УДК: 553.982.2(5 71.1)

DOI: 10.31431/1816-5524-2020-1-45-66-88

# СЕРПЕНТИНИЗАЦИЯ МАНТИЙНЫХ ПЕРИДОТИТОВ КАК ОСНОВНОЙ ИСТОЧНИК ГЛУБИННЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО НЕФТЕГАЗОНОСНОГО БАССЕЙНА

# © 2020 Ю.Н. Разницин<sup>1</sup>, Г.Н. Гогоненков<sup>2</sup>, Ю.А. Загоровский<sup>3</sup>, В.А. Трофимов<sup>4</sup>, М.А. Федонкин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН Геологический институт РАН, Москва, Россия, 119017; e-mail: razn46@mail.ru <sup>2</sup>ФГУП Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт, Москва, Россия, 105118 <sup>3</sup>000 Газпром геологоразведка, Тюмень, Россия, 625000 <sup>4</sup>АО Центральная геофизическая экспедиция, Москва, Россия, 123298

Предложена схема формирования углеводородного потенциала Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна в палеонадсубдукционной геодинамической обстановке. Развиваются представления об абиогенном глубинном генезисе углеводородов за счет низкотемпературной серпентинизации мантийных перидотитов в процессе спрединга в ордовикском задуговом бассейне, находившемся в это время на месте будущего Западно-Сибирского бассейна, и высокотемпературной гидратации перидотитов в мантийных клиньях над зонами субдукции в силуре и девоне. Дополнительным глубинным источником углеводородных залежей служит серпентинизация фрагментов мантийных перидотитов, слагающих блоки в водосодержащем фундаменте бассейна. Устанавливается большая роль в образовании залежей углеводородов в осадочном чехле Западной Сибири вертикальной миграции глубинных углеводородных флюидов по трубам дегазации, включая аномальные кольцевые зоны, по глубинным надвигам, представляющим собой активные газо-нефтеподводящие каналы и по крупной зоне неоген-четвертичных малоамплитудных горизонтальных сдвигов в толще фундамента. Большая роль в дренировании глубинных источников углеводородов принадлежит разломам, в первую очередь триасовой системе рифтов Западной Сибири. Подпитка новыми порциями нефти и газа месторождений Западно-Сибирского бассейна продолжается в настоящее время, что определяет возобновляемость углеводородных ресурсов региона. Общий объем генерируемого метана в зонах серпентинизации мантийных перидотитов формируется из двух источников — абиотического (реакция водорода с углекислотой, растворенной в морской воде) и биотического (метаногены). Происхождение углеводородов рассматривается в рамках новой полигенетической схемы нефте- и газообразования в процессе «абиогенно-биогенного» синтеза.

Ключевые слова: океан, спрединг, субдукция, надсубдукционые области, перидотиты, серпентинизация, углеводороды.

### ВВЕДЕНИЕ

Западно-Сибирский осадочный бассейн является одним из крупнейших нефтегазоносных бассейнов мира, содержащих уникальные по объему и количеству месторождения углеводородов. За последние десятилетия здесь отработаны сотни тысяч километров профильной сейсморазведки, пробурено около 200 тыс. скважин, открыты сотни месторождений нефти и газа, добыто несколько миллиардов тонн нефти и триллионов кубометров газа (Гогоненков, Тимурзиев, 2010). Многие годы Западная Сибирь обеспечивает более 90% добычи газа и до 70% добычи нефти в России.

Однако, специалисты нефтяной отрасли, стоящие на позициях осадочно-миграционной (органической) гипотезы говорят об истощении ресурсов этого региона по мере эксплуатации месторождений и о грядущем в недалеком будущем кризисе всей нефтегазовой отрасли вообще. В то же время, сторонники глубинного абиогенного генезиса углеводородов с оптимизмом смотрят в будущее, утверждая, что запасы углеводородов в Западной Сибири неисчерпаемы и восполнимы.

В последнее время появляется все больше свидетельств значительному, если не доминирующему, вкладу глубинных абиогенных источников в поставку углеводородов в осадочные толщи многих нефтегазоносных районов. Так в Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции сейсмическими методами выявлены различные каналы глубинной углеводородной дегазации недр (Гогоненков, Тимурзиев, 2010; Загоровский, 2017; Трофимов, 2014). Междисциплинарные исследования на восточном шельфе Сахалина и южном шельфе Кубы показали, что поставка газа и нефтегазоносных флюидов в кайнозойские осадочные толщи осуществляется из мантийных пород фундамента (Разницин, 2012, 2014; Разницин и др., 2018; Черепанов и др., 2013).

Накопленные за последние годы материалы по геологии и тектонике уральского «офиолитового» обрамления Западной Сибири, проведенный большой комплекс буровых и геофизических работ в Западно-Сибирском бассейне, результаты геологических и биохимических исследований синтеза углеводородов на дне океанов и в пределах современных и древних активных континентальных окраин позволяют предложить новую схему формирования углеводородного потенциала Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. В основе этой схемы лежат представления о глубинном генезисе углеводородов, синтезированных в палеонадсубдукционной геодинамической обстановке.

### СЕРПЕНТИНИЗАЦИЯ И ВОДОРОД-МЕТАНОВЫЕ АНОМАЛИИ ОКЕАНОВ И ОКРАИННЫХ МОРЕЙ

Ультраосновные породы — перидотиты — слагают основной объем верхней мантии Земли, входят в состав верхней мантии всех современных океанов и окраинных морей активных континентальных окраин, а также древних реликтов океанической коры (офиолитов). Перидотиты представляют собой мантийные реститы, т.е. тугоплавкий высокомагнезиальный остаток после отделения базальтов из мантийного вещества. Реститы на 75–80% состоят из оливина (Mg,Fe)<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> и 15–20% пироксенов — орто-(Mg,Fe)<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub> и клино- Ca(Mg,Fe)Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>. Процесс гидратации оливина и пироксена носит общее название серпентинизации.

При умеренных давлениях и температурах наиболее интенсивно серпентинизация происходит при 150–350°С (Дмитриев и др., 1999), что подтверждается результатами кинетико-термодинамического моделирования — серпентинизация становиться эффективной при температуре не ниже 130–150°С на глубинах 3.5–4.5 км (Силантьев и др., 2009). Образование водорода и метана в этих условиях может происходить при реакции морской воды, содержащей растворенный CO<sub>2</sub>, с ультраосновными породами с образованием серпентина и магнетита по известным реакциям, например (Дмитриев и др., 1999):

$$6[(Mg_{1.5}Fe_{0.5})SiO_4] + 7H_2O =$$
  
оливин  
=  $3[Mg_3Si_2O_5(OH)_4] + Fe_3O_4 + H_21$   
серпентин магнетит  
 $CO_2 + 4H_2 = CH_4\uparrow + 2H_2O$ 

Реакция экзотермическая и происходит с выделением тепловой энергии (144 ккал/моль).

Серпентинизация является причиной эмиссии огромных объемов водорода и метана, участвующих в абиогенном синтезе углеводородов на дне медленно-спрединговых срединно-океанических хребтов. В работе (Дмитриев и др., 1999) принята интенсивность генерации водорода и метана, соответствующая величине отношения В/П (вода-порода) равной 2: при полной серпентинизации 1 км<sup>3</sup> перидотита выделяется  $5 \times 10^5$  т водорода и  $2.5 \times 10^5$  т метана. Скорость образования метана в океанической коре достигает от 2 до 9 млн т/год (Сорохтин, 2007).

Открытые в 90-е годы прошлого столетия ассоциированные с мантийными перидотитами активные гидротермальные поля в осевой части медленно-спредингового Срединно-Атлантического хребта (САХ) характеризуются интенсивными эмиссиями водорода и метана, которые интерпретируются исследователями в качестве источников углеводородов, например (Дмитриев и др., 1999; Соколов, 2018; Соколов, Мазарович, 2009 и др.). Более того, сегодня серпентинизация абиссальных перидотитов вообще рассматривается в качестве «гигантской фабрики по производству нефти» (Manuella et al., 2018).

Эти поля тяготеют к участкам амагматичного спрединга в условиях, когда тектонические процессы преобладают над магматическими и верхнемантийные породы оказываются выведенными в верхние горизонты коры в сферу седиментации по пологим глубинным срывам (detachment faults) с образованием муллионструктур или океанских глубинных комплексов (oceanic core complexes). Морская вода, проникая по трещинам и тектоническим срывам в породы верхней мантии, инициирует их серпентинизацию, трансформируясь в углеводородные флюиды в виде «черных курильщиков» на участках разгрузки гидротермальных систем (Разницин, 2003, 2004). При этом образуется кора «хессовского типа» с широким распространением перидотитов и серпентинитов (Cannat et al., 1995). Такой своеобразный конвейер обеспечивает непрерывную «прокачку» морской воды через толщу ультраосновных пород, давая на выходе огромные количества водорода и метана. Этот процесс развивается в условиях, отвечающих начальному этапу генерации нефти и газа. Флюиды, ассоциированные с мантийными перидотитами, отличаются высоким содержанием метана, его гомологов и нефтяных углеводородов (Леин и др., 2000).

В ходе серпентинизации мантийных перидотитов происходит интенсивная эмиссия водорода. Водород является субстратом жизнедеятельности разнообразных прокариот, прежде всего метан-генерирующих архей (Федонкин, 2008). Их активному водородному метаболизму способствует высокая концентрация ионов тяжелых металлов (Fe, W, Ni и других активаторов ферментов водородного метаболизма гидрогеназ) в зонах разгрузки гидротерм и в поровых водах. Таким образом, общий объем генерируемого метана формируется из двух источников — абиотического (реакция водорода с углекислотой, растворенной в морской воде) и биотического (метаногены). Заселенные бактериями и археями (гипертермофилами) гидротермы создают огромную биомассу не только на поверхности дна, но и в недрах океана на значительной глубине. Это органическое вещество было и остается главным источником биогенных углеводородов со времени появления океанов на Земле. Биотическая деструкция этой биомассы и ее химические преобразования ведут к формированию простых газообразных углеводородов и нефти. Биопродуктивность прокариотной биоты (биомасса и биогенный метан) указанных биотопов в большой степени определяет углеводородную перспективность пористых горных пород и осадков, расположенных над зоной субдукции. При этом главным фактором преобразования метана, водорода и сероводорода в более сложные углеводороды является жизнедеятельность бактерий, потребляющих эти газы, поскольку абиогенный метан служит пищевой базой для бактерий, а уже последние создают органические вещества, из которых в дальнейшем образуются и нормальные углеводороды (Леин, Сагалевич, 2000).

Однако, накопления углеводородных газов в залежи в осевых частях медленно-спрединговых хребтов не происходит из за отсутствия осадочного чехла в качестве верхнего флюидоупора. Формирование залежей не происходит и в смежных глубоководных котловинах, где установлена дегазация флюдов, связанная с серпентинизацией верхней мантии, из-за небольшой мощности осадочного чехла (Соколов, 2018).

Иная ситуация свойственна надсубдукционным геодинамическим обстановкам, в которых имеет место спрединг над зоной субдукции и где меланократовый фундамент вместе с гидротермальными полями перекрыт мощными толщами вулканогено-осадочных пород, под которыми продолжаются процессы серпентинизации и формирование углеводородных флюидов. При этом метан не рассеивается в водах окраинных морей и в атмосфере, а оседает в залежи в отложениях их чехла. В такой обстановке серпентинизация перидотитов может происходить как непосредственно в задуговых бассейнах, так и в мантийных клиньях над зоной субдукции. Последнее обстоятельство позволяет предполагать более высокую продуктивность надсубдукционных областей по выходу водорода и метана на единицу площади по сравнению с открытой рифтовой зоной медленно-спрединговых хребтов (Дмитриев и др., 1999).

### ТИПЫ СЕРПЕНТИНИЗАЦИИ ПЕРИДОТИТОВ ПОЛЯРНОГО УРАЛА

Два различных типа серпентинизации, коровой низкотемпературной и глубинной высокотемпературной и их соотношения в пространстве выявлены в мантийных перидотитах офиолитовых аллохтонов Полярного Урала, обнаженных в виде непрерывной цепи линзовидных тел, наклоненных к юго-востоку и обрамляющих северную часть Западно-Сибирского бассейна (Савельева и др., 2016). Аллохтоны представляют собой гигантские фрагменты коры и мантии океанического типа, сформированные в надсубдукционной геодинамической обстановке в задуговом бассейне в ранне- и среднепалеозойское время, и надвинутые в конце среднего — в позднем палеозое с востока на запад, на континентальную окраину Восточно-Европейской платформы (ВЕП) (Белоусов и др., 2009; Пучков, 2010; Савельева и др., 2008). Мантийные комплексы, представленные, в основном, гарцбургитами, слагают большую часть офиолитового разреза мощность их достигает 6-8 км (Савельева, 1987). Различные типы серпентинизации рассматривались на примере Войкаро-Сыньинского массива (Савельева и др., 2016).

Низкотемпературная петельчатая лизардитхризотиловая серпентинизация ультрамафитов проходила в задуговом бассейне в коровых приповерхностных условиях и была вызвана, в том числе, тектоническими процессами. Тектоническое скучивание и расслаивание океанической коры и верхов мантии бассейна способствовало усиленному проникновению морской воды в толщу ультрамафитов и обеспечивало масштабную серпентинизацию в процессе амагматичного спрединга. Высокотемпературная антигоритовая серпентинизация перидотитов проходила в литосферной области мантийного клина непосредственно над погружающимся слэбом по следующей схеме: дегидратация серпентинитов и осадков в слэбе обуславливала формирование потока летучих компонентов, основным из которых является вода. Этот поток поднимался в породы мантийного клина, вызывая высокотемпературную гидратацию перидотитов в интервале глубин 50-60 км при температуре 600-650°С и давлении около 1.5 МПа (Савельева и др., 2016).

Как низкотемпературная серпентинизация, так и высокотемпературная гидратация мантийных перидотитов сопровождались обильным выделением водорода, участвующего в абиогенном синтезе метана в присутствии растворенного в морской воде CO<sub>2</sub>.

## ФОРМИРОВАНИЕ УГЛЕВОДОРОДНОГО ПОТЕНЦИАЛА ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО НЕФТЕГАЗОНОСНОГО БАССЕЙНА

В Западно-Сибирской плите традиционно выделяется три главных структурных этажа: складчатый фундамент, сложенный формациями почти исключительно палеозойского возраста (офиолиты являются самыми древними образованиями фундамента); рифтовый (или промежуточный) структурный этаж, представленный базальтами, иногда базальтами и риолитами раннего триаса, сменяющимися вверх по разрезу терригенными толщами среднего и позднего триаса; ортоплатформенный чехол, сложенный юрскими и более молодыми, практически недислоцированными осадочными толщами, которые вмещают почти все месторождения углеводородов Западной Сибири. Первые два этажа обычно называют доюрским основанием или фундаментом Западной Сибири (Иванов и др., 2012).

Для выявления особенностей формирования углеводородного потенциала Западно-Сибирского бассейна необходимо в кратком виде рассмотреть историю его возникновения и последующей эволюции. Бассейн возник на месте палеозойского Палеоуральского океана, фактически представлявшего собой окраинное море более широкого Палеоазиатского океана (Сорохтин, 2007; Хаин, 2001). По современной терминологии окраинное море входит в систему структур надсубдукционной области, включающей латеральный ряд активной континентальной окраины: задуговой бассейн, островная вулканическая дуга, преддуговой бассейн, глубоководный желоб. Полярноуральский океан в рамках этой терминологии в данной работе рассматривается в качестве задугового бассейна палеозойской надсубдукционной области.

Спрединг и образование офиолитов в этом задуговом бассейне начались в позднем арениге и продолжались около 30 млн лет; бассейн был шириной не менее 600 км (Иванов и др., 2008). Начиная со второй половины ордовика здесь начали формироваться две главные энсиматические островные дуги: северная, Тагильская, имеющая в основном силурийский возраст, и южная, Магнитогорская, — девонский, над зонами субдукции, наклоненными к востоку (Пучков, 2010; Хаин, 2001). В среднем девоне прекращается расширение бассейна и начинается субдукция коры его восточной части под Казахстано-Киргизский микроконтинент. В середине позднего девона началось закрытие бассейна и сближение Магнитогорской дуги с краем ВЕП. Связанное с закрытием задугового бассейна надвигание офиолитовых аллохтонов Полярного Урала на отложения шельфа и континентального склона ВЕП, произошло в раннем карбоне (Пучков, 2010).

Завершением палеозойской геодинамической истории рассматриваемого региона явилась коллизия Магнитогорской дуги и континента, сопровождавшаяся складчатостью, тектоническим скучиванием (максимум в C<sub>3</sub>-P<sub>1</sub>), внедрением гранитных плутонов, метаморфизмом и формированием новообразованной коры континентального типа (Иванов и др., 2008, 2009а). Возраст этих важнейших событий, консолидировавших палеозойские комплексы на огромной территории будущего мезо-кайнозойского Западно-Сибирского мегабассейна, определяется как раннепермский.

На рубеже перми и триаса начался этап широкомасштабного континентального рифтогенеза, в результате которого возникла сложная сеть рифтов общего субмеридионального простирания, в которой центральное положение занимает протянувшаяся на 1500 км Уренгойско-Колтогорская система рифтов, находящаяся между 70° и 75° в.д. (рис. 1). Рифтовые грабены в раннем и начале среднего триаса, около 250 млн лет тому назад, заполнялись базальтами, входящими в состав крупной Урало-Сибирской магматической провинции (Пучков, 2018) и обломочными осадками. В позднем триасе осадконакопление стало чисто терригенным, положив начало формированию Западно-Сибирского осадочного бассейна.

В конце средней юры весь регион охватила начавшаяся здесь трансгрессия моря, а в самом начале мелового периода стали накапливаться глинистые осадки баженовской свиты, обогащенные биогенным органическим веществом, и являющиеся, по мнению В.Е. Хаина (2001) и О.Г. Сорохтина (2007) и многих других исследователей, стоящих на позициях органического



**Рис. 1.** Карта распределения фрагментов офиолитов в фундаменте Западно-Сибирского бассейна, по (Ulmishek, 2003), с изменениями: *1* — Уренгойско-Колтогорская система триасовых рифтов; *2* — фрагменты офиолитов, в том числе и мантийных перидотитов; *3* — граница Западно-Сибирского бассейна.

**Fig. 1.** Map of allotment of ophiolites fragments in the West Siberian basement, by (Ulmishek, 2003), with changes: 1 -Urengoysko-Koltogorskaya system of triassic rifts; 2 -ophiolites fragments, including mantle peridotites; 3 -boundary of West Siberian basin.

происхождения углеводородов, главным генератором нефти в мезо-кайнозойских осадочных образованиях Западно-Сибирского бассейна.

Полученные в последнее время данные о том, что серпентинизация абиссальных перидотитов является причиной эмиссии огромных объемов водорода и метана позволяют взглянуть на проблему происхождения уникального углеводородного потенциала Западной Сибири под иным углом зрения.

Источником абиогенных углеводородных флюидов являлась низкотемпературная лизардит-хризотиловая серпентинизация, сопровождавшая амагматичный медленный спрединг в задуговом бассейне в ранне-позднеордовикское время. Индикаторами такого спрединга являются тела офикальцитов, являющихся составной частью глыбового наполнения серпентинитовых меланжей Урала (Рязанцев и др., 2007). Офикальциты — тектонические брекчии, состоящие из обломков тектонизированных перидотитов и серпентинитов в карбонатном матриксе (Книппер, 1978; Bonatti et al., 1974). Своеобразная структура офикальцитов возникла в результате тектонического расслоения литосферы и выведения ее мантийной части на поверхность океанского дна (Книппер и др., 2001). В нашем случае — на поверхность дна задугового бассейна.

В процессе высокотемпературной антигоритовой серпентинизации перидотитов в мантийных клиньях над зонами субдукции, связанных с Тагильской и Магнитогорской островными дугами (конец ордовика-силур и девон соответственно) также происходило образование абиогенных углеводородных флюидов.

Таким образом, интервал времени от начала спрединга в задуговом бассейне в ордовике до его закрытия в раннем карбоне (около 100 млн лет) характеризовался образованием углеводородных абиогенных флюидов за счет серпентинизации мантийных перидотитов и формированием нефтегазовых залежей в отложившейся за этот промежуток времени достаточно мощной толще вулканогенно-осадочных пород, под которой продолжались процессы серпентинизации.

Интенсивная тектонизация и тектоническое скучивание при формировании новообразованной континентальной коры Западно-Сибирского бассейна на месте палеозойской надсубдукционной области в ранней перми привело к разобщению и фрагментации палеозойского разреза задугового бассейна вместе с содержащимися в нем залежами углеводородов и к становлению фундамента Западно-Сибирского бассейна.

Реликты океанической коры и верхов мантии задугового бассейна по данным бурения многочисленных скважин широко представлены в доюрском гетерогенном фундаменте Западно-Сибирского бассейна фрагментами серпентинитового меланжа, серпентинитов, гарцбургитов, лерцолитов, габброидов, плагиогранитов, базальтов с прослоями яшм, содержащими позднеордовикские радиолярии и конодонты (Иванов и др., 2007, 2009а, 2012; Симонов и др., 2008) (рис. 1). Кроме того, массивы серпентинитов хорошо картируются по интенсивным положительным магнитным аномалиям с амплитудой 100-400 нТл и более (Ерохин и др., 2008).

Эти фрагменты обычно располагаются вдоль крупных разломов и тектонически совмещены с другими толщами. По своим геохимическим особенностям они соответствуют, в основном, формациям задуговых бассейнов (Иванов и др., 2009а). Значительный объем среди фрагментов верхней мантии занимают апогарцбургитовые серпентиниты, образовавшиеся по породам мантийного дунит-гарцбургитового комплекса в надсубдукционной геодинамической обстановке (Симонов и др., 2008), а также серпентиниты, представленные антигоритовыми разностями (Ерохин и др., 2008). Первые образовались в результате низкотемпературной лизардит-хризотиловой серпентинизации, сопровождавшей спрединг в задуговом бассейне, вторые в результате высокотемпературной гидратации перидотитов в мантийных клиньях над зонами субдукции, как это было показано выше на примере полярно-уральских офиолитов (Савельева и др., 2016). В целом, породы ордовикских офиолитовых ассоциаций в фундаменте Западно-Сибирского бассейна сходны с аналогичными образованиями открытого Урала (Иванов и др., 2008, 2009а; Рязанцев и др., 2012).

По нашему мнению имеется еще один, менее значимый и не такой глубинный источник углеводородов Западно-Сибирского бассейна. Как известно, в чехле последнего примерно до уровня нижненеокомских отложений все пласты имеют нормальные водоносные зоны (Загоровский, 2017). Фундамент также водонасыщен — часть хлоридно-кальциевых рассолов, а также гидрокарбанатно-натриевые воды фундамента сформировались в результате поступления в кристаллические породы эндогенных флюидов, содержащих растворенные CO<sub>2</sub> и HCl (Киреева, Буданова, 2011). Кроме того, вода в фундамент могла проникать из осадочного чехла по глубинным разломам. Так или иначе, фундамент бассейна оказывается водосодержащим. На глубине 1.5-2 км температура пластовой воды достигает 100-150° С. В северной части Западно-Сибирского артезианского бассейна, начиная с глубины 1000 м, температура воды варьирует в широком интервале от 30°С до 200°С (Новиков, 2016). В целом, в недрах Западной Сибири располагается целое море горячей воды, площадью 3 млн км<sup>2</sup> и объемом 1 трлн м<sup>3</sup> (Гаврилов, 1981). Таким образом, создаются все условия для создания источника углеводородов в условиях, соответствующих начальному этапу генерации нефти, в результате серпентинизации фрагментов мантийных перидотитов (лерцолитов и гарцбургитов), находящихся в фундаменте Западно-Сибирского бассейна. Серпентинизация этих фрагментов сопровождается обильным выделением водорода, участвующего в абиогенном синтезе метана в присутствии растворенного в гидрокарбонатнонатриевых водах фундамента СО<sub>2</sub>, увеличивая тем самым объем абиогенных углеводородных флюидов, синтезированных в палеонадсубдукционной геодинамической обстановке.

Мощные рифтогенные процессы, протекавшие в регионе на рубеже перми и триаса, способствовали вторжению глубинных абиогенных углеводородных флюидов, сформированных в палеозойское время в надсубдукционной геодинамической обстановке, а также за счет серпентинизации фрагментов перидотитов в фундаменте Западно-Сибирского бассейна, в осадочный мезо-кайнозойский чехол, содержащий почти все нефтегазовые месторождения Западной Сибири.

Для Западной Сибири характерно наличие поясов нефтегазонакопления, расположенных вблизи крупных триасовых рифтов и зон их пересечений (Нежданов и др., 2012). Именно палеорифтами контролируется размещение гигантских месторождений нефти и газа, содержащих более 60% запасов углеводородов Западно-Сибирского бассейна. Также установлено, что главные месторождения нефти приурочены к бортам триасовых рифтов. Это вызвано тем, что рифты дренируют верхнюю мантию бассейна (Иванов и др., 2018), и, надо полагать, его фундамент.

## МАСШТАБЫ, КАНАЛЫ И МЕХАНИЗМЫ ГЛУБИННОЙ УГЛЕВОДОРОДНОЙ ДЕГАЗАЦИИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО БАССЕЙНА

Одной из отличительных черт бассейна является четко выраженная зональность в распределении газовых и нефтяных скоплений, а именно: доминирование газовых в северных районах (часть бассейна севернее 65° с.ш., п-ва Ямал и Гыданский, шельф Карского моря) и нефтяных — в южных, в Среднем (Широтном) Приобье (рис. 2).

На примере многопластовых месторождений П.Н. Кропоткин (1985) по контурам залежей выявил так называемые трубы дегазации, по которым происходили перетоки нефти и газа вверх по разрезу (рис. 3). В качестве примера этот исследователь приводил Харьягинское месторождение (Тимано-Печерская провинция), на котором 35 нефтяных залежей приурочены к горизонтам от нижнего триаса до среднего девона. Внутри этих труб наблюдаются следы миграции, крупные и мелкие залежи нефти и газа в пределах ловушек, максимальное содержание метана в подземных водах, аномально высокое пластовое давление (АВПД), связанное с вторжением глубинных сжатых газов, округлые в плане геохимические и температурные аномалии — явные следы движения углеводородных газов.

За последние годы получены принципиально новые данные о масштабах, каналах и механизмах глубинной углеводородной дегазации, подтверждающих выводы П.Н. Кропоткина (1985) и имеющие прямое отношение к процессам формирования нефтегазовых месторождений Западно-Сибирского бассейна,

По материалам сейсморазведки в пределах Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна установлены и классифицированы флюидодинамические аномалии сейсмической записи разных типов, свидетельствующие о вертикальной миграции углеводородов.

Наиболее явными примерами такой миграции углеводородов на месторождениях северной части Западной Сибири являются аномальные кольцевые зоны (АКЗ) (Загоровский, 2017). На сейсмических временных разрезах МОГТ 3D они отображаются как локальные зоны прогибания отражающих горизонтов в палеозой-триас-юрских отложениях, которым соответствуют антиклинальные перегибы по вышезалегающим горизонтам. В плане такие структуры имеют изометричную, округлую форму с диаметром от первых до 15-16 км (рис. 4, 5). Анализ скважинных данных, в том числе вертикального сейсмического профилирования, показал, что инверсии меловых горизонтов в разрезе не наблюдается. Фактически эти структуры представляют собой унаследованные антиклинальные поднятия. Наблюдаемое же на сейсмических временных разрезах прогибание юрских и более глубоких горизонтов обусловлено резким уменьшением скоростей сейсмических волн, связанным с газонасыщением и аномально высоким АВПД, близким к литостатическому.

АКЗ интересны прежде всего тем, что им соответствуют крупные и гигантские многоэтажные скопления газа и газового конденсата. Скважинами, вскрывшими центральные части АКЗ, выявлены газовые залежи в отложениях сеномана, неокома и юры. Генетическая связь АКЗ с расположенными выше по разрезу многоэтажными залежами очевидна, так как исключений из этого правила не обнаружено. Таким образом, вполне резонно предположить, что АКЗ это действующие сегодня газовулканические аппараты центрального типа, а регистрируемое на месторождениях АВПД есть следствие постоянной подпитки залежей потоками глубинных газов (Загоровский, 2018). Большое количество уникальных и крупных по запасам природного газа и конденсата месторождений сопровождаются АКЗ: Уренгойское, Ямбургское, Юрхаровское (все три находятся вблизи г. Новый Уренгой), Харасавэйское (на западном побережье п-ва Ямал), Ленинградское (в Карском море) и др. АКЗ и другие подобные им кинематические аномалии сейсмической записи можно рассматривать как доказательство современных процессов вертикальной миграции углеводородных флюидов в концентрированной форме



**Рис. 2.** Карта нефтегазоносности Западно-Сибирского и Тимано-Печерского бассейнов, по (Ulmishek, 2003), с изменениями: *1* — граница Западно-Сибирского бассейна и Тимано-Печерского бассейнов; *2* — граница, разделяющая области Западно-Сибирского бассейна преимущественно с газовыми (северная часть бассейна) и нефтяными (южная часть бассейна) месторождениями; *3* — нефтяные месторождения; *4* — газовые месторождения.

**Fig. 2.** Map of oil-and-gas-content in West Siberian and Timan-Pechora basins, by (Ulmishek, 2003), with changes: 1 - boundary of West Siberian and Timan-Pechora basins; 2 - boundary of West Siberian basin with gas (the northern part of basin) and oil (the southern part) fields; 3 - oil fields; 4 - gas fields.

\*

Рис. 3. Схема многоэтажного месторождения с залежами нефти, газа и конденсата, внутри контура трубы дегазации, по (Кропоткин, 1985): 1 — фундамент; 2 — водоупорные горизонты и другие покрышки нефтегазовых залежей (барьеры на пути миграции углеводородов); 3 — разломы; 4 — нефть; 5 — газ; 6 — конденсат; 7 — внешний контур трубы дегазации; 8 — основные направления миграции углеводородов.

**Fig 3.** Scheme of multi stage oil-gas and gas condensate deposit, within the coil of gas chimney, by (Kropotkin, 1985): 1 – basement; 2 – aquicludes horizons and other caprocks of oil-gas deposits; 3 – faults; 4 – oil; 5 – gas; 6 – gas condensate; 7 – external coil of gas chimney; 8 – main directions of hydrocarbons migration.





**Рис. 4.** Аномальная кольцевая зона на Юрхаровском нефтегазоконденсатном месторождении, по (Загоровский, 2017): *а* — временной сейсмический разрез через Юрхаровское поднятие; *б* — карта временной мощности между кровлей сеномана и кровлей юры; *в* — интервальные скорости сейсмических волн в интервале сеноман-юра по данным ВСП в скважинах 131 и 134.

**Fig. 4.** Anomalous ring-type zone on Yurkharov oil-gas — gas condensate field, by (Zagorovsky, 2017): a — seismic section across Yurkharov raise;  $\delta$  — map of time thickness between the Cenomanian and Jurassic tops;  $\epsilon$  — interval velosity in the Cenomanian-Jurassic interval according to vertical seismic profiling in boreholes 131 and 134.

#### СЕРПЕНТИНИЗАЦИЯ МАНТИЙНЫХ ПЕРИДОТИТОВ



**Рис. 5.** Изохронные поверхности отражающих горизонтов (*a*) и сейсмический временной разрез через Юрхаровское нефтегазоконденсатное месторождение ( $\delta$ ). Г — кровля сеномана; БУ8-0 — репер в толще неокома; Б — кровля верхней юры; Т4 — кровля нижней юры. Интервал осадочного чехла 0–4500 мс.

**Fig. 5.** Isochronous surfaces of reflection horizons (*a*) and seismic time section across Yurkharov oil-gas condensate field ( $\delta$ ).  $\Gamma$  — the top of the Cenomanian; FS-0 — plug in the Neocomian rock sheet; F — the top of the Upper Jurassic; T4 — the top of the Lower Jurassic. Interval of sedimentary cover is 0–4500 ms.

через многокилометровые толщи горных пород. Большинство АКЗ Западной Сибири охватывают отложения неокома и юры, но некоторые из них сосредоточены в нижне- и среднеюрской части разреза, а также в надсеноманских отложениях. В количественном отношении АКЗ больше всего в наиболее погруженных частях Западно-Сибирского осадочного бассейна: в Большехетской и Южно-Карской впадинах, расположенных на п-вах Ямал и Гыданский и в южной части Карского моря и (рис. 6).

На севере Западной Сибири для труб дегазации и аномальных кольцевых зон, по существу являющимися теми же трубами, характерна многоэтажность месторождений. На Уренгойском месторождении, которому соответствует аномальная кольцевая зона, только в отложениях нижнего мела обнаружено более 30 газоконденсатных залежей. Весь осадочный разрез от поверхности фундамента до подошвы вечной мерзлоты насыщен дифференциатами углеводородно-водных флюидов; на уникальном по запасам газа Бованенковском месторождении п-ва Ямал, где подобные структуры отсутствуют, в трубе дегазации выявлено более 100 залежей и скоплений газа и газоконденсата (Валяев, 2012). Сходная картина имеет место на месторождениях Тамбейской группы (северная часть п-ва Ямал) — 46 залежей друг над другом в юрских и

меловых отложениях (Биктимирова и др., 2016). На Харасавэйском месторождении, расположенном рядом с Бованенковским, имеется около 30 залежей. Ямбургское, Юрхаровское. Песцовое и Оликуминское месторождения (к северу от г. Новый Уренгой) тоже такие же многоэтажные, как и Уренгойское. При этом далеко не все многоэтажные месторождения севера Западной Сибири сопровождаются АКЗ. Причины такой избирательности не ясны и требуют специального исследования.

Интересные данные были получены в результате переинтерпретации сейсморазведочных материалов по региональным профилям на севере Западной Сибири (Муслимов и др., 2019; Трофимов, 2014). На всех профилях под пересекаемыми ими месторождениями углеводородов наблюдаются субвертикальные интенсивно нарушенные зоны. Так, очень крупному Западно-Мессояхскому месторождению (южная часть Гыданского п-ва в 340 км к северу от г. Салехард) соответствует нарушенная зона шириной по профилю 5-6 км (рис. 7). В то же время Северо-Парусному месторождению, расположенному в 400 км с северо-востоку от г. Салехард, соответствует несколько зон намного меньшей ширины (десятки или первые сотни метров) (рис. 8). Таким образом, в этом районе Западной Сибири нефтегазоподволящие каналы отображдаются на

РАЗНИЦИН и др.



**Рис. 6.** Схема расположения аномальных кольцевых зон в северной части Западной Сибири на структурной карте по кровле юры, по (Загоровский, 2017): *1* — изопахиты мощности мел-кайнозойского осадочного чехла; *2*–*4* — вертикальная протяженность амплитуд инверсии в миллисекундах: *2* — 200–250 мс, *3* — 300–350 мс, *4* — 450–500 мс; *5* — нефтегазовые месторождения.

**Fig. 6.** Scheme of anomalous ring-type zone disposition in the northern part of West Siberian by the top of Jurassic structure map: 1 - thickness isopachytes of the Cretaceous-Cenozoic sedimentary cover; 2-4 - vertical extension of amplitude of inversion in millseconds: 2 - 200-250 ms, 3 - 300-350 ms, 4 - 450-500 ms; 5 - oil-gas fields.

сейсмических разрезах в виде субвертикальных нарушенных зон различной ширины.

Анализ сейсморазведочных материалов для ряда месторождений Западной Сибири показал, что в районе высокодебитных или длительно работающих скважин наблюдаются наклонные, подходящие снизу оси синфазности. Наличие таких осей на Новопортовском и Ханты-Мансийском месторождениях (юго-восточная часть п-ва Ямал, недалеко от берега залива Обская губа и Среднее Приобъе, соответственно), работающих фактически с постоянным дебитом более двадцати лет, и их отсутствия в районе «пустых» скважин позволяет высказать предположение о том, что выявленные наклонные отражатели отображают нефтеподводящие каналы в виде глубинных надвигов.

Выводы о существовании глубинных источников углеводородов, питающих Западно-Сибирский нефтегазоносный бассейн, под-

#### СЕРПЕНТИНИЗАЦИЯ МАНТИЙНЫХ ПЕРИДОТИТОВ



**Рис.** 7. Отображение нефтегазоподводящих каналов под Западно-Мессояхским месторождением. Профиль 383108, по (Трофимов, 2014), с изменениями: *1* — нефтегазоподводящие каналы (каналы прорыва); *2* — скважины с нефтью; *3* — пустые скважины.

**Fig. 7.** Image of oil-gas intake channels under the oil-gas West-Messoaych field. Profile 383108, by (Trofimov, 2014), with changes: 1 – the oil-gas bearing channels (scour channels); 2 – holes with oil; 3 – empty holes.



**Рис. 8.** Отображение газоподводящих каналов под Северо-Парусовым месторождением. Профиль 288335 по (Муслимов и др, 2019), с изменениями: *1* — газовая залежь; *2* — вторжение глубинных газов.

**Fig. 8.** Image of gas intake channels under the North-Caddice field. Profile 288335 by (Muslimov et al., 2019): 1 - gas deposit; 2 - inbreaking of deep gas.

тверждаются новейшими геофизическими исследованиями. Так, на базе значительного объема сейсмических данных МОГТ 3D на территории Западно-Сибирского бассейна доказано наличие крупной зоны развития неоген-четвертичной системы малоамплитудных горизонтальных сдвигов в толще фундамента. Эти сдвиги вызывают сложные пликативные и дизъюнктивные дислокации всего юрско-мелового осадочного чехла, вмещающего многочисленные месторождения нефти и газа, и создают мощные каналы для вертикального перемещения флюидов (Гогоненков, Тимурзиев, 2010).

В качестве примера на рис. 9 показаны типичные сейсмические разрезы из съемки 3D в пределах Северо-Комсомольской площади, расположенной в 475 км к юго-востоку от г. Салехард, и вмещающей одноименное крупное нефтегазоконденсатное месторождение. На разрезах зарегистрирована система кулисных дислокаций осадочной толщи, обусловленных горизонтальным сдвигом подстилающего ее фундамента. Сами кулисные дислокации

хорошо видны на врезках, иллюстрирующих карты углов наклона на двух уровнях: слева на уровне горизонта ПК-1 (кровля сеномана) в верхней части разреза, справа — на уровне горизонта Б (кровля юрских отложений) в нижней части осадочного чехла(рис. 9). На уровне кровли палеозойского фундамента (горизонт А) никаких существенных смещений горизонтов не видно, в то время как на уровне кровли сеномана вертикальные смещения разрывов достигают ≥100 м. Это позволяет объяснить картину диагональных сколов в толще палеозоя мощным, относительно кратковременным, импульсом меридионального сжатия участка земной коры центральной части Западно-Сибирской плиты на рубеже третичного и четвертичного периодов, имевшим следствием развитие системы сколов в толще консолидированной земной коры. Каждый такой скол (или наиболее интенсивные из них) формировал в покрывающей осадочной толще мезо-кайнозойских отложений сложные системы деформаций, основной отличительной особенностью которых является

![](_page_12_Figure_4.jpeg)

**Рис. 9.** Сейсмические разрезы на Северо-Комсомольской площади, по (Гогоненков, Тимурзиев, 2010). В окнах показано положение разрезов на картах углов наклона по горизонтам ПК1 и Б. Опорные сейсмические горизонты: горизонт А — кровля палеозойского фундамента на глубине 4000 м, горизонт Б — баженовский горизонт — граница юрских и меловых отложений, горизонт ПК1 — кровля сеномана, горизонт С1 — верхи меловых отложений на глубине 800 м.

**Fig. 9.** Seismic cross sections in the North-Komsomol area, by (Gogonenkov, Timurziev, 2010). Location of cross sections on the maps of angle gradient along the horizons  $\Pi K1$  and B is shown in windows. Seismic markers: horizon A — the top of the Paleozoic basement at a depth of 4000 m, bazhenov horizon — a junction between the Jurassic and Creceous deposits, horizon  $\Pi K1$  — the top of the Cenomanian, horizon C1 — uppermost part of the Cretaceous deposits at a depth of 800 m.

формирование рядов кулисных разломов над сколами в толще фундамента. Возраст структур сдвига можно установить по возрасту наиболее молодых пород, затронутых деформациями. Разрывы проходят через всю толщу пород юрского, мелового и третичного возрастов и исчезают на границе верхов третичных и начала четвертичных пород (рис. 9). Таким образом, возраст структур сдвига на этой площади чрезвычайно молодой. Это типичная неотектоника, затрагивающая практически весь разрез (Гогоненков, Тимурзиев, 2010).

Аналогичные системы кулисных разрывов, обусловленных горизонтальными сдвигами в толще подстилающего фундамента, выявлены и закартированы на нескольких десятках разведочных площадей в северной и центральной частях Ямало-Ненецкого автономного округа и на нескольких площадях в северной части Ханты-Мансийского автономного округа по данным сейсморазведки МОГТ 3D. Зоны дислокации характеризуются различной протяжённостью (от единиц до десятков км), шириной (от сотен метров до 3-5 км), разной плотностью разрывов. Все эти зоны объединяет кулисный характер разрывных нарушений, свидетельствующий о единой природе формирования дислокаций, обусловленных горизонтальными сдвигами в консолидированной подстилающей толще (рис. 9). Оси кулисных дислокаций, достоверно выявленные по данным сейсморазведки МОГТ 3D, образуют две диагональные системы сколов: с юго-востока на северо-запад и с юго-запада на северо-восток. Средний угол между системами составляет 80° в меридиональном направлении. Кулисные системы разрывов находятся строго в створе веера Уренгойско-Колтогорской системы рифтов (рис. 1), клином сходящейся к северным границам Томской области и широко расходящейся на самом севере Западной Сибири. Важно также отметить, что вне этой системы рифтов сейсмические данные показывают отсутствие сколь-нибудь заметных систем сдвиговых дислокаций, а, соответственно, и новейших горизонтальных сдвигов фундамента. По-видимому, здесь мы имеем дело с реактивацией тектонических сдвигов непосредственно в зоне Уренгойско-Колтогорской системы рифтов. Таким образом, выявленные сейсмическими исследованиями МОГТ 3D в пределах всего Западно-Сибирского бассейна вертикальные каналы гидравлической связи значительной части палеозойского фундамента со всем юрско-меловым осадочным чехлом, позволяют обосновать существование глубинного источника углеводородов, обеспечивающего питание гигантских залежей по каналам структур сдвига (Гогоненков, Тимурзиев, 2010).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Происхождение углеводородных залежей Западно-Сибирского бассейна в данной работе рассматривается с позиций абиогенного синтеза углеводородов в надсубдукционной геодинамической обстановке в интервале времени поздний ордовик – девон за счет коровой низкотемпературной лизардит-хризотиловой серпентинизации верхнемантийных образований в процессе надсубдукционного спрединга в задуговом бассейне и глубинной высокотемпературной антигоритовой серпентинизации в мантийных клиньях над зонами субдукции. Дополнительным глубинным источником углеводородных залежей Западно-Сибирского бассейна служит серпентинизация фрагментов мантийных перидотитов, слагающих блоки в водосодержащем палеозойском фундаменте. Общий объем генерируемого метана формируется из двух источников абиотического и биотического (метаногены). Последние, как отмечалось, создают огромную биомассу, биотическая деструкция которой и ее химические преобразования ведут к формированию газообразных углеводородов и нефти.

В пределах современных надсубдукционных областей связанные с активной гидотермальной деятельностью, ассоциированной с мантийными образованиями, высокие концентрации метана в придонных водах, сопровождаемые крупными аномалиями  $\delta^3$ He, впервые были обнаружены в задуговом бассейне трога Окинава (Ladage et al., 1991).

Другим примером является островодужная система Тонга на юго-западе Тихого океана, где выявлены высокие содержания углеводородных газов во всех ее морфоструктурах, независимо от состава и возраста пород в них — на океаническом склоне островной дуги, на самой дуге, в задуговом и преддуговом бассейнах. В этих морфоструктурах обнаружены серпентиниты и серпентинизированные гарцбургиты, которые являются источником абиогенных углеводородов и известных проявлений нефти в этом регионе (Обжиров и др., 2012).

В этом же контексте необходимо отметить, что первый и пока единственный случай массового нахождения перидотитов непосредственно в задуговом бассейне имеет место во впадине Паресе Вела в Филиппинском море (Ohara et al., 2003): здесь на бортах рифтовой долины отмершего в миоцене спредингового хребта обнаружены масштабные выходы лизардит-хризотиловых серпентинитов и серпентинизированных перидотитов, образующих муллион-структуры, широко распространенные в Атлантике. Самая крупная из таких структур, не только в бассейне Паресе Вела, но и в Мировом океане вообще, располагается на площади порядка 7000 км<sup>2</sup> («Годзилла мегамуллион») (Harrigene et al., 2011). Обнаружение здесь в придонных водах интенсивных эмиссий водорода и метана, несомненно, дело недалекого будущего.

Современным примером метаморфизма перидотитов в мантийном клине над зоной субдукции является Марианский преддуговой бассейн, где между осью глубоководного желоба и вулканической островной дугой протрузии серпентинитов выносят антигорит-содержащие перидотиты и антигоритовые серпентиниты, а также водород и метан неорганического происхождения (Wheat et al., 2010).

Надо отметить, что ранее предпринимались попытки связать генезис углеводородов Западной Сибири с серпентинизацией мантийных перидотитов. Так В.П. Гаврилов (2012) предложил рифтогенную модель образования залежей углеводородов для северной части Западно-Сибирского бассейна, основой которой являлся абиогенный синтез углеводородов в результате серпентинизации мантийных перидотитов в рифтовой долине «неудавшегося» триасового Обского океана С.В. Аплонова (2001). В качестве такового этим автором рассматривалась система континентальных триасовых рифтов, якобы развившихся до стадии кратковременного спрединга. Однако, по образному выражению М.Я. Рудкевича (1987), среди триасовых отложений нет «свидетелей» океанических глубин, а само существование триасового океана в Западной Сибири в свете современных геологогеофизических данных представляется маловероятным.

О реальности существования на месте Западной Сибири бассейна с океанической корой указывают многочисленные фрагменты офиолитовых разрезов в палеозойском фундаменте Западной Сибири и их формационная принадлежность к задуговым бассейнам. Кроме того, относительно низкие величины первичных отношений изотопов стронция <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr в гранитах фундамента центральной части Западно-Сибирского бассейна указывают на то, что субстратом для выплавления гранитоидов служили палеозойские комплексы со значительной долей мантийного океанического материала, тектонически скученные в ходе позднепалеозойской коллизии (Иванов и др., 2005). Относительно свежие перидотиты, присутствующие в фундаменте Западно-Сибирского бассейна, по химическому составу близки к лерцолитам, но больше отвечают клинопироксеновым гарцбургитам. Низкие показатели хромистости хромшпинелидов при высокой магнезиальности явно свидетельствуют об их океаническом генезисе (Симонов и др., 2012).

К выводам об абиогенном, глубинном, происхождении нефти Западной Сибири, как продукта ультрабазитовой мантии, пришла группа уральских геологов и нефтяников (Иванов и др., 2009б). На основании проведенных исследований ими установлена «ультрабазитовая» геохимикометаллогеническая специализация нефти. Термодинамические расчеты и эксперименты показали, что для синтеза углеводородных систем, сходных по составу с природными, необходима температура 700-1800°К и давление 15-80 кбар на глубинах 50-240 км в верхней мантии Земли. Авторы не связывают эти результаты с высокотемпературной серпентинизацией, указывая только на мантийное происхождение нефти. В этой же работе утверждается, что присутствие биомаркеров (углеводородов, сохранивших характерные черты исходных биоорганических соединений) в природных нефтях не является бесспорным доказательством органического происхождения нефти, а вполне могло быть приобретено исходно глубинными углеводородами при миграции через осадочные породы, содержащие органическое вещество. Добавим к этому, что огромная биомасса гипертермофил, населяющих гидротермы и широко распространенная на поверхности дна и в недрах океана и окраинных морей, не может не влиять на глубинные углеводороды в плане наличия в них биомаркеров.

Обобщение данных по изотопу  $\delta^{13}$ C сеноманских залежей газа ряда месторождений Ямала показало широкий диапазон его изменений: от -38.8‰, свойственных экстремально тяжелому абиогенному газу Нейтинского месторождения, до легкого биогенного (-65.36‰) и даже экстремально легкого в многолетнемерзлых породах Бованенковского месторождения (Богоявленский, Богоявленский, 2019). Широкий диапазон значений δ<sup>13</sup>С сеноманских залежей Ямала подтверждает выводы Б.М. Валяева (2002) о том, что при вертикальной миграции через толщу осадков экстремально тяжелые изотопы  $\delta^{13}C$ метана, свойственные абиогенному газу, могут «облегчаться», меняя тяжелый изотопный состав углерода на более изотопно-легкий. Это обстоятельство косвенно свидетельствует в пользу глубинного происхождения природного газа (преимущественно метана).

Концепция глубинного происхождения нефти, основанная на представлениях о генерации углеводородов вследствие неорганического абиогенного синтеза, постепенно входит в практику геолого-поисковых работ вообще и в Западно-Сибирском нефтегазоносном бассейне в частности (Иванов и др., 2013). Вот только некоторые доводы в пользу глубинных очагов генерации в качестве источника углеводородов Западной Сибири: низкий генерационный потенциал юрско-меловой толщи, который не может обеспечить балансовые расчеты по разведанным запасам углеводородов Западной Сибири; генетическое единство нефтей юрско-меловой толщи и доюрского комплекса, свидетельствующее о едином очаге генерации, вертикальной миграции и одновременном поступлении углеводородов в залежи осадочного чехла и доюрского комплекса; многочисленные доказательства вторичности углеводородов юрско-меловой толщи и доюрского основания (Тимурзиев, 2016).

Говоря о глубинном происхождении углеводородов Западной Сибири, нельзя не сказать о нефтегазоносности фундамента — количество и масштабы открытых в фундаменте Западной Сибири залежей нефти и газа позволяют отнести его к богатейшему промышленно-нефтегазовому комплексу (Тимурзиев, 2016]. По разным данным, в фундаменте Западной Сибири известно более 200 месторождений и скоплений углеводородов. Некоторые из них относятся к категории высокодебитных. При этом вещественный набор фундаментного палеозоя представлен самыми разнообразными типами пород. (Запивалов, 2004).

Н.А. Кудрявцев (1973), один из основателей современной гипотезы неорганического происхождения нефти и газа, установивший наличие восходящей субвертикальной миграции нефти и газа под аномально высокими пластовыми давлениями отмечал, что в нефтеносных районах, где нефть или газ имеются в каком-либо горизонте разреза, в том или ином количестве они найдутся и во всех нижележащих горизонтах. Это положение совершенно не зависит от состава пород, условий их образования и содержания в них органического вещества. В горизонтах, где имеются хорошие коллекторы и ловушки, возникают промышленные залежи. Сказанное в полной мере применимо к Западно-Сибирскому бассейну.

Иллюстрацией данного положения служат залежи нефти и газа в доюрском комплексе, связанные с коллекторами в самых различных породах: карбонатах, магматических и метаморфических породах кислого и основного состава, в песчано-глинистых сланцах, песчаниках, гравелитах, кремнисто-глинистых толщах, кварц-серицитовых сланцах, базальтах, туфах, гранитах, серпентинитах (Гилязова, 2009). Фонтанный приток нефти из последних на Фестивальной площади был равен 43 т/сут. На Карабашской площади Приуральской нефтегазоносной области из разуплотненных трещиноватых серпентинитов получено 500 тысяч м<sup>3</sup>/сут нефти (Айкашева и др., 2016). Кроме того, по ряду площадей получены притоки нефти из зон различных трещиноватых пород и кор выветривания. Коллекторы в них локализованы, главным образом, в зонах новейших разрывных нарушений. Все разнообразие пород, содержащих залежи нефти и газа в фундаменте Западно-Сибирского бассейна представлены на рис. 10.

Путями крупномасштабной углеводородной дегазации в результате серпентинизации перидотитов верхней мантии палеозойского Палеоуральского океана, рассматриваемого нами вслед за В.Е. Хаиным (2001), в качестве окраинного моря более широкого Палеоазиатского окена, являются рассмотренные в данной работе сейсмические флюидо-динамические аномалии. Это трубы дегазации, аномальные кольцевые зоны (АКЗ), субвертикальные каналы прорыва углеводородных флюидов, нефтегазоподводящие каналы в виде глубинных надвигов, система неоген-четвертичных малоамплитудных горизонтальных сдвигов в толще фундамента, создающих мощные каналы для вертикального перемещения флюидов из глубинных мантийных источников под аномально высокими пластовыми давлениями. Наряду с триасовыми рифтами и глубинными разломами, дренирующими верхнюю мантию Западно-Сибирского бассейна и его фундамент, перечисленные пути миграции создают все условия для поставки глубинных абиогенных углеводородов в осадочный чехол Западно-Сибирского бассейна.

В северной части Западно-Сибирского бассейна, особенно на п-ве Ямал, где в большом количестве выявлены аномальные кольцевые зоны (АКЗ) и вертикальные газовые трубы, соответствующие гигантским месторождениям газа, зафиксирована сквозная дегазация недр: только за неоген-четвертичный период недра Западной Сибири должны были-бы потерять 13×10<sup>15</sup> м<sup>3</sup> газа. Этого, однако, не произошло только потому, что залежи Западной Сибири не только все время теряют газ или нефть при их эксплуатации, но и постоянно получают новые восстановительные порции углеводородов (Гаврилов, 2007). Данное положение подтверждается выявлением на п-ве Ямал многочисленных участков поверхностных газопроявлений и газовых выбросов в атмосферу по данным дистанционного зондирования из космоса (Богоявленский и др., 2016).

В настоящее время восполнению запасов углевородов уделяется пристальное внимание исследователей. Так, в 2019 г. вышла монография, в которой обоснована большая роль дегазации Земли и кристаллического фундамента в формировании и естественном восполнении запасов нефтяных и газовых месторождений Западно-

![](_page_16_Figure_0.jpeg)

### СЕРПЕНТИНИЗАЦИЯ МАНТИЙНЫХ ПЕРИДОТИТОВ

**Рис. 10.** Схема расположения месторождений нефти и газа в доюрском основании Западно-Сибирского бассейна с разделением на типы продуктивных пород: *1* — граница Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна; *2* — месторождения нефти и газа; *3*–7 — залежи нефти и газа в доюрских породах: *3* — в карбонатах, *4* — в сланцах, *5* — в интрузивах, *6* — в эффузивах, *7* — в серпентинитах. Цифрами обозначены месторождения: 1 — Березовское, 2 — Верх-Тарское, 3 — Веселовское, 4 — Ем-Еговское, 5 — Байбаковское, 6 —Иусское, 7 — Карабашское, 8 — Малоичское, 9 — Межовское, 10 — Мортымья-Тетеревское, 11 — Новопортовское, 12 — Пальяновское, 13 — Рогожниковское, 14 — Северо-Варьеганское, 15 — Северо-Даниловское, 16 — Талинское, 17 — Трехозерное, 18 — Урненское, 19 — Фестивальное, 20 — Ханты-Мансийское, 21 — Чкаловское, 22 — Чуэльское.

**Fig. 10.** Scheme of oil-gas field location of West Siberian basin with separation on productive rock types: *1* – boundary of the West Siberian basin; *2* – oil-gas fields; *3*–7 – oil-gas fields in the pre-Jurassic rocks: *3* – in carbonates, *4* – in slates, *5* – in intrusives, *6* – in affusives, 7 – in serpentinites. Oil-gas fields: 1 – Beryozovskoye, 2 – Verh-Tarskoye, 3 – Veselovskoye, 4 – Em-Egovskoye, 5 – Bajbakovskoye, 6 – Iusskoye, 7 – Karabashskoye, 8 – Maloichskoye, 9 – Mezhovskoye, 10 – Mortym'ya-Teterevskoye, 11 – Novoportovskoye, 12 – Pal'yanovskoye, 13 –Rogozhnikovskoye, 14 – Severo-Var'eganskoye, 15 – Severo-Danilovskoye, 16 – Talinskoye, 17 – Trekhozernoe, 18 – Urnenskoye, 19 – Festival'noye, 20 – Hanty-Mansijskoye, 21 – Chkalovskoye, 22 – Chuel'skoye.

Предложенная в настоящей работе схема абиогенного-биогенного синтеза углеводородов Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна за счет серпентинизации мантийных перидотитов, направлена на развитие современного варианта парадигмы глубинного абиогенномантийного происхождения нефти и газа.

#### выводы

Уникальный углеводородный потенциал Западно-Сибирского бассейна, возникшего на месте палеозойского Палеоуральского океана, фактически представлявшего собой задуговой бассейн более широкого Палеоазиатского океана, обусловлен мощным углеводородным потоком абиогенного происхождения, возникшим за счет низкотемпературной серпентинизации мантийных образований этого в процессе амагматичного спрединга и высокотемпературной серпентинизации в мантийных клиньях над зонами субдукции в интервале времени поздний ордовик- ранний карбон (от начала спрединга в задуговом бассейне до его закрытия).

Дополнительным глубинным источником углеводородных залежей служит серпентинизация фрагментов мантийных перидотитов, слагающих блоки в водосодержащем фундаменте Западно-Сибирского бассейна, увеличивая тем самым объем углеводородных флюидов, синтезированных в палеонадсубдукционной геодинамической обстановке.

Общий объем генерируемого метана в зонах серпентинизации мантийных перидотитов формируется из двух источников — абиотического (реакция водорода с углекислотой, растворенной в морской воде) и биотического (метаногены). Таким образом, происхождение углеводородов в рамках развиваемой модели может рассматривается с позиций новой полигенетической схемы нефте- и газообразования в процессе «абиогенно-биогенного» синтеза углеводородов.

Основными каналами для миграции глубинных абиогенных углеводородов в осадочные толщи северной части Западной Сибири являются трубы дегазации, включая аномальные кольцевые зоны (АКЗ), нефтегазоподводящие каналы прорыва углеводородов и глубинные надвиги. Выявленные сейсмическими исследованиями 3D в пределах всего Западно-Сибирского бассейна вертикальные каналы гидравлической связи значительной части палеозойского фундамента со всем юрско-меловым осадочным чехлом, позволяют обосновать существование глубинного источника углеводородов, обеспечивающего питание гигантских залежей по каналам структур сдвига. Большая роль в дренировании глубинных источников принадлежит глубинным разломам, прежде всего Уренгойско-Колтогорской системе рифтов.

Подпитка новыми порциями нефти и газа месторождений Западно-Сибирского бассейна происходит в настоящее время, что определяет возобновляемость углеводородных ресурсов региона.

Авторы выражают признательность рецензентам С.Ю. Соколову и С.А. Силантьеву, замечания и предложения которых способствовали более четкому изложению материала и устранению ряда неточностей в тексте статьи.

#### Список литературы [References]

Айкашева Е.А., Кукушкина Н.С., Кукушкин Ю.В. и др. Роль магматических пород в формировании залежей нефти и газа в эрозионно-тектонических выступах фундамента на примере месторождений Томской области // Нефтегазовая геология. 2016. № 2 (26). С. 78-85 [Aykasheva E.A., Kukushkina

Сибирского нефтегазоносного бассейна и Волго-Уральской нефтяной провинции (Муслимов и др., 2019).

*N.S., Kukushkin Yu.V. et al.* Rol' magmaticheskih porod v formirovanii zalezhej nefti i gaza v erozionnotektonicheskih vystupah fundamenta na primere mestorozhdenij Tomskoj oblasti // Neftegazovaya geologiya. 2016. № 2 (26). P. 78–85 (in Russian)].

- Аплонов С.В. Геодинамика. СПб.: Изд-во СПб Университет, 2001. 185 с. [*Aplonov S.V.* Geodinamika. SPb.: Izd-vo SPb Universite, 2001. 185 p. (in Russian)].
- Белоусов И.А., Батанова В.Г., Савельева Г.Н., Соболев А.В. Свидетельство надсубдукционной природы мантийных пород Войкаро-Сыньинского офиолитового масива, Полярный Урал // ДАН. 2009. Т. 429. № 2. С. 238–243 [Belousov I.A., Batanova V.G., Savelieva G.N., Sobolev A.V. Evidences for the suprasubduction origin of mantle section rocks of Voykar ophiolite, Polar Urals // Doklady Earth Sciences. 2009. V. 429. № 8. Р. 1394–1398].
- Богоявленский В.И., Сизов О.С., Богоявленский И.В., Никонов Р.А. Дистанционное выявление участков поверхностных газопроявлений и газовых выбросов в Арктике: полуостров Ямал // Арктика. Экология и экономика. 2016. № 3(23). С. 4–15 [Bogoyavlensky V.I., Sizov O.S., Bogoyavlensky I.V., Nikonov R.A. Distancionnoe vyyavlenie uchastkov poverhnostnyh gazoproyavlenij i gazovyh vybrosov v Arktike: poluostrov Yamal // Arktika. Ekologiya i ekonomika. 2016. № 3(23). Р. 4–15. (in Russia)].
- Богоявленский В.И., Богоявленский И.В. Дегазация Земли. Формирование залежей углеводородов в верхней части разреза и кратеров выбросов газа // Neftegaz.RU. 2019. № 1. С. 48-55 [Bogoyavlensky V.I., Bogoyavlensky I.V. Degazaciya Zemli. Formirovanie zalezhej uglevodorodov v verhnej chasti razreza i kraterov vybrosov gaza // Neftegaz.RU. 2019. № 1. P. 48-55 (in Russian)].
- Биктимирова О.М., Залетова Н.М., Ершов А.В., Вотинова Т.В. Методика оценки свойств газа и газового конденсата для месторождений Тамбейской группы // Геология нефти и газа. 2016. № 2. С. 77-80 [Biktimirova O.M., Zaletova N.M., Ershov A.V., Votinova T.V. Metodika ocenki svojstv gaza i gazovogo kondensata dlya mestorozhdenij Tambejskoj gruppy // Geologiya nefti i gaza. 2016. № 2. Р. 77-80 (in Russian)].
- Валяев Б.М., Титков Г.А., Чудецкий М.Ю. О генезисе изотопно-легкого (δ<sup>13</sup>C, δD) метана нефтегазовых месторождений // Дегазация Земли и генезис углеводородных флюидов и месторождений. М.: ГЕОС, 2002. С. 108–134 [Valyaev B.M., Titkov G.A., Chudetsky M.Yu. O genezise izotopno-legkogo (δ<sup>13</sup>S, δD) metana neftegazovyh mestorozhdenij // Degazaciya Zemli i genezis uglevodorodnyh flyuidov i mestorozhdenij. M.: GEOS, 2002. P. 108–134 (in Russian)].
- Валяев Б.М. Углеводородная дегазация Земли, геотектоника и происхождение нефти и газа (признание и развитие идей П.Н. Кропоткина) // Дегазация Земли и генезис нефтегазовых месторождений (к 100-летию со дня рождения академика П.Н. Кропоткина) М.: ГЕОС. 2012. С. 20–42 [Valyaev B.M. Uglevodorodnaya degazaciya Zemli, geotektonika i proiskhozhdenie nefti i gaza (priznanie i razvitie idej P.N. Kropotkina) // Degazaciya Zemli i genezis neftegazovyh mestorozhdenij (k 100-letiyu so dnya rozhdeniya akademika P.N. Kropotkina) – M.: GEOS. 2012. P. 20–42 (in Russian)].

- Гаврилов В.П. Как устроены и чем богаты наши недра // М.: Недра, 1981. 192 с. [Gavrilov V.P. Kak ustroeny i chem bogaty nashi nedra // М.: Nedra, 1981. 192 р. (in Russian)].
- *Гаврилов В.П.* Геодинамика: Учебник для вузов. M.: MAKC Пресс, 2007. 346 с. [*Gavrilov V.P.* Geodinamika: Uchebnik dlya vuzov. M.: MAKS Press, 2007. 346 p. (in Russian)].
- Гаврилов В.П. Геодинамическая модель нефтегазоносности Западной Сибири // Геология нефти и газа. 2012. № 3. С. 60–68 [Gavrilov V.P. Geodinamicheskaya model' neftegazonosnosti Zapadnoj Sibiri // Geologiya nefti i gaza. 2012. № 3. р. 60–68 (in Russian)].
- Гилязова С.М. Вторичные коллекторы доюрского комплекса пород Фроловской мегавпадины и перспективы их нефтегазоносности // Современные наукоемкие технологии. 2009. № 9. С. 126–128 [Gilyazova S.M. Vtorichnye kollektory doyurskogo kompleksa porod Frolovskoj megavpadiny i perspektivy ih neftegazonosnosti // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. 2009. № 9. Р. 126–128 (in Russian)].
- Гогоненков Г.Н., Тимурзиев А.И. Сдвиговые деформации в чехле Западно-Сибирской плиты и их роль при разведке и разработке месторождений нефти и газа // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 3. С. 384-400 [Gogonenkov G.N., Timurziev A.I. Strike-slip faults in the West Siberian basin: indications for petroleum exploration and development //Russian Geology and Geophisics. 2010. V. 50. Iss. 3. P. 304-316 (in Russian)].
- Дмитриев Л.В., Базылев Б.А., Силантьев С.А.и др. Образование водорода и метана при серпентинизации мантийных гипербазитов океана и происхождение нефти // Российский журнал наук о Земле. 1999. Т. 1. № 6. С. 1–13 [Dmitriev L.V., Bazylev B.A., Silantiev S.A. et al. Hydrogen and methane formation with serpentization of mantle hyperbasite of the ocean and oil generation // Russ. J. Earth Sci. 1999. V. 1. № 6. Р. 511–519. https://doi. org/10.2205/2000ES000030.].
- Ерохин Ю.В., Иванов К.С., Федоров Ю.Н. Офиолиты доюрского основания Южно-Октябрьской площади приуральской части Западно-Сибирского мегабассейна // Тез.докл. Материалы Всероссийской научной конференции с участием иностранных ученых «Фундамент, структуры обрамления Западно-Сибирского мезо-кайнозойского осадочного бассейна, их геодинамическая эволюция и проблемы нефтегазоносности». 29 сентября – 2 октября 2008 года. Тюмень – Новосибирск. C. 80-82 [Erohin Yu.V., Ivanov K.S., Fedorov Yu.N. Ofiolity doyurskogo osnovaniya Yuzhno-Oktyabr'skoj ploshchadi priural'skoj chasti Zapadno-Sibirskogo megabassejna // Tez.dokl. Materialy Vserossijskoj nauchnoj konferencii s uchastiem inostrannyh uchenyh «Fundament, struktury obramleniya Zapadno-Sibirskogo mezo-kajnozojskogo osadochnogo bassejna, ih geodinamicheskaya evolyuciya i problemy neftegazonosnosti». 29 sentyabrya – 2 oktyabrya 2008 goda. Tyumen' - Novosibirsk. P. 80-82 (in Russian)].
- Загоровский Ю.А. Роль флюидодинамических процессов в образовании и размещении залежей углеводородов на севере Западной Сибири //Автореферат. дисс. канд. геол.-мин. наук. Тюмень. 2017. 23 с. [Zagorovsky Yu.A. Rol' flyuidodinamicheskih

ВЕСТНИК КРАУНЦ. НАУКИ О ЗЕМЛЕ. 2020. № 1. ВЫПУСК 45

processov v obrazovanii i razmeshchenii zalezhej uglevodorodov na severe Zapadnoj Sibiri // Avtoreferat. disc. kand. geol.-min. nauk. Tyumen'. 2017. 23 p. (in Russian)].

- Загоровский Ю.А. Роль постсеноманских тектонических движений и газового вулканизма в образовании и размещении залежей углеводородов на севере Западной Сибири // Тез. докл. Материалы L Тектонического совещания «Проблемы тектоники и геодинамики земной коры и мантии» M.: ГЕОС. 2018. Т.1. С. 190–192 [Zagorovsky Yu.A. Rol' postsenomanskih tektonicheskih dvizhenij i gazovogo vulkanizma v obrazovanii i razmeshchenii zalezhej uglevodorodov na severe Zapadnoj Sibiri // Tez. dokl. Materialy L Tektonicheskogo soveshchaniya «Problemy tektoniki i geodinamiki zemnoj kory i mantii» M.: GEOS. 2018. V. 1. P. 190–192 (in Russian)].
- Запивалов Н.П. Нефтегазовый потенциал палеозойского фундамента Западной Сибири (прогнозы и реальность) // Нефтяное хозяйство. 2004. № 7. С. 26-41 [Zapivalov N.P. Neftegazovyj potencial paleozojskogo fundamenta Zapadnoj Sibiri (prognozy i real'nost') // Neftyanoe hozyajstvo. 2004. № 7. Р. 26-41 (in Russian)].
- Иванов К.С., Федоров Ю.Н., Ронкин Ю.Л., Ерохин Ю.В. Геохронологические исследования Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна; итоги 50 лет изучения // Литосфера. 2005. № 3. С. 117–135. [*Ivanov K.S., Fedorov Yu.N., Ronkin Yu.L., Erohin Yu.V.* Geohronologicheskie issledovaniya Zapadno-Sibirskogo neftegazonosnogo bassejna; itogi 50 let izucheniya // Litosfera. 2005. № 3. Р. 117–135 (in Russian)].
- Иванов К.С., Федоров Ю.Н., Амон Э.О. и др. О возрасте и составе офиолитов фундамента Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна // ДАН. 2007. Т. 413. № 4. С. 535–540 [Ivanov K.S., Fedorov Yu.N., Amon E.O. et al. O vozraste i sostave ofiolitov fundamenta Zapadno-Sibirskogo neftegazonosnogo megabassejna // Doklady Earth Sciences. 2007. 2007. T. 413. № 4. P. 535–540 (in Russian)].
- Иванов К.С., Федоров Ю.Н. Рыбалка А.В., Клец А.Г. Строение и развитие Урала и доюрского основания западной части Западно-Сибирского мегабассейна (по данным комплексных геологических и глубинных сейсмических исследований) // Тез. докл. Материалы Всероссийской научной конференции с участием иностранных ученых «Фундамент, структуры обрамления Западно-Сибирского мезо-кайнозойского осадочного бассейна, их геодинамическая эволюция и проблемы нефтегазоносности». 29 сентября – 2 октября 2008 года. Тюмень – Новосибирск. С. 95-98 [Ivanov K.S., Fedorov Yu.N. Rybalka A.V., Klets A.G. Stroenie i razvitie Urala i doyurskogo osnovaniya zapadnoj chasti Zapadno-Sibirskogo megabassejna (po dannym kompleksnyh geologicheskih i glubinnyh sejsmicheskih issledovanij) // Tez. dokl. Materialy Vserossijskoj nauchnoj konferencii s uchastiem inostrannyh uchenyh «Fundament, struktury obramleniya Zapadno-Sibirskogo mezo-kajnozojskogo osadochnogo bassejna, ih geodinamicheskaya evolyuciya i problemy neftegazonosnosti». 29 sentyabrya – 2 oktyabrya 2008 goda. Tyumen' - Novosibirsk. P. 95-98 (in Russian)].

- Иванов К.С., Коротеев В.А., Печеркин М.Ф. и др. История геологического развития и строение фундамента западной части Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна // Геология и геофизика. 2009а. Т. 50. № 4. С. 484–501 [Ivanov K.S., Koroteev V.A., Pecherkin M.F. et al. The western part of the West Siberian megabasin: geologic history and structure of the basement //Russian Geologe and Geophisics. 2009. V. 50. Iss. 4. Р. 365–379.].
- Иванов К.С., Федоров Ю.Н., Ерохин Ю.В. и др. Нефть — продукт ультрабазитовой мантии Земли // Тез. докл. Материалы третьей международной конференции «Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанные с ними месторождения». 28 августа-2 сентября 2009 года. 2009б. Тюмень – Новосибирск. С. 200–202 [Ivanov K.S., Fedorov Yu.N., Erohin Yu.V. et al. Neft' – produkt ul'trabazitovoj mantii Zemli // Tez. dokl. Materialy tret'ej mezhdunarodnoj konferencii «Ul'trabazitbazitovye kompleksy skladchatyh oblastej i svyazannye s nimi mestorozhdeniya». 28 avgusta-2 sentyabrya 2009 goda. 2009a. Tyumen' – Novosibirsk. P. 200–202 (in Russian)].
- Иванов К.С., Ерохин Ю.В., Писецкий В.Б. и др. Новые данные о строении фундамента Западно-Сибирской плиты // Литосфера. 2012. № 4. С. 101–106 [*Ivanov K.S., Erohin Yu.V., Pisecky V.B. et al.* Novye dannye o stroenii fundamenta Zapadno-Sibirskoj plity // Litosfera. 2012. № 4. Р. 101–106 (in Russian)].
- Иванов К.С., Панов В.Ф., Писецкий В.Б. и др. Глубинная нефть и разломы: геологическое применение некоторых геофизических технологий // Электронный журнал «Глубинная нефть». 2013. Т. 1. № 10. С. 1545–1555 [Ivanov K.S., Panov V.F., Pisecky V.B. et al. Glubinnaya neft' i razlomy: geologicheskoe primenenie nekotoryh geofizicheskih tekhnologij // Elektronnyj zhurnal «Glubinnaya neft'». 2013. V. 1. № 10. Р. 1545–1555 (in Russian)].
- Иванов К.С., Лац С.А., Коротеев др. Главные причины закономерности размещения месторождений нефти Западно-Сибирской платформы // ДАН. 2018. Т. 481. № 3. С. 285–288 [Ivanov K.S., Lats S.A., Koroteev V.A. et al. The main factors effecting the distribution of the oil fields in the West Siberian platform //Doklady Earth Sciences. 2018. V. 481. Iss. 1. P. 873–876. https://doi.org/10.1134/ S1028334X18070218].
- Киреева Т.А., Буданова Д.И. Анализ генезиса рассолов фундамента Западно-Сибирского артезианского бассейна на основе использования генетических коэффициентов // Вестник Московского университета. Сер. 4: Геология. 2011. № 3. С. 51–55 [*Kireeva T.A., Budanova D.I.* Analysis of the genesis of brines basement of the West Siberian artesian basin, based on genetic factors // Moscow University Geology Bulletin. 2011. № 3. P. 51–55 (in Russian)].
- Книппер А.Л. Офикальциты и некоторые другие типы брекчий, сопровождающие доорогенное становление офиолитового комплекса // Геотектоника. 1978. № 2. С. 50–66 [Knipper A.L. Ofikal'city i nekotorye drugie tipy brekchij, soprovozhdayushchie doorogennoe stanovlenie ofiolitovogo kompleksa // Geotektonika. 1978. № 2. Р. 50–66 (in Russian)].
- *Книппер А.Л., Шараськин А.Я., Вознесенский А.И.* Офиолиткластовые брекчии Малого Кавказа: строе-

ние и происхождение // Геотектоника. 2001. № 4. C. 60–68 [*Knipper A.L., Sharaskin A.Ya.,Voznesensky A.I.* Ofiolitklastovye brekchii Malogo Kavkaza: stroenie i proiskhozhdenie // Geotektonika. 2001. № 4. P. 60–68 (in Russian)].

- Кропоткин П.Н. Дегазация Земли и происхождение углеводородов // Бюлл. МОИП (отд. геол.). 1985. Т. 60. Вып. 6. С. 3–18 [Kropotkin P.N. Degazaciya Zemli i proiskhozhdenie uglevodorodov // Byull. MOIP (otd. geol.). 1985. Т. 60(6). Р. 3–18 (in Rusian)].
- Кудрявцев Н.А. Генезис нефти и газа. Л., «Недра». 1973. 216 с. (Труды Всесоюз. нефт. науч.-исслед. геол.-развед. ин-та, вып. 319) [Kudryavtsev N.A. Genezis nefti i gaza. L., «Nedra». 1973. 216 p. (Trudy Vsesoyuz. neft. nauch.-issled. geol.-razved. in-ta, vyp. 319) (in Russian)].
- Леин А.Ю., Сагалевич А.М. Курильщики поля Рейнбоу – район масштабного абиогенного синтеза метана // Природа. 2000. № 8. С. 44–53 [Lein A.Yu., Sagalevich A.M. Kuril'shchiki polya Rejnbou – rajon masshtabnogo abiogennogo sinteza metana // Priroda. 2000. № 8. Р. 44–53 (in Russian)].
- Леин А.Ю., Москалев Л.И., Богданов Ю.А., Сагалевич А.М. Гидротермальные системы и жизнь // Природа. 2000. № 5. С. 33-41. [Lein A.Yu., Moskalev L.I., Bogdanov Yu.A., Sagalevich A.M. Gidrotermal'nye sistemy i zhizn' // Priroda. 2000. № 5. Р. 33-41 (in Russian)].
- Муслимов Р.Х., Трофимов В.А., Плотникова И.Н. и др. Роль глубинной дегазации Земли и кристаллического фундамента в формировании и естественном восполнении запасов нефтяных и газовых месторождений // Казань: Изд-во «ФЭН» Академии наук РТ. 2019. 264 с. [Muslimov R.H., Trofimov V.A., Plotnikova I.N. et al. The signification of depth degazation of the Earth and crystalline basement in formation and natural replenishment of oil and gas deposits // Kazan. Izd-vo «FEN». Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan. 2019. 264 p. (in Russian)].
- Нежданов А.А., Огибенин В.В., Смирнов А.С. Нефтегазоносность Западно-Сибирского бассейна с позиций глубинного генезиса углеводородов // Тезисы докл. Материалы Всероссийской конференции по глубинному генезису нефти «Современное состояние теории происхождения, методов прогнозирования и технологий поисков глубинной нефти (1-ые Кудрявцевские чтения)» М.: ЦГЭ. 2012. С. 317-322 [Nezhdanov A.A., Ogibenin V.V., Smirnov A.S. Neftegazonosnost' Zapadno-Sibirskogo bassejna s pozicij glubinnogo genezisa uglevodorodov // Tezisy dokl. Materialy Vserossijskoj konferencii po glubinnomu genezisu nefti «Sovremennoe sostoyanie teorii proiskhozhdeniya, metodov prognozirovaniya i tekhnologij poiskov glubinnoj nefti (1-ye Kudryavcevskie chteniya)» M.: CGE. 2012. P. 317-322 (in Russian)].
- Новиков Д.А. Геохимия термальных вод северных районов Западной Сибири // ИНТЕРЭКСПО ГЕОСИБИРЬ. 2016. Т. 2. № 1. С. 98–102 [Novikov D.A. Geohimiya termal'nyh vod severnyh rajonov Zapadnoj Sibiri //INTEREKSPO GEOSIBIR'. 2016. Т. 2. № 1. Р. 98–102 (in Russian)].
- Обжиров А.Н., Пущин И.К., Коровицкая Е.В. Распределение водорода и углеводородных газов в системе

Тонга // Тихоокеанская геология. 2012. Т. 31. № 4. C. 87–92 [*Obzhirov A.N., Pushchin I.K., Korovickaya E.V.* Raspredelenie vodoroda i uglevodorodnyh gazov v sisteme Tonga // Tihookeanskaya geologiya. 2012. T. 31. № 4. P. 87–92 (in Russian)].

- Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис. 2010. 280 с. [*Puchkov V.N.* Geologiya Urala i Priural'ya (aktual'nye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii). Ufa: DizajnPoligrafServis, 2010. 280 p. (in Russian)].
- Пучков В.Н. Плюмы новое слово в геологии Урала // Литосфера. 2018. Т. 18. № 4. С. 483–499 [*Puchkov V.N.* Plyumy – novoe slovo v geologii Urala // Litosfera. 2018. Т. 18. № 4. Р. 483–499 (in Russian)].
- Разницин Ю.Н. Роль тектонического расслаивания литосферы в образовании гидротермальных полей и метановых факелов в Атлантическом океане //Геотектоника. 2003. № 6. С. 1–15 [Raznitsin Yu. N. The role of tectonic delamination of lithospere for formation of hydrothermal fields and methane plumes related to the ultramafic rocks in the Atlantic ocean // Geotectonics. 2003. V. 37. Iss. 6. P. 435–447].
- Разницин Ю. Н. Тектоническая расслоенность литосферы молодых океанов и палеобассейнов (Тр. ГИН РАН; Вып. 560). М.: Наука, 2004. 270 с. [*Raznitsin Yu.N.* Tectonic delamination of the lithosphere of the young oceans and paleobasins (Transaction of the Geological Institute. V. 560). М.: Nauka, 2004. 270 р. (in Russian)].
- Разницин Ю.Н. Геодинамика офиолитов и формирование месторождений углеводородов на шельфе Восточного Сахалина // Геотектоника. 2012. № 1. С. 3–18 [*Raznitsin Yu.N.* Geodinamics of ophiolites and formation of hydrocarbon fields on the shelv of Eastern Sakhalin // Geotectonics. 2012. V. 46. No 1. P. 1–15. https://doi.org/10.1134/SOO16852112010062].
- Разницин Ю.Н. Перспективы нефтегазоносности и геодинамическая модель формирования углеводородных залежей на южном шельфе Кубы // ДАН АН. 2014. Т. 456. № 6. С. 698–702 [Raznitsin Yu.N. The petroleum potential and geodynamic model for the formation of hydrocarbon accumulations on the southern shelv of Cuba // Doklady Earth Sciences. 2014. № 456. Part 2. P. 685–683. https://doi. org/10.7868/S0869565214180200
- Разницин Ю.Н., Савельева Г.Н., Федонкин М.А. Углеводородный потенциал палео- и современных надсубдукционных областей: тектонический, геодинамический, минералого-геохимический и биохимический аспекты // Тихоокеанская геология. 2018. Т. 37. № 2. С. 3–16. https://doi. org/10/30911/0207-4028-2018-37-2-3-16 [Raznitsin Yu.N., Savelieva G.N., Fedonkin M.A. Hydrocarbon potential of paleo- and modern suprasubduction provinces: tectonic, geodynamic, mineralogicalgeochemical, and biochemical aspects // Russian Journal of Pacific Geology. 2018. V. 12. Iss. 2. P. 81–92. https://doi.org/10.1134/S1819714018020069].
- Рудкевич М.Я. Западно-Сибирский бассейн несостоявшийся океан // Природа. 1987. № 12. С. 24–27 [*Rudkevich M.Ya.* Zapadno-Sibirskij bassejn – nesostoyavshijsya okean // Priroda. 1987. № 12. P. 24–27 (in Russian).]

- Рязанцев А.В., Разумовский А.А., Кузнецов Н.Б. и др. Геодинамическая природа серпентинитовых меланжей на Южном Урале // Бюлл. МОИП. Отд. геоогии. 2007. Т. 82. Вып. 1. С. 32–47 [*Ryazantsev A.V., Razumovsky А.А., Kuznetsov N.B. et al.* Geodinamicheskaya priroda serpentinitovyh melanzhej na YUzhnom Urale // Byull. MOIP. Otd. geoogii. 2007. V. 82(1). P. 32–47 (in Russian)].
- Рязанцев А.В., Белова А.А., Разумовский А.А., Кузнецов Н.Б. Геодинамические обстановки формирования ордовикских и девонских комплексов офиолитовых разрезов Южного Урала и Мугоджар // Геотектоника. 2012. № 2. С. 1–31 [Ryazantsev A.V., Belova A.A., Razumovsky A.A., Kuznetsov N.B. Geodinamic formation satting of ordovican and devonian dike complex in ophiolitic sections of the southern Urals and Mugodzhary // Geotectonics. 2012. V. 46. № 2. P. 142–169].
- Савельева Г.Н. Габбро-ультрабазитовые комплексы офиолитов Урала и их аналоги в современной океанической коре (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 404). М.: Наука. 1987. 243 с. [Savelieva G.N. Gabbroul'trabazitovye kompleksy ofiolitov Urala i ih analogi v sovremennoj okeanicheskoj kore (Tr. GIN AN SSSR; Vyp. 404). М.: Nauka. 1987. 243 р. (in Russian)].
- Савельева Г.Н., Соболев А.В., Батанова В.Г. Океанические комплексы Полярного Урала в складчатом обрамлении Западно-Сибирского бассейна // Тез. докл. Материалы Всероссийской научной конференции с участием иностранных ученых «Фундамент, структуры обрамления Западно-Сибирского мезо-кайнозойского осадочного бассейна, их геодинамическая эволюция и проблемы нефтегазоносности. 29 сентября -2 октября 2008 года». Тюмень - Новосибирск. C. 179-181 [Savelieva G.N., Sobolev A.V., Batanova V.G. Okeanicheskie kompleksy Polyarnogo Urala v skladchatom obramlenii Zapadno-Sibirskogo bassejna // Tezisy dokl. Materialy Vserossijskoj nauchnoj konferencii s uchastiem inostrannyh uchenyh «Fundament, struktury obramleniya Zapadno-Sibirskogo mezo-kajnozojskogo osadochnogo bassejna, ih geodinamicheskaya evolyuciya i problemy neftegazonosnosti. 29 sentyabrya – 2 oktyabrya 2008 goda». Tyumen' - Novosibirsk. P. 179-181 (in Russian)].
- Савельева Г.Н., Разницин Ю.Н., Меркулова М.В. Метаморфизм перидотитов в мантийном клине над зоной субдукции: гидратация в литосферной мантии // ДАН. 2016. Т. 468. № 1. С. 62–64. https:// doi.org/10.7868/S0695652116130181 [Savelieva G.N., Raznitsin Yu.N., Merkulova M.V. Metamorphism of peridotites in mantle wedge above subduction zone: hidration of the lithospheric mantle //Doklady Earth Sciences. 2016. V. 468. Iss.1. Р. 438–440. https://doi. org/10.1134/s1028334X16050068].
- Силантьев С.А., Мироненко Н.В., Новоселов А.А. Гидротермальные системы в перидотитовом субстрате медленно-спрединговых хребтов. Моделирование фазовых превращений и баланса вещества: нисходящая ветвь // Петрология. 2009. Т. 17. С. 154–174 [Silantyev S.A., Mironenko M.V., Novoselov A.A. Hydrothermal sestems hosted in peridotites at slowspreading ridges modeling phas transformations and material balance: downwelling limb of the hydrothermal

cell // Petrology. 2009. V. 17. Iss. 6. P. 523–536. https:// doi.org/10.1134/S0886959111090600.10]

- Симонов В.А., Клец А.Г., Иванов К.С., Ступаков С.И. Особенности эволюции мантийных палеоокеанических комплексов из фундамента Западно-Сибирского осадочного бассейна // Тез докл. Материалы Всероссийской научной конференции с участием иностранных ученых «Фундамент, структуры обрамления Западно-Сибирского мезо-кайнозойского осадочного бассейна, их геодинамическая эволюция и проблемы нефтегазоносности». 29 сентября — 2 октября 2008 года. Тюмень - Новосибирск. С. 194-197 [Simonov V.A., Klets A.G., Ivanov K.S., Stupakov S.I. Osobennosti evolyucii mantijnyh paleookeanicheskih kompleksov iz fundamenta Zapadno-Sibirskogo osadochnogo bassejna // Tez. dokl. Materialy Vserossijskoj nauchnoj konferencii s uchastiem inostrannyh uchenyh «Fundament, struktury obramleniya Zapadno-Sibirskogo mezo-kajnozojskogo osadochnogo bassejna, ih geodinamicheskaya evolyuciya i problemy neftegazonosnosti». 29 sentyabrya – 2 oktyabrya 2008 goda. Tyumen' - Novosibirsk. P. 194-197 (in Russian)].
- Симонов В.А., Иванов К.С., Ступаков С.И. и др. Генезис ультрамафитовых комплексов фундамента Западно-Сибирской платформы // ДАН. 2012. Т. 442. № 1. С. 107–111 [Simonov V.A., Ivanov K.S., Stupakov S.L. et al. Genesis of ultramafic complexes of the basement of the West Siberian platform //Doklady Earth Sciences. 2012. V. 442. Iss. 1. P. 86–90.].
- Соколов С.Ю. Тектоника и геодинамика Экваториального сегмента Атлантики (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 618.). М.: Научный мир. 2018. 269 с. [Sokolov S.Yu. Tectonics and Geodynamics of the Atlantic Equatorial Segment (Transactions of Geplogical Institute. V. 618). М.: Scientific World. 2018. 269 p. (in Russian)].
- Соколов С.Ю., Мазарович А.О. Газогидраты в осадочном чехле пассивных океанических окраин: возможности прогноза по данным спутниковой альтиметрии в Атлантике и Арктике // Литология и полезные ископаемые. 2009. № 5. С. 483–492 [Sokolov S.Yu., Mazarovich A.O. Gas hydrates in the sedimentary cover of passive oceanic margins: possibilities of predictiong based on satellite altimetry data in the Atlantic and Arctic // Lithology and mineral resources. 2009. V. 44. № 5. P. 441–450.].
- Сорохтин О.Г. Жизнь Земли. М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика»; Институт компьютерных исследований. 2007. 452 с. [Sorohtin O.G. ZHizn' Zemli. M.-Izhevsk: NIC «Regulyarnaya i haoticheskaya dinamika»; Institut komp'yuternyh issledovanij. 2007. 452 p. (in Russian)].
- Тимурзиев А.И. Фундаментная нефть Западной Сибири: реальность и альтернативы // Горные ведомости. 2016. № 5-6. С. 100-118 [*Timurziev A.I.* Fundamentnaya neft' Zapadnoj Sibiri: real'nost' i al'ternativy // Gornye vedomosti. 2016. № 5-6. P. 100-118 (in Russian)].
- *Трофимов В.А.* Глубинные региональные сейсморазведочные исследования МОГТ нефтегазовых территорий. М.: ГЕОС. 2014. 202 с. [*Trofimov V.A.* Glubinnye regional'nye sejsmorazvedochnye issledovaniya MOGT neftegazovyh territorij. M.: GEOS. 2014. 202 p. (in Russian)].

- Федонкин М.А. Роль водорода и металлов в становлении и эволюции метаболических систем // Проблемы зарождения и эволюции биосферы. М.: Кн. дом «Либроком», 2008. С. 417–437 [Fedonkin M.A. Rol' vodoroda i metallov v stanovlenii i evolyucii metabolicheskih sistem // Problemy zarozhdeniya i evolyucii biosfery. M.: Kn. dom «Librokom», 2008. P. 417–437 (in Russian)].
- Xauн B.E. Тектоника континентов и океанов (год 2000). M.: Hayч. Мир. 2001. 606 с. [*Hain V.E.* Tektonika kontinentov i okeanov (god 2000). M.: Nauch. Mir. 2001. 606 p. (in Russian)].
- Черепанов В.В., Рыбальченко В.В, Гогоненков Г.Н. Мезозойский фундамент – перспективное направление поисков углеводородов на шельфе Сахалина // Геология нефти и газа. 2013. № 6. С. 34–45 [*Cherepanov V.V., Rybalchenko V.V, Gogonenkov G.N.* Mezozojskij fundament – perspektivnoe napravlenie poiskov uglevodorodov na shel'fe Sahalina // Geologiya nefti i gaza. 2013. № 6. P. 34–45 (in Russian)].
- Bonatti E., Emiliani C., Ferrara G. et al. Ultramaficcarbonate breccias from the Equatorial Mid-Atlantic Ridge //Mar. Geol. 1974. V. 17. P. 83–102.
- Cannat M., Mevel C., Maia M. et al. Thin crust, ultramafic exposures, and rugged faulting patterns at the Mid-

Atlantic Ridge (22°–24° N) // Geology. 1995. V. 23. No 1. P. 49–52.

- Harigane Y., Michibayashi K., Ohara Y. Relicts of deformed lithospheric mantle within serpentinites and weathered peridotites from the Godzilla Megamullion, Parece Vela Back-arc Basin, Philippine Sea // Island Arc. 2011.
  V. 20. № 2. P. 174–187. https://doi.org/10.1111/j.1440-1738.2011.00759.x
- Ladage S., Seifert R., Michaelis W. Hydrothermal Gas Generation in a Back-Arc Basin // Naturwissenschaften. 1991. V. 78. P. 64–66.
- *Manuella F.C., Scribiano V., Carbone S.* Abyssal serpentinites as gigantic factories of marine salts and oil // Marine and Petroleum Geology. V. 92. 2018. P. 1041–1055. https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2018/0600.10.
- *Ohara Y., Fujioka K., Ishii T., Yurimoto H.* Peridotites and gabbro from the Parece Vela backarc basin: Unique tectonic window in the exting backarc spreading ridge // Geochemistry, Geophisics, Geosistems. 2003. V. 4. Iss. 7. https://doi.org/10.1029/2002GC000469.
- *Ulmishek G.F.* Petroleum geology and resources of the West Siberian Basin, Russia // US Geological Bulletin 2201-G. 2003. 53 p.
- Wheat C.G., Fryer P., Takai K., Hulme S. Spotlight 9: South Chamorro Seamount // Oceanography. 2010. V. 23. Iss. 1. P. 174–175.

# SERPENTIZATION OF MANTLE PERIDOTITES AS FUNDAMENTAL SOURCE OF DEEP-SEATING HYDROCARBONS IN THE WEST SIBERIAN BASIN

## Yu.N. Raznitsin<sup>1</sup>, G.N. Gogonenkov<sup>2</sup>, Yu.A. Zagorovsky<sup>3</sup>, V.A. Trofimov<sup>4</sup>, M.A. Fedonkin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Geological instiitute of Russian academy of scienes, Moscow, Russia, 119017 <sup>2</sup>All-Russian Geological Research and Development Oil Institute, Moscow, Russia, 10518 <sup>3</sup>Gazprom geologorazvedka, Tyumen, Russia, 625000 <sup>4</sup>Central geophysical expedition, Moscow, Russia, 123298

The authors have proposed a scheme for the formation of the hydrocarbon capacity of the West Siberian oil and gas basin in a paleosubduction geodynamic setting and continue developing the idea concerning the abiogenic deep genesis of hydrocarbons due to the low-temperature serpentinization of mantle peridotites during spreading in the Ordovician back-arc basin, which occupied at that time within the area of the future West Siberian basin, and the high-temperature hydration of peridotites in the mantle wedges above the subduction zones during the Selurian and Devonian. Another source of abyssal hydrocarbons is the serpentinization of mantle peridotites fragments in water saturated basement. A major role is being established in the formation of hydrocarbon deposits in the sedimentary cover of Western Siberia in the vertical migration of deep hydrocarbon fluids through degassing pipes, including anomalous annular zones, through deep thrusts, which are active gas-oil supply channels and along a large zone of Neogene-Quaternary low-amplitude horizontal shifts in the basement thickness. Deep-seated faults that comprise triassic rift system of West Siberian play a major role in water removal from deep sources. The feeding with new portions of oil and gas in hydrocarbon fields of West Siberian basin continues in present time, which provides renewability of regional hydrocarbons. The total volume of methane generated in the serpentinization zones of mantle peridotites is formed from two sources — abiotic (reaction of hydrogen with carbon dioxide dissolved in seawater) and biotic (methanogens). The origin of hydrocarbons is considered in the context of a new polygenetic scheme of oil and gas formation in the process of «abiogenic-biogenic» synthesis.

Keywords: ocean, spreading, subduction, suprasubduction zones, peridotites, serpentinization, hydrocarbons.