, Tatarstan Republic, Kazan, Zhurnalistsov St., 7-69