

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра геофизики

**Литолого-петрофизическая характеристика продуктивного
терригенного пласта ардатовского возраста Полярного месторождения
(г. Саратов)**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 403 группы
направления 05.03.01 «Геология»
профиль подготовки «Нефтегазовая геофизика»
геологический факультет
Гегамян Вероники Гегамовны

Научный руководитель:

к. г.-м. н., доцент _____ Б.А. Головин

Зав. кафедрой

геофизики:

к. г.-м. н., доцент _____ Е. Н. Волкова

Саратов 2026

Введение. Актуальность работы: в настоящей работе представлены результаты анализа и геологической интерпретации геофизических данных по продуктивному терригенному пласту ардаатовского возраста на примере Полярного нефтяного месторождения (Перелюбский район Саратовской области).

В современных условиях освоения нефтегазовых ресурсов Поволжско-Уральской провинции всё большее значение приобретает детальное изучение среднедевонских терригенных комплексов, которые характеризуются сложным геологическим строением, фациальной изменчивостью и высокой степенью тектонической нарушенности. Одним из ключевых продуктивных объектов в разрезе Полярного месторождения является ардаатовский горизонт (D_2 ard), залежи которого относятся к типу пластовых сводовых, тектонически экранированных, с блоковым строением. Понимание закономерностей пространственного распределения коллекторских свойств (пористости, глинистости) и характера насыщения в пределах этого горизонта имеет критическое значение для подсчёта запасов, планирования систем разработки и повышения эффективности гидравлического разрыва пласта (ГРП).

Геофизические исследования скважин (ГИС) являются основным инструментом получения непрерывной информации о литолого-петрофизических свойствах горных пород вдоль ствола скважины. Комплексная интерпретация данных ГИС позволяет выделять пласты-коллекторы, определять их глинистость, пористость, характер насыщения и выполнять межскважинную корреляцию. В последние десятилетия как отечественными, так и зарубежными исследователями разработаны надёжные петрофизические зависимости, позволяющие количественно оценивать коллекторские свойства по данным стандартного комплекса ГИС, что успешно применяется на практике при подсчёте запасов и проектировании разработки месторождений.

Согласно существующим представлениям, по значениям глинистости, определённой по данным гамма-каротажа (ГК), и пористости, рассчитанной по данным нейтронного гамма-каротажа (НГК), можно надёжно идентифицировать коллекторы и неколлекторы, а также оценивать их продуктивность. Однако для каждого месторождения требуется калибровка петрофизических связей с учётом региональных особенностей. Полярное месторождение, расположенное в зоне сочленения западного борта Бузулукской впадины с Клинцовской вершиной Пугачевского свода, характеризуется сложным блоковым строением, что обуславливает необходимость детального изучения пространственной изменчивости коллекторских свойств ардаатовского горизонта.

Между тем сведения о количественных критериях разделения продуктивных и водонасыщенных интервалов ардаатовского пласта для данного месторождения до настоящего времени были недостаточно обоснованы, хотя научное и практическое значение такой информации для подсчёта запасов и планирования ГРП очевидно. Как минимум, её использование способствовало бы оптимизации системы разработки и повышению коэффициента извлечения нефти.

В рамках выполненных ранее геолого-разведочных работ на Полярном месторождении были получены результаты бурения и геофизических исследований скважин, свидетельствующие о наличии нескольких продуктивных горизонтов в среднедевонских отложениях, включая ардаатовский. Таким образом, терригенные отложения эйфельского яруса Саратовского Заволжья являются перспективным объектом для получения количественных петрофизических характеристик коллекторов и выявления закономерностей их пространственного распределения.

Цель работы: на основе анализа геолого-геофизических материалов по скважинам Полярного месторождения установить литолого-петрофизические особенности ардаатовского пласта, выявить характер изменения его

коллекторских свойств в пространстве и определить факторы, контролирующие нефтенасыщенность.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

Изучить теоретические основы применения геофизических методов исследования скважин при изучении терригенных коллекторов, методики интерпретации данных ГК, НГК и электрического каротажа, а также подходы к межскважинной корреляции.

Ознакомиться с геологией и тектоникой Саратовского Заволжья и, более детально, со стратиграфией и условиями формирования среднедевонских отложений (эйфельский ярус) в пределах Полярного месторождения.

Обработать и проанализировать имеющиеся данные ГИС по трём скважинам (№ 1, 20, 14) по ардатовскому горизонту, выделить интервалы пласта-коллектора, определить его мощность и строение.

По данным гамма-каротажа рассчитать глинистость коллекторов с использованием двухопорного метода, по данным нейтронного гамма-каротажа определить коэффициент общей пористости с введением литологических и глинистых поправок.

На основе электрических методов (боковой и индукционный каротаж) оценить характер насыщения выделенных пластов (продуктивный, водонасыщенный, смешанный).

Выполнить межскважинную корреляцию разрезов скважин 1, 20 и 14 и выявить закономерность изменения коллекторских свойств ардатовского пласта по латерали.

Фактический материал. В ходе геолого-разведочных работ на Полярном лицензионном участке была сформирована коллекция

геофизических материалов по трём скважинам (№ 1, 20, 14). Комплекс ГИС включал методы электрического каротажа (боковой каротаж БК, индукционный каротаж ИК), радиоактивного каротажа (гамма-каротаж ГК, нейтронный гамма-каротаж НГК), а также кавернометрию. Обработка данных проведена по стандартным петрофизическим методикам, апробированным для Волго-Уральской области. Глинистость определялась по двухпорному методу ГК с эмпирической зависимостью для Саратовского Поволжья. Пористость рассчитывалась по данным НГК с литологическими поправками. Корреляция разрезов выполнена с использованием опорного репера — известняков саргаевского и семилукского горизонтов.

Автор глубоко признателен коллективу кафедры геофизики СГУ, особенно своему научному руководителю — кандидату геолого-минералогических наук, доценту Б. А. Головину за помощь в освоении методик интерпретации ГИС, а также за предоставленные фактические материалы и многочисленные консультации. Отдельную благодарность автор выражает сотрудникам производственных геофизических организаций за предоставленные данные по скважинам и всестороннюю помощь при подготовке данной работы.

Выпускная квалификационная работа содержит в себе введение, заключение, список использованных источников, а также три раздела основного содержания работы:

1 Геологическая характеристика района исследований

2 Методика работ

3 Результаты исследований и их обсуждение

Основное содержание работы. Первый раздел «Геологическая характеристика района исследований» включает четыре подраздела, в которых последовательно рассматриваются общие сведения по Полярному

месторождению, литолого-стратиграфическая характеристика разреза, тектоника и нефтегазоносность.

В подразделе 1.1 приводится общая характеристика Полярного месторождения. Полярное многопластовое нефтяное месторождение располагается в юго-западной части Бузулукской впадины в пределах Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. В административном плане расположено в Перелюбском районе Саратовской области в 30 км к западу от районного центра Перелюб. Непосредственно на территории месторождения населённые пункты не располагаются, ближайшим населённым пунктом является с. Журавли в 2,5 км к западу. Большая часть населения занята в сельском хозяйстве.

Подраздел 1.2 посвящён литолого-стратиграфической характеристике разреза. При стратиграфическом расчленении вскрытых отложений в пределах Полярного лицензионного участка использовались данные, полученные при бурении скважин 1, 20, 14 (керна, его анализы, материалы ГИС), а также результаты по скважинам, пробурённым на сопредельных территориях. В разрезе представлены породы от архея до кайнозоя. Архейские породы представлены биотитово-гранатовыми гранито-гнейсами. Палеозойская эратема представлена девонскими, каменноугольными и пермскими отложениями. Девонская система сложена отложениями среднего и верхнего отделов. В эйфельском ярусе выделяются бийский, клинцовский, мосоловский, чернораевский горизонты. В живетском ярусе выделяются воробьевский, ардаатовский и муллинский горизонты. Ардаатовский горизонт сложен известняками, аргиллитами и песчаниками. Продуктивными являются песчаные пласты-коллекторы, разделённые глинистыми прослоями. Выше по разрезу выделяются франский и фаменский ярусы, каменноугольная, пермская, мезозойская и кайнозойская системы.

Подраздел 1.3 посвящён тектонике. В тектоническом отношении рассматриваемый участок приурочен к юго-восточной части Русской плиты,

в пределах Волго-Уральской антеклизы, и в современном тектоническом плане приурочен к Камелик-Чаганской системе дислокаций в зоне сочленения западного борта Бузулукской впадины с Клинецовской вершиной Пугачевского свода и Иргизским прогибом. Для Бузулукской впадины характерна интенсивная расчленённость фундамента и терригенно-карбонатной толщи среднего девона на множество протяжённых структурно-блоковых ступеней, осложнённых более мелкими блоками. По геологическим результатам сейсморазведки 3D выделяется несколько протяжённых субмеридиональных разрывных нарушений, благодаря которым сформировалась террасовидная тектоника, выраженная в ступенеобразном погружении осадочных образований от Клинецовской вершины к осевой части Иргизского прогиба.

Подраздел 1.4 посвящён нефтегазоносности. Полярное месторождение является многопластовым нефтяным месторождением. Основные продуктивные горизонты: воробьевский ($D_2 \text{ vor}$) — залежь пластовая сводовая, тектонически экранированная; ардатовский ($D_2 \text{ ard}$) — залежь пластовая сводовая, тектонически экранированная, имеет блоковое строение; тиманско-пашийский ($D_3 \text{ tm+pš}$) — залежь пластовая сводовая, тектонически экранированная; воронежский ($D_3 \text{ vr}$) — залежь пластовая сводовая, тектонически экранированная; евлановско-ливенский ($D_3 \text{ ev}+D_3 \text{ lv}$) — залежь пластовая сводовая, тектонически экранированная. Нефть Полярного месторождения относится к классу летучих, маловязких, малосернистых, малопарафинистых. Месторождение разрабатывается с применением системы поддержания пластового давления, активно применяются гидравлический разрыв пласта и технологии одновременно-раздельной эксплуатации скважин.

Второй раздел «Методика работ» включает шесть подразделов, в которых последовательно рассматриваются общие задачи и цели ГИС, методы ГИС, выделение пластов-коллекторов по данным ГИС, определение

глинистости коллекторов по данным гамма-каротажа, определение коэффициента пористости по данным нейтронного гамма-каротажа, а также корреляция разреза.

В подразделе 2.1 описаны общие задачи и цели ГИС. Геофизические исследования скважин — это совокупность методов разведочной геофизики, предназначенных для изучения свойств горных пород и флюидов в околоскважинном и межскважинном пространствах. Основными задачами являются: литологическое расчленение разрезов скважин, выделение коллекторов, определение коллекторских свойств, определение положения водонефтяного контакта, корреляция разрезов скважин, изучение технического состояния скважин и контроль над разработкой месторождений.

Подраздел 2.2 посвящён методам ГИС. Классификация методов ГИС основана на типе изучаемого физического поля. В зависимости от природы поля методы подразделяются на электрические, радиоактивные, акустические, магнитные, термические и другие. Стандартный комплекс ГИС включает в себя электрические методы (БКЗ, БК, МБК, МК, ИК, ПС), радиоактивные (ГК, НГК) и кавернометрию (КВ).

Подраздел 2.3 посвящён выделению пластов-коллекторов по данным ГИС. В практике оперативной интерпретации применяются два основных подхода: качественный (на основе прямых признаков подвижности флюида) и количественный (на основе граничных значений геофизических параметров). Основным необходимым условием отнесения породы к коллектору является проникновение бурового раствора в пласт. Диагностическими признаками являются: наличие глинистой корки (сужение фактического диаметра скважины), характерное соотношение показаний микрозондов, радиальный градиент удельного электрического сопротивления, минимальные значения разности потенциалов собственной поляризации (ПС) в интервалах коллекторов.

Подраздел 2.4 посвящён определению глинистости коллекторов по данным гамма-каротажа. Физической основой метода является регистрация естественного гамма-излучения горных пород, обусловленного присутствием радиоактивных изотопов. В терригенных разрезах основным носителем радиоактивности выступает глинистый материал. Для определения глинистости используется метод двух опорных пластов. Обработка данных включает нормировку показаний, расчёт массовой глинистости и переход к объёмной глинистости. Используется эмпирическая зависимость для Саратовского Поволжья: $S_{г\lambda} = 0,52 \times \Delta I_{\gamma}$.

Подраздел 2.5 посвящён определению коэффициента пористости по данным нейтронного гамма-каротажа. Физической основой метода является облучение горных пород потоком быстрых нейтронов и регистрация вторичного гамма-излучения радиационного захвата. Обработка включает расчёт относительного разностного параметра, определение «известняковой» пористости по палеточным зависимостям и введение литологических и глинистых поправок.

Подраздел 2.6 посвящён корреляции разреза. Корреляция разрезов скважин является центральной задачей обобщающей интерпретации геофизических данных. Согласно методике, изложенной В. Н. Дахновым, данный процесс базируется на предварительном составлении нормальных и сводных геолого-геофизических разрезов с последующим выделением выдержанных геофизических реперов. В качестве основного репера служат известняки саргаевского и семилукского горизонтов.

Третий раздел «Результаты исследований и их обсуждение» посвящён анализу и интерпретации полученных данных по трём скважинам № 1, 20 и 14.

По результатам обработки данных ГИС по скважине 1 ардатовский пласт находится в интервале 3514–3597 м. Проведены расчёты глинистости и

пористости для пяти интервалов. Глинистость изменяется от 1,2 до 2,6 %, пористость — от 7,3 до 11,5 %. По данным электрических методов (БК, ИК) в интервалах 3577,5–3583,0 м характер насыщения определён как «продуктивный с водой», в интервале 3583,0–3586,2 м — как «водонасыщенный».

По скважине 20 ардатовский пласт находится в интервале 3701–3793 м. Выполнены расчёты для девяти интервалов. Глинистость изменяется от 2,5 до 12,7 %, пористость — от 6,0 до 10,3 %. В интервалах 3774,0–3783,5 м характер насыщения определён как «продуктивный» и «продуктивный с водой», в интервалах 3783,5–3786,6 м — как «водонасыщенный».

По скважине 14 ардатовский пласт находится в интервале 3510–3600 м. Породы представлены доломитами, известняками и песчаниками. Глинистость варьирует от 12,6 до 22,1 %, пористость — от 6,0 до 10,1 %. Все интервалы являются водонасыщенными.

Анализ полученных результатов выявляет ярко выраженную пространственную зональность. В сводовой части (скв. № 1) коллектор характеризуется минимальными значениями глинистости (1,3–2,6 %). При движении к восточному крылу структуры (скв. № 20) наблюдается ухудшение коллекторских свойств: глинистость возрастает до 3,5–5,2 %, пористость снижается до 8–9 %. Наиболее показательные изменения фиксируются в скважине № 14, которая находится за пределами промышленной залежи: здесь происходит резкое увеличение глинистости до 12,0–20,0 %, поровое пространство коллектора оказывается закупоренным глинистым цементом, пласт практически полностью утрачивает ёмкостные свойства и становится водоносным.

Результаты межскважинной корреляции (скв. 1–20–14) свидетельствуют о наличии устойчивого тренда ухудшения коллекторских свойств в восточном направлении. В юго-восточном направлении от 1-й

скважины к 14-й отчётливо наблюдается общее понижение мощности пласта-коллектора с 12 до 9 метров, что усиливает негативный тренд ухудшения коллекторских свойств.

Таким образом, на основе проведённых расчётов и установленной межскважинной корреляции можно сделать однозначный вывод: в восточном направлении, от свода структуры (скв. № 1) к периферии (скв. № 14), происходит закономерное и необратимое ухудшение коллекторских свойств ардатовского пласта, сопровождающееся снижением их мощности. Главным фактором этого процесса является резкое увеличение глинистости, которое приводит к снижению пористости и потере нефтегазоносности за пределами структурной ловушки. Это подтверждает тектонически и фациально экранированный тип залежи, где латеральное замещение коллектора глинистыми породами служит естественной ловушкой для углеводородов.

Заключение. Настоящая выпускная квалификационная работа представляет собой результаты анализа литолого-петрофизических данных и их геологической интерпретации по разрезу ардатовского пласта (D₂ ard) Полярного нефтяного месторождения.

В результате комплексной интерпретации данных геофизических исследований скважин по трём скважинам (№№ 1, 20 и 14) получен обширный спектр петрофизических параметров: глинистость (Кгл), определённая по данным гамма-каротажа с использованием двухопорного метода; коэффициент общей пористости (Кп), рассчитанный по нейтронному гамма-каротажу с литологическими поправками; удельное электрическое сопротивление (рп), измеренное методами бокового и индукционного каротажа; коэффициент нефтенасыщенности (Кнг), а также мощности продуктивных прослоев и характер насыщения (продуктивный, водонасыщенный, смешанный).

Установлено, что в сводовой части структуры (скв. № 1) глинистость минимальна (1,3–2,6 %), что обеспечивает высокие относительные значения пористости и нефтенасыщенности; при движении к восточному крылу (скв. 20) глинистость возрастает до 3,5–5,2 %, а за пределами промышленной залежи (скв. 14) фиксируется её резкое увеличение до 12,0–20,0 %, что приводит к потере коллекторских свойств.

Вертикальные и латеральные вариации петрофизических характеристик создают предпосылки для дополнительного расчленения разреза ардатовского горизонта, выявления корреляционных реперов, обоснования границ распространения продуктивных зон и выделения блоков с различным типом насыщения.

Результаты межскважинной корреляции (скв. 1–20–14) свидетельствуют о наличии устойчивого тренда ухудшения коллекторских свойств в восточном направлении.

Таким образом, в итоге проведённых исследований впервые для данного месторождения получены количественные оценки критических значений глинистости (порог ~5–6 %), при превышении которых ардатовский пласт утрачивает промышленную продуктивность, и установлена пространственная закономерность ухудшения коллекторских свойств от свода к периферии структуры. Цель выпускной квалификационной работы — дать литолого-петрофизическую характеристику ардатовского пласта — можно считать достигнутой. В перспективе полученную информацию, вероятно, можно будет использовать для дифференциальной диагностики типа коллектора по данным стандартного комплекса ГИС без привлечения трудоёмких лабораторных исследований, для обоснования границ залежи при подсчёте запасов, а также для оптимизации выбора интервалов проведения гидравлического разрыва пласта и планирования системы разработки месторождения в целом.