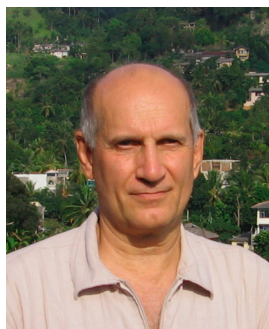




ПРИМЕНЕНИЕ РАВНОЗАМЕДЛЕННЫХ КАМУФЛЕТНЫХ ВЗРЫВОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ОТЛОЖЕНИЙ БАЖЕНОВСКОЙ И ТУТЛЕЙМСКОЙ СВИТ

Проведено разделение отложений баженовской и тутлеймской свит на две категории территорий: нативные и подвергшиеся тектоно-гидротермальному воздействию. Рассмотрены возможности использования равнозамедленных камуфлетных взрывов при разработке баженовской свиты и её литостратиграфического аналога – тутлеймской свиты в пределах территорий распространения обеих категорий. Обоснованы преимущества использования равнозамедленных камуфлетных взрывов для создания «искусственного» коллектора в нативных отложениях обеих свит. Проведена оценка максимально возможных дополнительных объемов добычи нефтяных флюидов с использованием равнозамедленных камуфлетных взрывов в пределах территорий обеих категорий для отложений баженовской и тутлеймской свит, распространенных в центральной и западной частях Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. Обращается внимание на возможность присутствия в асфальто-смолистой части нефтяных флюидов и попутно добываемой воде ценных редких элементов.

Ключевые слова: разработка баженовской и тутлеймской свит, равнозамедленные камуфлетные взрывы, нефтегенерационные свойства, дополнительная добыча нефти.



Зубков М.Ю.
канд. геол.-мин. наук
ООО «ЗапСибГЦ»
директор, ст. науч. сотр.
ZubkovMYu@mail.ru

Первоначально считалось, что углеводородные (УВ) залежи в баженовской свите (БС) образовались в результате флюидоразрыва, вызванного процессами генерации УВ органическим веществом (ОВ), присутствующим в её составе, поскольку образующиеся УВ имеют больший объем по сравнению с исходным ОВ (ОВисх) [3]. Этому предполагаемому коллектору даже присвоили специальное название «листоватый коллектор» или «баженит» [3, 14]. В соответствии с предложенным механизмом формирования УВ залежей в БС можно было бы ожидать, что

на большей части её распространения она должна быть нефтеносной, так как за исключением периферийных районов Западно-Сибирского бассейна она находится в главной зоне нефтегенерации [3,14]. Однако это далеко не так. Продуктивные участки в БС имеют небольшую площадь и встречаются достаточно редко преимущественно в центральной и западной частях Западной Сибири [5]. Более того, даже в пределах открытых в ней УВ залежей, новые скважины, пробуренные на расстоянии всего 250-300 м от продуктивных, часто оказываются низко дебитными или во-

все «сухими» [5, 6, 8]. Стало очевидным, что представления о существовании «листоватых коллекторов» или «баженитов» в составе БС являются ошибочными.

Комплексные литолого-петрофизические, тектонофизические, сейсмические и геохимические исследования позволили установить, что УВ залежи в БС и её лито-стратиграфическом аналоге тутлеймской свите (ТС) имеют тектоно-гидротермальный механизм образования и коллекторами в ней являются кремнистые и карбонатные породы, которые в результате тектоно-гидротермального воздействия (ТГВ) превратились в трещиноватые (в кремнистых) и трещинно-кавернозные (в карбонатах) типы вторичных коллекторов (*рис. 1*) [5, 6].

Высокоэнталийные гидротермальные флюиды, поднимавшиеся по зонам тектонического дробления, интенсивно воздействовали и на ОВ, входящее в состав БС и ТС, что приводило к активной генерации из него УВ и битума [5-7, 9, 10]. УВ заполняли сформировавшиеся в кремнистых и карбонатных породах вторичные коллекторы, а битум из-за слабой миграционной способности, обусловленной его вязко-пластичным и/или твердо-хрупким состоянием, преимущественно оставался на месте в БС, которая превратилась в этих участках в битуминозные отложения [5-7, 9, 10].

Таким образом, в пределах всей площади распространения БС и ТС можно выделить две категории земель. Первая, имеющая наибольшую площадь распространения, в пределах которой БС и ТС не подвергались ТГВ и где в их составе отсутствуют вторичные трещиноватые и трещинно-кавернозные коллекторы (назовем этот тип отложений нативным) и, соответственно, где в них нет УВ залежей. И вторая, характеризующаяся локальным распространением, в пределах которой происходило ТГВ на БС и ТС, в результате чего в них формировались вторичные коллекторы, содержащие УВ залежи [5-9].

Очевидно, что выбор способов разработки, включая вторичные методы воздействия на БС и ТС, для выделенных двух категорий земель, будут принципиально отличаться друг от друга. Поэтому целью настоящей публикации является рассмотрение возможности использования равнозамедленных камуфлетных взрывов (РКВ), как оптимального способа разработки отложений БС и ТС в пределах именно первой категории земель, где не происходило ТГВ на их отложения и где в их составе отсутствуют вторичные коллекторы трещинного и трещинно-кавернозного типов, а потому они не являются продуктивными.

Результаты исследований

В настоящее время для разработки УВ залежей в БС и ТС предлагаются и используются

различные методы теплового воздействия на её отложения, из которых основными являются: внутрислоевого горение, термохимическое и термогазовое воздействия [1, 2, 11-13, 16, 17]. Очевидно, что все эти методы можно применять лишь в том случае, если между «нагнетательной» и добывающей скважинами существует связь, то есть разрабатываемые отложения обладают достаточно высокой проницаемостью.

Ранее пояснялось, что проницаемыми отложения БС и ТС становятся лишь в том случае, если они были подвержены ТГВ и в них возникли вторичные трещинные (в силицитах) и трещинно-кавернозные (в карбонатах) коллекторы (*см. рис. 1*) [5, 6, 8, 9].

Рассмотрим эти типы вторичных коллекторов подробнее.

На поверхности трещин, образовавшихся в силицитах часто отмечаются пленки битума, образовавшегося из ОВисх, в результате ТГВ, а в образцах присутствуют многочисленные разнонаправленные тонкие трещины (*см. рис. 1а и б*, соответственно).

В карбонатных прослоях, подвергшиеся ТГВ, на поверхности образовавшихся в них каверн откладывается мелкокристаллический гидротермальный кальцит с захваченными им в процессе роста многочисленными микроскопическими включениями нефти, которые люминесцируют в ультрафиолетовом свете (*см. рис. 1в, г*). Также на поверхности возникших каверн образуются кристаллы гидротермального кварца, размеры которых по длинной оси нередко достигают в длину 10 мм (*см. рис. 1д*). Биогенный кремнезем, растворенный гидротермальными флюидами, откладывается не только в виде кристаллического кварца с совершенной огранкой, но и в форме халцедоновых корочек, которые в некоторых случаях корродируются более поздним кальцитом (*см. рис. 1е*).

Именно из-за наличия в карбонатных породах-коллекторах крупных каверн и из-за значительной раскрытости в них трещин они обладают гораздо более высокими фильтрационно-емкостными свойствами (ФЕС) по сравнению с силицитами, в которых присутствуют лишь трещины, характеризующиеся небольшой раскрытостью, как правило, не превышающей десятые доли миллиметра [5, 6, 8, 9].

Чтобы оценить максимально возможную добычу нафтидов из нативных и подвергшихся ТГВ образцов, отобранных из БС (Центральная часть Западно-Сибирского бассейна) и ТС (Красноленинский свод), воспользуемся результатами пиролитических исследований и оригинальной методикой оценки нефтегенерационных свойств образцов, основанной на комплексировании



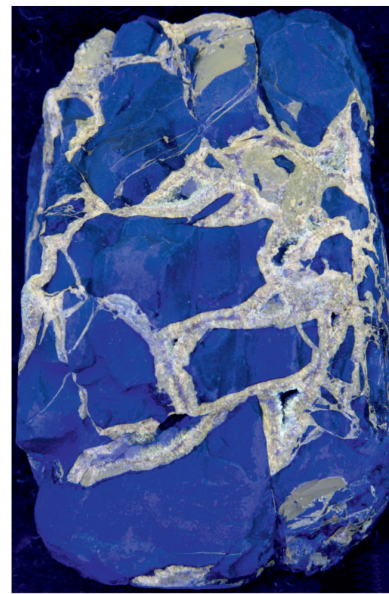
а



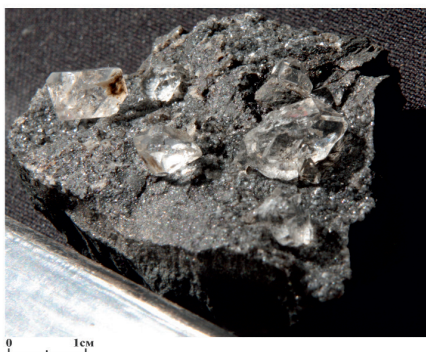
б



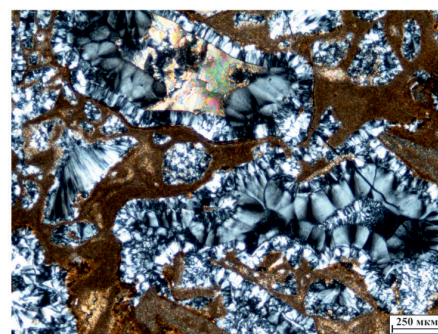
в



г



д



е

Рис. 1. Фотографии трещиноватых силицитов (а, б), трещинно-кавернозного карбоната, снятого в белом (в) и ультрафиолетовом (г) свете, кристаллов гидротермального кварца в каверне (д) и петрографического шлифа с корочками халцедона и более позднего кальцита (е) гидротермального происхождения.

данных пиролиза и метода материального баланса [10]. Для этого нанесем усредненные данные, полученные с помощью упомянутой методики на диаграмму $T_{max}-HI(K_{исх})$, где T_{max} – температура максимального выхода УВ при второй (высокотемпературной) задержке (пик S2), HI – водородный индекс, а $K_{исх}$ – коэффициент исходного нефтегенерационного потенциала образца (рис. 2).

На приведенных на том же рисунке фотографиях прозрачных петрографических шлифов, изготовленных из образцов, отобранных из нативных и подвергшихся ТГВ отложений БС и ТС, хорошо видны отличия в степени термического преобразования этих образцов. Так в шлифе, изготовленном из нативного образца БС, еще можно различить бурые термически преобразованные талломы (слоевища) морских водорослей, а

в шлифе из нативного образца, отобранного из ТС, наряду со слоевищами (талломами) водорослей, даже сохранились мелкие продолговатые фрагменты восковых частиц, кутинита и т.п. (см. рис. 2). Напротив, в образцах, подвергшихся ТГВ, всё $OB_{исх}$ превратилось в темно-коричневый, почти черный сильно термически преобразованный битум (см. рис. 2).

При этом поскольку объем битума, образующегося в результате ТГВ, превышает таковой $OB_{исх}$, то его «избытки» часто выделяются в виде маломощных прослоев (рис. 3). Пирограммы «чистого» битума и собственно самих образцов практически одинаковы, кроме того на них присутствуют крайне малые по амплитуде пики S1, что свидетельствует о чрезвычайно низкой концентрации в таких образцах УВ, которые, к тому же находятся в форме «твердых» растворов

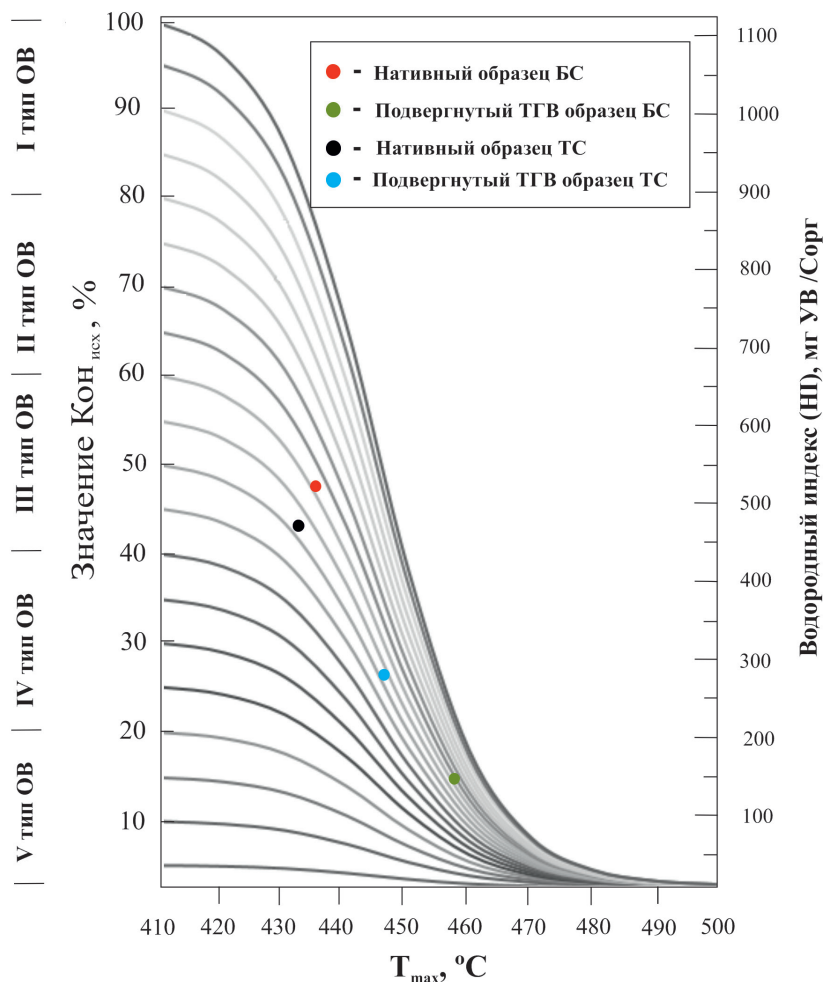
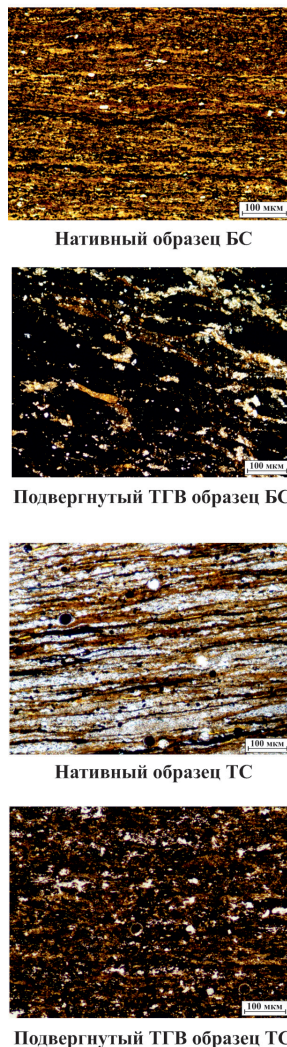


Рис. 2. Диаграмма $T_{max}-HI(K_{исх})$ с фигуративными точками нативных и подвергшихся тектоно-гидротермальному воздействию образцов, отобранных из баженовской и тутлеймской свит и фотографиями петрографических шлифов, изготовленных из них (пояснения в тексте).

в составе битума [4]. В процессе остывания из битума выделяются микрозернистые агрегаты самородной серы (*рис. 3в*).

На диаграмме $T_{\max} - Hl (K_{г\text{исх}})$ хорошо видно различие в степени термического преобразования нативных и подвергшихся ТГВ образцов (см. *рис. 2*). Особенно велики эти различия для образцов, отобранных из БС.

Действительно, сопоставление схем содержания $C_{\text{орг}}$ и современной пластовой температуры ($T_{\text{пл}}$) в БС в пределах Салымского месторождения показало, что в участках, которые были подвергнуты ТГВ концентрация $C_{\text{орг}}$ в БС почти в два раза меньше по сравнению с таковыми, в которых отложения свиты сохранились в нативном состоянии (*рис. 4*). На этой же схеме также хорошо видно, что в участках, подвергшихся ТГВ, современная $T_{\text{пл}}$ на 30-40°C выше, чем в нативных зонах, расположенных на периферии Лемпинского поднятия на его погружении (см. *рис. 4*).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение тепловых методов возможно далеко не везде, а лишь на отдельных локальных участках, в пределах которых БС или ТС подвергались ТГВ. Основную, наиболее распространенную, часть нативных отложений БС и ТС разрабатывать этими методами, к сожалению, невозможно, так как этот тип отложений характеризуется практически полным отсутствием проницаемости [5, 6, 9].

Таким образом, в рассматриваемых локальных участках под действием высокоэнтальпийных флюидов $OB_{\text{исх}}$ превращается в УВ и битум. УВ эмигрируют в образовавшиеся в БС и ТС вторичные коллекторы и за их пределы, а битум остается на месте, превращая БС и ТС в битуминозные отложения [5, 6, 7]. Причем образовавшийся битум обладает низким остаточным нефтегенерационным потенциалом, величина которого не превышает 5-10% от начального его значения (см. *рис. 2*) [5-7, 9, 10].

Напротив, в окружающих эти локальные участки площадях, где отсутствовало ТГВ на осадки БС, содержание OB в её составе примерно в 2 и более раз больше, а степень превращения $OB_{\text{исх}}$ в нафтиды не превышает 40-45% (см. *рис. 2, рис. 4*) [5, 6, 10].

Таким образом, термическое воздействие на отложения БС и ТС предлагается осуществлять и уже проводится в участках, где часто основная часть исходного нефтегенерационного потенциала $OB_{\text{исх}}$ уже израсходована. Поэтому этими методами осуществляется воздействие на УВ, присутствующие в свободном и сорбированном состояниях в низко проницаемых участках порового пространства пород-коллекторов и в составе битума в форме молекулярных и/или

«твердых» растворов [4, 6, 7, 10]. При этом разлагается и сам битум с образованием предельных и непредельных УВ, превращаясь в конечном счете в инертный углеродистый остаток (кокс) [1, 2, 4, 6, 7, 10-13, 16, 17].

Поэтому формирование «искусственных» залежей УВ в нативных участках, незатронутых ТГВ по сравнению с локальными участками, подвергшимися такому воздействию, является гораздо более рациональным и эффективным по следующим причинам.

Во-первых, ожидается, что коэффициент превращения $OB_{\text{исх}}$ в нафтиды в таких участках будет гораздо выше по сравнению с таковыми, уже подвергавшимися ТГВ, где большая часть начального генерационного потенциала $OB_{\text{исх}}$ уже израсходована (см. *рис. 2, рис. 4*).

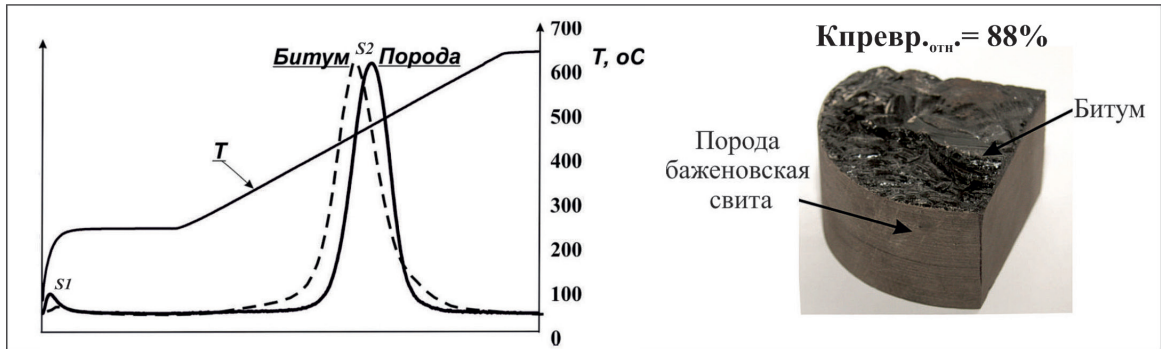
Во-вторых, площадь распространения нативных участков на порядок и даже более превышает таковую, в пределах которой отложения БС и ТС подвергались ТГВ.

С целью создания таких «искусственных» коллекторов именно в нативных участках предлагается использовать серию РКВ в БС и ТС. Для необходимых расчетов воспользуемся данными, содержащимися в работе [15].

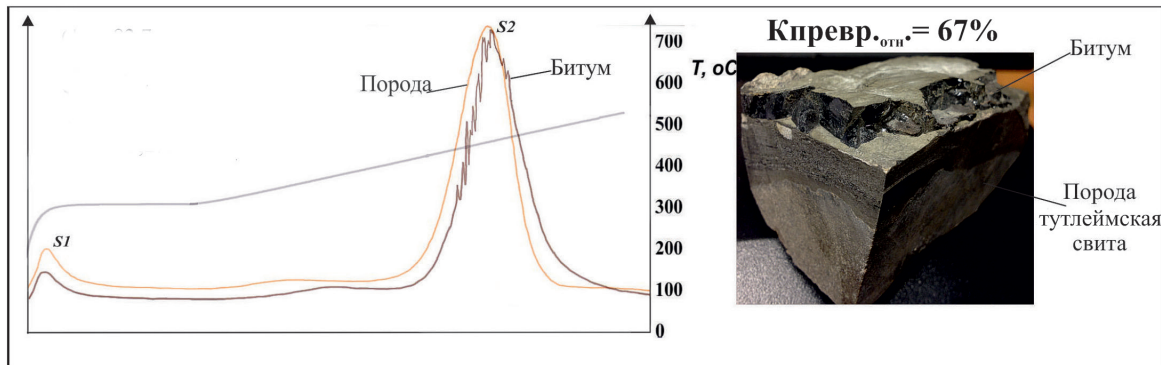
Применять одиночные взрывы с целью создания зон с повышенными ФЕС в БС и ТС не имеет смысла. Это объясняется тем, что в результате такого взрыва образуется полость, вытянутая в вертикальном направлении (в соответствии с ориентацией в осадочной толще главного стресса σ_1). Возникшая полость заполняется, главным образом, породами ачимовской или фроловской толщи (за счет образования столба обрушения) (*рис. 5а*). Вокруг полости, заполненной раздробленной породой и зоной дробления возникнет зона уплотненных пород, обладающих чрезвычайно низкой проницаемостью.

Эффективность РКВ значительно повышается при использовании серии взрывов такого типа. Происходящее в этом случае дробление и перемещение пород резко отличается от рассмотренного ранее (*рис. 5б*). При проведении серии РКВ дробление пород происходит главным образом непосредственно в самой свите, так как направление σ_1 в этом случае поворачивается на 90° и принимает субгоризонтальную ориентацию (см. *рис. 5б*). Каждый последующий взрыв осуществляется через некоторый промежуток времени, необходимый для возникновения и разрастания полости от предыдущего взрыва.

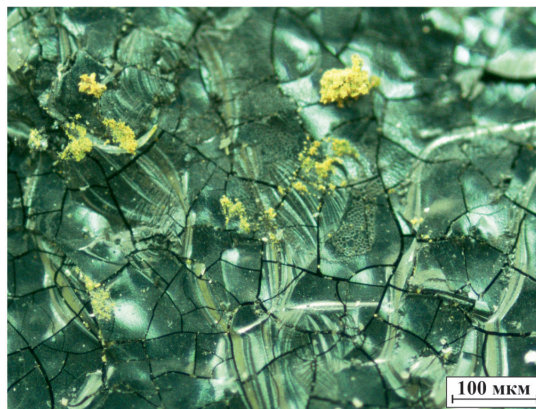
Примеры возможного расположения зарядов и последовательность их взрывов показана на *рис. 5в, г*. В разбираемых примерах формируется практически замкнутая зона интенсивного разрушения породы, снаружи которой также



а



б



в

Рис. 3.

Пирограммы битума и образцов (слева) и фотографии тех же образцов с битумом на их поверхности (справа), подвергшихся тектоно-гидротермальному воздействию, отобранных из баженовской (а) и тутлеймской (б) свит, а также фотография увеличенного фрагмента поверхности битума (образец из тутлеймской свиты (в)), на которой присутствуют микрзернистые агрегаты самородной серы (в).

располагаются зоны дробления. Таким образом возникает объем более или менее интенсивно раздробленной породы непосредственно в самих БС и ТС и практически не тратится энергия для дробления перекрывающих небитуминозных глинистых отложений.

Оценим необходимую величину мощности взрывов, необходимую для создания камуфлетных полостей требуемых размеров. Например, на Салымском месторождении мощность БС в среднем изменяется в пределах от 30 до 35 м,

следовательно, размеры полости должны быть близки к этим значениям.

Принимая диаметр необходимой полости равным, например, 30 м и используя формулу из работы [15] можно приблизительно определить мощность заряда, необходимого для создания такой полости:

$$W=[Rп(\rho H)^{3/4}/C]^3, \quad (1)$$

где: W – мощность заряда (кТ); $Rп$ – радиус полости (м); ρ – средняя плотность пород ($\tau/\text{м}^3$);

H (м) – глубина заложения заряда; C – константа, определяемая для различных пород эмпирически и принимаемая в нашем случае равной 60. Получаемая в этом случае мощность взрыва примерно равна 11 кт.

Радиус интенсивной трещиноватости в горизонтальной плоскости можно определить на основании данных из той же работы [15] по формуле:

$$R_{тр} = R_{п} \sqrt[3]{\frac{2}{\rho C_0 / 4 \sigma}} \quad (2)$$

где: $R_{тр}$ – радиус интенсивной трещиноватости (м); C_0 – скорость звука (м/с); σ – предел прочности на раздавливание (т/м^2). Получаемая на основании этой формулы величина радиуса интенсивной трещиноватости примерно равна 90 м.

Границу зоны распространения единичных радиальных трещин можно принять равной радиусу упругой зоны ($R_{упр}$) [15].

Радиус упругой зоны, исходя из известного соотношения:

$$R_{упр} = R_{тр} \sqrt{\sigma / \sigma_{упр}} \quad (3)$$

где: $\sigma_{упр}$ – предел упругости среды, который составит примерно 130 м.

Расстояние между последовательно взрывающимися зарядами можно примерно оценить по величине $R_{тр}$, а также используя приближенную формулу из работы [15] для оценки условий сохранения камуфлетности взрыва:

$$L \geq a \sqrt[3]{W} \quad (4)$$

где L – минимально допустимая глубина заложения заряда данной мощности, взрыв которого не приведет к выбросу пород на поверхность. В нашем случае эта величина близка к 200 м, следовательно, расстояние между ближайшими зарядами должно лежать в пределах 90-200 м.

При проведении оценочных расчетов примем это расстояние равным 100 м. Так как основное разрушающее действие производит волна разрежения, то необходимо рассчитать время, через которое она придет в точку взрыва. Принимая скорость распространения волн сжатия и разрежения близкими к скорости звука в осадочных породах, можно оценить время, через которое произойдет формирование столба обрушения пород на глубине около 3 км. Это время близко к 3 с. Однако на самом деле столб обрушения может возникнуть через значительно больший промежуток времени, что связано с необходимостью дать время на перемещение породы и развитие в них трещин. По оценкам различных авторов это время изменяется от долей секунды до первых минут после взрыва,

что определяется главным образом мощностью взрыва, глубиной его заложения и прочностными свойствами пород [15].

Учитывая преимущественно глинистый состав ачимовских и фроловских отложений, перекрывающих БС и ТС, можно предположить, что полость будет устойчива и её обрушение будет наблюдаться через несколько минут после взрыва. Таким образом, время задержки между двумя последовательными взрывами может составлять около 1-2 мин.

При проведении семи РКВ в принятой на **рис. 2в** последовательности и на выбранном расстоянии друг от друга возникнет зона раздробленных и трещиноватых пород площадью примерно 0.07 км², а вес раздробленных пород составит около 4.6 млн. т. Для варианта расположения камуфлетных взрывов, представленных на **рис. 2г**, получим следующие приближенные значения: площадь раздробленных пород – 0,08 км² и их вес – 5,2 млн. т.

О размерах обломков, образующихся в результате серии РКВ судить сложно. Можно лишь предположить, что в рассматриваемом случае при выполнении серии РКВ с перемещением пород в направлении к полости от предыдущего взрыва должно происходить более ли менее равномерное дробление породы. Кроме того, породы свиты анизотропны по акустическим свойствам, что с необходимостью ведет к отражению, преломлению и интерференции взрывных волн, и усилению степени дробления пород.

Величина акустической неоднородности пород определяется масштабом изменения их литологического состава. Кроме того, из результатов тектонофизического моделирования следует, что расстояние между трещинами, а, следовательно, и размеры обломков пород, разрушающихся по этим трещинам, зависят от толщины отдельных прослоев, слагающих БС [8]. Поскольку толщина слоев различного литологического состава, слагающих свиту, изменяется от первых миллиметров до первых сантиметров, реже первых десятков сантиметров, то и размеры обломков будут варьировать приблизительно в этих же пределах.

Кроме того, породы БС, обладая пониженной плотностью, являются своеобразным природным волноводом. Следовательно, взрывные волны будут многократно отражаться от границ кровли и подошвы свиты, формируя протяженные зоны трещиноватости и отдельные трещины в горизонтальном направлении.

Огромную роль в изменении ФЕС пород свиты играет также выделяющееся при взрыве тепло. В центре взрыва температура от стандартных типов взрывчатых веществ может достигать

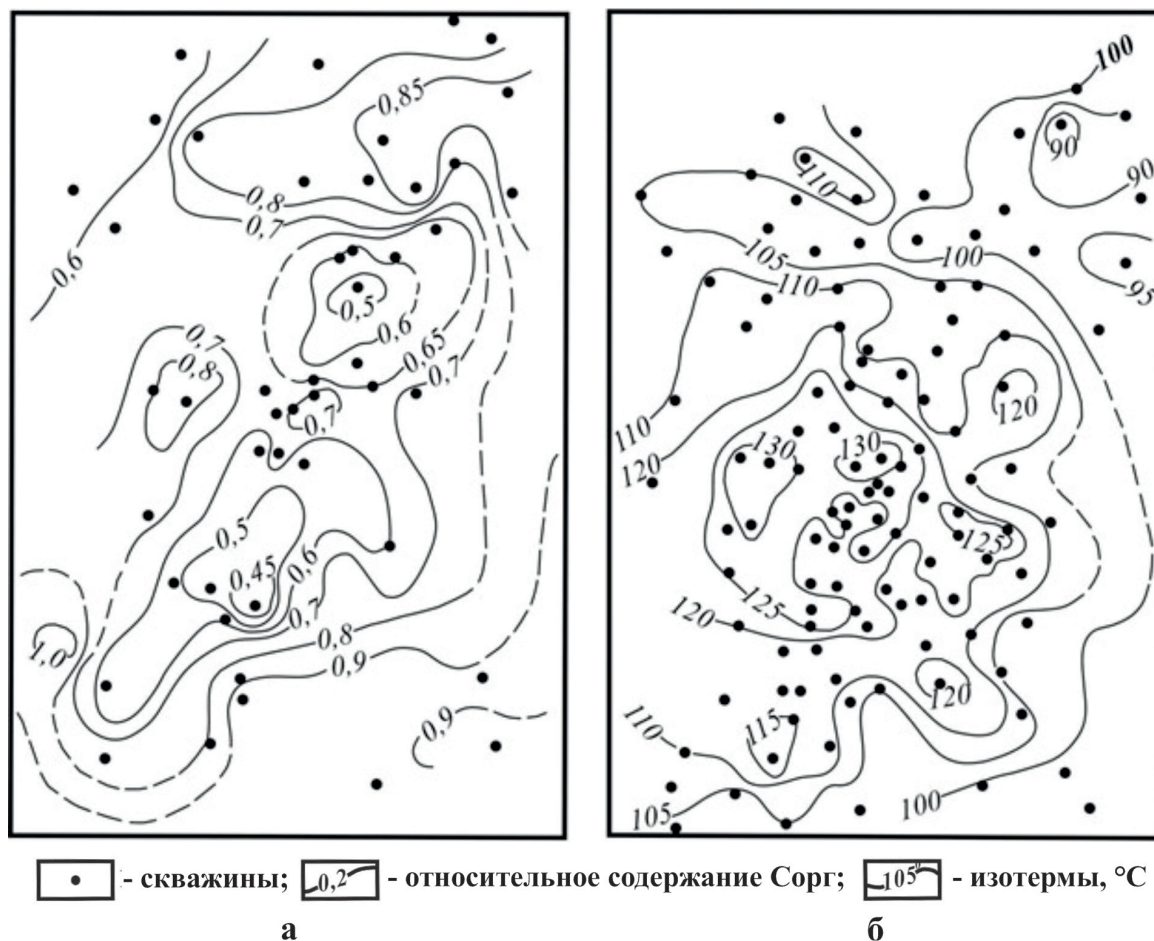


Рис. 4. Схемы изменения содержания Сорг, нормированного к единице (а) и современной пластовой температуры по кровле баженовской свиты (б) (Салымское месторождение).

первых тысяч градусов [15]. При этом произойдет активный термоллиз содержащегося в БС и ТС $ОВ_{исх}$, в результате чего образуется большое количество УВ, гетеросоединений и высокоуглеродистого кокса. Поскольку объем образующихся в результате термоллиза нафтидов превышает объем $ОВ_{исх}$, то произойдет описанный ранее флюидоразрыв породы, что приведет к дополнительному её дроблению.

Кроме того, по данным [15] тепловое воздействие от взрыва ограничивается зоной, примерно равной 2-3 радиусам полости взрыва, от внешней её поверхности, что приведет к дополнительному увеличению внешнего радиуса зоны дробления за счет все того же эффекта флюидоразрыва пород.

Учитывая направленный характер зон дробления можно предположить более интенсивный прогрев пород именно БС и ТС в отличие от подстилающих и перекрывающих пород. То есть зона интенсивного прогрева от каждого взрыва будет иметь не шаровидную, а эллипсовидную форму с гораздо более длинной горизонтальной осью. Важен также и тот факт, что при выбран-

ном расстоянии между ближайшими зарядами зоны интенсивного разогрева практически перекрываются и потому зона интенсивного дробления пород и интенсивной трещиноватости практически совпадают с ней за исключением периферийной части.

Используя усредненные данные о нефтегенерационных способностях пород БС (центральная часть Западно-Сибирского бассейна) и ТС (Красноленинский свод) приведенные в работе [10], оценим максимально возможное дополнительное извлечение нафтидов из этих отложений при условии полной реализации остаточного нефтегенерационного потенциала $ОВ_{исх}$, входящего в их состав. При этом рассмотрим два варианта для каждой из свит, а именно, во-первых, на нативных участках со слабой степенью термического (катагенетического) преобразования $ОВ_{исх}$ и, во-вторых, с сильной степенью термического превращения, вызванного ТГВ (*табл.1*).

Для удобства сравнения примем средние значения содержания $ОВ_{исх}$ и его исходного коэффициента нефтегенерации ($K_{гисх}$) одинаковы-

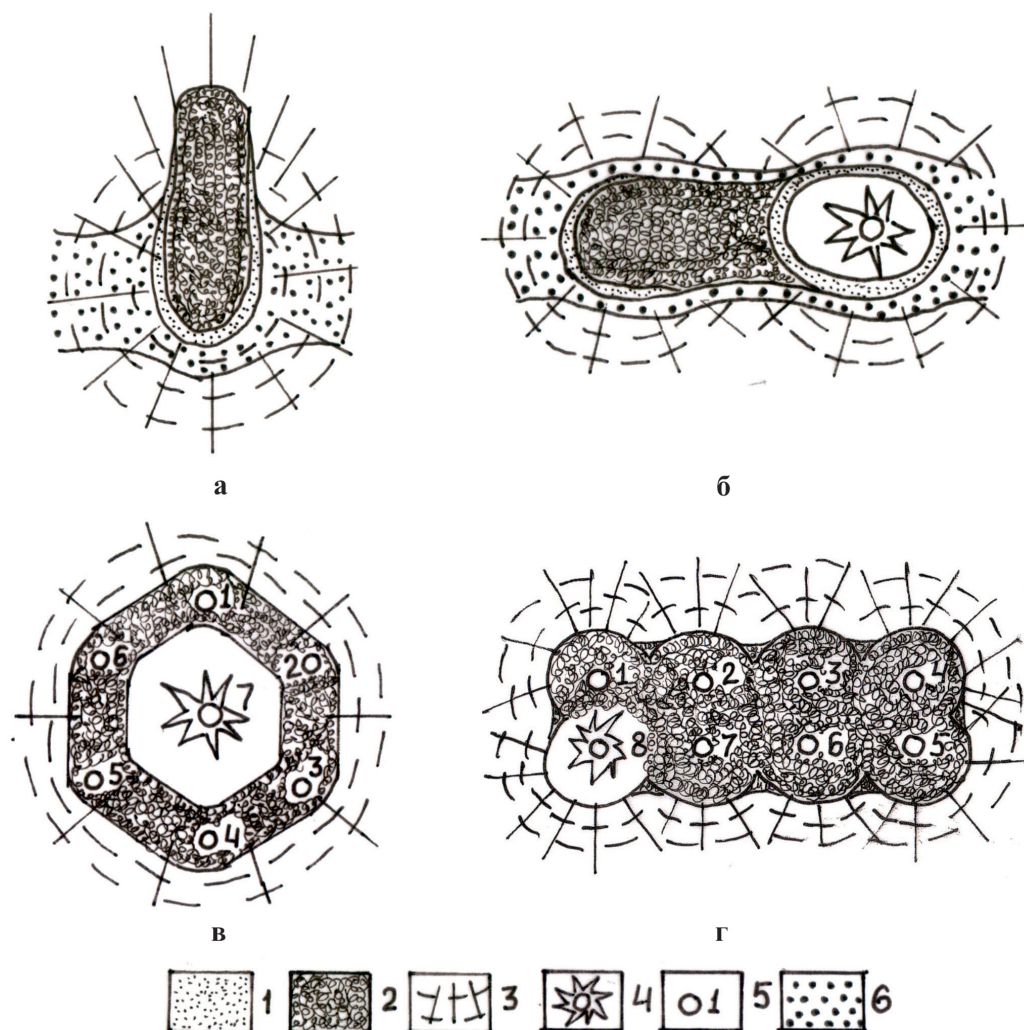


Рис. 5. Способы размещения зарядов в отложениях баженовской свиты: а – одиночный взрыв, б – два последовательных короткозамедленных взрыва; в, г – схемы размещения семи зарядов радиальной и восьми зарядов линейной формы, соответственно (вид сверху).
Условные обозначения: 1 – зона оплавленных пород; 2 – раздробленные породы; 3 – радиальные и тангенциальные трещины; 4 – момент взрыва; 5 – положение и порядковый номер заряда; 6 – отложения баженовской свиты.

ми для образцов со слабой и сильной степенью термического превращения, отобранных из БС и ТС (см. **табл. 1**).

Наиболее значимые различия получены для центральных районов Западно-Сибирского бассейна, где в участках, не подвергавшихся ТГВ, из усредненного образца БС максимально может быть дополнительно добыто 6,6% нафтидов, а в таковом, подвергшемся этому воздействию, – всего 1,4% (см. **табл. 1**).

На Краснотенинском своде эти различия заметно меньше – они в среднем для слабо термически преобразованных нативных отложений составляют 5,1%, а для отложений ТС, подвергшихся ТГВ – 3,2% (см. **табл. 1**).

Вероятно, этот феномен объясняется тем, что гидротермальные флюиды, воздействовав-

шие на отложения ТС, имели более низкую температуру, чем таковые, проникавшие в БС в центральных районах Западно-Сибирского бассейна. Действительно, если в первом случае (отложения ТС) относительная величина коэффициента превращения ($K_{\text{превр.отн}}$) ОВисх в нафтиды в участках с сильно термически преобразованным ОВисх (в результате ТГВ) составляет в среднем 62%, то во втором (отложения БС, подвергшиеся ТГВ) – 89%!

Следует также обратить внимание на тот немаловажный факт, что основная часть нафтидов, образовавшихся в БС и ТС к настоящему времени, эмигрировала из них (см. **табл. 1**).

Используя полученные данные можно оценить максимальный выход нафтидов при термическом воздействии в слабо и сильно терми-

Таблица 1.

Усредненные нефтегенерационные свойства пород баженовской и тутлеймской свит с различной степенью термического превращения (Западная Сибирь).

Степень термического превращения	ОВ _{исх.} , %	К _{г_{исх.}} , %	К _{превр._{отн.}} , %	С _г , %	К _э , %	Максимально возможная дополнительная добыча нефтидов, %
Центральная часть Западно-Сибирского бассейна						
Слабая	20	62	47	5.8	98	6.6
Сильная	20	62	89	11.0	90	1.4
Красноленинский свод						
Слабая	16	53	40	3.4	91	5.1
Сильная	16	53	62	5.3	87	3.2

Условные обозначения: ОВ_{исх.} – исходное содержание органического вещества;

К_{г_{исх.}} – исходный нефтегенерационный потенциал органического вещества;

К_{превр._{отн.}} – относительная величина коэффициента превращения мобильной части ОВ_{исх.} в нефтиды;

С_г – количество образовавшихся нефтидов; К_э – коэффициент эмиграции образовавшихся нефтидов.

чески преобразованных участках. Для первого варианта расположения РКВ в БС, находящейся в центральных участках Западно-Сибирского бассейна (см. **рис. 5в**) максимально возможное количество нефтидов в нативных участках составит около 300 тыс. т, а в участках, подвергавшихся ТГВ – всего 64 тыс. т.

При втором варианте расположения РКВ (см. **рис. 5г**) для первого случая максимальное количество нефтидов в нативных участках составит около 340 тыс. т, а в участках, подвергавшихся ТГВ – лишь 73 тыс. т.

Проведем такие же расчеты для ТС Красноленинского свода.

Для первого варианта расположения РКВ (см. **рис. 5в**) максимально возможное количество дополнительно добываемых нефтидов в нативных участках составит около 235 тыс. т, а в участках, подвергавшихся ТГВ – 147 тыс. т.

При втором варианте расположения РКВ (см. **рис. 5г**) для первого случая максимально возможное количество дополнительно добываемых нефтидов в нативных участках составит около 265 тыс. т, а в участках, подвергавшихся ТГВ – 166 тыс. т.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что разрабатывать нативные участки в БС следует с использованием именно различных комбинаций РКВ. В участках, подвергшихся ТГВ, использование РКВ менее эффективно, особенно это касается территорий, расположенных в центральной части Западно-Сибирского бассейна, например, в пределах Салымского месторождения (см. **рис. 2, рис. 4**).

При проведении РКВ в нескольких горизонтальных скважинах можно применять удлиненные заряды той же мощности (примерно 11 кт), расположив их в стволах скважин, ориентиро-

ванных параллельно по отношению друг к другу на расстоянии – около 100 м.

В участках, подготовленных для разработки УВ из БС с помощью серии РКВ первоначально можно использовать всего одну скважину, которая будет работать на упругом режиме, дренируя всю искусственно созданную залежь нефти, в которой, скорее всего, будет отмечаться аномально высокое пластовое давление. Однако затем, когда пластовое давление снизится до критического значения, будет необходимо пробурить по крайней мере еще одну (например, «нагнетательную») скважину, а первая в таком случае, будет служить добывающей, и использовать наиболее подходящий из предлагаемых методов термического воздействия [1, 2, 11-13, 16, 17] для извлечения нефтидов, оставшихся в породах БС и ТС в разрабатываемом участке.

В БС и ТС присутствует связанная вода, содержание которой в различных литологических типах пород по данным петрофизических исследований в среднем варьирует примерно от 2-3 до 8-10%. В результате проведения серии РКВ эта вода становится свободной и благодаря высокой температуре может растворять наряду с породообразующими, также и редкие элементы, представленные Mo, U, As, Sb, V, Ni, Au, Ag, Cu, Ba, Sr и др., которыми богата БС и в несколько меньшей степени ТС. Поэтому при извлечении из скважин водно-нефтидного продукта и после разделения в отстойнике нефти и воды, возможно с помощью специальных технологий выделять из последней растворенные в ней редкие элементы. Высока вероятность того, что ряд элементов, таких как U, V, Ni, Mo и др. будут присутствовать не столько в водной фазе, сколько в битумной части нефтидов.

Выводы

1. Применение тепловых методов воздействия с целью повышения нефтеотдачи отложений БС и ТС возможно лишь в участках, подвергшихся ТГВ, благодаря которому в них образовались вторичные коллекторы трещинного (в кремнистых) и трещинно-кавернозного (в карбонатах) типов, что и обусловило проницаемость этих отложений.

2. В этих участках большая или меньшая часть исходного генерационного потенциала ОВисх, входящего в состав БС и ТС, была израсходована, поэтому использование тепловых методов повышения её нефтеотдачи не всегда может быть эффективным и рентабельным.

3. Гораздо эффективнее использование серии РКВ, так как, во-первых, этот метод позволяет разрабатывать нативные участки распро-

странения БС и ТС, где их отложения не подвергались ТГВ и которые, в отличие от последних, имеют огромную площадь распространения и, во-вторых, в этих участках в большей степени сохранился остаточный нефтегенерационный потенциал ОВисх, благодаря чему из них может быть получено гораздо больше УВ, чем там, где БС и ТС были подвержены ТГВ и значительная часть образовавшихся в них нафтидов эмигрировала из этих отложений.

4. На заключительном этапе разработки «искусственных» коллекторов, созданных путем проведения серии РКВ, следует применять тепловые методы с целью повышения их нефтеотдачи, так как на упругом режиме невозможно достаточно полное извлечение УВ из образовавшихся в БС и ТС «искусственных» коллекторов. ❶

Литература

1. Алексеев Ю.В., Ерофеев А.А., Пачежерцев А.А., Меретин А.С., Никитин Р.Н. Перспективы применения термохимических методов воздействия при разработке залежей баженовской свиты. // Нефтяное хозяйство. 2015. №10 С. 93-97
2. Алекперов В.Ю., Грайфер В.И., Николаев Н.М., Карпов В.Б., Кокорев В.И., Нурғалиев Р.Г., Палий А.П., Боксерман А.А., Клиничев В.А., Фомкин А.В. Новый отечественный способ разработки месторождений баженовской свиты (часть 2) // Нефть. хоз-во. 2014. № 1. С. 50-53.
3. Гурари Ф.Г., Гурари И.Ф. Формирование залежей нефти в аргиллитах баженовской свиты Западной Сибири // Геология нефти и газа, 1974, № 5, с. 36-40.
4. Зубков М.Ю., Потапов А.Г. «Твёрдые растворы» углеводородов в составе битумов баженовской свиты и экстрактов, установленные по данным ядерно-магнитного резонанса. «Каротажник». НТВ АИС, Вып. 9 (255), 2015, с. 3-13.
5. Зубков М.Ю. Оценка региональных и локальных перспектив нефтеносности баженовской и абалакской свит Западной Сибири. Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. № 3. 2016. С. 51-67.
6. Зубков М.Ю. Тектоно-гидротермальные процессы в юрских отложениях Западной Сибири. Геология нефти и газа. № 1. 2017. С. 60-76.
7. Зубков М.Ю. Битумы в составе верхнеюрских отложений Западной Сибири и их связь с гидротермальными процессами. Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. №1 (37) 2019. С. 9-24.
8. Зубков М.Ю. Применение методов экспериментальной тектоники в нефтяной геологии на примере месторождений Западной Сибири. Геотектоника. № 3. 2019. С. 92-109.
9. Зубков М.Ю. Типы коллекторов в бажено-абалакском комплексе Западной Сибири и их генезис. Геология нефти и газа. № 4. 2019. С. 59-78.
10. Зубков М. Ю. Использование модифицированного метода материального баланса в комплексе с пиролизом для оценки нефтегенерационных свойств баженовской свиты (Западная Сибирь) // Геохимия. – 2021. – Том 66, № 2. – С. 1-22.
11. Кокорев В.И. О целесообразности применения термогазового метода для разработки залежей, приуроченных к отложениям баженовской свиты Западной Сибири // Нефтяное хозяйство. – 2010. - № 7. – С. 88-91.
12. Коломийченко О., Чернов А.А. Концепция внутрипластового каталитического реторинга. Технология для освоения баженовской свиты // Oil and Gas Journal Russia. 2015. Октябрь. С. 72-81.
13. Копытов А.Г., Узбекиев В.Р. Перспективы разработки битуминозных отложений Западной Сибири внутрипластовым горением, вероятные технические и технологические сложности его реализации и способы их решения // Наука и ТЭК. 2012. № 2. С. 28-31.
14. Нестеров И.И. Новый тип коллектора нефти и газа. // Геология нефти и газа, 1979, № 10, с. 26-29.
15. Покровский Г.И. Взрыв. М. Недра. 1980. 190 с.
16. Сонич В.П., Батурин Ю.Е., Малышев А.Г., Зарипов О.Г., Шеметило В.Г. Проблемы и перспективы освоения баженовской свиты // Нефтяное хозяйство. – 2001. - № 9. – С. 36-68.
17. Щеколдин К.А. Способ повышения эффективности технологии термогазового воздействия // Нефтяное хозяйство. 2014. №7. С. 102-103.

UDC: 553.98.044:(550.834+550.837+551.2)

M.Yu. Zubkov, West Siberian Geological Center LLC (ZAPSIBGTS LLC), ZubkovMYu@mail.ru

THE USE OF EQUALLY DELAYED CAMOUFLAGE EXPLOSIONS FOR THE DEVELOPMENT OF DEPOSITS OF THE BAZHENOV AND TUTLEIM FORMATIONS

Abstract: The sediments of the Bazhenov and Tutleim formations were divided into two categories of territories: native and those exposed to tectonic-hydrothermal effects. The possibilities of using equally delayed camouflage explosions in the development of the Bazhenov formation and its lithostratigraphic analogue, the Tutleim formation, within the territories of both categories are considered. The advantages of using equally delayed camouflage explosions to create an "artificial" reservoir in the "native" sediments of both formations are substantiated. An assessment of the maximum possible additional volumes of naphthide extraction using equally delayed camouflage explosions within the territories of both categories for deposits of the Bazhenov and Tutleim formations, distributed in the central and western parts of the West Siberian oil and gas basin was carried out. Attention is drawn to the possibility of the presence of valuable rare elements in the asphalt-resinous part of naphthides and simultaneously extracted water.

Keywords: development of the Bazhenov formation, equally delayed camouflage explosions, oil and gas generation properties, additional oil production.