

Р.А. Атласов, Э.Р. Туги, М.В. Николаева
СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ НА СРЕДНЕБОТУОБИНСКОМ НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Аннотация. В 60-е и 70-е годы в СССР и США был разработан ряд предложений по использованию ядерно-взрывной технологии (ЯВТ) в различных промышленных назначениях, одним из которых являлось использование ЯВТ для увеличения притоков нефти и газа из малодебитных залежей.

Среднеботуобинское нефтегазоконденсатное месторождение, входящее в Лено-Гунгусскую нефтегазоносную провинцию, расположено в Мирнинском и частично в Ленском районах республики Саха (Якутии), приурочено к Среднеботуобинской и Курунгской структурам на северо-востоке НБА.

Здесь с 1976 по 1987 годы были произведены шесть ядерных взрывов мощностью 15 килотонн из серий взрывов «Ока», «Шексна», «Нева» для интенсификации добычи нефти и газа и один взрыв мощностью 3,2 кт для создания подземного нефтехранилища.

Полости подземных ядерных взрывов вне зависимости от геологических условий, глубины и режима их проведения: штатного или аварийного являются открытыми геотехногенными системами. Перенос радионуклидов в системе «полость взрыва – геологическая среда – поверхность земли» осуществляется через флюидопроницаемые геоструктуры: техногенные – 1) ослабленные зоны вокруг скважин в многолетнемерзлом слое; 2) потерявшие герметичность геологоразведочные скважины в районах ПЯВ; естественные – 3) подземные водоносные горизонты; 4) тектонические разломы, в т.ч. подновленные при ПЯВ. Каждая из этих геоструктур количественно характеризуется геофизическими и геохимическими параметрами (удельным электрическим сопротивлением пород, активностью радионуклидов, концентрацией элементов и анионов).

Авторы отмечают, что в большинстве случаев (исключение скважина № 30) в ходе ОПЭ наблюдалось снижение продуктивности. При записи конечных КВД добиться восстановления пластового давления не удавалось. Это свидетельствует о затрудненной связи с дальней зоной пласта, также это может являться и следствием самого воздействия. При мощных взрывах в плотных средах наряду с зоной разуплотнения может формироваться кольцо уплотнения.

В статье проведен анализ результатов проведения интенсификации притока путем проведения серии ядерных взрывов.

Ключевые слова: Среднеботуобинское нефтегазоконденсатное месторождение, подземный ядерный взрыв, интенсификация притока, нефтегазоносность, термобарическое воздействие.

АТЛАСОВ Ринат Александрович – ст. преподаватель каф. нефтегазового дела ГРФ СВФУ им. М.К. Аммосова.

E-mail: atlasov.rinat@mail.ru

ATLASOV Rinat Alexandrovich – Senior Lecturer, Department of Oil and Gas Field Search, Faculty of Geology and Survey, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University.

E-mail: atlasov.rinat@mail.ru

ТУГИ Эвальдт Раймондович – доцент каф. нефтегазового дела ГРФ СВФУ им. М.К. Аммосова.

E-mail: er.tugi@s-vfu.ru

TUGI Ewaldt Raimondovich – Associate Professor, Department of Oil and Gas Field Search, Faculty of Geology and Survey, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University.

E-mail: er.tugi@s-vfu.ru

НИКОЛАЕВА Мария Валентиновна – зав. лабораторией каф. нефтегазового дела ГРФ СВФУ им. М.К. Аммосова.

E-mail: mnikolaeva1990@gmail.com

NIKOLAEVA Maria Valentinovna – Head of the laboratory, Department of Oil and Gas Field Search, Faculty of Geology and Survey, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University.

E-mail: mnikolaeva1990@gmail.com

R.A. Atlasov, E.R. Tugi, M.V. Nikolaeva

M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

Assessing the Efficiency of Applying Underground Nuclear Explosions at the Srednebotuobinsky Oil and Gas Condensate Field

Abstract. In the 1960s and 1970s, a number of proposals were developed in the USSR and the USA on the use of nuclear explosive technology in various industrial applications, one of which was the use of nuclear weapons to increase the inflow of oil and gas from low-yield deposits.

The Srednebotuobinskoye oil and gas field, which enters the Lena-Tunguska oil and gas province, is located in Mirny and partly in Lensk Districts of the Sakha Republic (Yakutia), confined to the Srednebotuobinskaya and Kurung structures in the north-east of the NBA.

Here, from 1976 to 1987, six nuclear explosions with a capacity of 15 kilotons were produced from the series of explosions «Oka», «Sheksna» and «Neva» to intensify oil and gas production and one explosion of 3.2 kW to create an underground oil storage.

Cavities of underground nuclear explosions, regardless of the geological conditions, depth and mode of their conduct – regular or emergency – are open geotechnical systems. Transfer of radionuclides in the system «explosion cavity – geological environment – the surface of the earth» is carried out through fluid-permeable geostructures: technogenic – 1) weakened zones around wells in the permafrost layer; 2) geological exploration wells that have lost their tightness in the areas of nuclear weapons; natural – 3) underground aquifers; 4) tectonic faults, incl. refurbished with EWS. Each of these geostructures is quantitatively characterized by geophysical and geochemical parameters (specific electrical resistance of rocks, activity of radionuclides, concentration of elements and anions).

The authors note that in most cases (exclusion of well # 30) during the OPE, a decrease in productivity was observed. When recording the final HPC, it was not possible to restore the reservoir pressure. This indicates a difficult connection with the far zone of the formation, and this can also be a consequence of the impact itself. With powerful explosions in dense media, along with the zone of decompaction, a seal ring can form.

The article analyzes the results of the intensification of the influx through a series of nuclear explosions.

Keywords: Srednebotuobinskoe oil and gas condensate field, underground nuclear explosion, intensification of inflow, oil and gas potential, thermobaric impact.

Введение

Среднеботуобинское нефтегазоконденсатное месторождение входит в Лено-Тунгускую нефтегазоносную провинцию, расположено в Мирнинском и частично Ленском районах Республики Саха (Якутия) (рис. 1).

Согласно существующей схеме районирования территории Республики Саха (Якутия) по перспективам нефтегазоносности месторождение расположено в пределах Ботуобинского нефтегазоносного района Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области обширной Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции.

Основные перспективы нефтегазоносности месторождения связаны с залежами осинского и ботуобинского горизонтов северного и центрального блоков. В результате проведения разведочных работ произведен подсчет запасов газа ботуобинского горизонта по промышленным категориям, доказана промышленная ценность нефтяной залежи центрального блока и дана предварительная оценка запасов нефти ботуобинского горизонта.

В 60-е и 70-е годы в СССР и США был разработан ряд предложений по использованию ядерно-взрывной технологии (ЯВТ) в различных промышленных назначениях, одним из которых являлось использование ЯВТ для увеличения притоков нефти и газа из малодобитных залежей. Вследствие того, что залежи природных углеводородов располагаются на глубине свыше 1000 м, для данного направления ЯВТ характерно использование камуфлетных взрывов, при которых не происходит прорыва образующейся при взрыве полости в атмосферу, что необходимо для полного удержания радиоактивных продуктов в центральной зоне взрыва (ЦЗВ).

При подземном взрыве в результате испарения породы образуется каверна больших размеров (рис. 2). При уплотнении пород в ее нижней части и перемещении вверх газов каверна приобретает сферическую форму. В результате постепенного падения температуры, а также

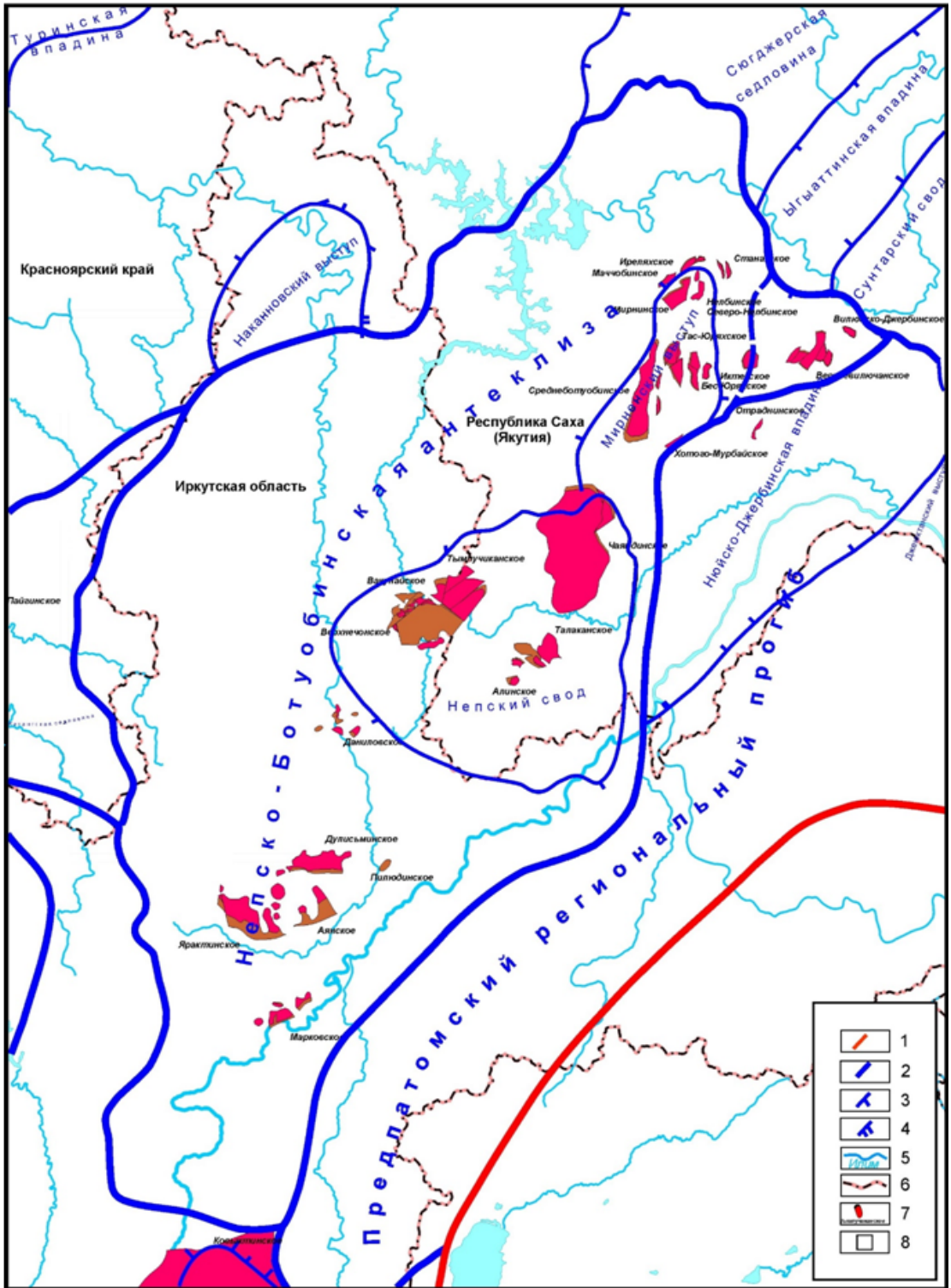


Рис. 1. Среднеботубобинское нефтегазоконденсатное месторождение

1 – граница платформы; 2 – границы надпорядковых тектонических структур; 3 – границы тектонических структур второго порядка; 4 – границы тектонических структур первого порядка; 5 – гидросеть; 6 – административные границы областей; 7 – месторождения нефти и газа; 8 – площадь прогнозных исследований

утечек газа и конденсации паров давление в каверне существенно уменьшается. В результате каверна под давлением вышележащих пород обрушивается и образуется так называемая «труба обрушения». Труба имеет форму, близкую к цилиндрической, а ее диаметр примерно равен диаметру первоначальной полости взрыва [1].

Труба обрушения вместе с зоной дробления пород и частью зоны трещиноватости (макротрещиноватости) образует центральную зону взрыва (ЦЗВ) (рис.2), которая характеризуется практически полным отсутствием сопротивления движению пластовых флюидов.

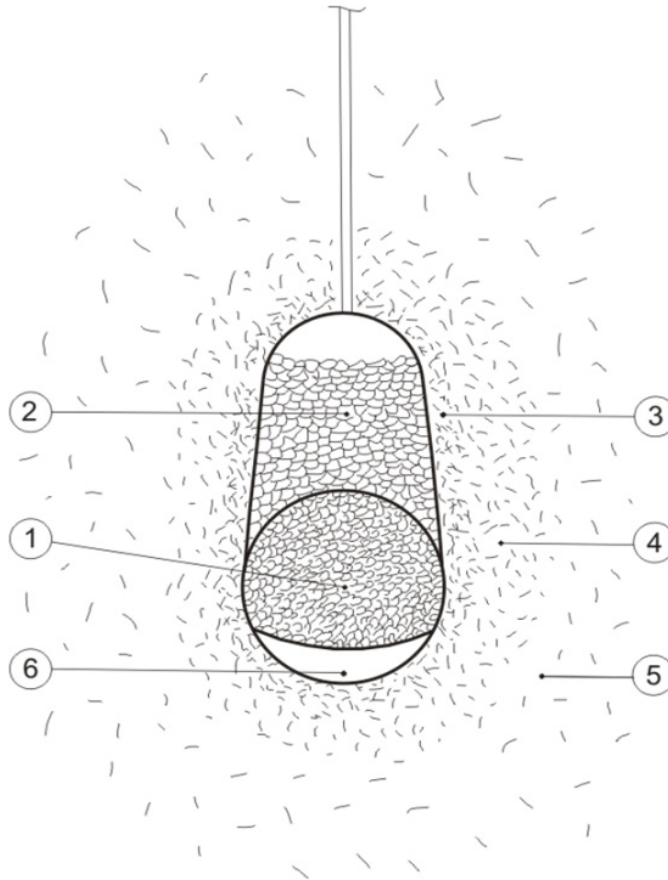


Рис. 2. Схема подземного ядерного взрыва

1 – первоначальная полость; 2 – конус (столб) обрушения; 3 – зона дробления пород; 4 – зона макротрещиноватости; 5 – зона микротрещиноватости; 6 – расплав.

После обрушения камуфлетной области происходит резкое падение давления газов в образующейся ЦЗВ, которое может развиваться по двум вариантам:

1. Давление газа в ЦЗВ ($P_{ЦЗВ}$) устанавливается больше естественного пластового давления ($P_{пл}$), что вызывает поток миграционных форм радионуклидов (в первую очередь газовые фазы) из ЦЗВ в пласт до момента выравнивания $P_{ЦЗВ}$;
2. Давление в ЦЗВ устанавливается меньше естественного пластового давления, что вызывает поток пластовых флюидов из пласта в ЦЗВ до момента выравнивания $P_{ЦЗВ}$ и $P_{пл}$.

При ядерном взрыве образуется целый ряд радионуклидов с разными периодами полураспада – от нескольких часов до десятков лет.

Применение подземных мирных ядерных взрывов на Среднеботуобинском нефтегазоконденсатном месторождении

В 1976-1987 гг. было проведено семь подземных ядерных взрывов – на глубинах свыше 1500 м для увеличения притоков газа и нефти из осинского горизонта и один взрыв на глубине 850,3 м для создания емкости – хранилища в соляных отложениях [2].

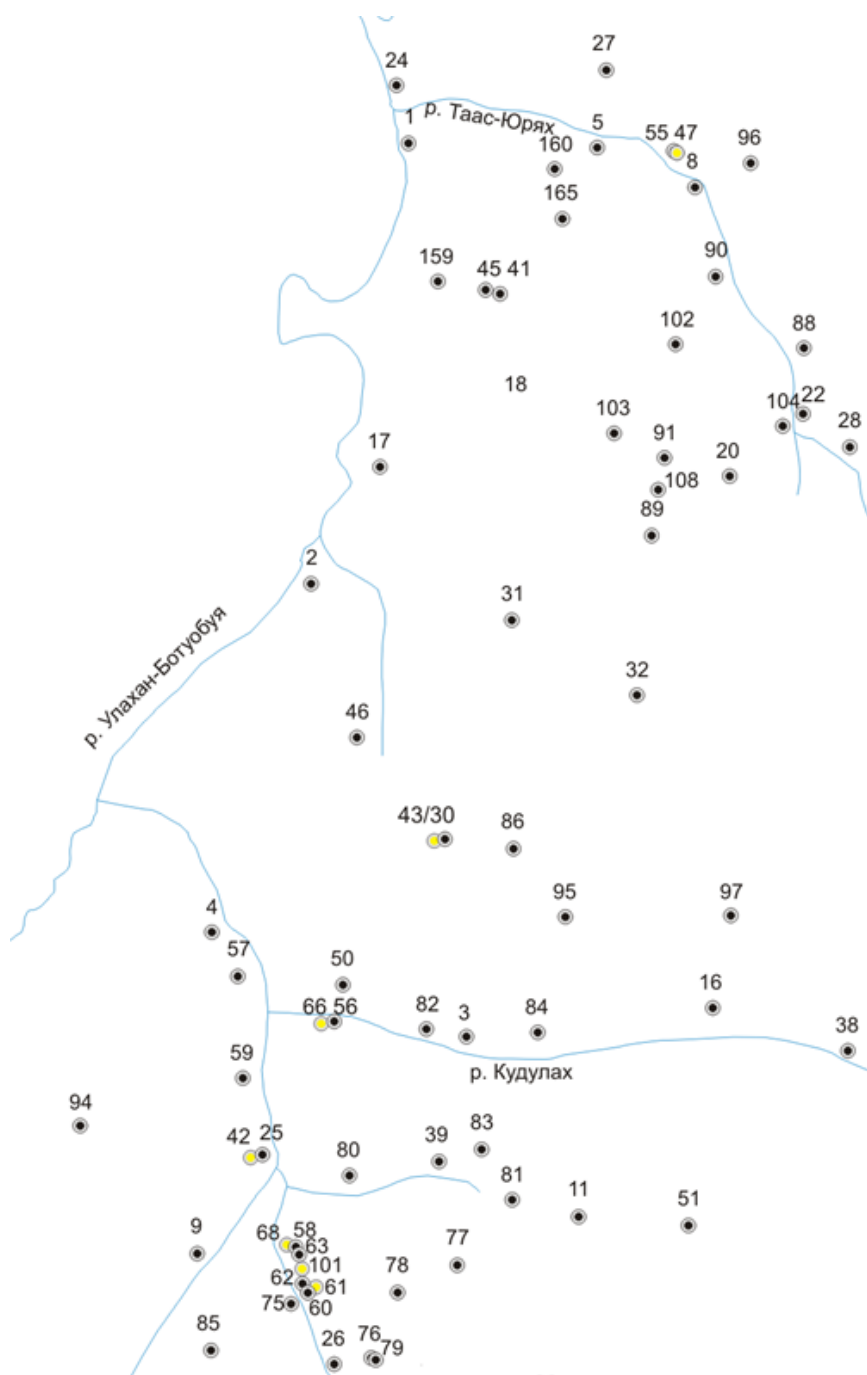


Рис. 3. Схема расположения скважин на Среднеботубинской площади

Объекты МиЯВ: «Ока» скв. 42, «Вятка» скв. 43, «Шексна» скв. 47, «Нева-1» скв. 66, «Нева-2» скв. 61, «Нева-3» скв. 68, «Нева» скв. 101

Объект «Ока»

Объект «Ока» расположен в центральной части центрального блока месторождения в западной части участка промышленной нефтеносности ботубобинской залежи.

В состав объекта входят технологическая (взрывная) скважина № 42 и расположена рядом разведочная скважина № 25, пробуренная на ботубобинский горизонт, кровля которого находится на глубине 1866,3 м (от устья скважины).

Скважина использовалась для производства испытания результатов взрывного воздействия на осинский горизонт.

Ядерный взрыв был произведен в ноябре 1976 года в осинском горизонте при глубине заложения заряда 1525 м (от устья скважины).

Объект «Вятка»

Объект «Вятка» расположен в северной части центрального блока месторождения. В состав объекта входит технологическая (взрывная) скважина № 43 и расположена рядом разведочная скважина № 30, пробуренная на ботуобинский горизонт, кровля которого находится на глубине 1879,8 м.

Скважина использовалась для производства испытания результатов взрывного воздействия на осинский горизонт.

Ядерный взрыв был произведен в октябре 1970 года в осинском горизонте при глубине заложения заряда 1530 м (от устья скважины).

Объект «Шексна»

Объект «Шексна» расположен в северной части центрального блока месторождения. В состав объекта входит технологическая (взрывная) скважина № 47 и расположенная рядом разведочная скважина № 55, пробуренная на осинский горизонт, для производства испытаний результатов взрывного воздействия.

Ядерный взрыв был произведен в октябре 1979 года в осинском горизонте при глубине заложения заряда 1545 м (от устья скважины).

Объект «Нева-1»

Объект «Нева-1» расположен в центральной части центрального блока месторождения в западной части участка промышленной нефтеносности ботуобинской залежи.

В состав объекта входят технологическая (взрывная) скважина № 66 и расположенная рядом разведочная скважина № 56, пробуренная на ботуобинский горизонт, кровля которого находится на глубине 1857 м (от устья скважины).

Скважина использовалась для производства испытания результатов взрывного воздействия на осинский горизонт.

Ядерный взрыв был произведен в октябре 1982 года в осинском горизонте при глубине заложения заряда 1501,6 м (от устья скважины).

Объекты «Нева-2», «Нева-3» и «Нева»

Эта группа объектов расположена на центральном блоке месторождения в центральной части участка промышленной нефтеносности ботуобинской залежи. В состав объекта «Нева-2» входят технологическая (взрывная) скважина № 61 и расположенные рядом разведочные скважины № 60 и № 62. В состав объекта «Нева-3» входят технологическая (взрывная) скважина № 68 и расположенные рядом разведочные скважины № 58 и № 63. В состав объекта «Нева» входят технологическая (взрывная) скважина № 101.

Ядерные взрывы были выполнены в июле 1987 года на объекте «Нева-2» на осинском горизонте при глубине заложения заряда 1515,2 м, на объекте «Нева-3» на осинском горизонте при глубине заложения заряда 1526,6 м и на объекте «Нева» в толще каменной соли при глубине заложения заряда 815,3 м.

На объектах «Нева-2» и «Нева-3» ядерные взрывы были выполнены с целью интенсификации притоков нефти и газа в осинском горизонте. Взрыв же на объекте «Нева» (скважина № 101) был выполнен с целью создания экспериментального подземного хранилища для нефти и нефтепродуктов.

Разведочные скважины № 61 и № 62 (объект «Нева-2») и № 58 и № 63 (объект «Нева-3») были пробурены с целью испытания результатов взрывного воздействия. Все эти скважины имеют гидродинамическую связь с ЦЗВ в соответствующих технологических скважинах.

По данным ВНИПИпромтехнологии на Среднеботуобинском нефтегазоконденсатном месторождении при ядерных взрывах, выполненных для обработки осинского горизонта, образовались котловые полости радиусом около 20 м, столбы обрушения высотой около 60 м, а также выравнивание давлений после взрывов, что способствовало (на первых порах) локализации радиоактивных продуктов взрыва (РаПВ) полностью в ЦЗВ.

К радионуклидам, имеющим длительные периоды полураспада, вследствие чего представляющие угрозу дальнейшей их миграции с пластовыми флюидами вплоть до попадания на дневную поверхность по естественным и искусственным каналам относятся [3].

Результаты проведения подземных мирных ядерных взрывов

В результате применения мощного термобарического воздействия (эксперименты «Вятка», «Нева», «Ока», «Шексна») в соседних скважинах были получены притоки нефти и газа. В табл. 1 приведено сопоставление результатов испытания по скважинам, задействованным в данных экспериментах, до и после их проведения.

Необходимо отметить, что в большинстве случаев (исключение скважина № 30) в ходе ОПЭ наблюдалось снижение продуктивности. При записи конечных КВД добиться восстановления пластового давления не удавалось. Это свидетельствует о затрудненной связи с дальней зоной пласта, также это может являться и следствием самого воздействия. При мощных взрывах в плотных средах наряду с зоной разуплотнения может формироваться кольцо уплотнения.

Проблема воздействия МПЯВ «Вятка» на геологическую среду не рассматривалась. Впервые о возможной миграции радионуклидов из полости взрыва с подземными водами отмечалось в работе Б.Н. Голубова [4].

В ходе исследования района проведения ПМЯВ установлено, что наблюдается снижение активности флюидоподвижных радионуклидов вследствие их естественного распада и выноса из геотехногенной системы, включающей полость взрыва, геологическую вмещающую среду и поверхность земли [5].

Радиус каверны рассчитывается по формуле:

$$R_k = C W^{1/3} (\rho)^{3/4} \tag{1}$$

где R_k – радиус каверны котловой полости, м;

W – мощность заряда, кг;

- плотность вышележащих горных пород, г/см³

C – константа полученная эмпирическим путем, при обработке результатов ядерных взрывов. Различие получаемых значений константы C связано с различными физико-механическими и химическими свойствами горных пород.

Высоту трубы обрушения оценивают по формуле:

$$H = K * R_k \tag{2}$$

где H – высота трубы, м;

K – эмпирический коэффициент, зависящий от свойств горных пород и мощности взрыва, равный 2,5-6,8 [6].

Труба обрушения вместе с зоной дробления пород и частью зоны трещиноватости (макро-трещиноватости) образует центральную зону взрыва (ЦЗВ), которая характеризуется практически полным отсутствием сопротивления движению пластовых флюидов.

Таблица 1

Сопоставление результатов испытания до и после термобарического воздействия

Скважина с термобарическим воздействием	Результаты испытания до эксперимента	Результаты испытания после эксперимента	ОПЭ
61	Скважина 60. Интервал 1480-1500		
	Притока не получено	Приток газа. Дебит газа от 57 до 293 тыс.м ³ /сут при депрессии от 0,15 Мпа до 1,54 Мпа. При увеличении депрессии более 2 Мпа наблюдается вынос нефти.	Не проводилась
	Скважина 62		
Интервал 1498-1524, притока не получено	Интервал 1480-1495 – слабый приток нефти	Интервал 1465-1477, приток газа дебитом 1,6 тыс.м ³ /сут	Не проводилась

68	Скважина 58. Интервал 1470-1490		
	Q воды – 0.15 м ³ /сут, Q нефти – 0.06 м ³ /сут СДУ 1349 м	Диаметр штуцера 10 мм, диаметр шайбы – 16.2 мм Q газа-120.6 тыс. м ³ /сут, Q конденсата 6 м ³ /сут	Проводилась
66	Скважина 56. Интервал 1480-1551 м		
	Притока не получено	Дебит нефти на штуцере 10 мм – 25 м ³ /сут	Проводилась
42	Скважина 25. Интервал 1425-1524 м		
	Дебит газа 7.8-9.5 тыс.м ³ /сут, диаметр шайбы 5.5 мм	Дебит нефти 16 м ³ /сут, газа 210.3 тыс.м ³ /сут штуцер 16мм.	Проводилась
43	Скважина 30		
	1490-1545. Слабый приток газа	Дебит нефти 25-35 м ³ /сут. Дебит газа на уровне 30 тыс.м ³ /сут	Проводилась

Заключение

Анализируя результаты проведения интенсификации притока МПЯВ можно сделать следующие выводы:

1. макро- и микро трещины, образованные в результате мощного термобарического воздействия носили временный характер. Трещины не были зафиксированы и под действием геостатического давления сомкнулись;

2. также о снижении продуктивности говорит уплотнение горных пород вокруг скважины, образовавшееся в результате проведения подземных ядерных взрывов;

3. проведенное термобарическое воздействие на осинский горизонт с целью интенсификации притока ставит вопрос о возникновении сложностей при вводе осинского горизонта в промышленную эксплуатацию;

4. при ядерном взрыве выделяется огромная энергия, создаются очень высокие давления и температуры, возникают мощные волны: ударные, сжатия и сейсмические. Процесс подземного ядерного взрыва подразделяют на четыре фазы: ядерной реакции, гидродинамическое, квазистатическое и терморационное воздействия. Вся энергия в основном выделяется в первой фазе взрыва, которая длится менее микросекунды [7];

5. после обрушения камуфлетной области происходит резкое падение давления газов в обрзающейся ЦЗВ, которое может развиваться по двум вариантам:

а) давление газа в ЦЗВ (РЦЗВ) устанавливается больше естественного пластового давления (РПЛ), что вызывает поток миграционных форм радионуклидов (в первую очередь газовые фазы) из ЦЗВ в пласт до момента выравнивания РЦЗВ и РПЛ;

б) давление в ЦЗВ устанавливается меньше естественного пластового давления, что вызывает поток пластовых флюидов из пласта в ЦЗВ до момента выравнивания РЦЗВ и РПЛ.

При ядерном взрыве образуется целый ряд радионуклидов с разными периодами полураспада – от нескольких часов до десятков лет [2];

6. весь подсолевой комплекс, к которому относятся осинский и ботубобинский горизонты, расположен в гидрогеологической части разреза с затрудненным водообменом (предположительно, без учета наличия скрытых зон разгрузки пластовых вод, их вертикальной миграции за счет межпластовой гидродинамической связи и т.п.) [7].

Блоковое распространение подземных водоносных комплексов, перекрытых сверху соляными пластами, привело к развитию элизионной водонапорной системы с широким диапазоном пластовых давлений от 4,5 до 32 МПа в верхней и средней частях осадочной толщи района. При этом на глубине 1800–2100 м элизионная водонапорная система сменяется на аномально – депрессионную с дефицитом пластового давления от 2,5 до 5 МПа. Предполагается, что уход подземных рассолов в трещины пород фундамента привел к образованию аномально низких пластовых давлений в нижней части разреза [2].

Литература

1. Требин Ф.А., Макогон Ю.Ф., Басниев К.С. Добыча природного газа. – М.: Недра, 1976. – 368 с.
2. Касаткин В.В., Мясников С.В., Иванов В.Г. Обоснование условий радиационной безопасности при ликвидации технологических и разведочных скважин на опытных участках Среднеботуобинского месторождения («Нева»). Отчёт о НИР. – М.: Фонды ВНИПИпромтехнологии, 1992. – 153 с.
3. The effects of atomic radiation on oceanography and fisheries. – Washington: National Academy of Sciences-National Research Council, 1957. – 137 p.
4. Голубов Б.Н., Сапожников Ю.А., Горальчук А.В. Миграция радионуклидов из полости подземного термоядерного взрыва «Кристалл» в алмазодобывающий карьер «Удачный» // Радиационная безопасность Республики Саха (Якутия). Материалы II Республ. научн.-практ. конф. – Якутск: ЯФ ГУ изд-во СО РАН, 2004. – С. 182-192.
5. Артамонова С.Ю. Основные геохимические индикаторы выхода подземных флюидов в районах подземных ядерных взрывов (1974–1987 гг.) в Якутии // Материалы V Международной конференции «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека». – Томск: STT, 2016. – С. 79-83.
6. Hakala W.W. Subsidence caused by an underground nuclear explosion. Symposium on engineering with nuclear explosives. Proceedings. Volume 2, 1970.
7. Яковлев Ю.И., Семашев Р.Г. Гидродинамическое обоснование выделения водонапорных систем депрессионного типа // Геология нефти и газа. – 1982. – № 9. – С. 23-27.

References

1. Trebin F.A., Makogon Iu.F., Basniev K.S. Dobycha prirodnogo gaza. – M.: Nedra, 1976. – 368 s.
2. Kasatkin V.V., Miasnikov S.V., Ivanov V.G. Obosnovanie uslovii radiatsionnoi bezopasnosti pri likvidatsii tekhnologicheskikh i razvedochnykh skvazhin na opytnykh uchastkakh Srednebotuobinskogo mestorozhdeniia («Neva»). Otchet o NIR. – M.: Fondy VNIPIpromtekhnologii, 1992. – 153 s.
3. The effects of atomic radiation on oceanography and fisheries. – Washington: National Academy of Sciences-National Research Council, 1957. – 137 p.
4. Golubov B.N., Sapozhnikov Iu.A., Goral'chuk A.V. Migratsiia radionuklidov iz polosti podzemnogo termoiadernogo vzryva «Kristall» valmazodobyvaiushchii kar'er «Udachnyi» // Radiatsionnaia bezopasnost' Respubliki Sakha (Iakutiia). Materialy II Respubl. nauchn.-prakt. konf. – Iakutsk: IaF GU izd-vo SO RAN, 2004. – S. 182-192.
5. Artamonova S.Iu. Osnovnye geokhimicheskie indikatory vykhoda podzemnykh fluiidov v raionakh podzemnykh iadernykh vzryvov (1974–1987 gg.) v Iakutii // Materialy V Mezhdunarodnoi konferentsii «Radioaktivnost' i radioaktivnye elementy v srede obitaniia cheloveka». – Tomsk: STT, 2016. – S. 79-83.
6. Hakala W.W. Subsidence caused by an underground nuclear explosion. Symposium on engineering with nuclear explosives. Proceedings. Volume 2, 1970.
7. Iakovlev Iu.I., Semashev R.G. Gidrodinamicheskoe obosnovanie vydeleniia vodonapornykh sistem depressionnogo tipa // Geologiiia nefiti i gaza. – 1982. – № 9. – S. 23-27.