

УДК 553.98

DOI 10.31087/0016-7894-2020-3-5-9

Роль тектоники кристаллического фундамента в пространственном размещении традиционных и нетрадиционных источников углеводородов

© 2020 г. | Е.Б. Грунис, Б.И. Давыденко

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт», Москва, Россия; grunis@vnigni.ru; boroil@vnigni.ru

Поступила 28.11.2019 г.

Доработана 03.12.2019 г.

Принята к печати 02.03.2020 г.

Ключевые слова: *тектоника; геодинамика; нефтегазоносные бассейны; рифтогенез; органическая и неорганическая парадигмы происхождения нефти; биомаркеры; орогенез; Волго-Уральская и Тимано-Печорская нефтегазоносные провинции.*

Аннотация: В статье рассмотрена роль тектоники кристаллического фундамента в пространственном размещении месторождений углеводородного сырья на основе теорий органического и неорганического происхождения нефти. Отмечено, что повышенное содержание органического вещества приурочено к зонам проявления магматизма и может быть объяснено тем, что процессы нефтеобразования и нефтегазоаккумуляции в доманиковых отложениях связаны с историей становления земной коры региона, магматизмом и деструкцией, образованием сквозных зон проницаемости, протеканием флюидодинамических и гидротермальных процессов, обеспечивающих условия для формирования восстановленных систем, миграции и локализации. Подвижки блоков фундамента возникали на различных этапах тектогенеза и приводили не только к появлению разломов, но и обеспечивали протекание как древних флюидодинамических процессов, так и миграцию органического вещества в молодых нефтеобразующих системах.

Для цитирования: Грунис Е.Б., Давыденко Б.И. Роль тектоники кристаллического фундамента в пространственном размещении традиционных и нетрадиционных источников углеводородов // Геология нефти и газа. – 2020. – № 3. – С. 5–9. DOI: 10.31087/0016-7894-2020-3-5-9.

Spatial distribution of conventional and unconventional hydrocarbon sources: role of crystalline basement tectonics

© 2020 | E.B. Grunis, B.I. Davydenko

All-Russian Research Geological Oil Institute, Moscow, Russia; grunis@vnigni.ru; boroil@vnigni.ru

Received 28.11.2019

Revised 03.12.2019

Accepted for publication 02.03.2020

Key words: *tectonics; geodynamics; petroleum basins; rifting; organic and inorganic paradigms of oil origin; biomarkers; orogeny; Volga-Urals and Timan-Pechora petroleum provinces.*

Abstract: Basing on the theories of organic and inorganic origin of oil, the author considers the role of the crystalline basement tectonics in spatial arrangement of hydrocarbon fields. It is noted that higher content of organic matter is confined to the zones of magmatism. This can stem from the fact that oil generation and oil and gas accumulation processes in the Domanik series are associated with the history of the Earth's crust formation in the region, magmatism and destruction, development of straight-through permeable zones, running of fluid-dynamic and hydrothermal processes providing for formation of petroleum migration, and localization. Movements of the basement blocks occurred in different stages of tectogenesis; they resulted not only in faulting, but also ensured both ancient fluid dynamic processes and organic matter migration in the young oil-generating systems.

For citation: Grunis E.B., Davydenko B.I. Spatial distribution of conventional and unconventional hydrocarbon sources: role of crystalline basement tectonics. *Geologiya nefiti i gaza*. 2020;(3):5–9. DOI: 10.31087/0016-7894-2020-3-5-9. In Russ.

Введение

Существующая гипотеза общего геодинамического процесса эволюции Земли включает три составляющие: глубинную геодинамику и производные от нее — внутреннюю геодинамику литосферных плит, глобальную и региональную геодинамику в целом (тектоника литосферных плит). Формирование осадочных и нефтегазоносных бассейнов связывают с рифтогенезом. Рифтогенез, в свою очередь, обу-

словлен эндогенными процессами — мантийными плюмами и диапирами. Необходимое условие для нефтеобразования — присутствие водорода и углерода (независимо от их происхождения). Источники водорода — пластовые воды и, возможно, внешнее жидкое ядро планеты. Водород диффундирует через мантию к подошве литосферы и способствует образованию прерывистого слоя пород пониженной вязкости толщиной 50–100 км — астеносферу,

по которой, согласно теории тектоники плит, происходит дрейф континентов. Есть также предположение, что в астеносфере идет процесс масштабного нефтегазообразования, а углерод широко распространен в недрах Земли. Огромный объем углекислого газа выбрасывается в атмосферу при извержении вулканов. Наиболее нефтеперспективными территориями являются области, примыкающие к подвижным поясам. Приоритет идеи принадлежит Д.И. Менделееву (окраины хребтов), впоследствии ее развил И.М. Губкин, назвав эти территории «форландом подвижных поясов». К сожалению, эти блестящие идеи существуют сегодня на уровне гипотез.

Проблема образования УВ

Проблема образования нефти и УВ-газа остается предметом дискуссий сторонников двух альтернативных парадигм — органической и неорганической. Органическая парадигма — целостное научное мировоззрение, господствующее в сообществе геологов и геохимиков, которое является теоретической основой проведения разведочных работ и интерпретации результатов бассейнового моделирования всех регионов и акваторий, недра которых содержат УВ. Парадигма основана на постулатах и уже более 100 лет не подлежит сомнению или пересмотру.

Основными положениями парадигмы являются: накопление исходного вещества в виде остатков организмов биосферы в морях или пресноводных бассейнах, формирование газоматеринской породы и керогена как процесс генезиса нефти и газа, способы их миграции от мест генерации к зонам аккумуляции и, наконец, способность нефти оставаться в недрах неизменной сотни миллионов лет [1].

Неорганическая теория в последние годы базируется на представлениях о том, что нефть и газ в глубинных зонах Земли образуются из смеси H_2 , CO , CO_2 и CH_4 в результате реакций прямого синтеза УВ из $CO + H_2 = CH_4 + H_2$, полимеризации радикалов CH_4-CH_2 , CH_3 , а также процесса преобразования и мобилизации мантийных $C-N-O-S$ в УВ-ряды. Накопившиеся УВ, находящиеся под высоким давлением, затем поднимаются вверх в осадочную толщу, что приводит к формированию залежей нефти и газа.

В этой теории нет объяснения ряда положений: наличия в нефти жирных кислот и сложных УВ-соединений — молекул терпенов, стиролов, гопанов, а также оптической активности нефти, что характерно для любого живого организма и др. Надо признать, что XX в. был веком расцвета органической теории происхождения нефти и газа и все открытия, включая крупные месторождения, обязаны реализации основных положений этой теории. Поэтому, по мнению авторов статьи, важным представляется дальнейшее развитие теоретических основ и признание прикладного значения биогеохимической и абиогенной концепции генерации УВ. Сегодня совершенно очевид-

но, что механизм образования УВ более масштабен, чем термодинамически простой, многоступенчатый термолиз органики, аккумулированной в изолированных осадочных бассейнах прошлых геологических эпох. Необходимо учитывать не только законы микромира, но и квантовые механизмы и многомерную квантовую логику.

Глобальный механизм образования нефти, его масштабность ставят вопрос о ее запасах в недрах в совершенно иную плоскость, но не снимают проблему объемов ее добычи и рационального использования. Сегодня мы располагаем многими фактами в пользу абиогенной теории происхождения нефти.

В настоящее время в мире в породах кристаллического фундамента открыто более 350 месторождений УВ, причем для многих из них исключается как контакт с осадочным комплексом, так и возможность латеральной миграции УВ из осадочного комплекса [2, 3].

Важным положением органической теории является наличие биомаркеров (хемофосилии). Однако по результатам исследований скв. Миннибаевская-20000 установлена идентичность биомаркеров в пробах из пород кристаллического фундамента и из отложений перми.

Биомаркеры обнаружены в метеоритах, а также в нефти, полученной в лабораторных условиях. Отрицать катагенез и в целом биогенную теорию происхождения нефти нельзя, так как рациональное зерно есть и в той, и в другой теории и они могут дополнять друг друга. Это обстоятельство нужно эффективно использовать в выборе направлений геолого-разведочных работ, а также стратегии их проведения. Наглядным примером является изучение недр Скалистых гор, где сосредоточено 80 % запасов УВ США.

Естественное восполнение запасов УВ

Заслуживает пристального внимания разработка принципиально новых, прорывных технологий, способных в перспективе совершить переворот в области добычи нефти и газа [2]. Прежде всего, представляет интерес идея естественного и сравнительно быстрого восполнения запасов разрабатываемых залежей нефти и, как следствие, предложение о введении в производственный цикл разрабатываемых месторождений специальных реабилитационных периодов, когда месторождение выводится из разработки и за счет естественных природных процессов его ресурсы восстанавливаются.

Ряд исследователей (Муслимов Р.Х., Запивалов Н.П., Гаврилов В.П., 2008) доказывали возможность естественного и сравнительно быстрого (5–7 лет) восстановления запасов при определенных условиях. Конечно, следует исключить месторождения вязкой (тяжелой) нефти и случаи перетоков нефти в процессе применения различных систем

заводнения. Развитие этой идеи и доведение ее до практического воплощения может позволить разрабатывать месторождения неограниченное время [4].

Влияние тектоники на размещение ловушек УВ

Использование мощной информационной базы геофизических, геохимических исследований, а также глубокого бурения позволило достаточно детально изучить морфологию и дизъюнктивную тектонику кристаллического фундамента Русской плиты и констатировать, что тектоника осадочного чехла определяется динамикой кристаллического фундамента. Так, при изучении морфологии фундамента и перекрывающего его осадочного чехла установлено, что отдельные выступы кристаллических пород не являются обычными останцами селективной денудации, а представляют собой подвижные гряды додевонского возраста, при воздымании которых создаются структуры в осадочном чехле. Неравномерность прогибания поверхностей фундамента во времени послужила причиной формирования структур I порядка, а блоковое его строение, множество палеогеографических и палеотектонических условий осадконакопления на протяжении всей палеозойской эпохи обусловили возникновение большого разнообразия типов сложнопостроенных ловушек, перспективных на УВ [5].

Так, с эрозионными выступами фундамента связаны как ловушки, контролируемые структурами облекания, так и ловушки структурно-литологического и структурно-стратиграфического типов, имеющие кольцеобразную форму. Для выступов-блоков характерны поднятия тектонического, седиментационно-тектонического и других типов в осадочном чехле.

На участках отсутствия мощных толщ, нивелирующих межблоковые грабенообразные прогибы, и соответствия структурных планов девона и фундамента ловушки УВ, контролируемые малоамплитудной структурой, в девоне обычно совпадают с положением приподнятых блоков и осложняют их периферийные зоны. Биогермные постройки верхнего девона, карбона и перми расположены в межблоковых прогибах фундамента, т. е. тяготеют к зонам разломов. Такие же закономерности прослеживаются в Тимано-Печорской провинции. Залежи УВ традиционной нефти в семилукско-бурегских отложениях расположены в зонах сочленения разнонаправленных грабенообразных прогибов и структурных террас. Отмечается, что при значительном удалении от зоны сочленения притоки резко уменьшаются и пласты становятся непроницаемыми. Поэтому поиск залежей в семилукско-бурегских отложениях должен осуществляться вблизи мобильных зон тектонических разломов [5].

Важным, по мнению авторов статьи, является изучение орогенеза, альпийского и герцинского маг-

матизма (тепловой энергии магмы), включая влияние интрузивного магматизма на метаморфизм пород осадочного чехла, прилегающих к геосинклинальным областям, на структурообразование, где, согласно геодинамической модели нефтегазообразования, допускающей полигенный генезис УВ, могли возникнуть условия для ее реализации. Палеоземлетрясения и палеовулканизм имеют одну и ту же энергетическую основу — энергию кристаллической решетки, в отличие от тектонических движений, происходящих под воздействием тепловой энергии магмы. Землетрясения приводят к формированию геологических структур в осадочном чехле платформ. Следы палеоземлетрясений и палеовулканизма обнаруживаются по многочисленным признакам: грабенообразные прогибы и горсты, как правило контролируемые залежи в девоне в Волго-Уральской и Тимано-Печорской провинций, траппы Восточной Сибири, отобранные образцы горных пород, пропитанные нефтью из палеовулкана Манганарии со дна Черного моря. Авторы статьи считают, что при проведении геолого-разведочных работ и интерпретации их результатов следует исходить из положения, что накопление осадков и формирование геологических структур в пределах платформ — процессы одновременные, происходящие исключительно в соответствии с законами гидростатики и гидродинамики. Влияние орогенеза и магматизма на структуро- и нефтеобразование четко прослеживается. Чем дальше на запад от Уральских гор и Предуралья, тем меньше перспективы нефтегазоносности, то же наблюдается и на Северном Кавказе — при удалении от главного Кавказского хребта. Разница лишь во времени орогенеза: в Волго-Уральской и Тимано-Печорской провинциях — герцинский этап складчатости, на Кавказе — альпийский.

Нетрадиционные источники УВ-сырья

В последние годы одним из приоритетных направлений исследований в ФГБУ «ВНИГНИ» является изучение нетрадиционных источников УВ, в частности верхнедевонских отложений доманикового типа, входящих в состав верхнедевон-турнейского осадочного комплекса Волго-Уральской и Тимано-Печорской НПП. Учитывая нетрадиционность объектов, проводится широкий комплекс геолого-геофизических и геохимических исследований, включая оценку ресурсной базы высокоуглеродистых отложений доманикового типа. Определены основные закономерности стратиграфического распространения, условий образования и латерального распределения, оценены масштабы генерации УВ, обоснованы геофизические и геохимические параметры, рассчитаны плотности геологических ресурсов.

На сегодняшний день уже получены первые, хотя и скромные, результаты опробований в Оренбургской области и Республике Коми. Надо признать, что

лидером и монополистом в «сланцевой революции» является США, однако в этой проблеме много пиара. Себестоимость добычи нетрадиционных источников значительно превышает аналогичные показатели при добыче традиционной нефти из-за большого затратного механизма, да и в целом приведенная стоимость добычи недостаточно точна (по данным США, стоимость 1 барреля сланцевой нефти составляет 23 дол. на устье скважины, в РФ — традиционной нефти 17 дол.). Однако сланцевая нефть стала основным источником роста добычи нефти США (Пермский бассейн, Баккен, Игл Форд). В 2019 г. в США добывали более 6 млн баррелей/сут — 63 % общей добычи, или более 250 млн т/год.

Авторы статьи попытались установить генетическую сущность происхождения УВ в доманиковых сланцах, анализируя схему проявления магматизма (платформенные магматические вариации и формации внутренней вулканогенной зоны Тимано-Уральского подвижного пояса) и карту результатов комплексного анализа ОВ (углерода). Следует отметить, что повышенное содержание ОВ приурочено к зонам проявления магматизма и может быть объяснено тем, что процессы нефтеобразования и нефтегазоаккумуляции в доманиковых отложениях связаны с историей становления земной коры региона, магматизмом и деструкцией, образованием сквозных зон проницаемости, протеканием флюидодинамических и гидротермальных процессов, обеспечивающих условия для формирования восстановленных систем, миграции и локализации.

Нельзя исключить то, что при проявлении палеовулканизма возможно возникновение условий для парагенезиса УВ, так как имеются исходные компоненты системы (CO_2 , H_2 , t_0 , P). Наличие вулканического пепла (пластов вулканического пепла) отмечено в керне Пермского бассейна, месторождений Баккен, Игл Форд (США), Сюаньчен (КНР), в баженовской свите (район Сургута и правобережье р. Обь), в керне из скважин Тимано-Печорской и Волго-Уральской НГП (Оренбург). Известно, что вулканическая активность способствует размножению водорослей и обеспечивает органическую составляющую УВ, влияет на среду формирования нефтегазоматеринских пород и ускоряет процесс эволюции нефти и газа (высокие температура, давление, присутствие микроэлементов), способствует образованию органических ламинарных водорослевых текстур отложений, чередующихся с толщами, обеспечивающими миграцию и сохранение УВ. Она также способствует сохранению ОВ — возникает восстановительная обстановка, при которой невозможно захоронение органического углерода. Большинство основных сланцевых нефтяных и газовых залежей приурочено к слоям вулканического пепла, а по времени образования — к пяти крупнейшим периодам массового вымирания органического мира.

Для доманиковых отложений рассматривается всего три таких периода: конец ордовика (450 млн лет), поздний девон (377 млн лет), позднепермское время (25 млн лет).

Магматическая активность, обеспечивающая большой объем высокотемпературных и высоконапорных геотермальных жидкостей, изменяет локальное поле t_0 и P , ускоряя созревание и эволюцию исходного ОВ. Несомненно важно начать работы по масштабному освоению нетрадиционных и трудноизвлекаемых запасов УВ, недаром технологии по их освоению попали под действие первоочередных американских санкций. Понятно также и то, что в нынешних кризисных условиях и в ближайшем будущем ожидать их рентабельного освоения не приходится. Однако кризисы не вечны и к неизбежному новому росту надо подойти в полной готовности, вооружившись собственными новыми технологиями. Нельзя в очередной раз упускать время, чтобы вновь не оказаться у разбитого корыта.

В 2011 г. был разработан авторский проект «Глубинная нефть» как альтернатива теории органического происхождения нефти. Реализация разработанного проекта могла бы способствовать минимизации негативных последствий западных санкционных ограничений в области топливно-энергетического комплекса России. К сожалению, этот проект не реализован в полной мере из-за отсутствия финансирования. При выборе исполнителем работ АО «Росгеология» на выделенные в 2019 г. для нефтяной геологии 11 млрд р. можно было пробурить 1 параметрическую скважину и отработать 3–4 региональных сейсмических профиля. И это при том, что государство за последние 6 лет получило от недропользователей более 0,5 трлн р. на аукционах и более 120 млрд р. за пользование недрами. Если экономика страны находится в прогрессирующей стагнации, то геология в уже более критическом состоянии.

Заключение

Следует отметить, что наблюдаемые авторами статьи аномальные геофизические и геохимические поля в разрезе еще не свидетельствуют о наличии залежей, а дают возможность предположить их формирование в ареале вторжения глубинных систем по унаследованным и развивающимся вертикальным зонам трещиноватости, осложняющим разломы и уходящим в кристаллический фундамент. Подвижки блоков фундамента возникали на различных этапах тектогенеза и приводили не только к образованию разломов, но и обеспечивали протекание как древних флюидодинамических процессов, так и миграцию в молодых нефтеобразующих системах.

Литература

1. Лурье М.А. О причинах геохимических различий нефтегазовых систем // Геология нефти и газа. – 2015. – № 3. – С. 69–75.
2. Муслимов Р.Х. Повышение роли нетрадиционных видов углеводородного сырья для длительного устойчивого развития экономики (на примере Республики Татарстан) // Георесурсы. – 2015. – № 4(54). – С. 45–54. DOI: <http://dx.doi.org/10.18599/grs.54.4.1>.
3. Гаврилов В.П., Грунис Е.Б. Состояние ресурсной базы нефтедобычи в России и перспективы ее наращивания // Геология нефти и газа. – 2012. – № 5. – С. 30–38.
4. Трофимов В.А. Кардинальное решение вопроса повышения нефтеотдачи «старых» месторождений — добыча нефти непосредственно из нефтеподводящих каналов // Георесурсы. – 2013. – № 4(54). – С. 58–65. DOI: <http://dx.doi.org/10.18599/grs.54.4.10>.
5. Грунис Е.Б., Варламов А.И., Ростовщиков В.Б., Маракова И.А. Состояние, пути наращивания сырьевой базы углеводородов в Российской Федерации и проблемы геологического моделирования // Проблемы геологии, разработки и эксплуатации месторождений и транспорта трудноизвлекаемых запасов углеводородов (Ухта, 1–2 ноября 2018 г.): сб. науч. тр. по мат-лам междунар. науч.-практ. конф. – М.: Перо, 2019. – С. 138–144.

References

1. Lur'e M.A. Concerning geochemical differences of oil and gas systems. *Geologiya nefiti i gaza*. 2015;(3):69–75. In Russ.
2. Muslimov R.Kh. Enhancing the role of non-conventional hydrocarbon deposits for long-term sustainable economic development (on the example of the Republic of Tatarstan). *Georesursy = Georesources*. 2013;4(54):45–54. DOI: <http://dx.doi.org/10.18599/grs.54.4.1>.
3. Gavrilov V.P., Grunis E.B. The state of oil production resource base in Russia and its increase prospects. *Geologiya nefiti i gaza*. 2012;(5):30–38. In Russ.
4. Trofimov V.A. Comprehensive solution of the enhanced oil recovery issue of "old" fields — oil production directly from the oil-bearing channels. *Georesursy = Georesources*. 2013;4(54):65–67. DOI: <http://dx.doi.org/10.18599/grs.54.4.10>.
5. Grunis E.B., Varlamov A.I., Rostovshchikov V.B., Marakova I.A. Sostoyanie, puti narashchivaniya syr'evoi bazy uglevodorodov v Rossiiskoi Federatsii i problemy geologicheskogo modelirovaniya [Status and ways to buildup hydrocarbon raw materials base in Russian Federation and challenges of geological modeling]. In: *Problemy geologii, razrabotki i ekspluatatsii mestorozhdenii i transporta trudnoizvlekaemykh zapasov uglevodorodov* (Ukhta, 1–2 November 2018): sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Moscow: Pero; 2019. pp. 138–144. In Russ.

Информация об авторах

Грунис Евгений Борисович

Доктор геолого-минералогических наук,
главный научный сотрудник
ФГБУ «ВНИГНИ»,
105118 Москва, ш. Энтузиастов, д. 36
e-mail: grunis@vnigni.ru
ORCID ID: 0000-0001-8059-0933

Давыденко Борис Иванович

Кандидат геолого-минералогических наук,
заместитель генерального директора
по лицензированию
ФГБУ «ВНИГНИ»,
105118 Москва, ш. Энтузиастов, д. 36
e-mail: boroil@vnigni.ru

Information about authors

Evgeniy B. Grunis

Doctor of Geological and Mineralogical Sciences,
Chief Researcher
All-Russian Research Geological Oil Institute,
36, Shosse Entuziastov, Moscow, 105118, Russia
e-mail: grunis@vnigni.ru
ORCID ID: 0000-0001-8059-0933

Boris I. Davydenko

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,
Deputy Director-General
for Licensing Issues
All-Russian Research Geological Oil Institute,
36, Shosse Entuziastov, Moscow, 105118, Russia
e-mail: boroil@vnigni.ru