

РУБРИКА: БУРЕНИЕ И ЗАКАНЧИВАНИЕ СКВАЖИН

Сейсмогеологическое сопровождение бурения скважин эксплуатационного бурения на примере месторождения в Восточной Сибири

Д. Д. Правдивец (Energy Craft), Е. С. Шарапова (Energy Craft), М. М. Пименов (Energy Craft), Д. М. Коренева (Energy Craft), Я. А. Пормейстер (Energy Craft)

В статье описана методика сейсмогеологического сопровождения бурения горизонтальных и наклонно-направленных эксплуатационных скважин на месторождении Восточной Сибири в пределах Непско-Ботубинской антеклизы. Подход основан на оперативном анализе данных сейсморазведки, сейсмической инверсии и каротажа во время бурения (LWD). На примере двух скважин показана эффективность методики: уточнение траектории, удлинение горизонтальной секции и подтверждение нового высокопористого коллектора осинского горизонта.

Ключевые слова: горизонтальные скважины, осинский горизонт, сейсмогеологическое сопровождение бурения, Восточная Сибирь.

Production wells drilling seismic and geological support using the example of a field in Eastern Siberia

D. D. Pravdivets (Energy Craft), E. S. Sharapova (Energy Craft), M. M. Pimenov (Energy Craft), D. M. Koreneva (Energy Craft), Y. A. Pormeyster (Energy Craft)

The paper presents a seismic-geological support methodology for drilling horizontal and directional production wells at a field in Eastern Siberia within the Nepa-Botuoba anticline. The approach relies on prompt analysis of seismic data, seismic inversion and logging-while-drilling (LWD) results. Two well cases demonstrate the methodology efficiency: trajectory adjustment, horizontal section extension and discovery of a new high-porosity Osinsky reservoir zone.

Keywords: horizontal wells, Osinsky reservoir, well drilling seismic-geological support, Eastern Siberia Horizontal wells, osinsky horizon, well drilling seismic-geological support, Eastern Siberia.

Введение

Карбонатные коллекторы осинского горизонта верхнебилирской подсвиты кембрия в пределах Непско-Ботуобинской антеклизы характеризуются высокой неоднородностью фильтрационно-емкостных свойств и невыдержанностью по латерали и разрезу. Целевые объекты нередко имеют небольшую эффективную толщину и сложную геометрию, в частности проявляются в виде кольцевых аномалий, картируемых по данным динамического анализа сейсморазведочных работ. В таких условиях успешность проводки горизонтальных и наклонно-направленных эксплуатационных скважин напрямую определяет полноту выработки запасов и рентабельность разработки, а ошибка при выборе траектории или глубины вскрытия пласта-коллектора приводит к снижению эффективной проходки по коллектору и потере добычного потенциала скважины.

Актуальность работы обусловлена тем, что традиционные геонавигационные буровые сводки компаний-подрядчиков по бурению опираются преимущественно на данные каротажа во время бурения (LWD) и не в полной мере используют потенциал сейсморазведочных данных, включая результаты сейсмической инверсии, для прогноза свойств коллектора впереди и вокруг ствола скважины. Совместная оперативная интерпретация данных сейсморазведки и каротажа во время бурения позволяет повысить обоснованность решений по корректировке проводки скважины в режиме реального времени.

Цель работы — разработка и апробация методики сейсмогеологического сопровождения бурения горизонтальных и наклонно-направленных эксплуатационных скважин, обеспечивающей эффективную проводку по карбонатному коллектору осинского горизонта за счет совместного оперативного анализа данных сейсморазведки, сейсмической инверсии и каротажа во время бурения.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- сформировать комплексный подход к оперативной совместной интерпретации данных сейсморазведки, сейсмической инверсии и каротажа во время бурения для оценки положения ствола скважины и коллекторских свойств целевого пласта в процессе бурения;
- выработать на основе этого подхода оперативные рекомендации по корректировке азимута, глубины проводки и протяженности горизонтальной секции скважины;

- апробировать методику на примере бурения эксплуатационных скважин № 1 и № 2 на целевой пласт осинского горизонта и оценить ее эффективность по результатам бурения.

В работе описана методика сейсмогеологического сопровождения бурения эксплуатационных скважин (горизонтальных и наклонно-направленных), внедренная на одном из месторождений Восточной Сибири, расположенного на территории Непско-Ботуобинской антеклизы, направленных на эффективную проводку по карбонатному коллектору и добычу нефти из осинского горизонта верхнебилирской подсвиты кембрия.

Представленный методический подход сейсмогеологического сопровождения бурения является дополнением к традиционным геонавигационным буровым сводкам компаний-подрядчиков по бурению, позволяющим специалистам формировать оперативные рекомендации по корректировке проводки ствола скважины во время бурения, а недропользователю — обладать всесторонней информацией о процессе бурения.

Методика

Исходными данными для сопровождения служат результаты наземной 3D-сейсморазведки и полученные на их основе сейсмические атрибуты и кубы сейсмической инверсии (в том числе куб акустического импеданса), данные каротажа во время бурения (LWD), поступающие в оперативном режиме, а также обширная база скважинных данных по осинскому горизонту соседних месторождений Непско-Ботуобинской антеклизы, используемая в качестве аналоговой при интерпретации. Конкретные параметры регистрации и обработки сейсмических данных, характеристики комплекса LWD и технологии бурения определяются проектными документами недропользователя и в настоящей работе не раскрываются. Методика сейсмогеологического сопровождения бурения реализуется последовательно и включает следующие этапы:

1. Комплексный подход к анализу данных сейсморазведочных работ:
 - оценка положения ствола скважины в процессе бурения по данным сейсморазведочных работ несколько раз в сутки при поступлении данных каротажа во время бурения (LWD);
 - привлечение данных сейсмической инверсии и динамического анализа сейсмических данных для оценки коллекторских свойств по стволу скважины;
 - оперативная актуализация сейсмической интерпретации при необходимости;
 - выдача прогнозных глубин вскрытия пласта-коллектора.

2. Оперативная интерпретация данных каротажа во время бурения (LWD) для оценки коллекторских свойств на основании масштабной базы скважинных данных по другим месторождениям в осинском горизонте на территории Непско-Ботубинской антеклизы.
3. Геологическая интерпретация полученной информации на основании обширного опыта работы специалистов Energy Craft при работах на месторождениях в Восточной Сибири.
4. Формирование оперативных сводок для недропользователя при поступлении данных каротажа во время бурения (LWD) с рекомендациями по дальнейшему бурению, дополняющих традиционные буровые сводки компаний-подрядчиков по бурению.

Примеры

В качестве примера описан процесс сопровождения бурения эксплуатационной горизонтальной скважины № 1 на объект в осинском горизонте, представленный так называемой кольцевой структурой [1]. Объекты данного типа характеризуются эффективными толщинами от 8 до 12 метров, средней пористостью 13–16 % при общей мощности верхнебилирской подсвиты около 40–50 метров. В плане объекты распространяются в виде кольцевых аномалий, картируемых по данным динамического анализа сейсморазведочных работ, с чем и связано их название.

Специалисты Energy Craft были привлечены к сопровождению бурения скважины № 1 непосредственно перед стартом бурения. В процессе комплексного анализа проектной траектории, главным образом с точки зрения динамического анализа волнового поля, было сформулировано предложение по смещению ствола скважины в плане с целью более эффективной проводки по коллектору, которое было принято недропользователем. На рисунке 1 на карте сейсмического атрибута (амплитуда по дополнительно прослеженному отражению) представлены проектная и итоговая траектории горизонтальной скважины № 1. Видно, что принятая траектория оптимальней пересекает закартированную сейсмическую аномалию (красный и желтый цвета палетки) в горизонтальной секции.

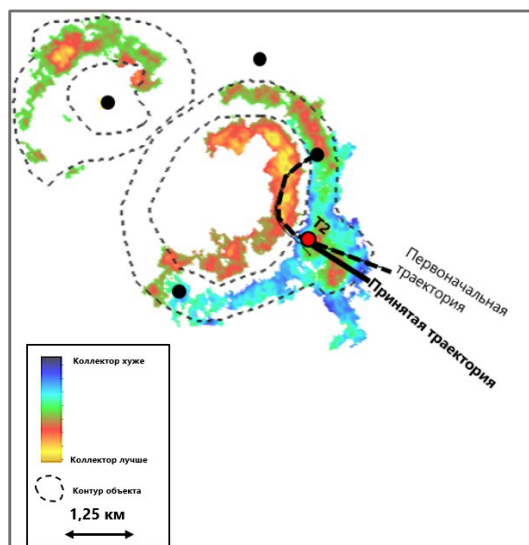


Рисунок 1. *Корректировка азимута горизонтальной скважины № 1 по карте сейсмического атрибута перед стартом бурения*

Помимо положения горизонтальной секции в плане, была выдана рекомендация по изменению глубины проводки горизонта в интервале целевого коллектора, которая была также принята недропользователем. Предложение основано на анализе данных сейсморазведки и представлено на рисунке 2. Видно, что в первоначальном варианте ствол скважины № 1 располагался ниже дополнительного отражения в волновом сейсмическом поле, отождествляемого с пластом-коллектором осинского горизонта. В итоговом варианте проектная глубина вскрытия в точке T2 была поднята выше на 10 метров. Был выдан прогноз глубины вскрытия пласта-коллектора в точке T2, который в дальнейшем подтвердился с точностью $\pm 0,5$ метра.

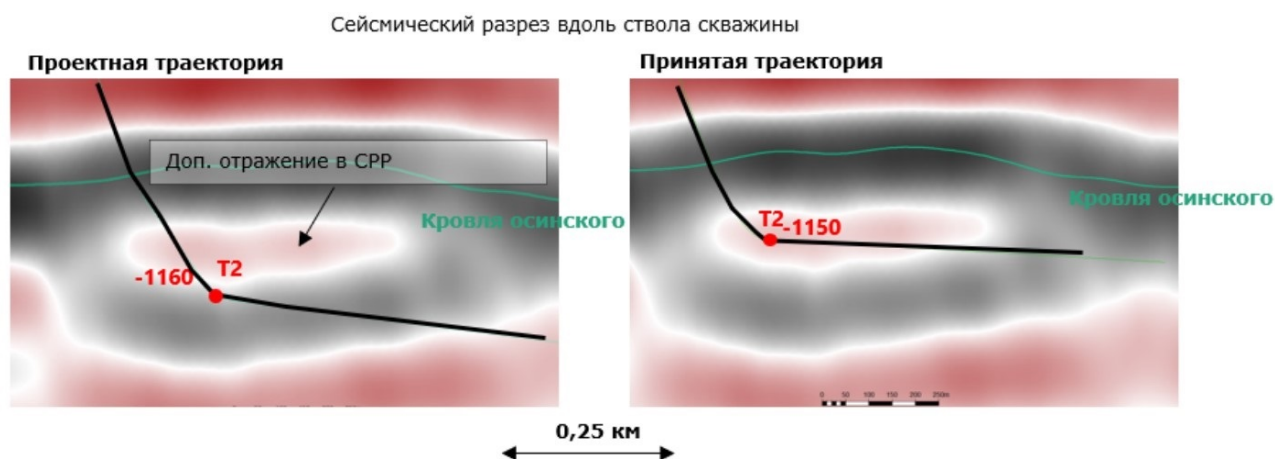


Рисунок 2. *Корректировка глубины проводки горизонтальной скважины № 1 на сейсмическом разрезе*

В процессе бурения были подтверждены глубина вскрытия кровли пласта-коллектора, а также фильтрационно-емкостные параметры

вскрываемого коллектора осинского горизонта. При этом в процессе бурения от недропользователя был получен архивный куб сейсмической инверсии для получения дополнительной сейсмической информации о вскрываемом объекте, который был взят в анализ и участвовал в формировании дальнейших сводок по сейсмогеологическому сопровождению. В рамках анализа результатов инверсии было выявлено, что целевой пласт-коллектор проявляется в кубе акустического импеданса сниженными значениями, причем контур распространения оказывался несколько шире, чем по суммарному кубу амплитуд. Подобные обстоятельства позволили выдать рекомендацию по удлинению горизонтальной секции в интервале коллектора осинского горизонта, опираясь на результаты оперативной интерпретации куба акустического импеданса: было выявлено, что в уже пробуренной части интервалу наиболее высокопористого и выдержанного коллектора соответствуют аномально низкие значения акустического импеданса и существует возможность удлинить ствол скважины № 1 до аналогичной аномалии акустического импеданса (рис. 3). Прогноз наличия высокопористого коллектора в интервале аномалии акустического импеданса подтвердился по результату бурения — из дополнительно пройденных 100 метров около 80 метров оказались нефтенасыщенным коллектором со средней пористостью около 18 % (рис. 4).

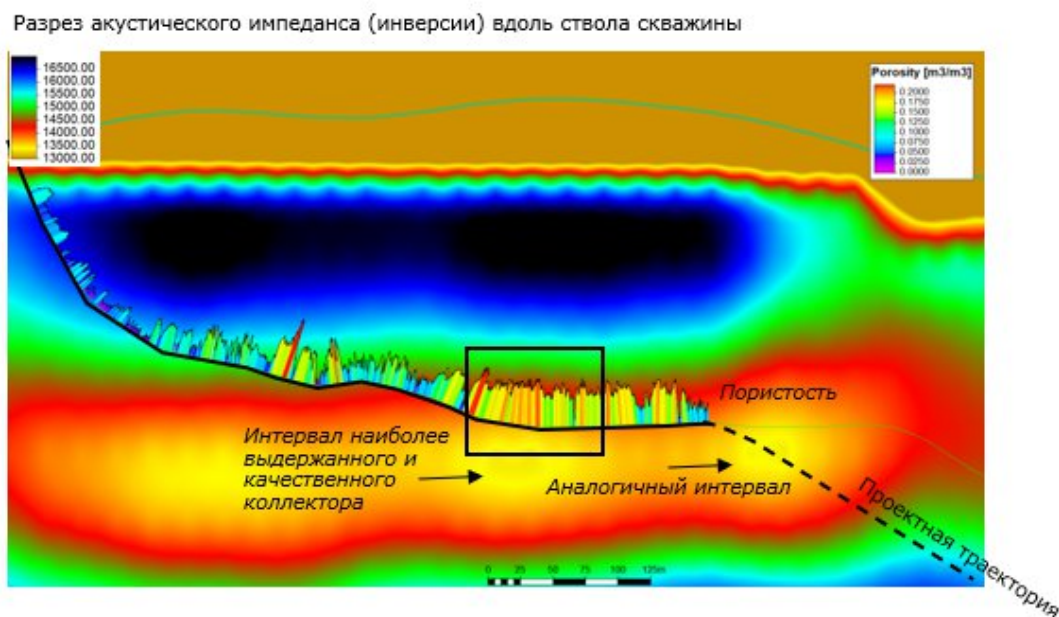


Рисунок 3. Рекомендация по удлинению ствола скважины во время бурения, основанная на результатах сейсмической инверсии

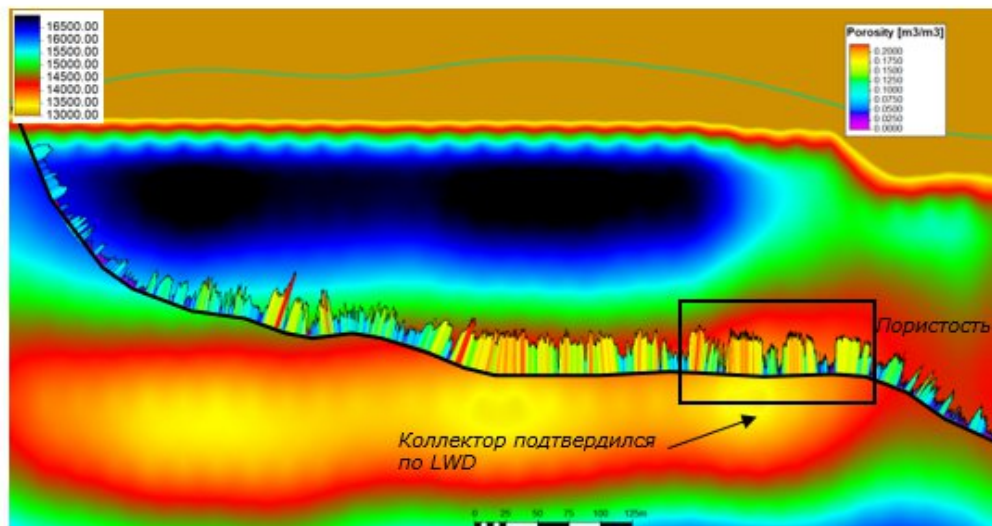


Рисунок 4. Подтверждение наличия высокопористого коллектора по сейсмической инверсии

В процессе сопровождения бурения скважины №1 выработывались рекомендации по бурению дальнейших скважин эксплуатационного бурения. Так, в рамках динамического анализа специалистами Energy Craft была закартирована дополнительная перспективная зона во внутренней части кольцевой структуры, коллектор осинского горизонта в которой еще не был подтвержден бурением и ранее не прогнозировался. Совместно с недропользователем была выработана проектная наклонно-направленная скважина №2 с целью подтверждения наличия коллектора осинского горизонта во внутренней части кольцевой структуры с дальнейшим вводом ее в добычу (рис. 5).

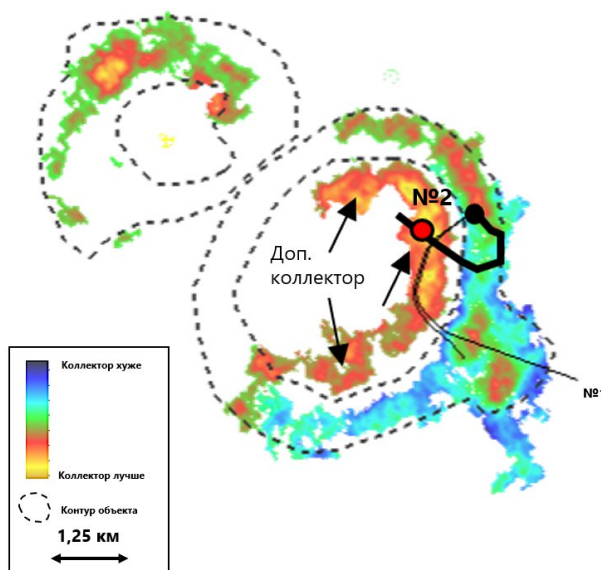


Рисунок 5. Выявление перспективной зоны во внутренней части кольца с заложением проектной скважины №2

В результате бурения скважины № 2 наличие высокопористого коллектора в осинском горизонте во внутренней части кольцевой структуры подтвердилось — был встречен коллектор эффективной толщиной 10 метров, средней пористостью 16 % (рис. 6). Результат бурения этой скважины позволил расширить подтвержденную бурением зону развития коллекторов осинского горизонта на действующей кустовой площадке.

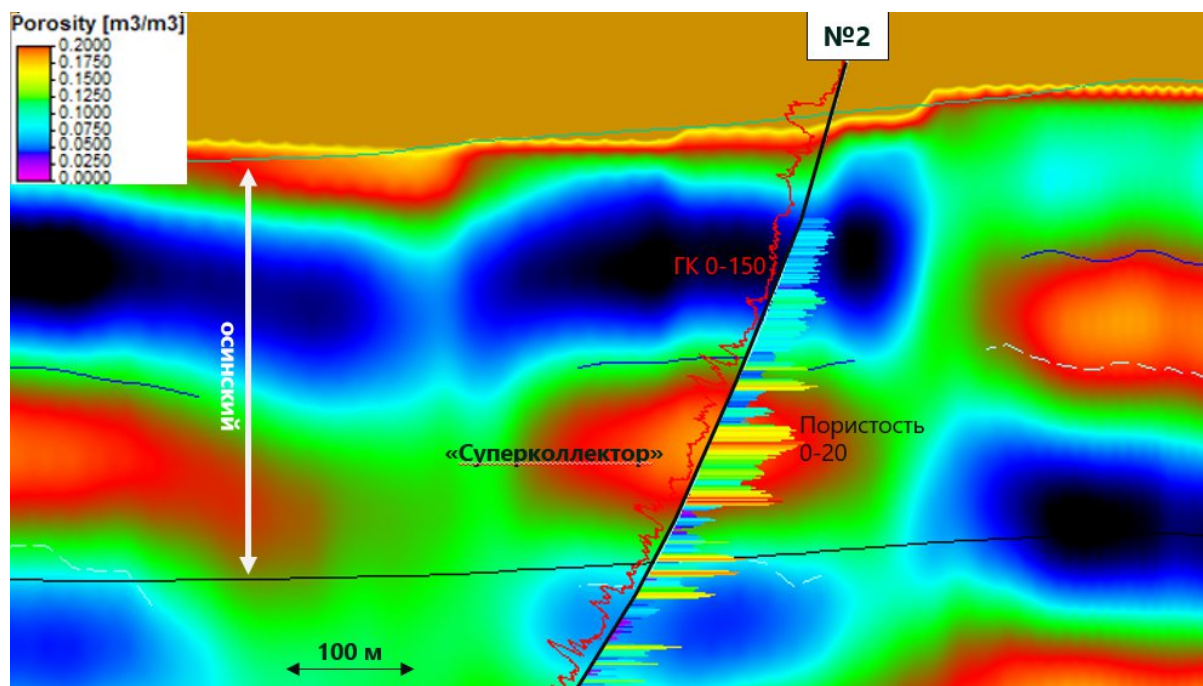


Рисунок 6. Подтверждение новой выявленной зоны бурением скважины № 2 на разрезе акустического импеданса

Обсуждение: точность, ограничения и эффективность подхода

Точность прогнозов, получаемых в рамках предложенной методики, носит относительный характер и определяется качеством и разрешающей способностью исходных сейсмических данных, плотностью и представительностью аналоговой базы скважин, а также корректностью увязки сейсмического волнового поля со скважинными данными. На рассмотренных примерах прогнозные глубины вскрытия пласта-коллектора и наличие высокопористого коллектора в интервалах аномалий акустического импеданса качественно подтвердились результатами бурения, что свидетельствует о применимости подхода в данных геологических условиях. Вместе с тем приведенные оценки получены на ограниченной выборке скважин и не позволяют формально распространять достигнутую точность на произвольные объекты без дополнительной верификации.

Методика имеет ряд ограничений и потенциальных зон неприменимости. Во-первых, ее эффективность напрямую зависит от наличия

качественной 3D-сейсморазведки, обработки высокого качества с вовлечением на определенных этапах обработки специалиста по интерпретации сейсмических данных и информативных результатов сейсмической инверсии: при низком соотношении сигнал/помеха, недостаточной кратности или слабой контрастности целевого пласта в упругих свойствах прогнозная ценность сейсмических атрибутов снижается. Во-вторых, подход опирается на поисковый признак в сейсмических данных и связь коллекторских свойств осинского горизонта с аномалиями сейсмических атрибутов и акустического импеданса, установленными для кольцевых структур рассматриваемого типа; для объектов с иным геологическим строением, иным типом коллектора или вне области распространения аналоговой базы скважин эта связь может не воспроизводиться и требует переоснования. В-третьих, разрешающая способность сейсморазведки ограничивает достоверность прогноза для маломощных и тонкослоистых интервалов, сопоставимых с пределом сейсмического разрешения. Наконец, методика является дополнением к традиционному геонавигационному сопровождению и не заменяет оперативную интерпретацию данных LWD: при существенном расхождении сейсмического прогноза и фактических скважинных данных приоритет отдается фактическим замерам.

Экономический эффект методики на качественном уровне обусловлен увеличением эффективной проходки по коллектору, вовлечением в разработку ранее не охваченных бурением зон и снижением риска непродуктивной проводки ствола скважины, что повышает добычный потенциал скважин и кустовой площадки в целом. Количественная стоимостная оценка эффекта в настоящей работе не приводится, поскольку зависит от индивидуальных дебитов скважин, фактической системы разработки и коммерческих условий недропользователя.

Результаты и выводы

Специалистами Energy Craft разработана и внедрена на одном из месторождений в Восточной Сибири методика сейсмогеологического сопровождения скважин, заключающаяся в оперативном формировании сводок по бурению при поступлении данных LWD с упором на анализ сейсмических данных, в том числе данных сейсмической инверсии. Методика дополняет традиционные геонавигационные сводки и позволяет недропользователю принимать наиболее взвешенные решения при проводке горизонтальных скважин эксплуатационного бурения.

На примере проектирования и сопровождения бурения скважин № 1 и № 2 на целевой пласт осинского горизонта показана эффективность подобного подхода — горизонтальная секция скважины № 1 была продлена по рекомендации специалистов Energy Craft на основании анализа сейсмической инверсии, в продленной на 100 метров секции

эффективная проходка по коллектору составила 80 метров, средней пористостью 18 %. Скважина № 2, спроектированная специалистами Energy Craft совместно с недропользователем, подтвердила наличие высокопористого коллектора в ранее неохваченной бурением зоне в районе действующей кустовой площадки.

Список литературы

1. Черепанова К. В. Анализ фильтрационно-емкостных свойств и методика выделения кольцевых аномалий осинского горизонта Среднеботуобинского месторождения / Черепанова К. В., Пормейстер Я. А., Долгова Е. И. // Нефтяное хозяйство. — 2022. — № 3(1181). — <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2022-3-8-11>.

References

1. Cherepanova K. V. Reservoir properties analysis and a method for identifying ring anomalies inside the Osinsky horizon of Srednebotuobinskoye field / Cherepanova K. V., Pormeister Ya. A., Dolgova E. I. // Oil Industry Journal. — 2022. — No. 3(1181). — <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2022-3-8-11>.