ГЕОТЕКТОНИКА, 2023, № 4, с. 82–102

УДК 550.812.1

ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ПРОТЕРОЗОЙСКОГО КОМПЛЕКСА ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

© 2023 г. С. Е. Башкова[1, *], Е. Е. Кожевникова[1], Ю. А. Яковлев[1], Т. В. Карасева[1], А. В. Боталова[1]

[1]Пермский государственный национальный исследовательский университет, д. 15, ул. Букирева, 614068 Пермь, Россия

**e-mail: sbashkova@mail.ru*

Поступила в редакцию 23.04.2023 г.
После доработки 07.06.2023 г.
Принята к публикации 23.06.2023 г.

В статье рассмотрены особенности геологического строения и формирования осадочного протерозойского комплекса. Показано, что верхнедокембрийские отложения на древних платформах имеют большую мощность, сходные условия осадконакопления и характеризуются наличием нефтегазоматеринских толщ с высоким генерационным потенциалом и наличием крупных залежей. Авторами рассмотрены основные тенденции и выявлены закономерности геологического строения рифей–вендского комплекса Европейской части России. Рифей–вендские осадочные отложения широко распространены на Восточно-Европейской платформе и заполняют обширные рифтово-авлакогенные впадины. Наиболее крупными впадинами являются Камско-Бельский прогиб, представляющий собой основную зону рифейского осадконакопления в Волго-Уральской нефтегазоносной провинции (НГП), Вычегодский прогиб в Мезенской синеклизе, Пачелмский и Среднерусский авлакогены в Московской синеклизе. Авторами выполнена математическая обработка материалов по геологическому строению поверхности фундамента и рифей–вендских отложений Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, которая позволила установить статистически значимые связи с древним фундаментом и закономерности в строении осадочных толщ. На территории Европейской части России в рифейских и вендских отложениях установлены промышленные и непромышленные притоки нефти, нефте- и газопроявления разной интенсивности, зафиксированные на различных стратиграфических уровнях.

Ключевые слова: геологическое строение, древние платформы, протерозойские отложения, рифей, венд, Волго-Уральская НГП, Тимано-Печорская НГП, Московская синеклиза, Мезенская синеклиза, нефтегазоносность

DOI: 10.31857/S0016853X23040033, **EDN:** ZXRVMO

ВВЕДЕНИЕ

В пределах Восточно-Европейской платформы в основании осадочного чехла развита сложная система верхнепротерозойских (рифей–вендских) отложений. Они характеризуются широким распространением и признаками, отличающими их от палеозойских осадочных толщ. В течение длительного времени верхнедокембрийские образования считались малоперспективными для поисков в них залежей нефти и газа [31]. Это объяснялось недостаточной биологической продуктивностью древних биосфер и неблагоприятными условиями сохранения скоплений углеводородов в древних осадочных комплексах [31]. Однако были разведаны залежи углеводородов в России на территории Восточной Сибири, а также в Австралии, Китае, Омане и других странах и было доказано, что развитие органической жизни в верхнем протерозое привело к накоплению в осадках огромных масс бактериально-планктонного органического вещества, обладающего значительным генерационным потенциалом [18, 25, 30, 31].

Геологоразведочные работы, которые проводились в последние десятилетия, широкое развитие нефтегазопроявлений в рифей–вендских отложениях, разведанные и разрабатываемые в ряде районов залежи углеводородов указывают на возможность обнаружения скоплений углеводородов, обладающих значительным ресурсным потенциалом.

На территории Европейской части России рифей–вендские осадочные отложения широко распространены в Волго-Уральской, Тимано-Пе-

чорской нефтегазоносных провинциях, Московской и Мезенской синеклизах (рис. 1).

Целью исследования является обобщение и систематизация данных по геологическому строению и нефтегазоносности рифей–вендских отложений в России и мире, изучение закономерностей в строении древних толщ и анализ развития нефтегазоносности в рифейских и вендских отложениях на территории Европейской части России.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

История геологического изучения древнейших частей осадочного чехла, насчитывает более 200 лет, однако геологические исследования в различных странах мира были начаты в только начале XX века. В России начало исследований связано с именем Н.С. Шатского, когда в 1932–1937 гг. на Сибирской платформе на склонах Алданской антеклизы в верхнем протерозое им были обнаружены скопления углеводородов [23, 25].

Промышленная нефтегазоносность верхнедокембрийских отложений доказана в Восточной Сибири открытием в 1962 г. Марковского газоконденсатного месторождения, где из песчаных пластов марковского и парфеновского горизонтов венда получены притоки газа и конденсата.

В Красноярском крае в 1973 г. в пределах Камовского свода Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазонакопления (ЮТЗ) открыто Куюмбо-Юрубчено-Тайгинское месторождение нефти, дебитом 585 т/сут, с геологическими запасами нефти 1–2 млрд т, приуроченное к природному резервуару в докембрийских, в основном средне–верхнерифейских, преимущественно доломитовых кавернозно-карстово-трещинных коллекторах, перекрытых слабоконтрастным венд–нижнепалеозойским чехлом [29].

В Иркутской области в 1987 г. открыто Ковыктинское газоконденсатное месторождение к югу от Непско-Ботуобинской антеклизы с запасами 193 млрд м^3 в песчаниках парфеновского горизонта венда. В настоящее время в Восточной Сибири установлены значительные нефтегазопроявления, открыты и успешно разрабатываются более 30 промышленных скоплений углеводородов. Большая часть открытых месторождений находится на юге Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции в пределах крупной Юрубчено–Тохомской зоны нефтегазонакопления, которая представляет собой крупную антиклинальную ловушку, стратиграфически экранированную, разбитую на ряд блоков, осложненную дизъюнктивными и литологическими боковыми экранами.

Диапазон оценок запасов в зависимости от категорийности (степени разведанности) колеблется от 400 млн т до 1.5 млрд т нефти и газа (в нефтяном эквиваленте). Залежи приурочены к карбонатам верхней эродированной части рифея, внутририфейским трещинным коллекторам и терригенно-карбонатным горизонтам венда в зонах их повышенных фильтрационно-емкостных свойств [29].

Этаж нефтегазоносности верхней части рифейского комплекса 135–250 м. Нефти рифейских отложений преимущественно легкие плотностью от 0.815 г/см^3 до 0.850 г/см^3, малосернистые, парафинистые (до 2%), смолистые (до 4–10%). Источником нефти являются углеродистые толщи в рифее, представленные глинисто-карбонатными и глинисто-тонкослоистыми отложениями, сформировавшимися в условиях глубокого шельфа. Содержание Сорг в известняках составляют в среднем 0.5–0.7%, в черных аргиллитах увеличиваются до 2%. В обнажениях Енисейского кряжа в отдельных пачках тонкослоистых аргиллитов и глинисто-карбонатных пород содержание Сорг достигает 8–15% [6].

Анализ зарубежного опыта геологоразведочных работ по освоению древних толщ докембрийских платформ мира в целом подтверждают экспертные оценки исследователей, которые полагают, что эпикратонные осадочные бассейны древних платформ включают не менее 200 млрд т ресурсов углеводородов, причем каждый четвертый бассейн имеет свое скопление-гигант, связанное именно с рифтогенными структурами [25]. Таким примером служит Юрубчено–Тохомская зона нефтегазонакопления.

Зарубежные публикации акцентируют внимание на проблемах строения протерозойских образований, развития надвиговых дислокаций и нефтегазоносности в различных регионах мира, включая страны Азии, Америку и Австралию [49–52].

На древней Аравийской платформе в Пакистане на месторождении Джойя-Мейр ведется добыча нефти из песчаников кембрия–верхнего протерозоя. В Омане разрабатывается около 20-ти месторождений нефти, приуроченных к ловушкам облекания эрозионной поверхности осадочного докембрия (группа Хуф) [56]. На древней Китайско-Корейской платформе месторождения нефти разведаны в вулканогенно-осадочных образованиях протерозоя.

В Сычуанском бассейне в отложениях синия открыты крупные газовые месторождения (Вэйвен, Выюанское) [53, 54]. На древней Австралийской платформе в протерозойских отложениях сравнительно неглубоких внутрикратонных бассейнов Мак-Артур и Амадиес выявлены газовые месторождения промышленного значения с залежами на глубинах до 1.5 км [55].

В бассейне Мак-Артур в скв. Джемиссон-1, пробуренной в начале 1990–х гг., получен приток нефти из отложений рифея. Нефтеносный песча-

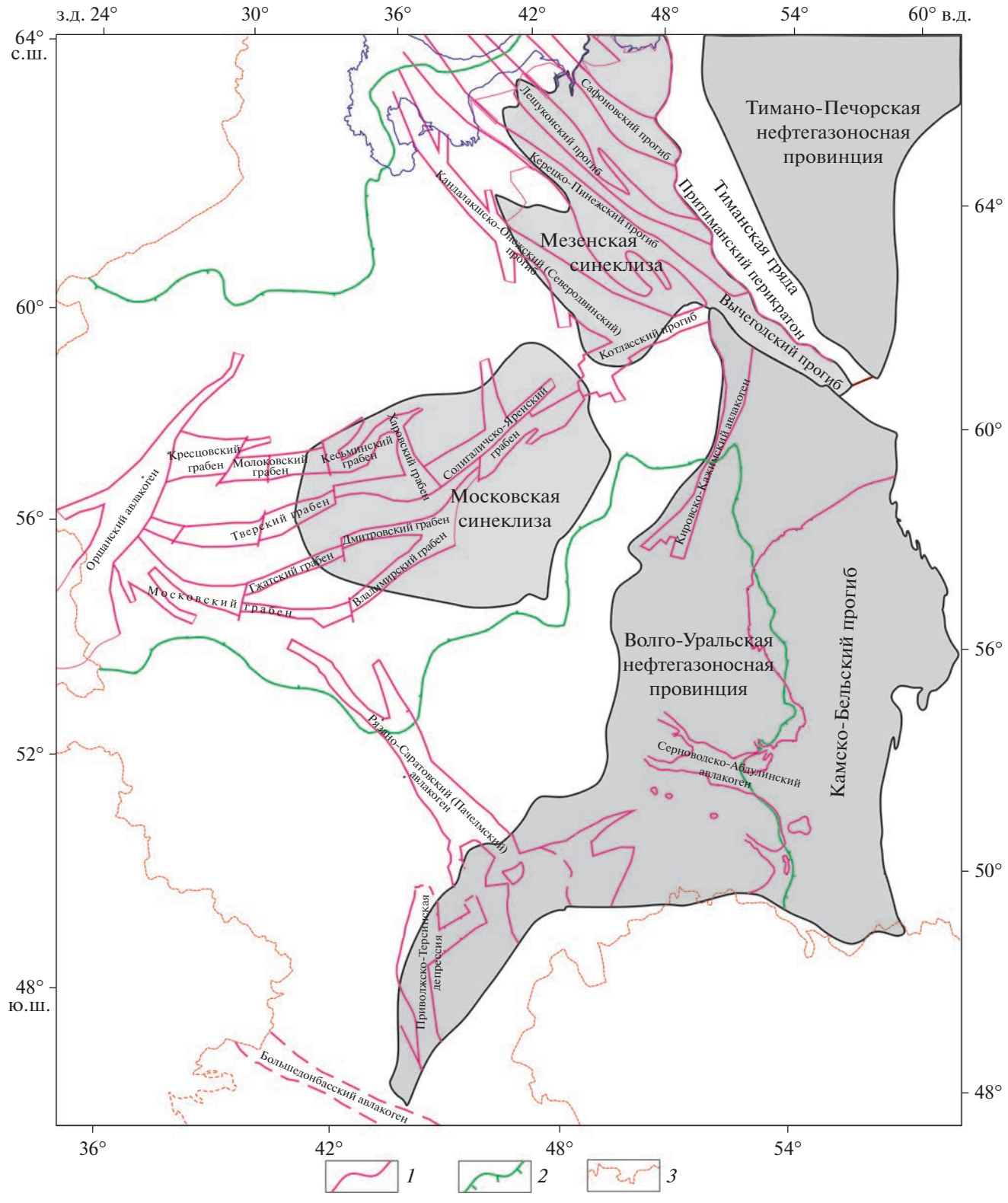


Рис. 1. Структурная карта распространения рифей–вендских отложений осадочного чехла Восточно-Европейской платформы в Европейской части России (по данным [4, 8, 9, 11, 12, 14, 18, 20, 22, 24, 35, 37], с изменениями и дополнениями).
1–2 – границы: *1* – рифейских прогибов (авлакогенов), *2* – развития вендских отложений; *3* – государственная граница

ник Джемиссон-1 вскрыт в интервале 871–969 м. По возрасту вмещающего коллектора (около 1400 млн лет) это древнейшая нефть на Земле [30].

На Южно-Американской платформе в бассейне Сан-Франциско в отложениях венда (группа Бамбуи) в ряде скважин были зафиксированы газопроявления. В одной из них был получен приток метанового газа дебитом свыше 50 тыс $м^3$/сут. В Бразилии, в штате Гойя, известны признаки газа в мощных толщах (~200 м) известняков, разделенных глинами [55].

Примеры открытых и успешно разрабатываемых залежей углеводородов в древних отложениях доказывают, что вопросы изучения нефтегазоносности древнейших на Земном шаре докембрийских осадочных образований остаются актуальными.

Вместе с тем, несмотря на интенсивные поиски залежей нефти и газа в докембрийских образованиях, оценка их истинного углеводородного потенциала связана с объективными трудностями: сложность современного строения, обусловленная исключительно длительной геологической историей формирования и развития протерозойских бассейнов седиментации, условия образования и сохранности промышленных скоплений углеводородов в древних толщах. Верхнедокембрийские отложения на огромных территориях древних платформ имеют большую (несколько тысяч метров) мощность и сходные условия осадконакопления в рифее–венде. Формирование их происходило в условиях интенсивного прогибания седиментационных бассейнов и сопровождалось в ряде районов интенсивной интрузивной и вулканической деятельностью [1, 34, 44].

Древние платформы характеризуются в основном трехъярусным строением, которое отражает основные этапы их развития: кратонный, авлакогенный и собственно платформенный, в результате которых формировались характерные структурно-формационные мегакомплексы пород [4, 26, 31, 41]. Нижний мегакомплекс (кристаллический фундамент), образовавшийся в период геосинклинальной предыстории, образован магматическими и метаморфическими породами.

Промежуточный мегакомплекс, сформированный на авлакогенной стадии тектонического развития, связан с образованием рифтовых структур, авлакогенов, грабенов, заполненных осадочными плотными слабометаморфизованными и неметаморфизованными глинисто-песчанистыми и карбонатными отложениями большой мощности.

Осадочный чехол, образованный в платформенный этап развития, формируется в несколько стадий, первой из которой является синеклизная. Осадконакопление происходит с меньшими скоростями, распространяется на большие площади и формирует пологие, близкие к изометричным структуры. Рифейские отложения образованы в авлакогенный этап развития, вендские породы сформированы в начальную (синеклизную) стадию платформенного этапа развития.

Геолого-геохимические и палеонтологические исследования древнейших докембрийских осадочных пород на древних платформах мира показали, что эти породы содержат значительные количества остатков жизнедеятельности представителей бактериальных и растительных организмов, которые могли быть источниками органического вещества.

Значительные количества органического вещества (ОВ) встречаются не только в неметаморфизованных образованиях позднего докембрия, но и в породах раннего докембрия. Известно, что перспективы нефтегазоносности любых отложений в значительной мере определяются степенью зрелости органического вещества пород и генерационного потенциала нефтегазоматеринских толщ. Данное обстоятельство крайне важно и для докембрийских образований древних платформ.

Наиболее полно эти породы изучены в Северной Америке и Австралии. Геохимия материнских толщ Южной Америки, Африки, Азии, Ближнего и Среднего Востока, Западной и Восточной Европы освещена значительно слабее [31, 52, 53, 56].

В нашем исследовании обобщены некоторые геолого-геохимические параметры материнских толщ докембрия, изученных в пределах основных перспективных осадочных бассейнов большинства древних платформ мира (табл. 1).

ВЕРХНЕПРОТЕРОЗОЙСКИЕ ОТЛОЖЕНИЯ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА

Для Европейской части России история геологического изучения древнейших частей осадочного чехла реально началась в 1940-х гг., когда глубокими разведочными и поисковыми скважинами под девонскими терригенными отложениями стали вскрываться литологически отличающиеся от палеозоя толщи зелено-красноцветных глинисто-алевролитовых и песчаниковых образований, реже доломитовых серо-цветных пород.

В начале 1960-х гг. за этими отложениями закрепились названия – рифейские и вендские отложения [42]. В эти же годы комплексные методы исследования органических остатков пород (биостратиграфические, литолого-фациальные, историко-геологические) позволили создать унифицированные стратиграфические схемы древних отложений платформ [26, 41].

Однако вопросы установления объема, номенклатуры возрастных подразделений докембрийских образований, определения границы между докембрием и ранним палеозоем однозначной

Таблица 1. Общая характеристика нефтегазоматеринских пород докембрийских толщ.

Страна	Нефтегазоносный бассейн, регион	Возраст	Группа, серия, свита, формация, комплекс, слои	Литологический состав	Мощность докембрийских толщ, м	Содержание Сорг, %	Генерационный потенциал ОВ, $S_2 + S_2$, кг/т
Польша	Центрально-Европейский (Львовско-Люблинская впадина)	V	Волынская, валдайская, полесская серия	Алевролиты, аргиллиты	–	0.15–0.17 До 0.5	–
Канада	Западно-Канадский (провинция Британская Колумбия)	PR_3	Группа Виндермер, формация Алтин	Аргиллиты Пластинчатые	До 3000	0.4–4.0	От низкого До высокого
	Мелвилл (о. Виктория)	R_1	Формация Перри Бей	Доломиты глинистые	До 4500	1.6–6.2	–
	Северо-Западный	R_1	Формация Маунт Кап	Глины, известняки	–	0.4–1.4	От низкого до среднего
США	Бассейны Белт, Уинта, Апачи, Бассейн Скалистых гор	PR_3	Серия Окои, группа Вальден Крик, Формация Уилхайл	Аргиллиты	360	3.0–27.9	До очень высокого
		PR_3	Группа Чуар	Глинистые сланцы битуминозные	1637	До 5	От среднего до высокого
Бразилия	Регион Альто-Паранаиба	R_3–V	Группа Бамбуи	Глины битуминозные, алевролиты, известняки строматолитовые	900–1500	–	–
Австралия	Офиссер	PR_3	Слои Браун Таунсенд	Глинистые сланцы	329	До 3.4	Высокий
	Мак Артур, Уизо, Дейли Ривер	PR_3	Группа Ропер, Формация Маклинн	Глины	–	0.7–9.2	–
		PR	Формация Кобанбирини, слои Линсен Крик, Формация Велкерри	Глинистые сланцы	–	1.47–4.21 До 8.0	Высокий, до 40
Оман	Бассейн Персидского залива	PR_3	Группа Хуф: Формация Буах Формация Хуфан	Глинистые известняки, мергели, доломиты	До 600 До 390	2.2–6.2	От среднего до высокого
Иран	Пенджабский	PR_3	Серия Ормуз, фациальный аналог группы Хуф и соленосной свиты Пенджабского бассейна	Терригенно-карбонатно-соленосная толща	До 1000	5.0–7.0	–
Пакистан	Пенджабский	PR_3	Формация Соляной Кряж соленосной пенджабской свиты	Битуминозные сланцы с прослойками доломитов	50	5.0–7.0	–
ЮАР	Конголезский	PR_3	Формация Линде	Известняки	–	До 1.4	–
Китай	Сычуаньский	PR_3	Комплекс “синий”, серия Яньцзинхэ	Известняки кремнистые	1200	–	–

трактовки не имели. Это порождало различную корреляцию древних отложений и затрудняло расшифровку истории геологического развития платформ на ранних этапах. В течение длительного времени (больше 50 лет) происходило уточнение и дополнение стратиграфических схем додевонских отложений. Нижний рубеж жизни протерозойских отложений установлен на уровне 2.5 млрд лет, причем степень распространения свободного биогенного углерода в различных осадочных породах докембрия сопоставима со степенью его распространения в осадочных толщах фанерозоя [15, 16, 40].

По изотопно-геохронологическим данным и их привязки к хроностратиграфической шкале рифея, венда и нижнего кембрия наилучшим приближением к значению изотопного возраста нижней границы верхнего рифея является 1030 ± ± 50 млн лет и нижние границы венда и кембрия следует оценивать в 600 ± 10 и 531 ± 1 млн лет соответственно, изотопный возраст нижних границ нижнего и среднего рифея оценивается в 1650 ± 50 и 1350 ± 20 млн лет [3, 39].

На севере Восточно-Европейской платформы в Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (НГП) верхнепротерозойский комплекс изучен исключительно слабо, представлен в различной степени метаморфизованными и вулканогенно-осадочными породами, преимущественно вскрыт скважинами на южном Тимане и выходит в ядрах приподнятых блоков Тиманского кряжа.

В Волго-Уральской НГП рифей–вендские осадочные отложения, выполняющие обширные рифтово-авлакогенные впадины, вскрыты большим количеством глубоких скважин (более 2000), что, однако, не обеспечивает равномерную изученность региона, как в плане, так и в разрезе [11]. Особенно это касается рифейских пород из-за относительно большой глубины их залегания и мощности. Двенадцать скважин, расположенных в разных частях области развития осадочного докембрия, вскрыли разрез на глубину ≥5 км [9]:

– Сарапульская–1П (5503 м) в Удмуртии;

– Восточно-Аскинская-1 (5005 м), Аслы-Куль-4 (5005 м), Шкаповская-740 (5012 м), Орьебашская-82 (5013 м), Орьебашская-83 (5017 м), Бурангуловская–4 (5058 м), Кулгунинская-1 (5154 м), Леузинская-1 (5188 м), Кипчакская-1 (5507 м), Кабаковская-62 (5521 м) в Башкортостане;

– Аракаевская-1 (5207 м) в Свердловской области.

Однако ни одна из скважин не вскрыла полностью рифей [8]. Региональные геофизические работы на древние отложения выполняются, как правило, в небольшом объеме и в большей степени попутно с исследованиями палеозойских толщ. За последние 20–30 лет проведены в незначительном объеме зонально-региональные работы на небольших территориях (Бедряжская площадь, Кубиязинская площадь – скв. Восточно-Аскинская-1 и др.).

Обширная и достаточно глубокая Московско-Мезенская зона прогибания характеризуется еще более низкой геолого-геофизической изученностью допалеозойских отложений. Мезенская синеклиза на северо-востоке Восточно-Европейской платформы площадью около 300 тыс км^2 и объемом осадочного выполнения более 1 млн км^3, долгое время оценивалась как малоперспективная в нефтегазоносном отношении. Из пробуренных на этой территории 16-ти глубоких скважин, только 5 скажин вскрыли рифей более 100 м, а 3 скважины – больше 1 км. Наиболее глубокие параметрические скважины Средненяфтинская-21 (Азопольский прогиб) глубиной более 4 км вскрыла мощный разрез верхневендских (1094 м) и верхнерифейских образований (2373 м), скважина Кельтменская-1 (Вычегодский прогиб) глубиной 4910 м вскрыла около 2 км верхнерифейского разреза с обильными строматолитами (сафоновская серия).

Большинство скважин, вскрывшие вендские и рифейские отложения приурочены к Вычегодскому прогибу (Аныбская, Мулукская, Сереговская, Сторожевская, Кельтменская площади). Московская синеклиза – обширная отрицательная структура изометричной формы, площадью около 450 тыс км^2 и объемом осадочного выполнения более 0.8 млн км^3 относится к области перикратонных прогибов на территории Восточно-Европейской платформы.

В целом, уровень изученности территории геолого-геофизическими методами и бурением (3640 км^2/скв.) крайне низкий, при этом большинство скважин вскрыли отложения венда или рифея на небольших глубинах. Скважины сосредоточены, как правило, группами на отдельных площадях и не формируют опорной региональной сети. Отложения нижнего и верхнего венда развиты на всей территории Московской синеклизы. Рифейские отложения выполняют древние Пачелмский и Среднерусский авлакогены, участвующие в строении синеклизы [37].

НЕФТЕГАЗОНОСНЫЕ ПРОВИНЦИИ (НГП) ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Тимано-Печорская НГП

На территории Тимано-Печорская НГП верхнепротерозойские отложения представлены мощным комплексом в различной степени метаморфизованных осадочных, в меньшей степени вулканогенно-осадочных пород, выходящих на поверхность в ядрах поднятых блоков Тимана, а также вскрытых скважинами на Тимане, в Ижма-Печорской синеклизе. Тиманский кряж пред-

ставляет собой ряд кулисообразно расположенных сильно эродированных крупных поднятий северо-западного простирания, осложненных флексурами и дизъюнктивами и разделенных депрессиями. В ее пределах по поверхности фундамента выделяется три структуры первого порядка: Канино-Северотиманский, Четласско-Цилемский и Восточно-Тиманский мегавалы [10]. Положение верхнепротерозойского комплекса осадков в структуре Тимано-Печорского региона до сих пор является дискуссионным [21, 22].

Мнение геологов разделилось – некоторые геологи считают верхнепротерозойский комплекс геосинклинальными образованиями в составе складчатого фундамента плиты [18, 21, 22], другие геологи относят верхнепротерозойский комплекс к нижней части платформенного чехла [12, 27].

При этом в качестве эталона исследователями были взяты слабоизмененные и слабодислоцированные рифейские породы Четласского Камня, облик и формационный состав которых затем распространялся на всю территорию Печорской плиты [20].

По материалам аналитических исследований структуры, метаморфизма и формационного состава верхнедокембрийских толщ Печорской плиты и сопредельных территорий выявлено, что переход от типично платформенных рифей–вендских образований Восточно-Европейской платформы к породам подвижного пояса является постепенным и прослеживается в зоне Притиманского перикратонного опускания [20].

Волго-Уральская НГП

Рифей–вендские отложения в Волго-Уральской НГП представляют собой наиболее древние и самые нижние толщи осадочного чехла, залегающие непосредственно на эпикарельском кристаллическом фундаменте, который определяет основные черты строения рифейских и, в меньшей степени, вендских пород.

В составе верхнедокембрийских отложений Волго-Уральской НГП выделяется два самостоятельных структурных этажа: рифейский, сформированный в авлакогенный этап развития, и вендский, сформированный в начальную (синеклизную) стадию платформенного этапа на востоке Русской плиты [4]. Крупными рифейскими структурами являются Камско-Бельский, Серноводско-Абдулинский и Кажимский (Кировско-Кажимский) прогибы (рис. 2).

Доминирующее положение как по площади развития и мощности рифейских отложений, так и по значению при оценке нефтегазоносности территории занимает Камско-Бельский прогиб.

Впервые авлакоген (прогиб) был выделен Э.Э Фотиади в1958 г. [4], в последующие годы многими геологами были выявлены и исследованы особенности его строения [4, 37].

Бельская (южная) впадина развивалась как отрицательная структура на протяжении всего рифейского времени, на что указывает наличие в разрезе всех комплексов рифея и его большая суммарная мощность, достигающая 10 км и более. В Камской впадине рифей представлен в основном нижним комплексом и только в его южную часть вклиниваются отложения среднего рифея мощностью, не превышающей несколько сот метров.

Орьебаш-Чернушинская зона характеризуется также неполным разрезом рифея, в котором отсутствует верхний, и частично или полностью средний рифей. Серноводско-Абдулинский прогиб в зоне слияния с Камско-Бельским прогибом характеризуется полным разрезом рифея, мощностью до 3–5 км. В Кажимском прогибе рифейские отложения представлены кажимской свитой, мощностью не более 500 м.

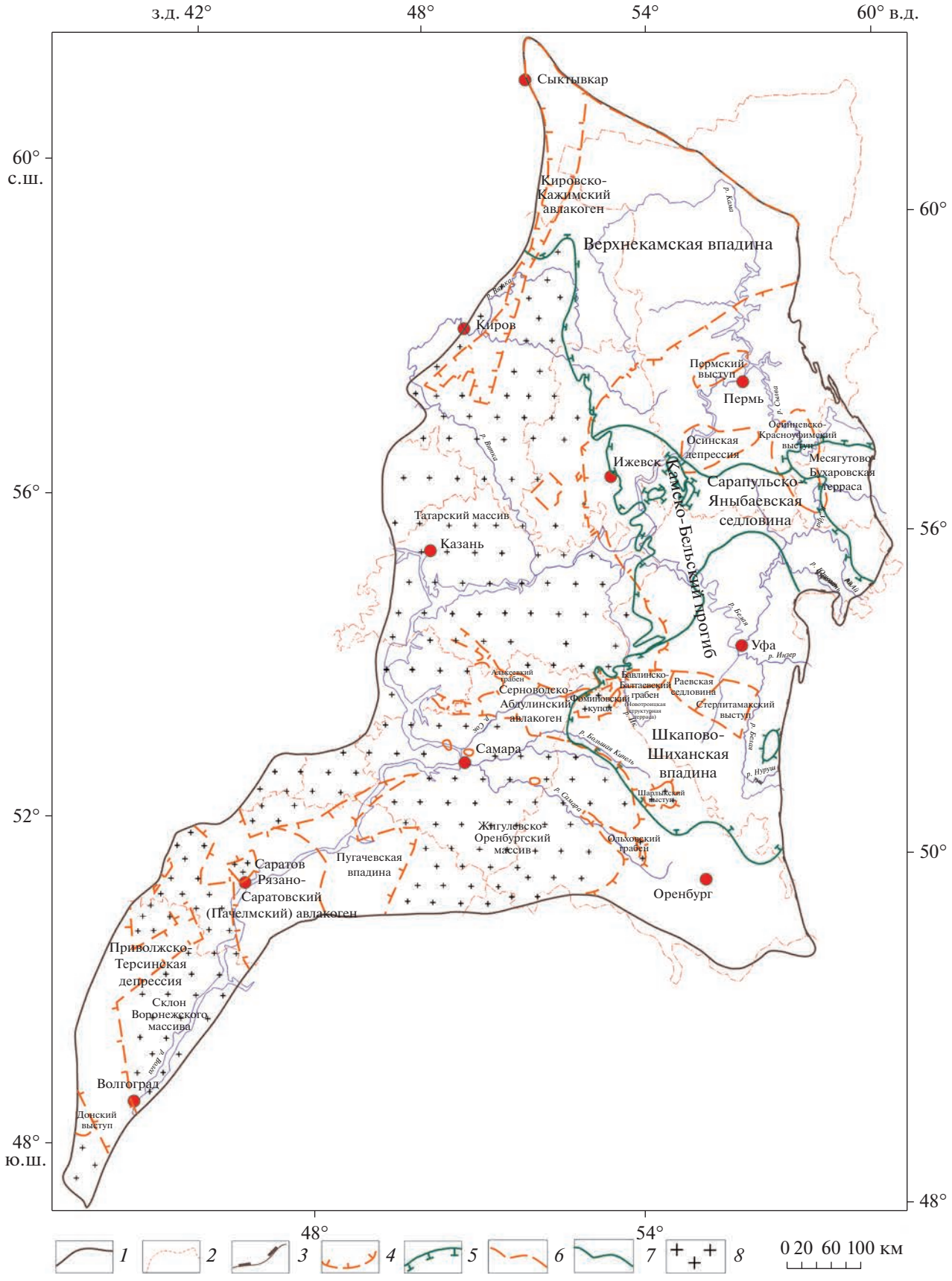
Вендский структурный этаж представлен в основном верхним вендом. Нижневендские отложения имеют весьма ограниченное распространение. К нижнему венду относятся отложения усть-чурочинской (скважины Гадьинского, Ныробского, Остяцкого профилей), чурочинской и ильявожской свит Полюдовского района.

Кроме того, в стратиграфической схеме выделяется веслянская свита, которая выделяется только в одном разрезе (скв. 18 Усть-Черная, инт. 1715–1800 м) [39]. По корреляции с другими разрезами этот интервал соответствует нижней части бородулинской серии верхнего венда.

На востоке Русской плиты область развития венда ориентирована субмеридиональна. В Верхнекамской впадине, в ее северной части отложения верхнего венда залегают непосредственно на кристаллическом фундаменте, в южной части – на нижнерифейском основании.

В южной, Шкапово-Шиханской впадине, верхневендские отложения развиты на рифейском основании, причем с северо-запада на юго-

Рис. 2. Тектоническая карта рифей–вендских отложений Волго-Уральской нефтегазоносной провинции (НГП), (по данным [4, 8, 9, 24], с дополнениями).
1 – граница Волго-Уральской нефтегазоносной провинции; *2* – административные границы областей и республик; *3* – западная граница складчатого Урала; *4–5* – границы развития отложений: *4* – рифейских, *5* – вендских; *6–7* – границы тектонических структур: *6* – рифей, *7* – венд; *8* – зоны отсутствия рифейско–вендских отложений


з.д. 42°
48°
54°
60° в.д.
60° с.ш.
56°
52°
48° ю.ш.
Сыктывкар
Кировско-Кажимский авлакоген
Верхнекамская впадина
Киров
Пермский выступ
Пермь
Осинцевско-Красноуфимский выступ
Осинская депрессия
Ижевск
Месягутово-Бухаровская терраса
Сарапульско-Яныбаевская седловина
Камско-Бельский прогиб
Татарский массив
Казань
Уфа
Серноводско-Абдулинский авлакоген
Фоминский купол
Раевская седловина
Стерлитамакский выступ
Шкапово-Шиханская впадина
Самара
Шарлыкский выступ
Жигулевско-Оренбургский массив
Ольховский грабен
Пугачевская впадина
Саратов
Рязано-Саратовский (Пачелмский) авлакоген
Оренбург
Приволжско-Терсинская депрессия
Склон Воронежского массива
Волгоград
Донской выступ
0 20 60 100 км
1
2
3
4
5
6
7
8

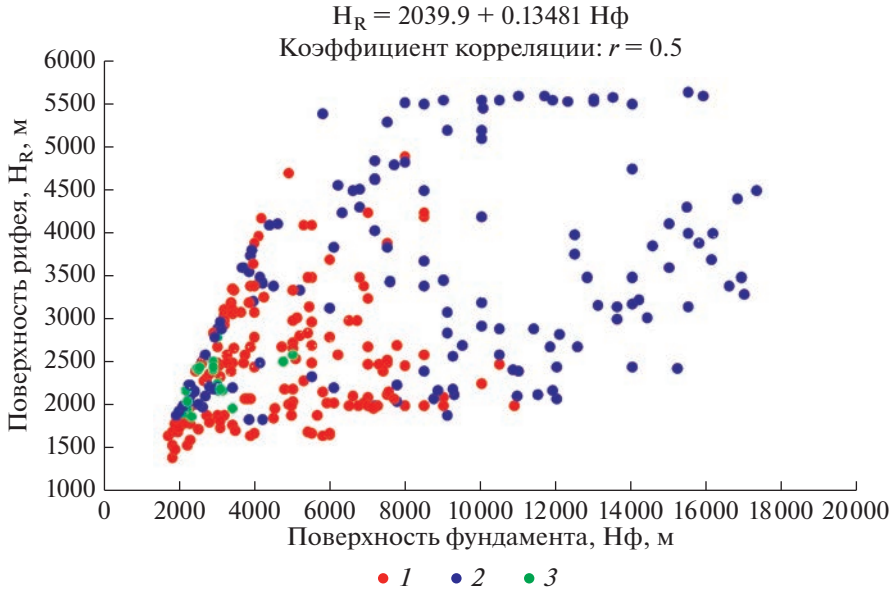


Рис. 3. Корреляционная зависимость между глубиной залегания поверхности рифейских отложений и фундамента в Камско-Бельском и Серноводско-Абдулинском авлакогенах.
1–2 – Камско-Бельский прогиб: *1* – Камская часть, *2* – Бельская часть; *3* – Серноводско-Абдулинский авлакоген

восток вендские отложения подстилаются все более молодыми рифейскими толщами. В обеих впадинах максимальные значения мощности венда составляют от 1.5–1.8 до 2.5 км.

В Сарапульско-Красноуфимской седловине, выделенной по венду как субширотная положительная структура и охватывающая южные районы Пермского края и северные Башкортостана, характеризуется сокращением общей мощности вендских отложений и отсутствием в разрезе верхней – шкаповской (кудымкарской) серии. Верхнепротерозойские осадочные образования на востоке Русской плиты в районах их максимального развития достигают мощности (по геофизическим данным) 12–13 км, т.е. в три раза превышая суммарную мощность фанерозоя.

Рифейские комплексы представляют собой ряды последовательно чередующихся красноцветных и сероцветных терригенных, терригенно-карбонатных и карбонатных толщ, прорываемых на рубежах крупных циклов гипаббиссальными образованиями основного и ультраосновного состава. Вендские отложения слагаются почти исключительно терригенными породами, среди которых на определенных стратиграфических уровнях прослеживаются прослои вулканогенных и вулканогенно-осадочных образований.

Для выяснения закономерностей в строении древних отложений авторами использована статистическая обработка основных графических материалов по развитию поверхностей рифея, венда, фундамента для зон развития рифейской и вендской системы прогибов и впадин Волго-Уральской НГП, полученных как по данным бурения, так и по геофизическим исследованиям. Несмотря на то, что поверхность рифея была размыта на разную глубину, для зон развития основных рифейских прогибов Волго-Уральской НГП установлена корреляционная связь между строением рифейской поверхности и фундамента в авлакогенах региона (r = 0.5) (рис. 3).

В некоторых частях развития рифейских отложений в Камско-Бельском прогибе выделяются области, где при одинаковой глубине фундамента, глубина залегания кровли рифейских отложений различная. При погружении фундамента до 9–10 км и более, мощность рифейских отложений меняется от 5–10 до 8–14 км. Выделенные области совпадают с отдельными глубокими впадинами (Осинская, Сарапульская и др.), восточной частью прогиба и прилегающим территориям Предуральского прогиба.

Подобные различия, вероятно, связаны с тектонической активизацией в прикамское и арланское время, постоянными подъемами территории при смене тектоно-седиментационных циклов, более интенсивным размывом в районах Камской впадины. Не исключается также субъективный подход при интерпретации геофизических данных в малоизученных районах прогиба. Для территории Кировско-Кажимского авлакогена связь между глубинами поверхности рифея и фундамента не выявлена. Это связано с недостаточным количеством фактических данных о границах и строении, особенно, северной части

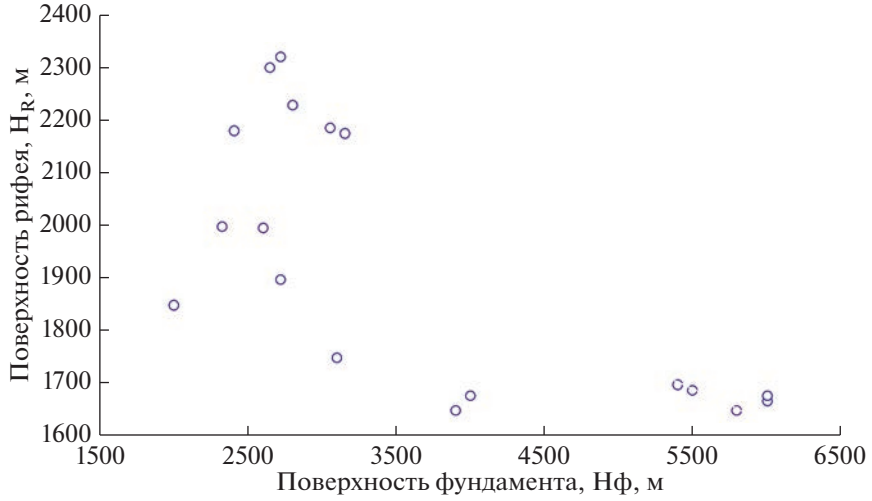


Рис. 4. Корреляционная зависимость между глубиной залегания поверхности рифейских отложений и фундамента в Кировско-Кажимском авлакогене.

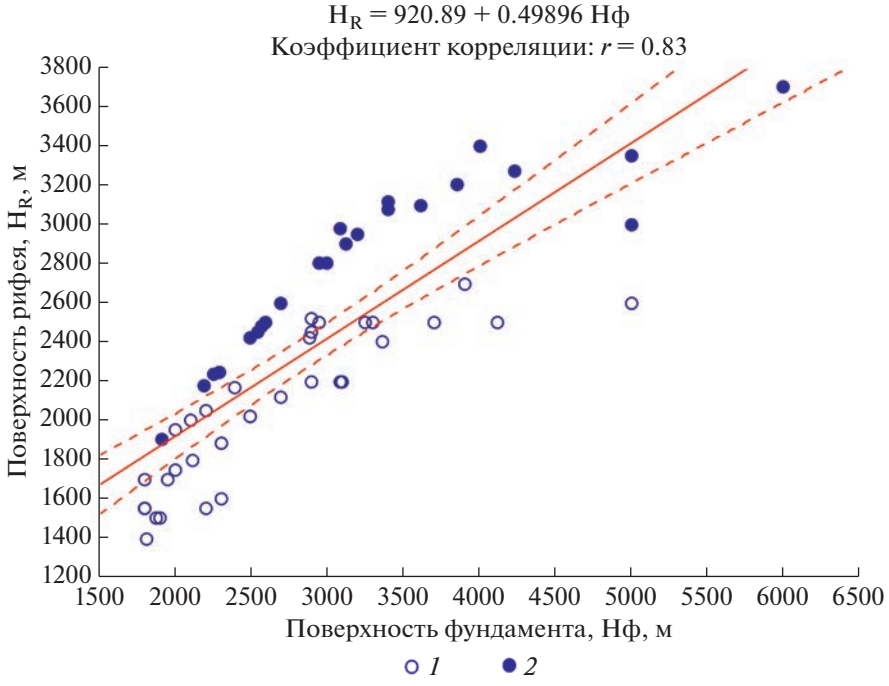


Рис. 5. Корреляционная зависимость между глубиной залегания поверхности рифейских отложений и фундамента в Рязано-Саратовском и Доно-Медведицком авлакогенах.
1–2 – авлакоген: *1* – Рязано-Саратовский, *2* – Дон-Медведицкий

авлакогена (район скважин Лопыдино–1, Сысола–1 и др.) (рис. 4).

Для юго-западных районов провинции (Рязано-Саратовский и Доно-Медведицкий авлакогены), напротив, отмечается, высоко корреляционная зависимость между глубинами залегания рифейских отложений и фундамента (r = 0.83), вследствие неглубокого залегания фундамента и небольшой мощности рифейских отложений (рис. 5).

Изучение вендской поверхности показало определенную тенденцию, как и в рифее, между глубинами поверхностей вендских отложений и фундамента (r = 0.42) (рис. 6).

Тектонические движения, происходившие !→ во время после венда время←? привели к общему их

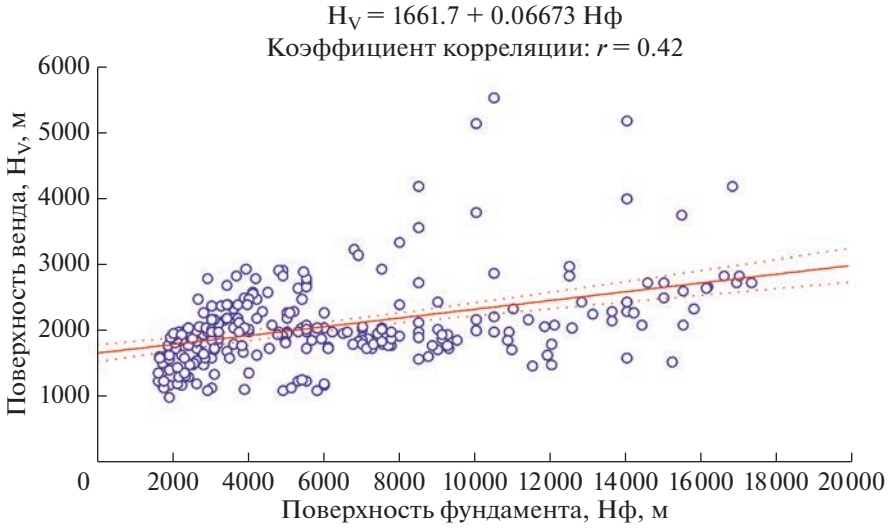


Рис. 6. Корреляционная зависимость между глубиной залегания поверхности вендских отложений и фундамента Волго-Уральской НГП.

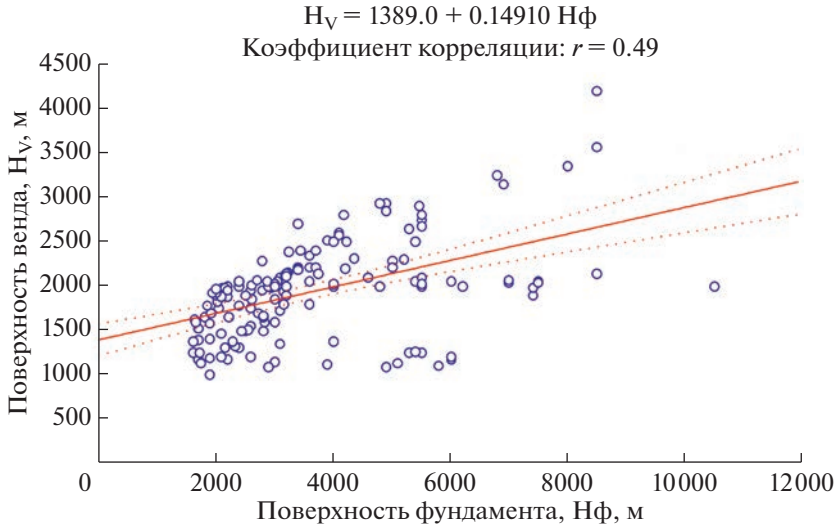


Рис. 7. Корреляционная зависимость между глубиной залегания поверхности вендских отложений и фундамента для Верхнекамской впадины.

наклону в восточном направлении в сторону Предуральского прогиба. При дифференцированном рассмотрении установлено, что для районов Верхнекамской впадины предполагается зависимость между глубинами залегания венда и фундамента (r = 0.49). При этом на графике условно выделяются две области точек, где поверхность фундамента залегает до 4 и более 4 км, которые связаны с различным положением вендских отложений относительно фундамента в пределах впадины, где в северной части породы венда лежат на фундаменте, а в южной части – на нижнерифейском основании (рис. 7).

В отличие от Верхнекамской, в Шкапово–Шиханской впадине и Сарапульско–Яныбаевской седловине практически отсутствует связь между вендом и фундаментом, вследствие, вероятно, мощной толщи рифейских пород в Шкапово-Шиханской впадине и сокращенной мощности как вендских, так и рифейских отложений в Сарапульско-Яныбаевской седловине (рис. 8, рис. 9).

При этом для внутренней зоны основных рифейских прогибов установлена очень хорошая связь между глубинами поверхностей венда и рифея (r = 0.86) (рис. 10).

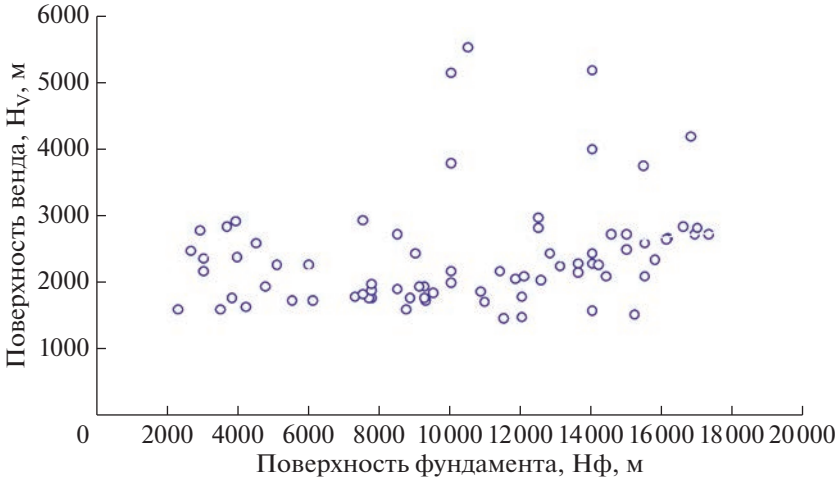


Рис. 8. Корреляционная зависимость между глубиной залегания поверхности вендских отложений и фундамента для Шкапово-Шиханской впадины.

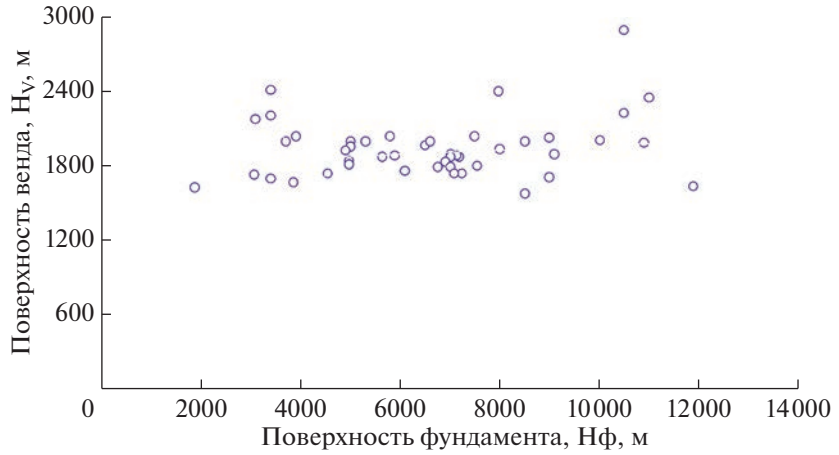


Рис. 9. Корреляционная зависимость между глубиной залегания поверхности вендских отложений и фундамента для Сарапульско-Яныбаевской седловины.

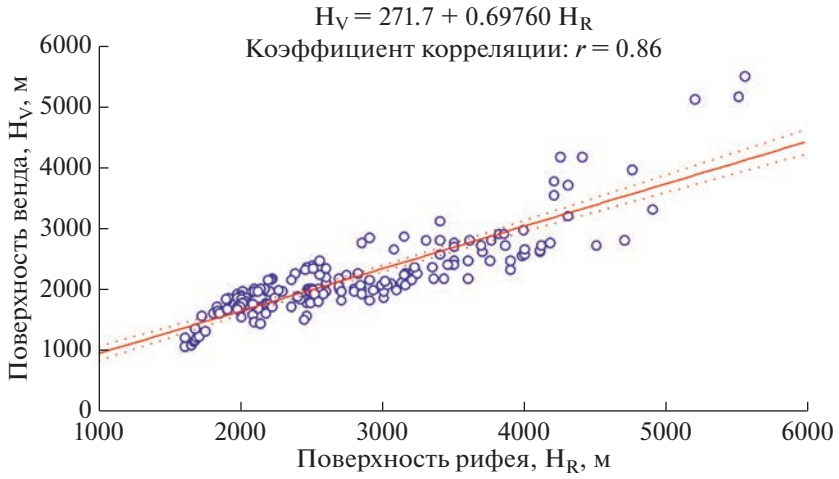


Рис. 10. Корреляционная зависимость между глубиной залегания поверхности вендских и рифейских отложений Волго-Уральской НГП.

Зависимость между опорными горизонтами рифея и венда с очень высокой достоверностью позволяет проводить прогнозирование положение поверхности рифея при вскрытии поверхности венда. В то же время наличие такой связи опровергает широкий размыв на всей территории рифейской и вендской поверхностей (до 1000 и более м).

В разрезе верхнего протерозоя Волго-Урала выделяются отложения нижнего, среднего и верхнего рифея. Нижний рифей представлен кырпинской серией, в составе которой выделяются (снизу вверх) сарапульская, прикамская, калтасинская, надеждинская и кабаковская свиты. Сарапульская свита вскрытой мощностью около 2000 м сложена в нижней половине переслаиванием алевролитов, песчаников, с подчиненными прослоями аргиллитов, в верхней половине – доломитов. Прикамская свита в составе петнурской, норкинской, ротковской и минаевской подсвит общей вскрытой мощностью более 2500 м представлены в основном полевошпатово-кварцевыми и аркозовыми песчаниками, алевролитами, с подчиненными прослоями аргиллитов, конгломератов, гравелитов, доломитов. В составе калтасинской свиты (вскрытая мощность около 3000 м) выделяются (снизу-вверх) саузовская карбонатная, арланская терригенно-карбонатная и ашитская карбонатная подсвиты. Кабаковская свита сложена доломитами, аргиллитами, реже алевролитами и песчаниками.

Средний рифей рассматривался в объеме серафимовской серии, в составе которой выделяются тукаевская (гожанская), ольховская и усинская свиты [3]. Максимальная вскрытая мощность среднерифейских отложений около 500 м. Тукаевская свита сложена полевошпат-кварцевыми песчаниками, алевролитами, реже аргиллитами. Ольховская свита представлена аргиллитами, мергелями с подчиненными прослоями алевролитов и песчаников. Для пород тукаевской и ольховской свит характерно присутствие интрузий габбро-диабазов и долеритов. Усинская свита состоит в основном из песчаников с подчиненными прослоями глин и алевролитов.

Верхний рифей [3] (максимальная вскрытая мощность около 1300 м) представлен абдулинской серией в составе леонидовской (песчаники с прослоями алевролитов и аргиллитов), приютовской (неравномерное чередование аргиллитов, алевролитов, глинистых доломитов с редкими прослоями песчаников) и шиханской (известняки и доломиты с прослоями аргиллитов) свит. Нижневендские отложения выделяются на севере Волго–Урала (Ныробский, Полюдовский районы) в составе усть-чурочинской, чурочинской и ильявожской свит и сложены кварцевыми песчаниками, рассланцованными аргиллитами, туфопесчаниками. Верхневендские отложения расчленены в Верхнекамской впадине на бородулинскую (кыквинская и верещагинская свиты) и кудымкарскую (велвинская и краснокамская свиты) серии, которые корреллируются с каировской (байкибашевская и старопетровская свиты) и шкаповской (салиховская и карлинская свиты) сериями в Шкапово-Шиханской впадине [3]. В обеих впадинах максимальные значения мощности венда достигают 2500 м. Вендские отложения сложены исключительно терригенными породами ,среди которых на определенных стратиграфических уровнях прослеживаются прослои вулканогенных и вулканогенно-осадочных образований.

Литологическими исследованиями установлено значительное развитие в разрезе рифея и венда песчано-алевролитовых пород мощностью от десятков до сотен метров. Коллекторские свойства этих пород преимущественно низкие. Породы с удовлетворительными и повышенными коллекторскими свойствами выявлены в нижнем рифее в терригенных (прикамская свита, пористость до 22.7%, проницаемость до 0.63 мкм^2) и терригенно-карбонатных толщах (калтасинская свита), среднем рифее (тукаевская, пористость до 18–20%, проницаемость до 0.46 мкм^2, усинская свиты), верхнем рифее (леонидовская, приютовская свиты). Песчаники с повышенными коллекторскими свойствами связаны, вероятно, с зонами развития трещиноватости [7, 33]. Возможные скопления в карбонатных породах связываются с кавернозностью и трещиноватостью доломитов. Верхневендские отложения содержат пачки, пласты и толщи песчано-алевролитовых пород с хорошими и удовлетворительными коллекторами (пористость до 24%, проницаемость до 0.245 мкм^2), которые чередуются с пачками и толщами плотных алевролито-глинистых пород [2, 4].

СТРУКТУРЫ РУССКОЙ ПЛИТЫ

Московская синеклиза

Практически всю территорию центральной части интракратонной области Русской плиты занимает Московская синеклиза. На востоке и юге граница синеклизы отвечает области распространения верхневендских отложений, на севере и западе она носит условный характер – здесь синеклиза ограничена существенно менее погруженными структурами. В этих границах Московская синеклиза вытянута с северо-востока на юго-запад более чем на 1000 км при ширине 350–500 км.

Разрез осадочной толщи Московской синеклизы представлен отложениями протерозоя, палеозоя и мезозоя, залегающем на архейском гранито-гнейсовом фундаменте. Толщина осадочного чехла изменяется от 900 до 3000 м. В додевонском

разрезе Московской синеклизы выделяются терригенные потенциально нефтегазоносные рифей–нижневендский и верхневендско–нижнекембрийский комплексы.

В 1940–1970-е годы было пробурено около 110 глубоких опорных, параметрических и поисковых скважин. Расчленение и корреляция разрезов глубоких скважин показали, что одна группа скважин вскрыла протерозойские отложения песчаных пород рифея мощностью 200–300 м и аргиллитов и алевролитов венда мощностью до 700 м (скважины Рудня, Апрелевка, Павлово-Посадская, Бобровская и др.).

Нижний венд представлен древлянской серией, сложенной породами предположительно ледникового генезиса (парцинская и торопецкая свита) и вулканогенно-осадочными толщами (зубовополянская и ярцевская свиты) и распространен в северо-западной части Рязано-Саратовского прогиба и на юго-восточном замыкании синеклизы. Верхний венд представлен валдайским комплексом, состоящим из редкинской (плетеневская, гаврилов-ямская, непейцинская, макарьевская свиты), поваровской (любимская, решминская свиты) и балтийской (некрасовская свита) серий [14, 48].

В основании вендских образований повсеместно залегает пачка аргиллитов редкинской свиты толщиной около 200 м, которая является надежным репером при корреляции отложений. Другая группа скважин вскрыла разрез отложений, где рифейские песчаники отсутствуют, и на гранито-гнейсовом фундаменте залегают отложения венда. Третья группа скважин – Бологоевская, Молоковская, Северо-Молоковская, Солигаличская, Рослятинская, Павлово-Посадская и др. – вскрыла разрез додевонских отложений мощностью около 3000 м.

Отложения, вскрытые этими скважинами, традиционно отнесены к рифейским. Однако, по мнению ряда исследователей, нижне–среднерифейские отложения в пределах Московской синеклизы отсутствуют, а мощная толща, относимая к рифею, в разрезах вышеперечисленных скважин, рифейской не является [47, 48].

Мезенская синеклиза

Мезенская синеклиза и сопряженный с ней узкий линейный Притиманский прогиб располагаются к востоку от Балтийского щита, восточной границей является складчатое сооружение Тимана, на юго-востоке – склоны Сысольского свода Волго-Уральской антеклизы. В современном структурном плане Притиманский перикратон включает в себя Пешскую и Сафоновскую впадины Мезенской синеклизы, Вычегодский прогиб и юго-западную часть Тиманской гряды: Четласское, Обдырское, Джежимпарминское поднятия и разделяющие их опускания. Притиманский перикратон характеризуется длительным прогибанием и накоплением мощного (до 6–8 км) комплекса слабометаморфизованных и слабодислоцированных пород рифея и венда. В составе перикратона выделяются две структурно-формационные зоны: Мезенско-Вычегодская и Обдырско-Четласская, разделенные Западно-Тиманским разломом.

Осадочный чехол Мезенской синеклизы состоит их трех структурных ярусов – синрифтового (рифейского), синеклизного (венд–кембрийского) и плитного (палеозой–мезозойского), причем на долю первых двух приходится 75–80% общего объема осадочного чехла. Мезенский потенциальный НГБ образовался в результате рифейского рифтогенеза. Осадочные толщи накапливались в основном в грабенах (прогибах) – Тиманский, Сафоновский, Котласский, Лешуконский, Онежко-Двинский и др., межрифтовых блоках (горстах) – Несско-Телузский, Кулойский, Мезенский и др. – и заполнялись преимущественно терригенными континентальными и прибрежно-морскими толщами нижнего, среднего и верхнего рифея мощностью от 100 до 2500 м.

Предвендский период характеризуется длительным перерывом (100–150 млн лет) в седиментации. Мощность верхневендских отложений возрастает с погружением рифейской поверхности от 1 до 2 км в направлении к Тиману, повторяя структурный план поверхности рифея [32]. Относительно более изучен протерозойский комплекс в юго-восточной части Мезенской синеклизы на территории Вычегодского прогиба.

Тектоническая позиция Вычегодской впадины, в том числе, как ее структурная самостоятельность, так и включение в состав Мезенской синеклизы или Волго-Уральской антеклизы, рассматривается неоднозначно и до сих пор обсуждается исследователями [20–22].

По материалам геофизических исследований некоторые исследователи рассматривают эту структурно-тектоническую зону в качестве Вычегодской моноклинали, которая представляет собой далекие погруженные склоны Сысольского и Камского выступов, относящихся к северной части Волго-Уральской антеклизы [5, 10, 12, 26, 42, 45].

В существующем тектоническом районировании в данной статье Вычегодский прогиб отнесен к Мезенской синеклизе. По своему генезису он является рифейским авлакогеном, заложенным в нижнем протерозое в линейных подвижных зонах. Прогиб наиболее четко выражен по поверхности кристаллического фундамента архейско–нижнепротерозойского возраста.

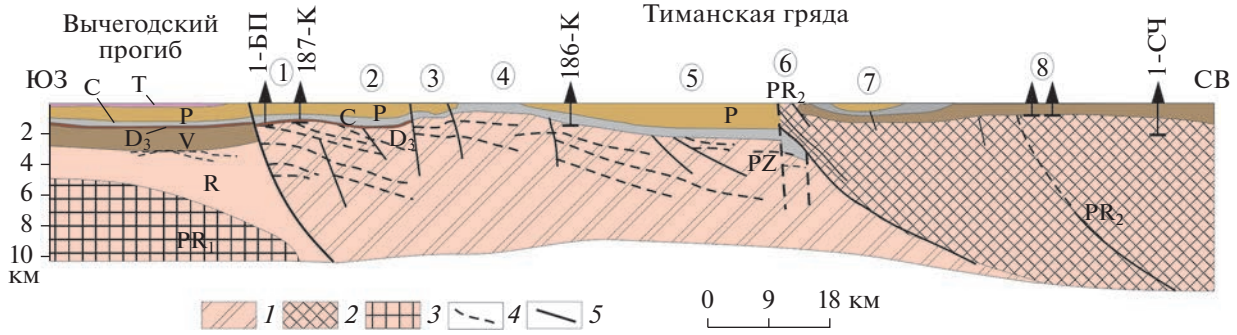


Рис. 11. Геологический разрез по сейсмическому профилю РС-22 (по [35, 36], с дополнениями).
Обозначено (цифры в кружках): 1 – Синдорский вал; 2 – Верхненившерская депрессия; 3–4 – переклинальные окончания Обдырского и Четласского валов; 5 – Верхневымская депрессия; 6 – Вымский вал; 7 – Тобысская депрессия; 8 – Ухтинский вал.
Скважины: 1-БП – Большепорожская-1; 187-К – Коинская-187; 186-К – Коинская-186; 1-СЧ – Северо-Чибьюская-1.
1 – зона сочленения Русской и Печорской плит; *2* – миогеосинклинальный верхнедокембрийский комплекс Тиманской гряды; *3* – раннедокембрийский фундамент Русской плиты; *4* – отражающие границы в верхнедокембрийском комплексе пород, отождествляемые с границами формаций; *5* – разломы

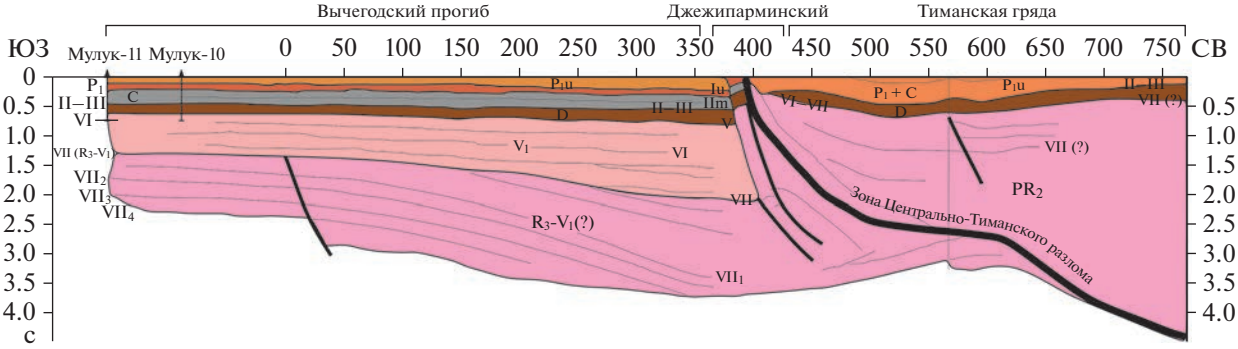


Рис. 12. Геолого-геофизический разрез по региональному сейсмическому профилю РС-27 (по [35, 36], с дополнениями).

Осадочный чехол представлен верхнепротерозойскими, палеозойскими и мезозойско–кайнозойскими отложениями. По подошве осадочного чехла Вычегодский прогиб представляет собой южную часть Притиманского перикратона. Структура представляет собой асимметричный желоб северо-западного простирания с относительно крутым северо-восточным крылом и более пологим юго-западным.

По поверхности фундамента прогиб имеет размеры 400 × 120 км, глубина погружения фундамента составляет от 4 до 9 км. Породы фундамента в прогибе не вскрыты, но установлены к северо-западу, в пределах Мезенской синеклизы, на Ценогорском (скв. Ценогорская-1) и Уфтюгском (скв. Уфтюга-1) поднятиях, на Сысольском своде (скв. Сысола-1) [6, 38]. Мощность палеозойских образований не превышает 1.5 км.

Рифейский комплекс представлен отложениями среднего и верхнего рифея преимущественно терригенного состава, карбонатные породы носят подчиненный характер. Нижнерифейские отложения бурением не установлены. Вендская система представлена нижним и верхним отделами. Общая мощность вендских отложений, вскрытых скважинами не превышает 600 м.

Наиболее информативно структуру верхнедокембрийского комплекса Притиманского перикратона и Вычегодского прогиба характеризуют региональные сейсморазведочные профили РС–22 и РС–27 [34, 35] (рис. 11, рис. 12).

По результатам региональных сейсмических работ (профиль РС–22) палеозойские отложения залегают на вендских с размывом и стратиграфическим несогласием. Верхневендские отложения залегают с заметным угловым несогласием на нижележащих верхнерифейско–нижневендских (?) отложениях. Нижняя граница рифейского комплекса наблюдается на глубине 4000–4200 м и погружается в восточной части Вычегодского прогиба до глубин 5000–6000 м. Сочленение Вычегодского прогиба с Тиманской грядой происхо-

дит по надвигу в 1 км западнее скважины 1–Большепорожская.

Профиль РС–22 фиксирует один разлом, по которому происходит смена типов разреза верхнего докембрия (см. рис. 11). Разлом представляет собой взброс или взбросо-надвиг с поднятым северо-восточным крылом. С запада к разлому примыкает мощная (до 1300 м) толща верхнего венда, с востока – отложения верхнего рифея–нижнего венда (?). В Вычегодском прогибе распространены типичные платформенные структуры с небольшой амплитудой и без ясно выраженного простирания.

Тиманские структуры высокоамплитудные, с отчетливым северо-западным простиранием. По данным профиля РС–27 в пределах Вычегодского прогиба прослеживаются отражающие горизонты, из которых опорными являются горизонты (см. рис. 12):

VI – кровля вендских (венд–кембрийских (?)) отложений;

VII – кровля верхнего рифея–нижнего венда (?).

Мощность верхневендских отложений, ограниченных горизонтами VI и VII, увеличивается в северо-восточном направлении на 1100 м за счет наращивания нижней части разреза.

Комплекс пород, расположенный ниже отражающего горизонта VII, представлен отложениями нижнего венда (?) и верхнего рифея. Видимая мощность нижневендских–верхнерифейских отложений увеличивается в сторону Тимана на 3200 м в основном за счет наращивания верхней части разреза комплекса.

Контакт Вычегодского прогиба и Тимана имеет тектонический характер. В связи с отсутствием в зоне контакта двух разломов (Западно-Тиманского и Центрально-Тиманского) предполагается, что в районе Джежимпарминского поднятия или непосредственно южнее его эти разломы соединяются. По сейсмическим данным в приповерхностной части зоны разлома наблюдается серия нарушений надвигового и взбросо-надвигового типа.

НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ РИФЕЙСКО-ВЕНДСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ

На территории Европейской части России в допалеозойских отложениях установлены промышленные, непромышленные притоки нефти, многочисленные нефте- и газопроявления различной интенсивности, зафиксированные на различных стратиграфических уровнях.

На территории Тимано-Печорской НГП благоприятные условия для нефтегазонакопления существуют в центральной части Ижма–Печорской синеклизы и на Тиманском кряже. На южном Тимане при бурении скважин на Зеленинской, Чернореченской, Ярегской площадях в рифейско–вендских отложениях отмечались газо- и нефтепроявления, наблюдались примазки битума и пятна нефти [20].

В Мезенской синеклизе, в Архангельской области по результатам бурения Средне-Няфтинской скважины в верхневендских (усть-пинежская свита) глинистых отложениях отмечены газопроявления [8]. В Вычегодском прогибе отмечены нефте- и битумопроявления в песчаниках рифея на Сторожевской площади. В процессе бурения на Аныбской площади в додевонских отложениях отмечается до семи водоносных горизонтов, что свидетельствует о наличии пластов-коллекторов и флюидоупоров в древних толщах [13, 17, 18].

В центральной части Московской синеклизы в 1968 г. в верхневендских базальных песчаниках валдайской серии были выявлены незначительные скопления нефти на Даниловской площади в Ярославской области (притоки нефти до 0.94 $м^3$/сут плотностью 0.805–0.823 г/$см^3$). Непромышленные притоки и признаки нефти из венда также выявлены на площадях Шарья, Горьковской, Маряинской, Балахнинской, Любимской, Мосоловской, Морсовской, Бутовской.

В пределах Волго-Уральской НГП промышленные залежи нефти установлены в восточных районах региона [2, 8, 9]. В Пермском крае залежи тяжелой нефти установлены в песчаниках кыквинской свиты верхнего венда (V_{VI}) на Соколовской, Сивинской, Верещагинской площадях.

При испытании скважин на приток дебиты нефти составили от 1.1 до 3.7 $м^3$/сут, плотность нефти высокая от 0.920 до 0.955 г/$см^3$. В 1986 г. в Удмуртии открыто Ефремовское месторождение, где из верещагинской свиты верхнего венда (V_V) получен приток высоковязкой нефти (139.1 мПа с, плотность 0.966 г/$см^3$, дебит 3.6 $м^3$/сут).

При испытании в колонне нижележащих пластов венда были также получены слабые притоки тяжелой нефти (плотность 0.958 г/$см^3$). Нефтегазопроявления зафиксированы на различных стратиграфических уровнях. В вендских отложениях наиболее значимые нефтегазопроявления зафиксированы в основном в песчаниках и алевролитах кыквинской свиты (возрастной аналог в Башкортостане – байкибашевская) и верещагинской (старопетровская – аналог в Башкортостане) свит верхнего венда (V_2kk). Наибольшее количество нефтепроявлений по керну выявлено в скважинах на территории Удмуртской Республики и Пермского края.

В верхнерифейских отложениях на территории Татарстана отмечены нефтепроявления по керну в песчаниках леонидовской свиты скважин Бавлинской площади, газопроявления – в скважинах Сулинской и Урус-Тамакской площадей [28].

В отложениях среднего рифея пропитка нефтью и битуминизация отмечаются в песчаниках гожанской (тукаевской) свиты в Пермском крае (Батырбайская, Гаринская, Куединская, Танынпская, Тартинская площади). Повышенные газопоказания и разгазирование глинистого раствора зафиксированы при бурении скважин Игровская-20, Кабаковская-52, Серафимовская-65 в Башкортостане.

Нефтегазопроявления в отложениях нижнего рифея отмечены в калтасинских (R_1kl) доломитах и прикамских (R_1prk) песчаниках (скв. Арланская, Орьебашская, Морозовская-1 и др. в Башкортостане).

Наиболее нефтенасыщенными (по керну) являются калтасинские доломиты в скважинах Зуринская-18, Ижевская-20, Шарканские-1052, 1067 и 1070, Бедряжские-203, 204, Очерская-14, Черновская-41.

Битуминозные доломиты калтасинского возраста вскрыты скв. Арланская-3, Саузбашевская-2 (Башкортостан), Манчажская-5 (Свердловская область).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Изучение отечественного и зарубежного опыта исследований свидетельствует о высоком нефтегазовом потенциале рифей–вендских отложений, который подтверждается открытиями крупных залежей в России и мире. Результаты исследований, проведенные авторами по выявлению особенностей глубинного строения и нефтегазоносности рифей–вендских отложений Восточно-Европейской платформы позволяют считать этот объект перспективным и прогнозировать при проведении соответствующего цикла геологоразведочных работ открытие новых зон нефтегазонакопления.

Основные общие особенности рифей–вендских отложений Европейской части России заключаются в следующем:

– значительный геологический возраст отложений от 600 млн лет до 1.3 млрд лет, определивший многие специфические особенности формирования и современного геологического строения;

– существенные отличия характера геологического развития вендских и рифейских толщ, обусловившего различия в геологическом строении, именно с вендского этапа началось становление Восточно-Европейской платформы в современном виде, тогда как в рифейское время происходили разнонаправленные движения часто с положительным знаком;

– широкое развитие в рифее рифтогенных структур, выполненных мощными осадочными образованиями иногда с проявлениями вулканизма и интрузий;

– часто значительная глубина погружения отложений (до 5 и более км), а следовательно более жесткие современные и палео-термобарические условия, чем в вышележащих палеозойских комплексах;

– доминирование обнаруженных залежей нефти и нефтепроявлений в вендском комплексе;

– сходство геологических условий формирования нефтегазоносности в пределах Восточно-Европейской платформы с соответствующими условиями Сибирской платформы, где разведаны большие запасы нефти, газа и газоконденсата.

Основные тенденции и закономерности геологического строения рифейско–вендского комплекса Волго-Уральской НГП, выявленные в процессе исследования, отражают сложную и неоднозначную историю тектонического развития и создают основу для прогноза нефтегазоносности. Подтверждается большая роль тектонического строения фундамента в формировании особенностей распространения и структуры не только рифейского, но, отчасти, вендского комплекса.

Характеристика геологического строения верхнепротерозойского комплекса в районах наиболее крупных авлакогенов Волго-Уральской НГП подтвердила наличие и субдискретное распространение всех трех комплексов рифейского осадконакопления при наибольшем развитии нижнерифейских образований. Мощность и площадь формирования средне- и верхнерифейских пород существенно меньше.

Различия в истории формирования рифейских отложений, активная тектоническая деятельность определили существенную возрастную дифференциацию довендской поверхности в северной и западной приосевых зонах Камско-Бельского прогиба.

Выявленные статистически значимые зависимости в строении поверхностей рифея, венда и фундамента позволили количественно описать закономерности строения и создать основу для прогнозирования распространения рифей–вендских отложений в малоизученных зонах глубокого погружения.

Изучение особенностей распространения верхнепротерозойского комплекса Московской и Мезенской синеклиз показало более широкое распространение и меньшие глубины вендских отложений, а также более высокую изученность, чем рифейских пород.

Особенности развития верхнепротерозойского комплекса Тимано-Печорской НГП отражают сложную структуру фундамента, осадочного чехла, сформированного в основном с поздневендского времени. Мощные верхнепротерозойские породы северо-востока Восточно-Европейской платформы представлены как в различной степени метаморфизованными осадочными, так и вул-

каногенно-осадочными породами, выходящих на поверхность в ядрах поднятых блоков Тимана, юго-западном Притиманье и в Печорской синеклизе.

ВЫВОДЫ

Выполненные обобщения по изучению древнейших отложений в Восточно-Европейской платформе и мире позволили авторам сделать следующие выводы.

1. Невысокая и неравномерная изученность, геофизическими исследованиями и бурением рифей–вендских образований в Волго-Уральской, Тимано-Печорской нефтегазоносных провинциях, Московской и Мезенской синеклизах, значительная изменчивость литолого-фациального состава и многие другие факторы ограничивают возможности эффективного прогноза нефтегазоносности и последующего освоения ресурсов нефти и газа древних толщ.

2. По результатам параметрического бурения и оценкам перспектив нефтеносности для всех рассмотренных территорий установлены благоприятные тектонические и литолого-фациальные предпосылки для формирования ловушек углеводородов такие, как:

– развитие крупных высокоамплитудных локальных структур платформенного типа, не осложненных и осложненных дизъюнктивными нарушениями;

– наличие более мелких рельефных локальных структур;

– общий подъем венд–рифейской толщи от Урала на запад-северо-запад и север при сокращении суммарной мощности осадков до полного выклинивания, что создает условия для образования структурно-литологических ловушек.

3. Петрофизическими и геолого-геохимическими исследованиями установлено наличие в разрезах рифея и венда нефтематеринских пород и коллекторов. Можно предположить, что, несмотря на не высокое качество коллекторов в толщах рифея и венда, тем не менее, они способны обеспечить формирование промышленных скоплений углеводородов.

4. Несмотря на то, что в рифей–вендских отложениях Восточно-Европейской платформы открыты промышленные и непромышленные залежи нефти, выявлено широкое развитие нефтегазопроявлений различной интенсивности, основные закономерности распределения углеводородов в этих толщах до настоящего времени четко не установлены.

5. Комплексные исследования верхнепротерозойских пород позволяют считать рифей–вендские образования Восточно-Европейской платформы перспективным объектом на поиски месторождений и залежей углеводородов – мы полагаем одним из объектов освоения рифейских и вендских отложений является Волго-Уральская нефтегазоносная провинция.

Благодарности. Авторы выражают признательность рецензенту Ю.А. Воложу (ГИН РАН, г. Москва, Россия) и анонимному рецензенту за комментарии и рекомендации во многом способствовали улучшению рукописи и признательны редактору М.Н. Шуплецовой (ГИН РАН, г. Москва, Россия) за тщательное редактирование.

Финансирование. Исследование выполнено при поддержке Пермского научно-образовательного центра “Рациональное недропользование, 2023”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абукова Л.А., Волож Ю.А., Дмитриевский А.Н. и др.* Геофлюидодинамическая концепция поисков скоплений углеводородов в земной коре // Геотектоника. 2019. № 3. С. 79–91.
2. *Аксенов Е.М., Голов А.А., Чепикова И.К. и др.* Перспективы нефтегазоносности рифейско–вендских отложений Пермского Прикамья // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. 1995. № 5. С. 2–9.
3. *Аксенов Е.М., Козлов В.И.* Стратиграфическая схема рифейских и вендских отложений Волго-Уральской области. – Объяснительная записка. – Под ред. М.А. Семихатова, С.М. Шика – Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2000, 81 с.
4. *Алиев М.М., Морозов С.Г., Постникова И.Е. и др.* Геология и нефтегазоносность рифейских и вендских отложений Волго-Уральской провинции. – Под ред. М.Ф. Мирчинка – М.: Недра, 1977.
5. *Аплонов С.И., Лебедев Б.А., Тимошенкова Н.В.* Проблема нефтегазоносности Мезенского осадочного бассейна // Энергетические минерально-сырьевые ресурсы. 2004. № 2. С. 3–10.
6. *Баженова Т.К.* Катагенетическая зональность органического вещества и раздельный прогноз нефте- и газоносности на больших глубинах в условиях Сибирской платформы. – В сб.: *Нефтегазообразование на больших глубинах*. – Под ред. В.В. Семеновича и др. – М.: 1986. С. 104–105.
7. *Балашова М.М., Ильиных А.П.* Выделение проницаемых пластов и выявление потенциально-нефтегазосодержащих зон в вендском комплексе Прикамья. – В сб.: *Геолого-геофизические методы поисков и разведки нефтяных месторождений в Пермском Прикамье*. – Под ред. А.В. Никулина и др. – Пермь: ВНИГНИ, 1970 (Тр. ВНИГНИ. 1970. Вып. 12), С. 108–117.
8. *Башкова С.Е., Карасева Т.В., Горбачев В.И.* Основные проблемы прогноза нефтегазоносности рифей-вендских отложений европейской части России // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2012. № 7. С. 25–32.
9. *Белоконь Т.В., Горбачев В.И., Балашова М.М.* Строение и нефтегазоносность рифейско–вендских от-

ложений востока Русской платформы. – Пермь: Звезда, 2001. 108 с.

10. *Белякова Л.Т., Богацкий В.И., Богданов Б.П. и др.* Фундамент Тимано-Печорского нефтегазоносного бассейна. – Под ред. О.А. Кондиайна – Ухта: ТП НИЦ, 2008, 288 с.
11. *Белякова Л.Т., Охотникова С.И.* Верхний протерозой Тимана и Мезенской синеклизы // Бюлл. МОИП. Сер. Геол. 1999. № 3. С. 38–42.
12. *Богданов Б.П., Грунис Е.Б.* Возможности открытий крупных месторождений углеводородов в малоизученных объектах Тимано-Печорской и Волго-Уральской провинций. – В сб.: *Приоритетные направления поисков крупных и уникальных месторождений нефти и газа*. – Под ред. Л.И. Ровнина и др. – М.: Геоинформмарк, 2004. С. 80–89.
13. *Булин Н.К., Егоркин А.В., Золотов Е.Е.* О перспективах нефтегазоносности Мезенской синеклизы // Разведка и охрана недр. 2003. № 2. С. 12–16.
14. *Бурзин М.Б., Кузьменко Ю.Т., Аксенов Е.М.* Венд Московской синеклизы: детальная стратиграфия, история развития и обстановки осадконакопления потенциально нефтематеринских пород. – В сб.: *Малоизученные нефтегазоносные комплексы Европейской части России (прогноз нефтегазоносности и перспективы освоения)*. – Под ред. Б.А.Соловьева – М.: ВНИГНИ, 1997. С. 62–63.
15. *Вернадский В.И.* Биосфера. – М: Мысль, 1967. С. 50–155.
16. *Виноградов А.П.* Химическая эволюция Земли. – М.: АН СССР, 1959. С. 5–44.
17. *Гаврилов В.П., Руднев А.Н., Дворецкий П.И, Пономарев В.А.* Перспективы нефтегазоносности Мезенской синеклизы // Геология нефти и газа. 1998. № 5. С. 12–20.
18. *Гецен В.Г.* Тектоника Тимана. – Под ред. В. А. Дедеева – Л.: Наука, 1987. 172 с.
19. *Гецен В.Г., Гецен Н.Г., Удот В.Ф.* Геолого-геохимическая оценка условий нефтегазообразования в верхнедокембрийском комплексе северо-востока Европейской платформы. – В кн.: *Печорский нефтегазоносный бассейн. Геология. Геохимия*. – Сыктывкар: КомиНЦ АН СССР, С.95–105 (Тр. ИГ КомиНЦ УрО АН СССР. 1988. Вып. 64).
20. *Гецен В.Г., Дедеев В.А, Башилов В.И.* Рифей и венд Европейского севера СССР. – Под ред. В.А. Дедеева, В.Г. Гецена – Сыктывкар: АН СССР – ИГ Коми НЦ АН СССР – Полярно-Урал. произв. геол.-развед. объединение, 1987. 124 с.
21. *Дедеев В.А., Аминов Л.З., Гецен В.Г.* Тектонические критерии прогноза нефтегазоносности Печорской плиты. – Под ред. В. П. Якуцени – Л.: Наука, 1986. 215 с.
22. *Дедеев В.А., Запорожцева И.В.* Земная кора европейского северо-востока СССР. – Под ред. В.П. Якуцени – Л.: Наука, 1985. 96 с.
23. *Елкин Е.А., Конторович А.Э., Сараев С.В.* Новые данные по стратиграфии палеозоя крайнего юго-востока Западно-Сибирской плиты (по материалам глубокого бурения на Вездеходной площади, Томская область) // Геология и геофизика. 2000. Т. 41. № 7. С. 943–951.
24. *Карасева Т.В., Денисов А.И., Башкова С.Е.* Рифейские отложения Волго-Уральской нефтегазоносной провинции как перспективный объект для поисков углеводородов. – В сб.: *Стратегия развития минерально-сырьевого комплекса Приволжского и Южного федеральных округов на 2006 и последующие годы* – Тез. докл. научно-практич. конференции 2005, г. Саратов. – Саратов: Изд-во, 2005. С. 60–62.
25. *Камалетдинов М.А., Казанцева Т.Т., Казанцев Ю.В. и др.* Шарьяжно-надвиговая тектоника и перспективы нефтегазоносности верхнего докембрия Восточно-Европейской и Сибирской платформ. – В кн.: *Стратиграфия, палеонтология и перспективы нефтегазоносности рифея и венда восточной части Восточно-Европейской платформы*. – Под ред. А.Р. Кинзикеева – М.: Наука, 1999. Ч. 1. С. 22–32.
26. *Келлер Б.М., Семихатов М.А.* Опорные разрезы рифея материков. В сб.: *Итоги науки. Стратиграфия. Палеонтология*. – Под ред. В.Н. Шиманского – М.: ВИНИТИ, 1968. Т. 2. С. 5–108.
27. *Козленко В.Г., Костюкевич А.С., Койфман Л.И. и др.* Глубинное строение Мезенской синеклизы по данным сейсмогравитационного моделирования // Геофизический журнал. 1995. № 5. С. 20–29.
28. *Козлов В.И., Муслимов Р.Х., Гитиятуллин Н.С.* Верхний докембрий восточных районов Татарстана и перспективы его нефтегазоносность. – Под ред. В. Г. Изотова – Уфа: ИГ УНЦ РАН, 1995. 218 с.
29. *Конторович А.Э., Изосимова А.Н., Конторович А.А. и др.* Геологическое строение и условия формирования гигантской Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазонакопления в верхнем протерозое Сибирской платформы // Геология и геофизика. 1996. Т. 37. № 8 С. 166–196.
30. *Конторович А.Э., Ларичев А.И., Таквелл К. и др.* Геохимия среднепротерозойской нефти в бассейне Мак-Артур в Австралии / // Докл. РАН. 1996. Т. 346. № 6. С.800–803.
31. *Конторович А.Э., Трофимук А.А., Башарин А.К.* Глобальные закономерности нефтегазоносности докембрия Земли / // Геология и геофизика. 1966. Т. 37. № 8. С. 6–42.
32. *Кузьмин Д.А.* Геолого-геохимические предпосылки нефтегазоносности верхнепротерозойских отложений Мезенского бассейна. – Автореф. дис. ... к.г.м.н. – М.: 2006, Недра. 24 с.
33. *Маслов А.В., Ишерская М.В.* Осадочные ассоциации рифея Волго-Уральской области (условия формирования литофациальная зональность). – Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 267 с.
34. *Минц М.В.* Тектоника и геодинамика гранулито-гнейсовых комплексов Восточно-Европейского кратона // Геотектоника. 2018. № 3. С. 58–88.
35. *Оловянишников В.Г.* Верхний докембрий Тимана и полуострова Канин. – ИГ УрО РАН, КомиНЦ – Екатеринбург, 1998. 163 с.
36. *Оловяшников В.Г.* Верхний докембрий западного склона Тимана и восточной части Мезенской синеклизы. – В сб.: *Палеогеография венда–раннего палеозоя* – Мат-лы Всерос. совещ., Екатеринбург, 25 июля–3 авг., 1996. – Екатеринбург: ИГИГ, 1998. С. 147–159.

37. *Орлов В.П., Мазур В.Б., Федоров Д.Л.* Геология и оценка нефтегазоносности Московской синеклизы. – Обзорная информация МПР РФ. – М.: 1998. Вып. 5. С. 10–45.

38. *Руженцев С.В., Самыгин С.Г.* Структура и тектоническое развитие области сочленения Восточно-Европейской платформы и Южного Урала // Геотектоника. 2004. № 4. С. 20–44.

39. *Семихатов М.А., Шуркин К.А., Аксенов Е.М. и др.* Новая стратиграфическая шкала докембрия СССР // Изв. АН СССР. Сер. Геол. 1991. Вып. 8. С. 3–13.

40. *Сидоренко С.А., Сидоренко А.В.* Органическое вещество в осадочно-метаморфических породах докембрия. – Под ред.А.В. Пейве – М.: Наука, 1975 (Тр. ГИН АН СССР. 1975. Вып. 277), 137 с.

41. *Соколов Б.А., Егоров В.А.* Новые подходы к оценке нефтегазоносности рифейских и вендских отложений Русской плиты. – В сб.: *Малоизученные нефтегазоносные комплексы Европейской части России (прогноз нефтегазоносности и перспективы освоения)* – Науч.-практ. конф. 21–25 апр. 1997 г. – Отв. ред. Б. А. Соловьев – М.: 1997, С. 64–65.

42. *Соколов Б.С.* О возрасте древнейшего осадочного чехла Русской платформы // Изв. АН СССР. Сер геол. 1952. № 5. С. 21–31.

43. *Федоров Д.Л., Владимирова Т.В., Капустин И.Н. и др.* Тектоника Московской и Мезенской синеклиз в связи с возможной нефтегазоносностью верхнепротерозойских отложений. – В кн.: *Современные проблемы геологии нефти и газа*. – Под ред. Е.Б. Груниса, Н.А. Крылова – М.: Научный мир, 2001. С. 153–160.

44. *Хаин В.Е.* Крупномасштабная цикличность в тектонической истории Земли и ее возможные причины // Геотектоника. 2000. № 6. С. 3–14.

45. *Хераскова Т.Н., Волож Ю.А., Антипов М.П и др.* Корреляция позднедокембрийских и палеозойских событий на Восточно-Европейской платформе и в смежных палеоокеанических областях // Геотектоника. 2015. № 1. С. 31–59.

46. *Шварцман Ю.Г., Широбоков В.Н.* Новейшая активизация зоны сочленения Кольского блока Балтийского щита и Мезенской синеклизы. – 7-ые Ломоносовские междунар. чтения. – Тез. докл. научн.-практич. конф. "*Непрерывное экологическое образование: содержание, технологии, перспективы*", Архангельск, 13–15 ноября. – М.: ВИНИТИ, 1995. С. 175–178.

47. *Шиловская Т.И., Шиловский А.П.* Геодинамический контроль размещения скоплений углеводородов в осадочной толще Московской синеклизы. – В кн.: *Генезис нефти и газа*. – Под ред. А.Н. Дмитриевского, А.Э. Конторовича – М.: ГЕОС, 2003. С. 394–395.

48. *Шиловская Т.И., Шиловский А.П.* Строение, история развития и перспективы нефтегазоносности Московской синеклизы // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2002. № 5. С. 33–36.

49. *Adams D.C., Keller G.R.* Precambrian basement geology of the Permian basin region of West Texas – New Mexico: A geophysical perspective // Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull. 1996. Vol. 80. P. 410–431.

50. *Bruhn R.L., Picard M.D., Isby J.S.* Tectonics and sedimentology of Uinta Arch, Western Uinta Mountains, and Unita Basin. – In: *Paleotectonics and Sedimentation in the Rocky Mountain Region, United States*. – Ed.by J.A. Petersom, (Trans-Pecos Texas: Dallas, *United States*, USA., Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem. 1986. Vol.41), P. 333–352.

51. *Collen J.D., Newman R.H.* Porosity development in deep sandstones, Taranak Basin. New Zealand // J. Southeast Asian. Reg. Sci., 1991. No.5. P. 449–452.

52. *Desborough G.A., Poole F.G., Daws T.A., Scarborough R.* Hydrocarbon source rock evaluation of the Middle Proterozoic Apache Group, Gila County, Arizona. – In: *Hydrocarbon Source Rock in the Greater Rocky Mountain Region*. – Ed.by J. Woodward, F.F. Meissner, J.L. Clayton, Arizona, USA. Rocky Mountain Assoc. Geolog. 1984). P. 51–55.

53. *Edgell H.S.* Proterozoic salt basins of the Persian Gulf area and their role in hydrocarbon generation // Precambrian Research. 1991. Vol. 54. No. 1. P. 1–14.

54. *Huntoon P.W.* Proterozoic structural geology of the Grand Canyon. – In: *Grand Canyon Geology.* – Ed.by S.S. Beus, M. Moralcs, (NY, Oxford Univ. Press – Museum of Northern Arizona, USA. 1990), P. 261–309.

55. *Karlstom K.E., Bowring S.A.* Proterozoic orogenic history of Arisona. – In: *"Geology of North America"* – Ed. by J.C. Reed (Jr.), M.E. Bickford, R.S. Houston, P.K. Link, D.W. Rankin, P.K. Sims, W.R. van Schmus, (Boulder, Colorado, USA. Geol. Soc. Am. 1993. Vol. C2), P. 188–211.

56. *Visser W.* Burial and thermal history of Proterozoic source rocks in Oman // Precambrian Research. 1991. Vol. 54. No. 1. P. 15–36.

57. *Wakelin-King G.* Proterozoic play challenges Amadeus basin explorers // Oil and Gas. 1994. Vol. 92. No. 9. P. 52–55.

The Deep Structure of the Proterozoic Complex of the Sedimentary Cover of the East European Platform: Oil and Gas Potential

S. E. Bashkova[a], *, E. E. Kozhevnikova[a], Yu. A. Yakovlev[a], T. V. Karaseva[a], A. V. Botalova[a]

[a] Perm State National Research University, bld.15, str. Bukireva, 614068 Perm, Russia

**e-mail: sbashkova@mail.ru*

The article considers the features of the geological structure and formation of the sedimentary Proterozoic complex. It is shown that the Upper Precambrian deposits on ancient platforms are thick, have similar sedimentation conditions, and are characterized by the presence of oil and gas source strata with high generation

potential and the presence of large deposits. The authors scrutinized the main trends and identified the regularities of the geological structure of the Riphean–Vendian complex of the European part of Russia. Riphean–Vendian sedimentary deposits are widespread on the East European Platform and fill extensive rift-aulacogen depressions. The largest depressions are the Kamsko-Belsky trough, which is the main zone of Riphean sedimentation in the Volga–Ural oil and gas province (OGP), the Vychegodsky trough in the Mezen syneclise, and the Pachelma and Central Russian aulacogenes in the Moscow syneclise. The authors performed mathematical processing of materials on the geological structure of the basement surface and Riphean–Vendian deposits of the Volga–Ural oil and gas province, which made it possible to establish statistically significant relationships with the ancient basement and regularities in the structure of sedimentary strata. On the territory of the European part of Russia in the Riphean–Vendian deposits, industrial and non-industrial oil inflows, oil and gas occurrences of various intensity were recorded at various stratigraphic levels, have been established.

Keywords: Proterozoic deposits, Riphean, Vendian, ancient platforms, geological structure, Volga–Ural oil and gas field, Timan–Pechora oil and gas field, Moscow syneclise, Mezen syneclise, oil and gas potential