

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Введение

Технологии отбора изолированного керна представляют новый уровень информационного обеспечения геологоразведочных работ и разработки месторождений нефти и газа. Благодаря своим информационным и технологическим возможностям, экологическим и экономическим характеристикам они имеют принципиальные преимущества перед отбором керна традиционными технологиями с применением растворов на водно-глинистой основе (РВО) и даже перед технологией его отбора с применением растворов на углеводородной основе (РУО).

Актуальность разработки изолирующих технологий обусловлена существенными ограничениями традиционных технологий отбора керна на РВО и, отчасти, отбора на РУО при информационном обеспечении работ на нефть и газ, т.е. при геологоразведочных работах (ГРП) и разработке месторождений. Ограничения их определяются следующим:

- 1) низким выносом керна, составлявшим по данным ВНИИБТ на конец 80-ых годов от 18 до 30% (в зависимости от региона работ) в слабо консолидированных породах и около 60% в консолидированных породах;
- 2) искажением флюидонасыщенности и других свойств пород проникновением водного фильтрата при отборе керна на РВО;
- 3) искажением смачиваемости при отборе керна на РУО, а также флюидонасыщенности в интервалах переходных зон и в участках обводнения залежей, а также смачиваемости.

Низкий вынос керна является следствием механического разрушения керна и приводит к снижению его представительности, способствует избирательности отбираемого керна, и, в итоге, снижает информативность и достоверность петрофизической характеристики объектов исследований. Искажение флюидонасыщенности керна отбираемого на РВО исключает прямые определения коэффициентов водонасыщенности (K_v и $K_{об}$), нефтегазонасыщенности (K_n и K_r), определения неискаженного удельного электрического сопротивления (УЭС), а также других электрических свойств пород. Следствием этого стала принятая в

настоящее время методология лабораторного моделирования перечисленных свойств и обоснования соответствующих петрофизических зависимостей исследованием образцов предварительно экстрагированного и высушенного керна. Достоверность такого моделирования зависит от адекватности воссоздания пластовых характеристик керна по содержанию и свойствам поровых флюидов, по характеру распределения их и глинистой компоненты в порах пород, по характеру смачиваемости твердой фазы.

Керн, отбираемый на РУО в предельно насыщенной части залежей, свободен от перечисленных недостатков и обеспечивает возможность прямого сопоставления его УЭС пласта ($\rho_{п,гис}$) с его средней объемной остаточной водонасыщенностью ($W_{ов} = K_{п} \cdot K_{в}$, где $K_{п}$ – коэффициент пористости) по керну, за исключением возможного искажения смачиваемости керна и его УЭС углеводородным фильтратом РУО. В переходных зонах (над водонефтяными и газонефтяными контактами), а также при изучении керна для целей сопровождения разработки залежей, значения коэффициента $K_{п}$ по керну на РУО искажаются (завышаются). Кроме того отбор керна на РУО кратно увеличивает затраты на бурение, экологические и биогенные риски, возрастает пожароопасность работ и поэтому он применяется только благодаря сложившимся традиционным представлениям. Перечисленные недостатки традиционных технологий отбора керна на РВО и ограничения специальной технологии отбора его на РУО особенно значимы при изучении неоднородных объектов, представленных породами сложного строения, а также объектов с ТРИЗ. Все это требовало разработки более информативных технологий отбора и исследований керна.

Целью разработки изолирующих технологий отбора керна является повышение информативности и достоверности петрофизической характеристики геологических разрезов скважин и общей эффективности работ на нефть и газ.

Задачи исследований. Разрабатываемые технологии должны обеспечить:

- 1) увеличение выноса керна не менее чем до 90-95%, при обеспечении его механической целостности и сохранности;
- 2) минимизацию (исключение) и контроль техногенного воздействия фильтрата бурового раствора на флюидонасыщенность отбираемого керна, на его

смачиваемость и на другие свойства, независимо от объекта исследований (переходных зон, участков обводнения залежей);

- 3) обоснование оптимальной технологии лабораторных исследований изолированного керна, позволяющей получить петрофизическую характеристику водо- и нефтегазонасыщенности, УЭС и других электрических свойств керна, адекватную характеристикам объекта исследований;
- 4) минимизацию стоимости работ, исключение экологических, биогенных и технологических рисков по сравнению с отбором керна на РУО.

Развитие этих исследований и реализации поставленных задач отражены в редакциях «Методического руководства по отбору и анализу изолированного керна» от 1994, 1999 и 2022 гг. одобренных ГКЗ РФ. Они позволили последовательно, к 1999 году, снизить глубину проникновения фильтрата РВО с 12-15 до 4-8 мм; обеспечить сохранность флюидонасыщенности и свойств центральной части керна и инструментальный контроль её сохранности.

К настоящему времени удалось: исключить контакт РВО с керном начиная с момента его выбуривания на забое, обеспечив сохранность его флюидонасыщенности, повысив его информативность и область применения данных.

2. Научно-методические основы работы. Для обеспечения максимального геологического результата от применения изолирующих технологий отбора керна были выполнены НИОКР:

- по анализу факторов, влияющих на качество и информативность керна, в том числе геологических (параметры горных пород), технических (параметры керноотборного оборудования и керноизолирующей жидкости), технологических (технологии, режимов бурения и промывки скважины, свойств буровых растворов), организационных (мониторинг и управление технологическим процессом);
- по разработке конструкции и технологии эксплуатации изолирующих керноотборников и породоразрушающего инструмента (бурголовок);
- по разработке керноизолирующих жидкостей (КИЖ), в том числе семейства «КорИзоГель»;

- по разработке технологических рекомендаций по режимам бурения, промывке скважин, по управлению параметрами бурового раствора, учету взаимодействия его с КИЖ, по извлечению керна из скважины;
- по разработке технологии геологического сопровождения отбора изолированного керна (контролю проникновения РВО в керн, оперативной документации, препарированию и консервации изолированного керна);
- по усовершенствованию технологии и оптимизации комплекса лабораторных исследований; совместному анализу данных геофизических исследований скважин (ГИС) и результатов исследований изолированного керна.

3. Основная научно-техническая идея повышения информативности керна при бурении на РВО, заключается в минимизации или исключении проникновения фильтрата РВО в поровое пространство керна. Этим обеспечивается сохранение в керне пластовой флюидонасыщенности (K_v и $K_{ов}$), смачиваемости твердой фазы, состава и распределения поровой воды, УЭС керна. Реализуется она соответствующей конструкцией изолирующих керноотборных снарядов (КОС) и применяемых бурголовок, регламентацией условий их применения и технологии бурения, оперативным геологическим сопровождением процесса отбора и выноса керна, его препарирования на скважине, технологией его исследований, анализом и обоснование геолого-петрофизической информативности керна и данных ГИС.

3.1. Разработка керноотборного оборудования. Конструкция КОС (Рис.1) обеспечивает заполнение внутренней полости керноприемной трубки керноизолирующей жидкостью (КИЖ). Плотность КИЖ меньше плотности бурового раствора (БР), что исключает излив её в скважину, а также поступление бурового раствора в керноприемник. С началом бурения эластичная диафрагма (Рис.1), перекрывающая низ керноприемной трубки, разрывается выбуриваемым керном. По мере бурения происходит противоточное вытеснение КИЖ колонкой керна на забой скважины. Специальные конструкции бурголовок обеспечивают подачу бурового раствора в направлении стенок скважины, исключая прямое воздействие его на керн. Высота «керноприема» (Δl_k) в них составляет не бо-

лее 8-12 мм. Применение не фильтрующихся КИЖ в частности, типа «КорИзоГель», обеспечивает изоляцию поверхности керна от контакта с буровым раствором практически на забое скважины и сохраняет эту изоляцию вплоть до извлечения керноприемника из скважины. Применяемые КОС, оснащенные тонкостенными фиброглассовыми керноприемниками, заполненными КИЖ, клапанами регистрации заклинивания керна (КРЗК), в сочетании с использованием бурголовок режущего типа с алмазно-твердосплавным вооружением и соблюдением рекомендованных технологий бурения обеспечивают повышение выноса керна. Средний вынос керна, отобранного с участием «НПП «СибБурМаш» за последние 5 лет (2019 – 2023 г.г.), составил **99,18%**, в независимости от степени консолидации пород.

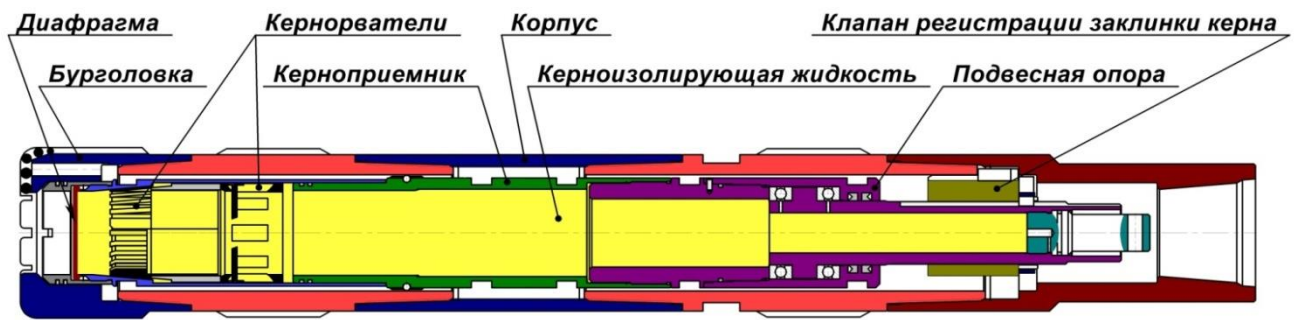


Рисунок 1. Схемное решение КИС

3.2. Разработка керноизолирующих жидкостей типа «КорИзоГель» позволила устранить ограничения и недостатки, присущие изолирующим жидкостям на основе дизтоплива, индустриального и рапсового масел. Это наглядно представлено на сопоставлении, приведенном на рисунке 2.

3.3. Геологическое сопровождение отбора изолированного керна включает контроль сохранения его пластовой флюидонасыщенности (водонасыщенности). Обеспечивается он введением водного раствора индикатора – «уранина А» в РОВ до начала отбора керна, с последующим определением присутствия индикатора в водных вытяжках из керна. Оперативная оценка загрязненности керна фильтратом РВО обеспечивается по характерному свечению «уранина А» на торцевых сколах керна при ультрафиолетовом (УФ) освещении (см. рисунок 2). Извлеченный из скважины керн, оперативно изолируется от контакта с атмосфе-

рой и после препарирования в соответствии с действующими методическими рекомендациями, направляется для лабораторных исследований.

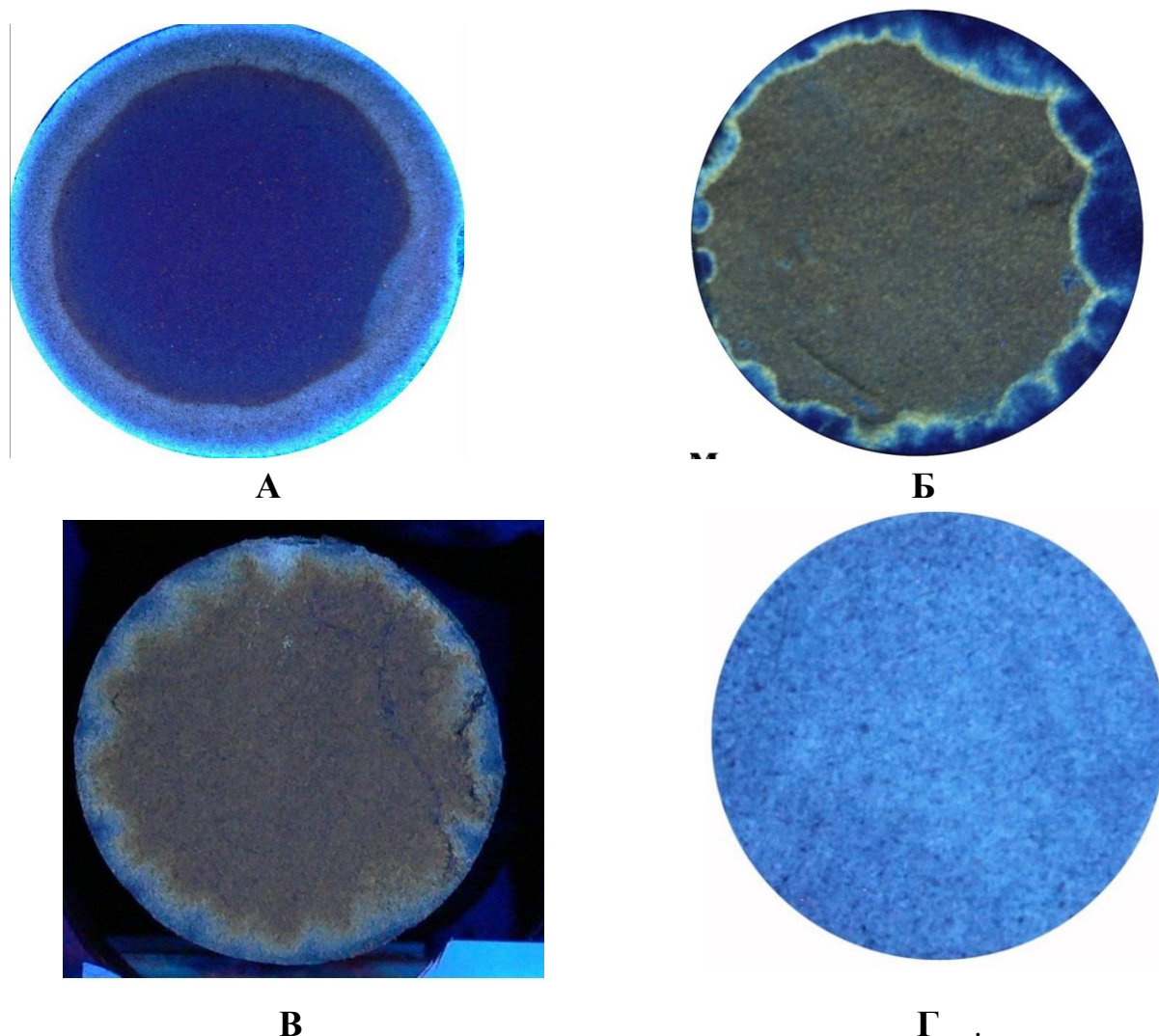


Рисунок 2. Фото торцевых сколов керна при УФ освещении. Керн отобран с применением: А – дизтоплива и В – индустриального масла (при $\Delta l_k = 25 \div 35$ мм); Б – рапсового масла и Г – жидкости «КорИзоГель» (при $\Delta l_k = 8 \div 12$ мм). Здесь А и Г – газонасыщенные песчаники, Б и В – нефтенасыщенные песчаники.

3.4. Технологии лабораторных исследований изолированного керна предусматривает контроль веса тубусов с керном и электрического сопротивления его по отношению к замерам, выполненным после препарирования керна на буровой. Комплекс оперативных профильных исследований тубусов с керном включает измерения естественной радиоактивности и плотности, фотографирование керна (или его продольного спила) в дневном и УФ свете. Схема лабораторных исследований керна приведена на рисунке 3.



Рис.3. Схема лабораторных исследований изолированного керна.

3.5. Комплексный анализа данных геофизических исследований скважин (ГИС) и результатов петрофизических исследований изолированного керна.

Исследование изолированного керна обеспечивают решение следующих, специальных, задач, не решаемых при исследовании керна отбираемого на РВО, и, частично, по керну на РУО, а именно: обоснования минерализации и химического состава поровой (остаточной) воды; прямых определений коэффициента остаточной (сохраненной) водонасыщенности коллекторов ($K_{ов}$); прямых определений коэффициентов нефтенасыщенности (K_n), а в газовых залежах - коэффициента газонасыщенности (K_r); прямых оценок коэффициента текущей нефтенасыщенности ($K_{нт}$) коллекторов в разрабатываемых нефтяных залежах; экспрессных оценок коэффициентов остаточной нефтенасыщенности ($K_{но}$) и вытеснения нефти ($K_{выт}$); прямому обоснованию зависимостей удельного электрического сопротивления (УЭС) вида «кern-кern» и «ГИС-кern» адекватных пластовой характеристике пород по флюидонасыщенности, минерализации, химическому составу, поровых вод, характеру смачиваемости.

4. Практические достижения. Результаты многолетнего применения изолирующих технологий, охватывающий все нефтегазоносные регионы Российской Федерации, и ряд объектов в Казахстане, показали ее высокую эффектив-

ность, в том числе в слабо консолидированных породах, и значительное повышение геологической информативности керна. За 30 лет, с 1993 по 2023 гг., отбор изолированного керна по договорам ООО «НПП «СибБурМаш» более чем с 200-ми заказчиками, выполнен в 851-ой скважине. Работы выполнены без единой рекламации. Отобрано 81 045 метров керна, средний вынос составил 97,3%. С 2019 по 2023 гг. отбор керна выполнен в 101-ой скважине, отобрано 16 101 метров керна, со средним выносом **99,18%**. В октябре 2012 г. был установлен российский рекорд отбора керна: за один рейс, в течение 15-ти часов была пробурена и поднята на поверхность колонка керна длиной **78,93 м**, с выносом керна 100%. **Новый рекорд был установлен 24.01.2024 г: за один рейс был выполнен отбор колонки керна длиной 102,5 м., вынос керна составил 100 %.**

Главным результатом применения изолирующих технологий является обеспечение практически 100% выноса керна, его полной представительности, адекватности свойств и информативности данных. Это способствовало повышению эффективности ГРП, повышению достоверности результатов интерпретации данных ГИС, достоверности подсчетов запасов нефти и газа.

Результаты работ были использованы недропользователями в процессе производства ГРП и их оптимизации, а также при представлении данных в ГКЗ РФ, Территориальные комиссии ГКЗ и ЦКР РФ при подсчетах и пересчетах запасов нефти и газа более чем по 160 месторождениям, в том числе: Ватъеганскому, Западно-Салымскому, Ковыктинскому, Приобскому, Рогожниковскому, Самотлорскому, Северо-Комсомольскому, Уренгойскому, Федоровскому и др.

Расчеты достигнутого экономического эффекта были выполнены предприятием ООО «Геопроект» (г. Тюмень, 2015 г.) в ценах 2014 года на примере двух скважин, которые показали:

1. Затраты на бурение скважины № 6 на Молодежной площади в ХМАО на РВО (забой – 2800 метров, пласт нефтенасыщенный) составили 265,4 млн.руб.; затраты на бурение аналогичной скважины на РУО оценены в 558 млн.руб., то есть **эффект составил 292,6 млн.руб., а затраты уменьшились на 52,4%**.

2. Затраты на бурение скважины № 202 на Западно-Мессояхском месторождении в ЯНАО на РВО (забой – 1300 метров, пласт газонасыщенный) соста-

вили 217,5 млн.руб., затраты на бурение аналогичной скважины на РУО оценены в 427 млн. руб., то есть **эффект составил 209,5 млн. руб.**, экономия—49%.

В среднем экономический эффект от одной скважины с отбором изолированного керна, в ценах 2014 г., **составил 250 млн.руб.** Суммарный экономический эффект за 30 лет от бурения 851-ой скважины **составил не менее 210 млрд.руб.** Объем отбора изолированного керна за последние 5 лет выполнен в 101-ой скважине. Отобрано 16 101 метр керна, с выносом 99,18%. **Суммарный эффект за по этим скважинам составил не менее 25 млрд. руб.**

Гораздо бóльший экономический эффект достигается на этапе разработки и эксплуатации месторождений, когда на основе повышения достоверности строения и нефтегазонасыщенности продуктивных пластов принимаются более обоснованные технические решения. За рубежом соответствующий экономический эффект был охарактеризован следующим образом: «Затратив .\$60 тыс на отбор и анализ керна высокой информативности, Вы сэкономите \$ 60 млн. при эксплуатации месторождения («Pressure coring for more accurate information». Drilling. 1981. № 13, p.150-167).

5. Новизна и сравнение с отечественными и зарубежными аналогами

Мировая новизна представленных технологий подтверждается патентоспособностью техники и технологии отбора изолированного керна, которые защищены 15 (пятнадцатью) авторскими свидетельствами СССР и 5 (пятью) патентами РФ на изобретения. В РФ отсутствуют конкурентоспособные аналоги изолирующей технологии. Сравнительные оценки отечественной и западной технологий (компанией «DBC Security», США) отбора изолированного керна, проведенные ОАО «Нижневартовскнефтегаз» в 1998 году на скважине ОЦ-1 Самотлорского месторождения убедительно показали преимущество отечественной изолирующей технологии и подтвердили ее технический приоритет. В связи с плохим качеством и низким (<30%) выносом керна на этой скважине, договор с «DBC Security» был расторгнут. Договор на выполнение работ в последующих оценочных скважинах был заключен с НПП «СибБурМаш» (с участием с НПЦ «Тюменьгеофизика» и «СИБКОР»).