

УДК 552.122

<https://doi.org/10.65207/1680-2373-2025-2-19-31>

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ПОДСОЛЕВЫХ ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПОЛОЦКОГО ГОРИЗОНТА И ЛАНСКОГО НАДГОРИЗОНТА ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА

Д. А. Шенец, А. В. Фурсевич, Е. А. Напрээнко, А. А. Ерошенко

Белорусский научно-исследовательский и проектный институт нефти (БелНИПИнефть)
ул. Книжная, 156, 246003, Гомель, Беларусь
E-mail: d.a.shenets@beloil.by

Объектом исследования являются отложения подсолевой терригенной толщи (пороцкий горизонт и ланский надгоризонт) Северной и Южной структурных зон Припятского прогиба. По материалам геофизических исследований скважин и лабораторных исследований керна было выполнено деление разреза полоцких и ланских отложений на литотипы. Кроме того, был проведен анализ фильтрационно-емкостных свойств и минерального состава литотипов по керновым данным.

Анализ результатов комплексных геофизических (ГИС) и минералогических исследований, а также определения фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) позволил установить наличие в отложениях полоцкого горизонта и ланского надгоризонта 6 основных литотипов, различающихся прежде всего по минеральному составу.

Сделаны выводы о наличии в полоцком горизонте и ланском надгоризонте пачек пород-коллекторов, прослеживающихся в региональном масштабе. Наличие различных литотипов выявило необходимость построения минеральной и петрофизической моделей как отдельных месторождений, так и всего Припятского прогиба на дальнейших этапах изучения вышеуказанных отложений.

Ключевые слова: минеральный состав, рентгеновская дифракция, литотип, керн, терригенный коллектор, фильтрационно-емкостные свойства, эффективная толщина.

ВВЕДЕНИЕ

Среди всех типов коллекторов основным считается терригенный коллектор, 77 % запасов газа и 58 % всех разведанных мировых запасов нефти связано именно с ним [7]. Подобные коллекторы – это в массе своей песчаники и алевролиты. Вопросы выявления песчаных тел и установления их пространственного размещения представляют собой сложный научно-исследовательский процесс, решению которого может способствовать проведение минералогических исследований керна. Получение информации о минеральном составе горных пород позволяет определить тип пород, минеральный состав является источником информации об условиях формирования пород, степени и разновидностях вторичных преобразований. Разнообразие минерального состава определяет влияние на фильтрационно-емкостные свойства, смачиваемость, упруго-прочностные свойства пород [8]. Данные о минеральном составе образцов керна используются при выборе наиболее перспективных интервалов для опробования и проведения различных геолого-технологических мероприятий в скважинах [5].

В Припятском прогибе подсолевые терригенные отложения играют важную роль в плане добычи углеводородов. Терригенные породы-коллектора распространены в верхнепротерозойских, полоцких, ланских отложениях, на них приходится порядка 11 % от общих остаточных извлекаемых запасов нефти (конденсата).

Современное распространение полоцких отложений наблюдается далеко за пределами прогиба на севере и западе. Южная граница проходит вблизи Южного краевого разлома Припятского прогиба. Они отмечены на востоке в пределах Брагинского выступа и Лоевской седловины и на северо-востоке в пределах Городокско-Хатецкой ступени. Отложения ланского надгоризонта на территории Беларусь занимают площадь несколько меньшую, чем отложения полоцкого горизонта. Они повсеместно развиты в Припятском прогибе, частично – в пределах Городокско-Хатецкой ступени [4].

Цель данной работы: выявление особенностей строения разреза полоцкого горизонта и ланского надгоризонта подсолевой терригенной толщи посредством анализа данных ГИС, минералогических исследований и данных ФЕС.

Задачи: провести литотипизацию разреза с применением имеющейся геолого-геофизической информации (минеральный состав, описание керна, петрографических шлифов, данные ГИС), определить закономерности распространения литотипов по разрезу и по площади, привести сравнительную характеристику ФЕС в выделенных литотипах, сделать выводы о полученных результатах.

Таблица 1 – Количество образцов по скважинам

Скважина	Структурно-тектоническая зона	Количество образцов, шт.	
		D ₂₋₃ ln	D ₂ plc
Речицкая 515	Северная	13	-
Речицкая 556	Северная	-	30
Мармовичская 171	Северная	10	8
Надвинская 46	Северная	5	14
Осташковичская 9220	Северная	-	34
Осташковичская 241s2	Северная	14	30
Барсуковская 104n	Северная	17	-
Барсуковская 105n_1	Северная	12	-
В-Некрасовская 1	Северная	12	18
Тишковская 100s2	Северная	-	25
Анисимовская 3	Южная	5	4
Вересницкая 2	Южная	-	8
Гостовская 1	Южная	6	-
Гребеневская 1	Южная	1	6
Дубницкая 1	Южная	3	5
Малышевская 1	Южная	4	11
Симоновичская 1	Южная	1	12
С-Карповичская 2	Южная	7	3
Туровская 3	Южная	5	10
Туровская 5	Южная	4	4
Ю-Валавская 35	Южная	9	8

Разрез полоцкого горизонта и ланского надгоризонта охарактеризован керновым материалом в достаточной степени, как и минералогическими исследованиями (РФА, РСА, гранулометрия), за исключением некоторых интервалов (рис. 1). На рисунке 1 представлен типовой разрез полоцких

и ланских отложений. Возле кривой ГК (кривая отражает естественную радиоактивность пород в скважине) черными точками указаны места отбора образцов для исследования минерального состава. Точки были нанесены в определенную область согласно выделенным литотипам.

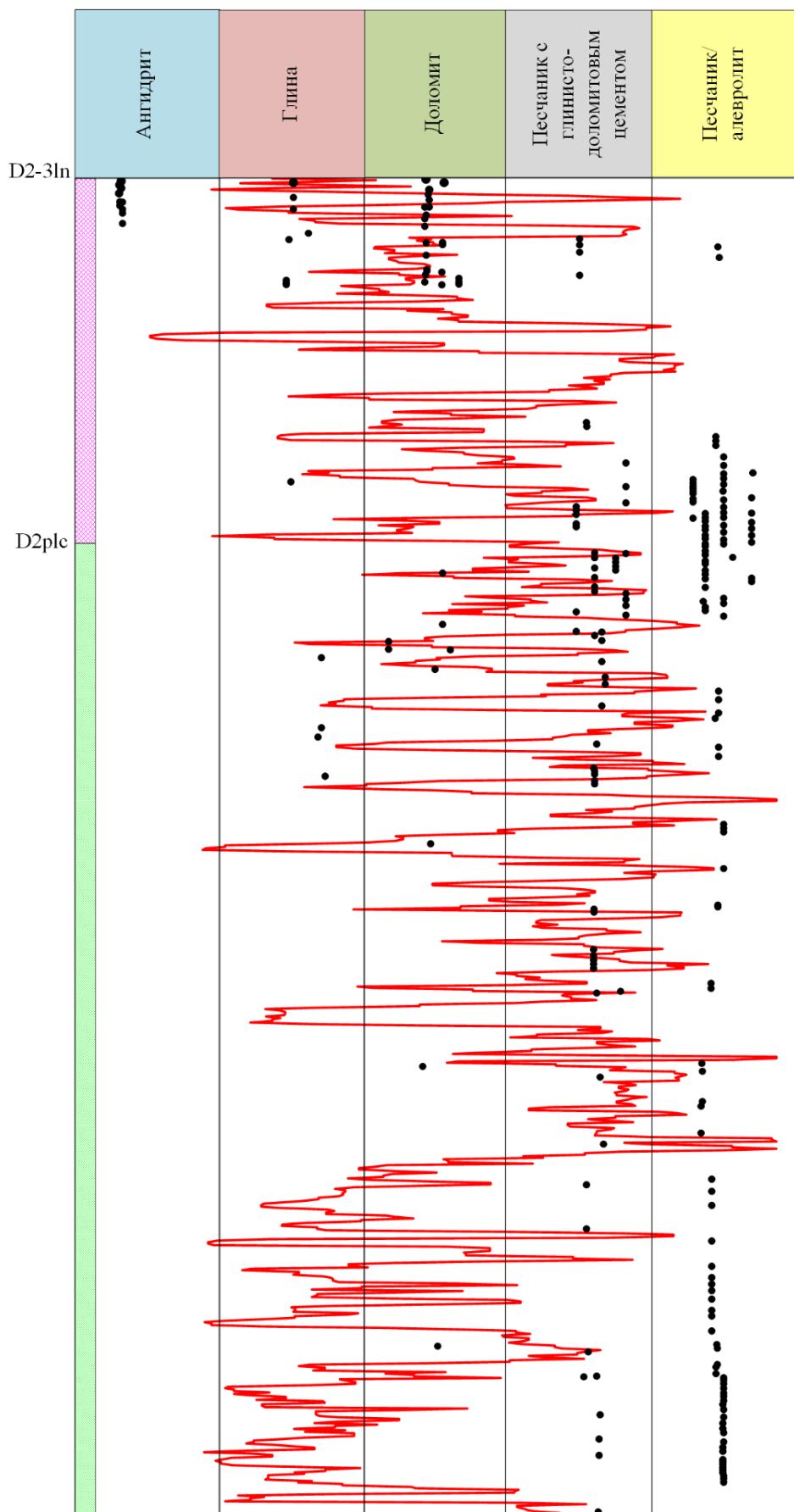


Рисунок 1 – Степень охарактеризованности разреза минералогическими исследованиями

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Минералогические исследования проводились на оборудовании Центра обработки, исследования и хранения керна Белорусского научно-исследовательского и проектного института нефти. Определение минерального состава горных пород проводилось с помощью метода рентгеновской дифракции, оптического петрографического анализа [3; 8].

Метод основан на получении информации о кристаллическом строении веществ. Каждый минерал обладает особым строением кристаллической решетки, от этого зависит положение и интенсивности пиков на получаемой дифрактограмме [3].

Исследуемый образец представляет собой порошок с размером частиц менее 0,1 мм, который помещен в круглую алюминиевую кювету. Поверхность образца тщательно выравнивается в целях улучшения качества получаемой дифрактограммы. В процессе исследования поверхность образца облучается рентгеновским излучением

в диапазоне углов 2θ от 3° до 55° с шагом сканирования $0,01^\circ$. Излучение, отраженное поверхностью кристаллической решетки, регистрируется детектором. В результате исследования методом рентгеновской дифракции получают зависимость интенсивности отраженного рентгеновского излучения от угла 2θ .

Качественный фазовый анализ проводится путем сравнения положений пиков и их интенсивностей с положениями пиков и интенсивностей эталонных образцов, содержащихся в международных базах дифракционных стандартов ICDD PDF-2 Release 2021 и COD (рис. 2).

Количественное определение фаз в образцах и уточнение параметров элементарной ячейки вещества проводится по методу Ритвельда (полнопрофильного анализа) путем моделирования теоретической дифрактограммы, ее сравнения с экспериментальной дифрактограммой и дальнейшим уточнением параметров элементарной ячейки в целях лучшей сходимости [2].

При использовании количественного рентгенофазового анализа по методу Ритвельда содержание кристаллических фаз всегда нормировано на 100 %.

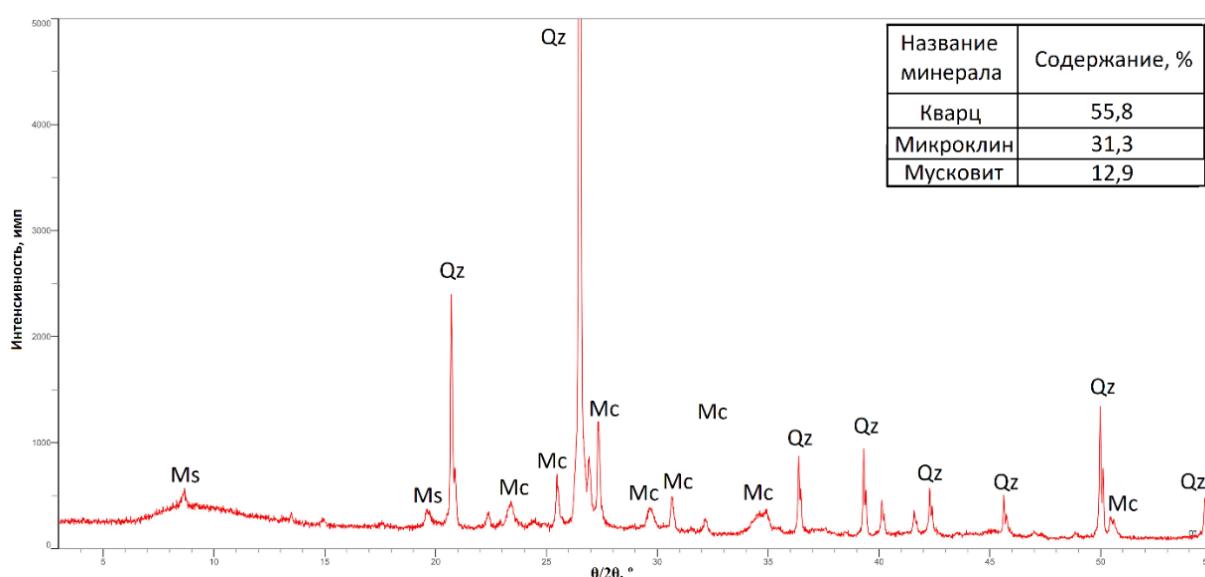


Рисунок 2 – Дифрактограмма и результаты определения минерального состава (условные обозначения: Mc – микроклин, Ms – мусковит, Qz – кварц)

Петрографическое описание шлифов включает последовательное освещение следующих характеристик: название породы, структура, состав, пористость, включения, вторичные изменения. После описания шлифов проводится процесс их фотографирования. При фотографировании

подбираются области, дающие наиболее точное представление о породе, характеризующие общие минералогические, текстурно-структурные особенности, распределение пустотного пространства.

На основе результатов литологического описания керна, оптического петрографического

анализа пород в шлифах и количественного рентгенофазового анализа проведена литотипизация разреза.

На следующем этапе проводилось построение геолого-геофизических профилей по изучаемым скважинам Северной и Южной структурных тектонических зон (рис. 4) с целью прослеживания распространения литотипов по всему разрезу.

В интервалах, не охарактеризованных отбором керна, выделение литотипов было выполнено с учетом литологии, рассчитанной по ГИС. В скважинах, в которых литология по ГИС не рассчитывалась, выделение литотипов проводилось по конфигурации кривых ГК и НГК (рис. 3). Это позволило определить закономерности распространения определенных литотипов по разрезу [1].

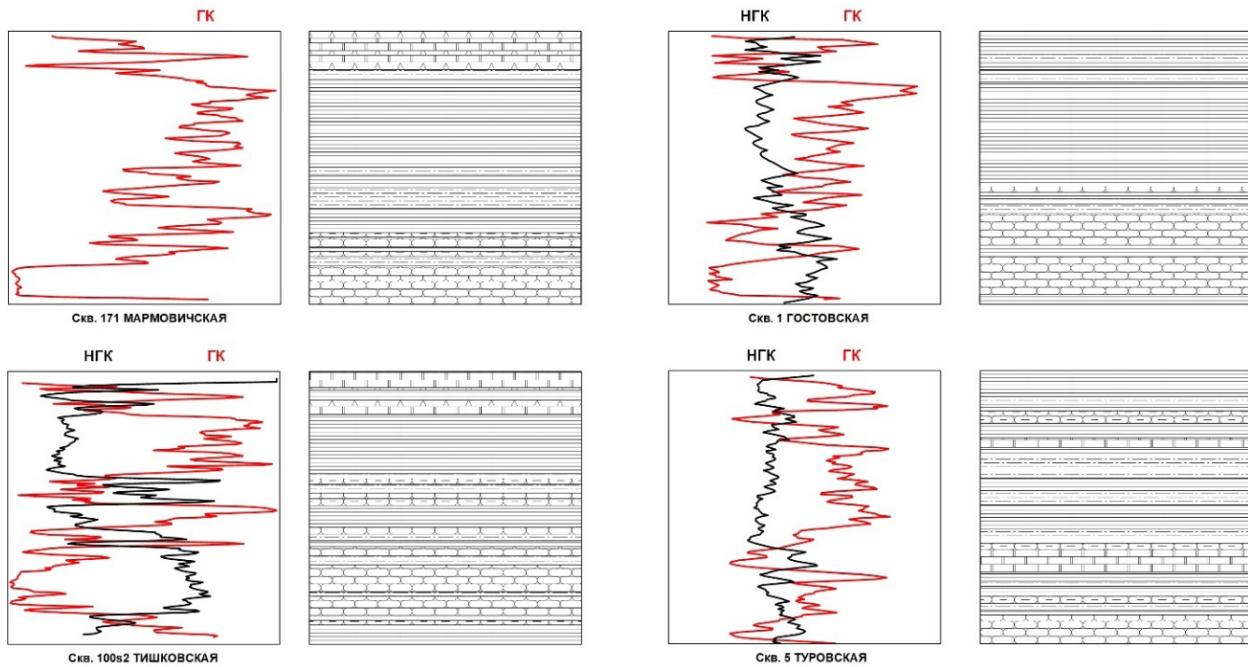


Рисунок 3 – Конфигурация кривых ГИС для фрагментов разреза на примере ланского надгоризонта скважин изучаемых площадей

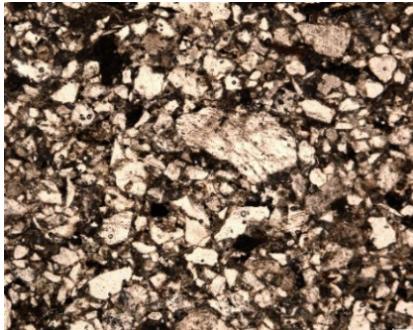
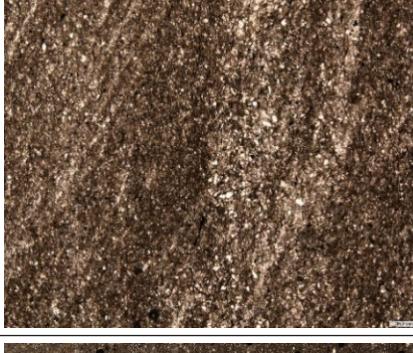
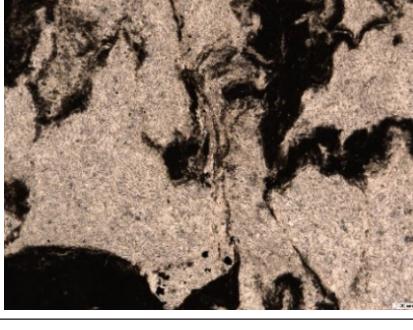
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На основе изучения керна, оптического петрографического анализа пород в шлифах и количественного рентгенофазового анализа

проведена литотипизация разреза. Были выделены следующие основные литотипы (в зависимости от породообразующих минералов): песчаник, песчаник с глинисто-доломитовым цементом, алевролит, глина, доломит, ангидрит. (табл. 2).

Таблица 2 – Литотипы полоцкого горизонта и ланского надгоризонта (фото керна и шлифов)

Литотип	Фото керна	Фото шлифа
Песчаник		

Песчаник с доломитовым/ глинистым цементом		
Алевролит		
Глина		
Доломит		
Ангидрит		

К песчаникам отнесены породы с максимальным содержанием кварца (более 80 %). Песчаники кварцевые, полевошпатово-кварцевые, местами слюдистые, темно-серые, коричневато-серые, бурые, слоистые, массивные в различной степени пористые, местами нефтенасыщенные.

К песчаникам на глинисто-доломитовом цементе отнесены породы, в которых содержание кварца составляет более 50 %, а также отмечается повышенное содержание глинистых минералов и доломита. Песчаники кварцевые, полевошпатово-кварцевые, местами слюдистые, на глинистом/доломитовом цементе, темно-серые, коричневато-серые, бурые, слоистые, массивные в различной степени пористые, местами нефтенасыщенные, без признаков УВ.

Выделить алевролиты в отдельный литотип по результатам определения минерального состава не представляется возможным, так как минеральный состав алевролитов в целом схож с минеральным составом песчаников. Поэтому выделение алевролитов проводилось по результатам гранулометрического состава. Алевролиты кварцевые, кварцево-полевошпатовые, местами слюдистые, часто глинистые, серые, буро-серые, бурые, слоистые, в различной степени пористые, местами нефтенасыщенные.

К глине отнесены образцы с содержанием глинистых минералов более 75 % (по С. Г. Вишнякову (1933), с доп. М. С. Швецова (1958) и В. Т. Фролова (1964)) [6]. Глины темно-серые, бурые, зеленоватые, бескарбонатные и карбонатизированные, плотные, без признаков УВ.

К доломитам отнесены породы, в которых содержание доломита преобладающее и составляет более 70 % [6]. Доломиты серые, темно-серые, коричневато-серые, разнокристаллические, слоистые, плотные, с включениями зерен кварца, глинистых минералов, ангидрита, без признаков УВ.

К ангидритам отнесены породы, содержание ангидрита в образцах которых составляет более 50 % [6], нередко отмечается присутствие доломита, кварца и глинистых минералов. Ангидриты серые, пятнистые, волнистослоистые, тонкослоистые. Без признаков УВ.

При изучении керна и анализе кривых ГИС в полоцком горизонте в скв. В-Некрасовская 1 отмечено присутствие нескольких интрузивных тел в средней и подошвенной части толщинами 16 м и 14 м соответственно.

Каждый литотип характеризуется определенным минеральным составом. В таблице 3 и на рисунке 4 приведен усредненный минеральный состав.

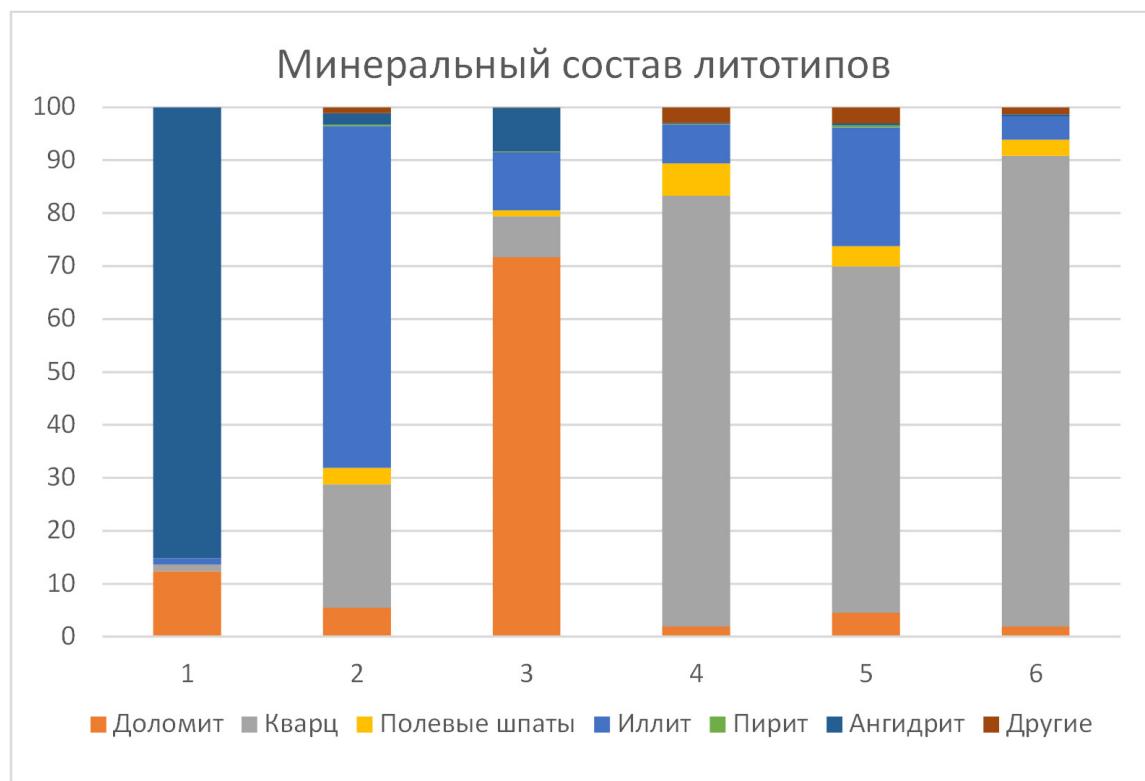


Рисунок 4 – Усредненный минеральный состав исследуемых литотипов (1 – песчаник; 2 – песчаник с глинисто-доломитовым цементом; 3 – алевролит; 4 – глина; 5 – доломит; 6 – ангидрит)

Таблица 3 – Усредненный минеральный состав литотипов полоцкого горизонта и ланского надгоризонта

Литотип	Содержание минералов, %						
	Доломит	Кварц	Полевые шпаты	Иллит	Пирит	Ангидрит	Другие
Песчаник	1,9	88,9	3,1	4,4	0	0,4	1,3
Песчаник с глинисто-доломитовым цементом	4,5	65,4	3,9	22,4	0,4	0,3	3,1
Алевролит	1,9	81,4	6,1	7,3	0,1	0,2	3
Глина	4,5	13,8	3,1	75	0,3	2,2	1,1
Доломит	71,7	7,7	1,1	11	0,1	8,3	0,1
Ангидрит	12,4	1,3	0	1,1	0	85,2	0

В результате проведенных исследований было установлено, что для всех разрезов полоцкого горизонта характерно ритмичное строение: преобладание песчаных пород в нижней части разреза и глинистых – в средней части. Разрез верхней части меняется от песчаных до глинистых пород. Характерной особенностью терригенных пород полоцкого горизонта является их тонко- и мелкозернистый состав. Прослои средне- и крупнозернистых песчаников встречаются очень редко. Полоцкий горизонт условно можно разделить на 4 пачки (рис. 5).

Нижняя пачка представлена преимущественно песчаниками и алевролитами с прослойями и включениями пластов глинистых пород, имеющая, как правило, региональное распространение (рис. 6, 7).

Третья пачка глинистая, иногда с прослойями песчано-алевролитовых пород. Количество песчаных прослоев в пачке не превышает 4–5. Породы третьей пачки имеют наиболее глинистый состав.

Вторая пачка обычно начинается глинистыми и глинисто-алевролитовыми породами и заканчивается прослоем песчаника или алевролита; нередко внутри пачки встречаются песчано-алевролитовые

пласти и прослои. В целом песчанистость второй пачки больше, чем третьей.

Верхняя пачка имеет сложное строение. Часто глинистая с редкими песчано-алевролитовыми прослойями, иногда сложена песчано-алевролитовыми породами с глинистыми прослойями и включениями.

Отложения ланского надгоризонта условно разделяются на 2 пачки: нижнюю – песчано-алевролитовую либо песчано-глинистую и верхнюю – преимущественно глинистую (рис. 5).

Нижняя пачка обычно включает до 5–8 песчаных пластов, разделенных прослойями глин. Доминирующими типами пород в ней являются терригенные и глинистые породы. Нередко встречаются прослои карбонатных пород.

Верхняя пачка имеет глинистый состав, во всех разрезах не представляет практического интереса в отношении нефтегазоносности и, по-видимому, является покрышкой для ланских пород-коллекторов. Имеет региональное распространение по площади (рис. 6, 7). Неглинистые прослои в рассматриваемой пачке представлены песчано-алевролитовыми, карбонатными и ангидритовыми породами.

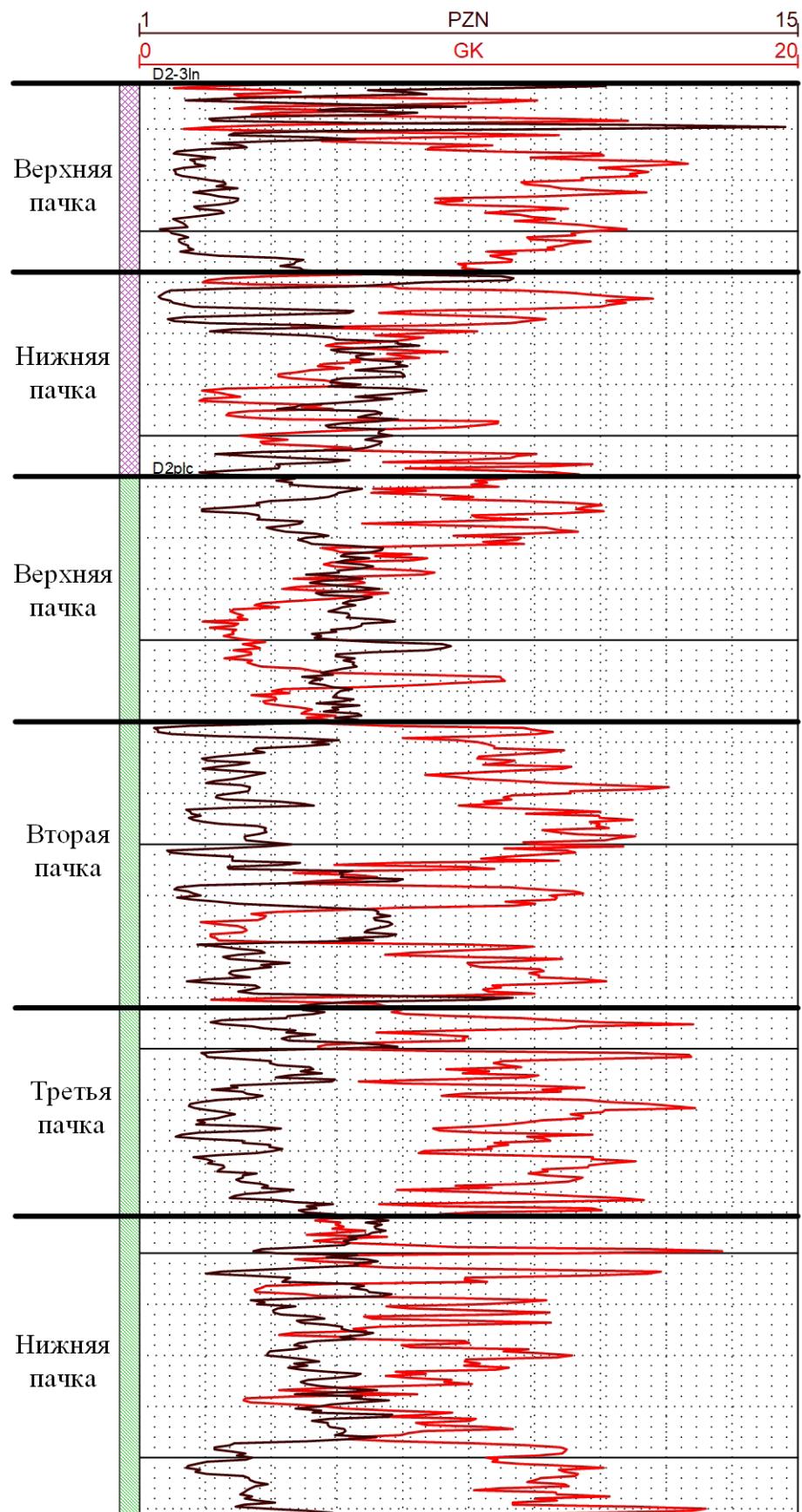


Рисунок 5 – Типовой разрез полоцкого горизонта и ланского надгоризонта

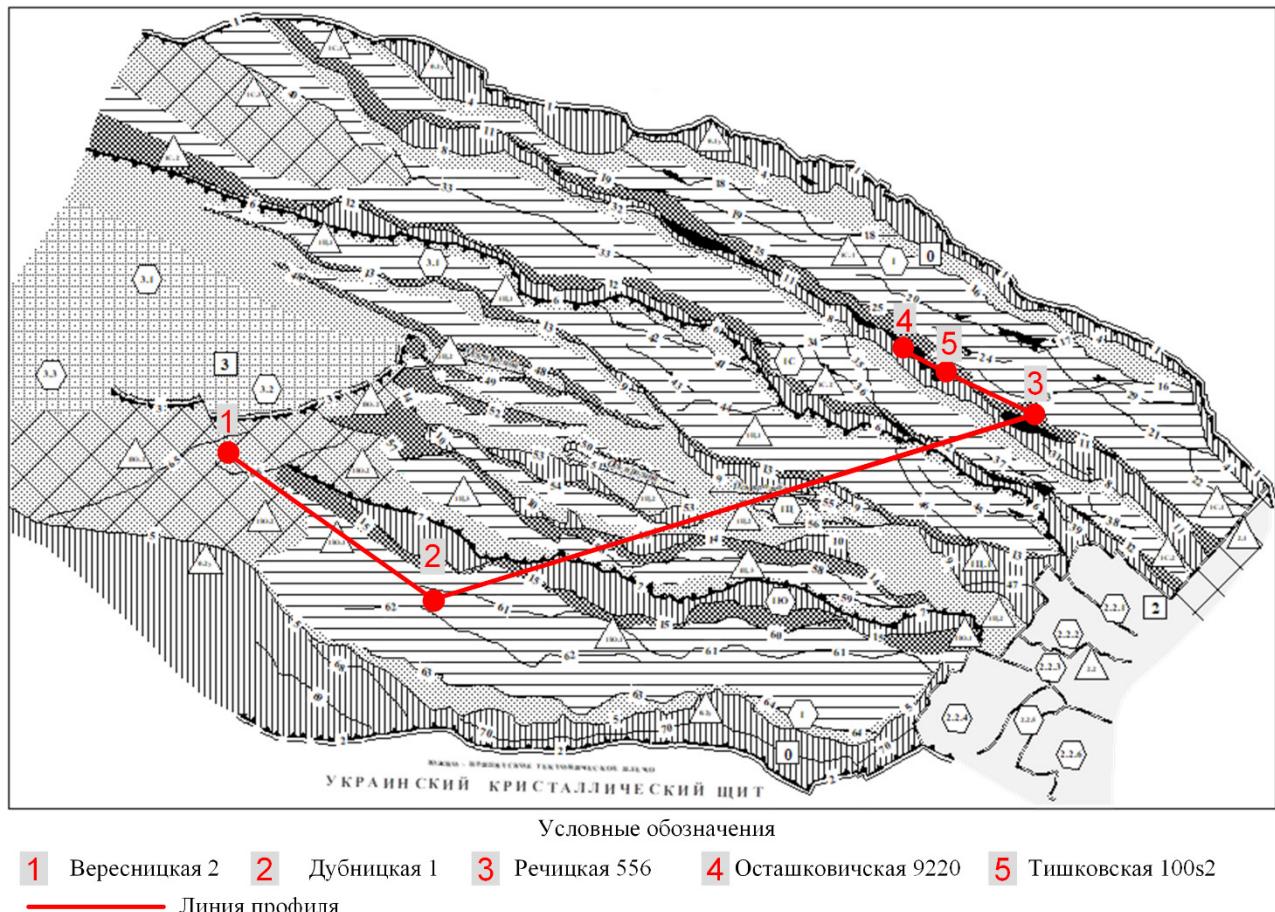


Рисунок 6 – Карта структурного районирования подсолевого комплекса Припятского прогиба для решения задач эффективного освоения ресурсов углеводородов (В. Н. Бескопыльный, Р. Е. Айзберг, Я. Г. Грибик, 2011)

В заключение стоит отметить, что максимальные изменения фильтрационно-емкостных свойств пород характерны для следующих литотипов: песчаник, песчаник с глинисто-доломитовым цементом, алевролит (табл. 4). Они же обладают наилучшими

ФЕС, здесь отмечаются максимальные значения открытой пористости, а также эффективных толщин. Остальные литотипы (ангиридит, глина, доломит) обладают низкими ФЕС и породами-коллекторами не являются.

Таблица 4 – Сводная характеристика зависимости фильтрационно-емкостных свойств от литотипов

Литотип	Горизонт	Пористость, %	Проницаемость, мД	Эффективные толщины, м
Песчаник	D ₂₋₃ ln	3,4–8	0,02–1,24	0–8,6
	D ₂ plc	6–15,9	0,249–6,286	0–22,5
Песчаник с глинисто-доломитовым цементом	D ₂₋₃ ln	4,153–5,106	1,106–15,57	0–0,7
	D ₂ plc	0,5–5,46	0,061–17,1	0–0,6
Алевролит	D ₂₋₃ ln	2,4–9,23	0,018–15,57	0–0,8
	D ₂ plc	0,141–21,62	0,032–8,01	0–2,5
Глина	D ₂₋₃ ln	4,35	–	–
	D ₂ plc	2,07–5,69	–	–
Доломит	D ₂₋₃ ln	0,27–0,93	0,01–0,03	–
	D ₂ plc	0,141–0,149	0,032–0,134	–
Ангидрит	D ₂₋₃ ln	0,29–0,55	0,02–4,22	–
	D ₂ plc	–	–	–

ВЫВОДЫ

1. Разработан комплексный подход к проведению лабораторных исследований и анализу полученных результатов для терригенных пород-коллекторов.

2. Проведение комплексного анализа ГИС, минералогических, литологических исследований по скважинам, вскрывающим терригенные нефтеносные отложения полоцко-ланского возраста, позволяет определить особенности строения толщи и выявить опорные интервалы, которые могут быть использованы в процессе корреляции пластов-коллекторов в качестве маркирующих.

3. В результате анализа геолого-геофизической информации по вышеуказанным скважинам выявлено 6 основных литотипов в отложениях полоцкого горизонта и ланского надгоризонта, что подтверждено результатами лабораторных исследований керна.

4. На основе полученных результатов исследований впервые выполнена количественная оценка (в процентах) минерального состава как терригенных, так и карбонатных, сульфатных пород полоц-

кого горизонта и ланского надгоризонта Припятского прогиба.

5. Впервые выявлены закономерности регионального распространения литотипов по разрезу и по площади.

6. На основе идентификации характерных слоев и маркирующих горизонтов при сопоставлении отдельных разрезов друг с другом был составлен сводный литологический разрез полоцко-ланских отложений Северной и Южной структурно-тектонических зон Припятского прогиба.

7. Выполнен анализ изменения ФЕС относительно каждого выделенного литотипа. Породы-коллекторы полоцкого и ланского возраста характеризуются вариативностью ФЕС как по площади, так и по разрезу.

8. Для качественного выполнения геологоразведочных работ в пределах Припятской нефтегазоносной области необходимо дальнейшее всестороннее исследование терригенных пород-коллекторов посредством современных методик и оборудования на объектах РУП «ПО “Белоруснефть”».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Губина, А. И. Основы фациальной цикличности осадочных толщ по результатам геолого-геофизических исследований скважин / А. И. Губина. – Пермь : Пресстайл, 2015. – 271 с.
2. Дегтярев, Ф. В. Определение примесных компонентов в кварцевом песке для гидроразрыва пласта методом рентгеновской дифракции / Ф. В. Дегтярев, Д. А. Шенец // Современные проблемы машиноведения : сб. науч. тр. : в 2 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т имени П. О. Сухого, ПАО «ОАК» ОКБ Сухого, Таизский ун-т (Йеменская Республика) ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – Ч. 2. – С. 138–142.
3. Ковба, Л. М. Рентгенофазовый анализ / Л. М. Ковба, В. К. Трунов. – М. : МГУ, 1976. – 232 с.
4. Махнач, А. С. Вулканогенная формация верхнего протерозоя (венда) Белоруссии / А. С. Махнач, Н. В. Веретенников. – Минск : Наука и техника, 1970. – 234 с.
5. Михалкина, О. Г. Применение метода рентгеновской дифракции для исследования керна и техногенных продуктов / О. Г. Михалкина // Вести газовой науки : науч.-техн. сб. – 2016. – С. 96–107.
6. Фролов, В. Т. Руководство к лабораторным занятиям по петрографии осадочных пород / В. Т. Фролов. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1964. – 310 с.
7. Э-плюс. Онлайн-журнал об энергетике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://e-plus.media/ecology/krysha-iz-soli-i-pol-iz-vody-kak-priroda-stroit-dom-dlya-nefti-i-pochemu-uglevodorody-vse-taki-sezzhayut-iz-nego/>. – Дата доступа: 10.03.2025.
8. McPhee, C. Core Analysis: A Best Practice Guide / C. McPhee, J. Reed, I. Zubizarreta. – Elsevier BV, 2015. – Р. 1–5.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 27.08.2025

Рэцэнзент Г. Д. Стравіцькова

АСАБЛІВАСЦІ БУДОВЫ ПАДСОЛЕВЫХ ТЭРЫГЕННЫХ АДКЛАДАЎ ПОЛАЦКАГА ГАРЫЗОНТУ І ЛАНСКАГА НАДГАРЫЗОНТУ ПРЫПЯЦКАГА ПРАГІНУ

Д. А. Шенец, А. В. Фурсевіч, Я. А. Напрэенка, Г. А. Ерашэнка

Беларускі навукова-даследчы і праектны інстытут нафты (БелНДПНафта)
вул. Кніжная, 156, 246003, Гомель, Беларусь
E-mail: d.a.shenets@beloil.by

Аб'ектам даследавання з'яўляюцца адклады падсолевай тэрыгеннай тоўшчы (поляцкі гарызон і ланскі надгарызон) Паўночнай і Паўднёвой структурных зон Прыпяцкага прагіну. Па матэрыйлах геофізічных даследаванняў свідравін, лабаратарных даследаванняў керну было выканана дзяленне разрэзу поляцкіх і ланскіх адкладаў на літатыпы. Акрамя таго, быў праведзены аналіз фільтрацыйна-ёмістых уласцівасцей і мінеральнага складу літатыпаў на кернавых даных.

Аналіз вынікаў комплексных геофізічных (ГІС) і мінералагічных даследаванняў, а таксама вызначэння фільтрацыйнай-ёмістых уласцівасцей дазволіў вызначыць наяўнасць у адкладах поляцкага гарызонту і ланскага надгарызонту басноўных літатыпаў, якія адразніваюцца найперш па мінеральным складзе.

Зроблены вынікі аб наяўнасці ў поляцкім гарызонце і ланскім надгарызонце пачкаў парод-калеktараў, якія назіраюцца ў рэгіяльнym маштабе. Наяўнасць розных літатыпаў выявіла неабходнасць пабудовы мінеральнай і петрафізічнай мадэлі як асобных радовішчаў, так і ўсяго Прыпяцкага прагіну на даљшых этапах вывучэння вышэйзгаданых адкладаў.

Ключавыя слова: мінеральны склад, рэнтгенаўская дыфракцыя, літатып, керн, тэрыгенные калектары, фільтрацыйна-ёмістыя ўласцівасці, эфектыўная таўшчына.

STRUCTURAL FEATURES OF SUBSALT TERRIGENOUS DEPOSITS OF THE POLOTSK HORIZON AND LAN SUPERHORIZON OF THE PRIPYAT TROUGH

D. Shenets, A. Fursevich, E. Napreenko, A. Eroshenko

Belarusian Scientific Research and Design Institute of Oil
15b Knizhnaya St, 246003, Gomel, Belarus
E-mail: d.a.shenets@beloil.by

The object of the study is the deposits of the subsalt terrigenous strata (Polotsk horizon and Lan superhorizon) of the Northern and Southern structural zones of the Pripyat trough. Based on the materials of geophysical studies of wells and laboratory core studies, the section of the Polotsk and Lan deposits was divided into lithotypes. In addition, the filtration-capacity properties and mineral composition of the lithotypes were analyzed based on core data.

The analysis of the results of complex geophysical (GIS) and mineralogical studies, as well as the determination of filtration-capacity properties, made it possible to establish the presence of 6 main lithotypes in the sediments of the Polotsk horizon and Lan superhorizon, differing primarily in their mineral composition.

Conclusions are drawn about the presence of reservoir rock packs in the Polotsk horizon and Lan superhorizon, which can be traced on a regional scale. The presence of various lithotypes has revealed the need to build mineral and petrophysical models of both individual deposits and the entire Pripyat trough at further stages of studying the above-mentioned deposits.

Keywords: mineral composition, X-ray diffraction, lithotype, core, terrigenous reservoir, filtration-capacity properties, effective thickness.