Труды Карельского научного центра РАН. 2026. № 10. С. 141–149
Transactions of the Karelian Research Centre RAS. 2026. No. 10. P. 141–149
DOI: 10.17076/geo2155

УДК 552.312+552.5

ПОЛИСТАДИЙНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МАФИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ И ШУНГИТОВЫХ ПОРОД В ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКОМ ОНЕЖСКОМ БАССЕЙНЕ

А. В. Степанова, В. В. Устинова*, С. Ю. Чаженгина

Институт геологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»
(ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910)
**vikaystinova@yandex.ru*

Изучение минерального состава силлов долеритов в Онежском палеобассейне, а также характера распределения аморфного углеродистого вещества внутри интрузий позволило выявить несколько ключевых особенностей процессов контактового взаимодействия расплавов основного состава с вмещающими углеродсодержащими осадочными породами заонежской свиты людиковия. Внедрение расплавов основного состава сопровождалось флюидизацией осадочных пород с образованием газо- и нефтенасыщенных флюидов и ассимиляцией расплавами углеродистого вещества, о чем свидетельствуют пеперит-структуры в кровельных частях силлов, образование столбчатой отдельности в шунгитовых породах, вмещающих силлы, формирование углеродсодержащих миндалин в зонах закалки и накопление углеродистого вещества в интерстициях в долеритах центральных частей тел. Силлы долеритов оказывают двойственное влияние на миграцию газо- и нефтенасыщенных флюидов, выступая в качестве триггера нефтеобразования, а также барьеров или путей миграции нефтей.

Полученные данные предполагают, что внедрение силлов умеренно-магнезиальных долеритов раннего этапа (тип Лебещина), характеризующихся малыми глубинами становления и контактами пеперит-типа могло являться одним из ключевых факторов нефтегазообразования в Онежском палеобассейне. Характер контактового взаимодействия силлов Fe-Ti долеритов, формирование которых происходило в интервале возрастов 2,00–1,96 млрд лет, с вмещающими углеродсодержащими породами позволяет предполагать внедрение расплавов основного состава в разной степени консолидированные осадочные комплексы, нефтеносные горизонты в которых еще не были литифицированы. Для относительно более ранних силлов Fe-Ti долеритов (тип Шуньга) фиксируется обогащение остаточных расплавов флюидом и осаждение УВ в интерстициях и включениях в минералах. Для второй группы силлов Fe-Ti долеритов (тип Максово) характерно формирование столбчатой отдельности в зоне экзоконтакта во вмещающих шунгитовых породах, наличие углеродистого вещества в миндалинах и основной массе пород зоны закалки.

Ключевые слова: силлы долеритов; углеродсодержащие осадочные породы; палеопротерозой; Онежский бассейн

Для цитирования: Степанова А.В., Устинова В.В., Чаженгина С.Ю. Полистадийное взаимодействие мафических расплавов и шунгитовых пород в палеопротерозойском Онежском бассейне // Труды Карельского научного центра РАН. 2026. № 10. С. 141–149. doi: 10.17076/geo2155

Финансирование. Работа выполнена в рамках Государственного задания ИГ КарНЦ РАН FMEN-2023-0009.

A. V. Stepanova, V. V. Ustinova*, S. Y. Chazhengina. POLYSTADIAL INTERACTION OF MAFIC MELTS AND SHUNGITE ROCKS IN THE PALEOPROTEROZOIC ONEGA BASIN

*Institute of Geology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia), *vikaystinova@yandex.ru*

A study of the mineral composition of dolerite sills in the Onega Basin, along with the distribution patterns of amorphous carbonaceous matter within these intrusions, has revealed several key features of interactions at the interface between mafic melts and carbon-bearing host sedimentary rocks of the Ludicovian Zaonega Formation. The emplacement of mafic melts was accompanied by fluidization of sedimentary rocks, causing the generation of gas- and oil-saturated fluids, and assimilation of the carbonaceous matter by the melts. This is evidenced by peperites in the roof zones of the sills, the development of columnar jointing in the host shungite rocks, formation of carbon-bearing amygdales within quenched margins, and the accumulation of carbonaceous matter in the interstices of dolerites in the central parts of the bodies. Dolerite sills exert a dual effect on the migration of gas- and oil-saturated fluids, acting as a trigger for petroleum generation and as barriers or pathways for hydrocarbon migration. The data suggest that the emplacement of early-stage, medium-Mg dolerite sills (Lebeshchina type), characterized by shallow depths of crystallyzation and peperite-type contacts, could be considered as one of the key factors driving oil and gas generation in the Onega Basin. The nature of the contact-zone interaction between the Fe-Ti dolerite sills formed within the 2.00–1.96 Ga age interval and the host carbon-bearing rocks suggest that mafic melts could be emplaced into sedimentary sequences at varying stages of consolidation, where the oil-bearing horizons had not yet undergone lithification. The older Fe-Ti dolerite sills (Shunga type) experienced fluid enrichment of residual melts, accompanied by the precipitation of carbonaceous matter within interstices and as mineral inclusions. In contrast, the second group of Fe-Ti dolerite sills (Maksovo type) is characterized by the formation of columnar jointing within the exogenous contact zone of the host shungite rocks, as well as the presence of carbonaceous matter within amygdales and the groundmass of the quenched margin rocks.

Keywords: dolerite sills; carbon-bearing sedimentary rocks; Paleoproterozoic; Onega Basin

For citation: Stepanova A.V., Ustinova V.V., Chazhengina S.Y. Polystadial interaction of mafic melts and shungite rocks in the Paleoproterozoic Onega Basin . *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2026. No. 10. P. 141–149. doi: 10.17076/geo2155

Funding. This work was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation [FMEN-2023-0009].

Многочисленные исследования современных нефтегазоносных систем [Schofield et al., 2015; Mangione et al., 2023; Palma et al., 2024] показали, что мафические интрузии могут оказывать двойственное влияние на углеродсодержащие осадочные породы. С одной стороны, они могут способствовать созреванию нефтематеринских пород, генерации углеводородов и формированию путей их миграции, как, например, в осадочном бассейне Неукен (Аргентина) [Rabbel et al., 2023; Palma et al., 2024]. С другой стороны, внедрение интрузий может привести к снижению пористости и проницаемости осадочных пород и, соответственно, к снижению нефтегазоносного потенциала бассейна, как например, в осадочном бассейне

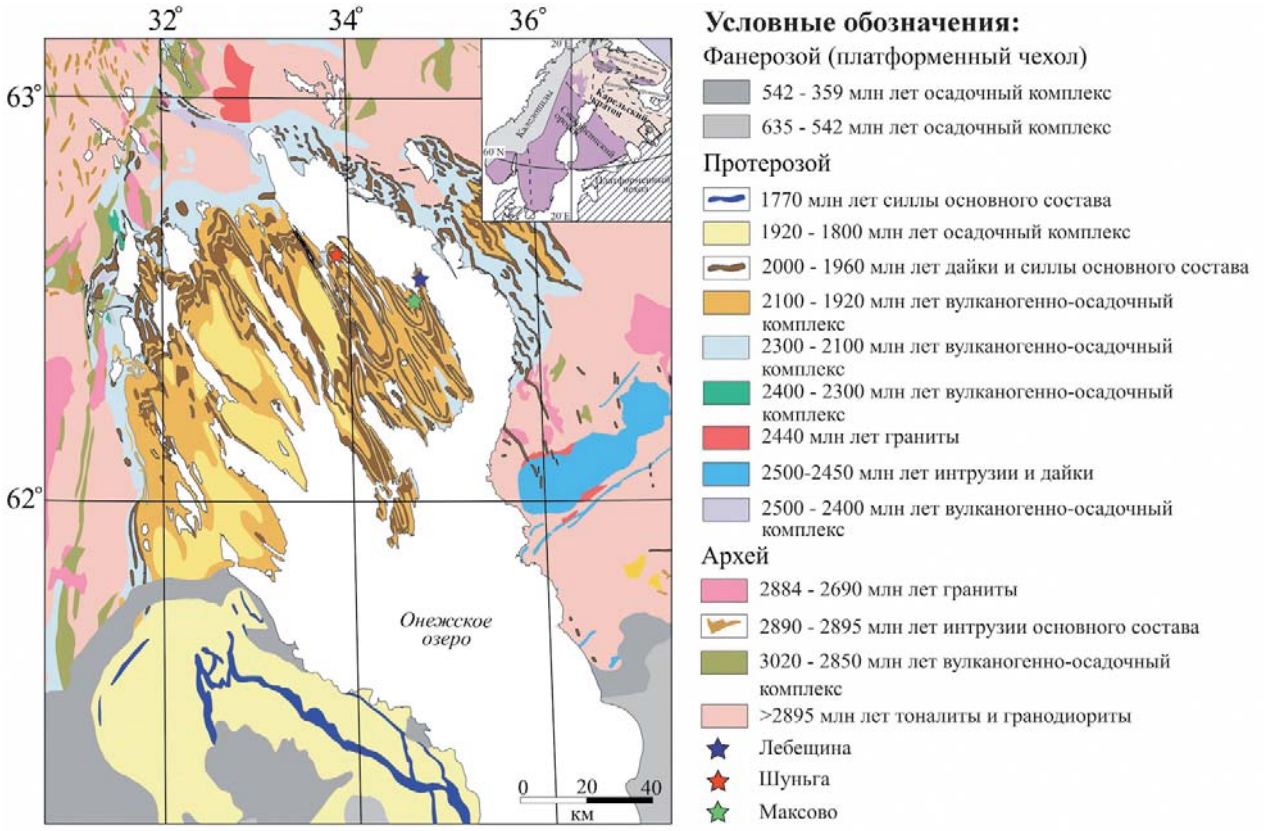


Рис. 1. Схема геологического строения Онежского бассейна [по: Куликов и др., 2017, с изменениями] и положение ключевых участков

Fig. 1. Schematic geological map of the Onega Basin [modified after Kulikov et al., 2017]

Фарерских и Шетландских островов [Schofield et al., 2015; Mangione et al., 2023]. Помимо этого, богатые углеродистым веществом осадочные породы также могут оказывать влияние на магматические расплавы. Ассимиляция магматическим расплавом органических соединений может привести к увеличению количества газовой фазы и изменению химического состава самой магмы [Iacono-Marziano et al., 2017].

Исследования воздействия интрузий на древние нефтегазоносные системы немногочисленны, что связано с тем, что, в отличие от современных осадочных бассейнов, докембрийские нефтегазоносные системы, как правило, претерпели значительные изменения, вследствие более поздних наложенных процессов, из-за чего первичные взаимоотношения между осадочными и магматическими породами оказались нарушенными. Среди докембрийских осадочных бассейнов, содержащих значительный объем высокоуглеродистых пород, одним из наиболее известных является палеопротерозойский Онежский бассейн (рис. 1), расположенный в восточной части Фенноскандинавского щита [Онежская..., 2011]. Углеродсодержащие осадочные породы Онежского бассейна, известные как шунгитовые, хорошо изучены [Филиппов, 2002; Melezhik et al., 2013], имеют возраст ~ 2,05 млрд лет [Hannah et al., 2008] и рассматриваются в составе заонежской свиты людиковия, породы которой представлены углеродсодержащими песчаниками, алевролитами и доломитами с содержанием углерода от 10 до 70 % [Онежская..., 2011]. Углерод в шунгитовых породах (ШП) представлен аморфным углеродистым веществом (УВ) и имеет биогенное происхождение [Melezhik et al., 2009]. Осадочные породы заонежской свиты Онежского бассейна, в том числе углеродсодержащие, вмещают субсогласные тела силлов Fe-Ti долеритов, которые свидетельствуют о широком проявлении основного магматизма на рубеже 2,0–1,96 млрд лет назад [Stepanova et al., 2023; Устинова и др., 2026]. Силлы умеренно-магнезиальных долеритов не датированы. Данная работа посвящена анализу контактового взаимодействия расплавов основного состава, формировавших силлы долеритов, с углеродсодержащими осадочными породами

и основана на результатах изучения особенностей строения и состава силлов долеритов, а также морфологии и распределения углеродистого вещества в контактовых зонах.

В ходе исследования были изучены силлы на Заонежском п-ове – на месторождениях Максово и Шуньга, а также на участке Лебещина. По химическому составу среди пород силлов выделяется два типа – умеренно-магнезиальные и высокожелезистые высокотитанистые долериты. Породы силлов относятся к толеитовой серии нормального ряда щелочности, но отличаются по ряду геохимических характеристик. Первый тип характеризуется умеренным содержанием MgO, TiO_2, Cr и Ni [Устинова, Степанова, 2025], второй отличается повышенными концентрациями Fe, Ti, обогащением Rb, Ba и легкими РЗЭ [Chazhengina et al., 2026]. Долериты силлов метаморфизованы в условиях зеленосланцевой фации, что типично для Онежской структуры [Спиридонов и др., 2017], и практически утратили первичные магматические минералы, однако, сохранили первичные структуры и не имеют признаков тектонической переработки.

На контакте силлов и углеродсодержащих осадочных пород Онежского бассейна установлены специфические структуры, а именно, пеперит-структуры, столбчатая отдельность в ШП и заполнение трещин остывания в долеритах УВ, свидетельствующие о внедрении расплава в нелитифицированные осадочные породы. Термическое воздействие расплавов на неконсолидированные осадки вызывает интенсивную флюидизацию, обусловленную как термической дегидратацией, так и термическим разложением органического вещества с образованием газообразных и жидких углеводородов. Признаки интенсивной флюидизации в виде глобулярных структур, пустот и прожилков, заполненных миграционным углеродистым веществом и вторичными минералами, установлены и в ШП, и в долеритах в контактовых зонах, включая и породы со столбчатой отдельностью.

Пепериты – контакты базитов и углеродсодержащих пород, характеризующиеся признаками механического смешения двух контрастных сред по типу минглинга и обусловленные внедрением расплавов основного состава в неконсолидированные водосодержащие осадки [Skilling et al., 2002], впервые установлены на участке Лебещина в верхнем контакте силла долеритов и шунгитовых пород [Бискэ и др., 2004; Полещук, 2007]. На участке Лебещина пепериты представляют собой ШП с фрагментами долеритов разного размера, от 10 до 60 см, и разной формы, от неправильной до почти сферической (рис. 2, а). Фрагменты пород силла в пеперит-структурах представлены тонкозернистыми закаленными долеритами порфировидной структуры. Вкрапленники плагиоклаза размером от 1 до 3 см замещены альбитом и «кородированы» сплошными массами хлорита, а основная масса интерсертальной структуры сложена многочисленными лейстами альбита, тонкочешуйчатыми агрегатами хлорита, ксеноморфными зернами титанита. В закаленных долеритах УВ не установлено, но заполняет трещины между фрагментами долеритов, варьирующие по мощности от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. Долериты центральных частей тела не содержат углеродистого вещества. Шунгитовые породы часто трещиноватые, с трещинами, заполненными кварцем и миграционным УВ, а также содержат неправильной и округлой формы обособления, сложенные закаленными тонкозернистыми базитами – «капли» застывшего расплава (рис. 2, б, в). Форма и распределение фрагментов долеритов в пеперитах свидетельствует о том, что в процессе внедрения магмы взаимодействовали с водонасыщенными осадками, в результате чего в зоне контакта происходила флюидизация осадков, вязкопластическая фрагментация расплава с последующим формированием трещин остывания и заполнением их ремобилизованным углеродистым веществом. Анализ текстурных и микроструктурных характеристик долеритов в зоне развития пеперитов показывает, что кристаллизация расплавов происходила в поле стабильности плагиоклаза на малых глубинах. Наличие в породах центральных частей тел пойкилоофитовых структур свидетельствует в пользу быстрой смены ликвидусных фаз и кристаллизации клинопироксена, что могло быть обусловлено повышением активности воды в системе. Альбитизация пород зон закалки и резкий рост содержаний Na_2O в породах зоны закалки и фрагментах базитов в пеперитах также свидетельствует в пользу внедрения расплавов в обводненные осадки. По составу долериты с контактами пеперит-типа относятся к умеренно-магнезиальному типу и формировались в Онежской структуре на этапе растяжения [Устинова, Степанова, 2025].

Пепериты установлены также на контакте ШП с силлом Fe-Ti долеритов на месторождении Максово, но масштаб их проявления значительно меньше, чем на участке Лебещина, а метасоматические изменения носят другой характер с повышением содержаний K_2O в долеритах [Chazhengina et al., 2024].

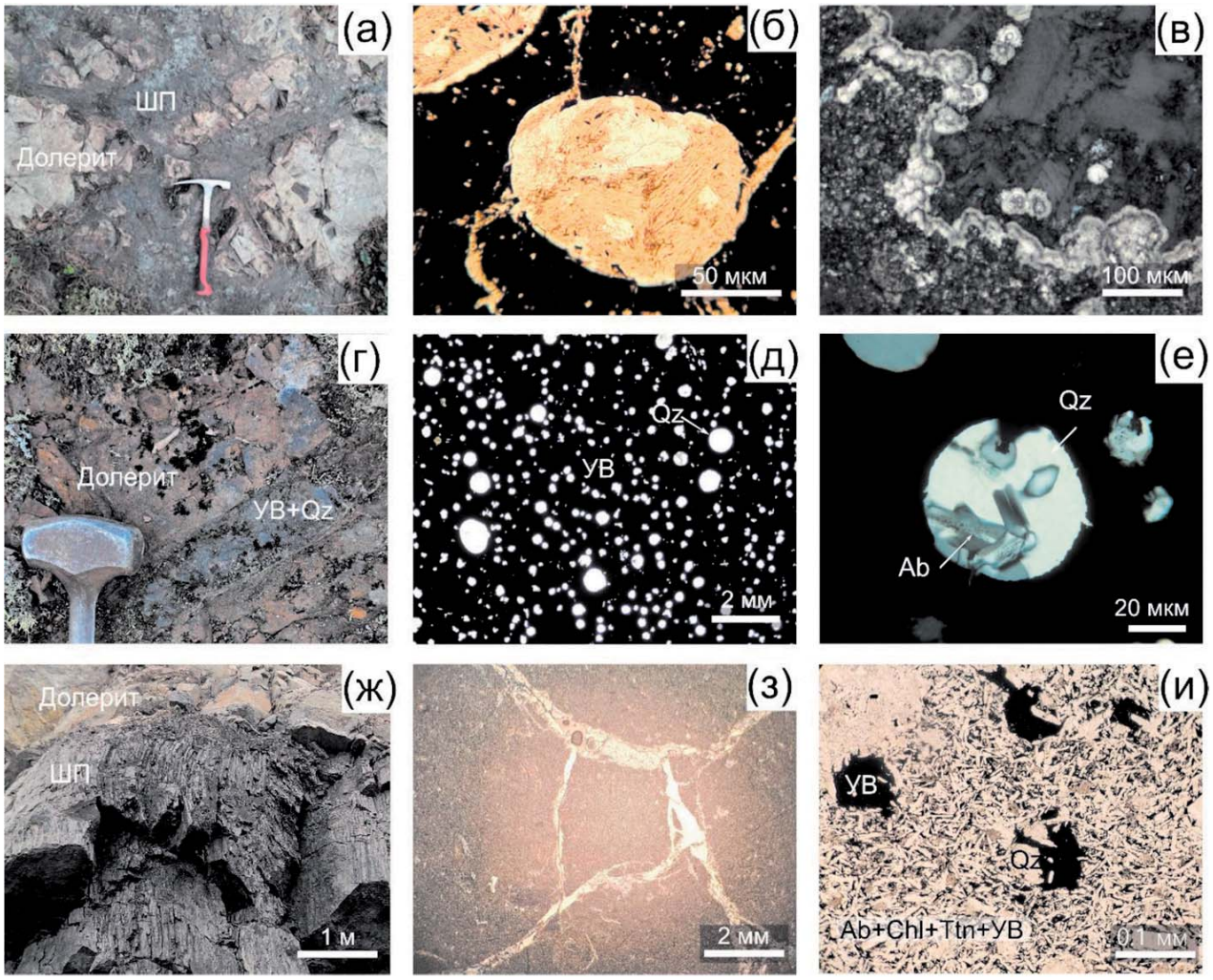


Рис. 2. Характер контактового взаимодействия силлов долеритов и шунгитовых пород в породах Онежской структуры. Пепериты, участок Лебещина: (а) – фотография обнажения; (б) – «капля» застывшего расплава в шунгитовой породе; (в) – фрагмент долерита в шунгитовой породе с миграционным УВ на контакте. Трещины остывания в долеритах: (г) – фотография обнажения; (д) и (е) – глобулярные структуры, участок Лебещина; Столбчатая отдельность, месторождение Максово: (ж) фотография обнажения; фотографии шлифов шунгитовой породы (з) и долеритов (и) из зоны контакта; (в, д, з, и – изображения в проходящем свете; б, е – в отраженном). Аббревиатура: Ab – альбит; Qz – кварц; ШП – шунгитовая порода; УВ – углеродистое вещество

Fig. 2. The contact interaction of dolerites with host sedimentary rocks in the Onega structure. Peperites, Lebeshchina area: (а) – field photograph; (б) – “droplet” of solidified melt in shungite rock; (в) – dolerite fragment in shungite rock with migrated carbonaceous matter at the contact. Cooling fractures in dolerites: (г) – field photograph; (д) and (е) – globular structures, Lebeshchina area; Columnar jointing, Maksovo deposit: (ж) field photograph; microphotographs of thin sections of shungite rock (з) and dolerites (и) from the contact zone; (в, д, з, и – transmitted-light images; б, е – reflected-light images). Abbreviations: Ab – albite; Qz – quartz; ШП – shungite rock; УВ – carbonaceous matter

Другой тип контактового взаимодействия, установленный в Онежской структуре, фиксируется по трещинам остывания в приконтактовой зоне силлов долеритов, заполненных миграционным УВ и кварцем (рис. 2, г, д, е). Контакты такого типа установлены в силлах Fe-Ti долеритов на участках Лебещина и Шуньга [Chazhengina et al., 2026]. Долериты вблизи жильных тел высокоуглеродистых пород не содержат УВ, однако, в жилах наблюдаются угловатые фрагменты долеритов, в которых УВ установлено в интерстициях в ассоциации с хлоритом и в виде включений в альбите и кварце. В р-не месторождения Шуньга трещины остывания мощностью 3–5 см, заполненные кварцем и углеродистым веществом, были установлены в кровле Загорского силла. Они имеют структуру, аналогичную

жилам с кварцевыми глобулами в углеродистой основной массе жил, секущих Fe-Ti долериты в р-не Лебещины, но глобулы имеют меньший размер. Трещины остывания, заполненные углеродистым веществом, представляют собой пути миграции газо- и нефтенасыщенного флюида, образовавшегося в результате теплового воздействия силла на углеродсодержащие осадки. Длительное остывание флюида в трещинах, вероятно, приводит к фазовому разделению с образованием двух несмесимых флюидов: обогащенного кремнеземом и обогащенного углеродистым веществом, о чем свидетельствуют четкие границы глобул и их коалесценция. Последующее остывание двух несмешивающихся жидкостей приводит к образованию кварцевых глобул, рассеянных в углеродистом веществе. Ассимиляция расплавами, формировавшими силлы Fe-Ti долеритов, углеродистого вещества из вмещающих осадочных комплексов может обеспечить поступление газо- и нефтенасыщенного флюида в магматическую камеру и, при условии умеренных глубин становления, его растворение в расплаве. Кристаллизация расплава и остывание системы приводят к накоплению флюида в остаточных расплавах и осаждению углерода в интерстициях, как это показано в работе для Загорского силла в р-не месторождения Шуньга [Chazhengina et al., 2026].

Столбчатая отдельность, характерным признаком которой является угол между трещинами, близкий к 120°, установлена в ШП на контакте с силлом Fe-Ti долеритов в карьере Максово [Chazhengina et al., 2024]. Силл мощностью около 15 м имеет форму блюдца и залегает субгоризонтально в крупном линзовидном теле ШП Максовской залежи. В центре силла долериты варьируют от мелко- до среднезернистых и сохраняют офитовую структуру, но первичный клинопироксен замещен хлоритом и биотитом, а плагиоклаз полностью альбитизирован. Столбчатая отдельность, перпендикулярная контакту, имеет ореол распространения 1–10 м, длина столбиков, в зависимости от типа контакта, варьирует от 0,5 до 7 м (рис. 2, ж). Непосредственно на контакте наблюдаются пепериты или массивные шунгитовые породы с линзами и прожилками, заполненными кварцем и миграционным УВ, а также обогащенные пиритом. По мере удаления от контакта установлены ШП со столбчатой отдельностью, в которых столбики представлены массивными ШП, состоящими из кварца, реже серицита, рассеянных в углеродистой основной массе. Трещины между столбиками имеют резкие границы и заполнены кварцем и миграционным углеродом (рис. 2, з). ШП со столбчатой отдельностью переходят в шунгитовую брекчию, характерную для месторождения Максово и состоящую из фрагментов ШП, сцементированных кварцем и миграционным углеродом. Механизм образования столбчатой отдельности в ШП связан с интенсивной флюидизацией осадочных пород. Миграция и циркуляция газо- и нефтенасыщенного флюида приводит к уменьшению объема и сжатию шунгитовых пород с образованием столбчатой отдельности. Столбчатая отдельность в ШП на контакте с силлами долеритов отмечается также и на участке Лебещина, но состав долеритов в зоне развития столбчатых структур не рассматривался [Бискэ и др., 2004; Полещук, 2007].

В долеритах признаки флюидного обогащения наблюдаются на контакте с ШП. В кровле силла в карьере Максово в зоне эндоконтакта долериты имеют миндалекаменную структуру и содержат миндалины, заполненные миграционным УВ (рис. 2, и). УВ установлено также в основной массе долеритов зоны закалки. По мере продвижения к центру тела содержание УВ в долеритах падает до его полного исчезновения в 1,5–2 м от контакта [Chazhengina et al., 2024].

Разные типы контактового взаимодействия силлов долеритов и шунгитовых пород, изученные на участке Лебещина, месторождениях Максово и Шуньга, показали, что внедрение расплавов основного состава происходило в неконсолидированные осадочные породы и приводило к образованию газо- и нефтенасыщенного флюида (рис. 3). Эти результаты согласуются с мнением ряда исследователей [Melezhik et al., 2009] о том, что в палеопротерозое в пределах Онежского палеобассейна существовало гигантское нефтяное поле, одной из причин формирования которого могло быть повышение температур осадочных комплексов вследствие подъема мантийных расплавов. Исходя из характера контактового взаимодействия, таким триггером нефтеобразования мог быть эпизод формирования силлов умеренномагнезиальных долеритов, тогда как формировавшиеся позднее силлы Fe-Ti долеритов несут признаки взаимодействия с уже зрелыми нефтяными системами.

Таким образом, анализ соотношений силлов долеритов и шунгитовых пород Онежской структуры позволяет выделить три дискретных типа контактового взаимодействия. Морфологические различия между ними могут быть обусловлены становлением интрузий на разных гипсометрических уровнях и их внедрением

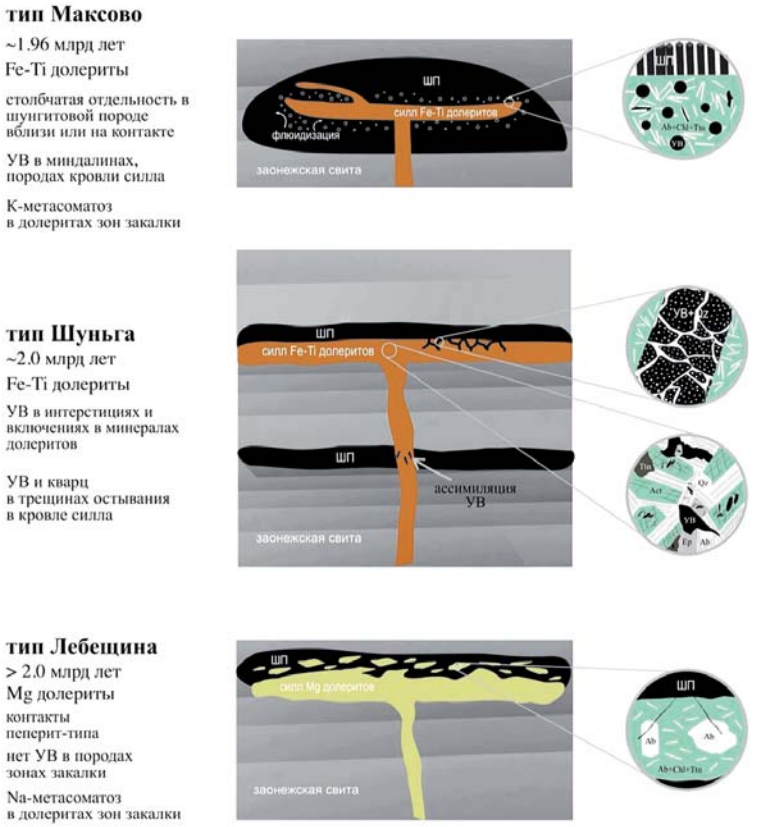


Рис. 3. Схематические модели разных типов контактового взаимодействия силлов долеритов с шунгитовыми породами в Онежском бассейне. Аббревиатура: Ab – альбит; Act – актинолит; Chl – хлорит; Ep – эпидот; Qz – кварц; Ttn – титанит; ШП – шунгитовая порода; УВ – углеродистое вещество

Fig. 3. Schematic models of the various types of contact interaction between sills of dolerites and shunigite rocks in the Onega Basin. Abbreviations: Ab – albite; Act – actinolite; Ep – epidote; Qz – quartz; Ttn – titanite; ШП – shungite rock; УВ – carbonaceous matter

в осадочные комплексы разной степени консолидации. Вариации состава и возраста долеритов свидетельствуют в пользу многоэтапного термического преобразования вмещающих осадочных толщ и полистадийном характере флюидно-магматического взаимодействия мафических расплавов и осадочных комплексов в палеобассейне.

Литература

Бискэ Н. С., Ромашкин А. Е., Рычанчик Д. В. Протерозойские пеперит-структуры участка Лебещина // Геология и полезные ископаемые Карелии. 2004. № 7. С. 193–200.

Куликов В. С., Светов С. А., Слабунов А. И., Куликова В. В., Полин А. К., Голубев А. И., Горьковец В. Я., Иващенко В. И., Гоголев М. А. Геологическая карта юго-восточной Фенноскандии масштаба 1:750000: новые подходы к составлению // Труды Карельского научного центра РАН. 2017. № 2. С. 3–41.

Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минерагения) / Отв. ред. Л. В. Глушанин, Н. В. Шаров, В. В. Щипцов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. 431 с.

Полещук А. В. Палеопротерозойские брекчиевидные породы (пепериты) северо-онежской мульды Балтийского щита // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геол. 2007. Т. 82, № 6. С. 27–46.

Спиридонов Э. М., Путинцева Е. В., Лавров О. Б., Ладыгин В. М. Кронштедтит, пумпеллит, пренит, леннинленапеит в метаагатах и метабазальтах траповой формации раннего протерозоя Северного Прионежья // Ломоносовские чтения: Тезисы докл. конф. (Москва, 18–27 апр. 2017 г.). М., 2017. URL: https://conf.msu.ru/file/event/4305/eid4305_attach_b0acc3e7de2cd859225469534617a6272d70ce50.pdf

Устинова В. В., Степанова А. В. Состав, корреляции и условия формирования умеренно-магнезиальных толеитов в Заонежском магматическом комплексе Онежской структуры // Тектоника и геодинамика Земной коры и мантии: фундаментальные

проблемы-2025. Материалы LVI Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2025. С. 596–600.

Устинова В. В., Степанова А. В., Суханова М. А., Сальникова Е. Б., Ерофеева К. Г., Ран А. В., Бессмертный К. Н., Максимов О. А., Силаева О. М., Федоров А. А. Граниты А-типа 1,96 млрд лет в составе Онежской крупной магматической провинции, Карельский кратон // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2026. Т. 527, № 2. С. 315–327.

Филиппов М. М. Шунгитоносные породы Онежской структуры. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2002. 146 с.

Chazhengina S. Y., Ustinova V. V., Stepanova A. V. Columnar jointing in Paleoproterozoic carbon-bearing rocks (Onega Basin, NW Russia): implications for carbon migration in sedimentary rocks // International Geology Review. 2024. Vol. 67(8). P. 1014–1031. doi: 10.1080/00206814.2024.2420185

Chazhengina S. Y., Ustinova V. V., Stepanova A. V. Interaction of Mafic Magma and Carbon Bearing Sediments: Evidence from the Paleoproterozoic Onega Basin and Implications for Carbon Migration // Petrology. 2026. Vol. 34(4). P. 468–485.

Hannah J. L., Stein H. J., Zimmerman A., Yang G., Melezhik V. A., Filippov M. M., Turgeon S. C., Creaser R. A. Re–Os geochronology of a 2.05 Ga fossil oil field near Shunga, Karelia, NW Russia // Proceedings of the 33rd International Geological Congress / Eds.: Koc S., Kavrazli O., Kocak I. Oslo, 2008. P. 6–14.

Iacono-Marziano G., Ferraina C., Gaillard F., Di Carlo I., Arndt N. T. Assimilation of sulfate and carbonaceous rocks: Experimental study, thermodynamic modeling and application to the Noril'sk-Talnakh region (Russia) // Ore Geology Reviews 90. 2017. P. 399–413. doi: 10.1016/j.oregeorev.2017.04.027

Mangione A., Schofield N., Holford S., Grove C., Ellis C., Forster C., Schenk O., Gardiner D., Hedley B., Broadley L., Underhill J. R. Petroleum generation and migration through the Faroe–Shetland Basin – the role of igneous intrusions // Petroleum Geoscience. 2023. Vol. 30(2). doi: 10.1144/petgeo2022-084

Melezhik V. A., Fallick A. E., Filippov M. M., Lepland A., Rychanchik D. V., Deines Y. E., Medvedev P. V., Romashkin A. E., Strauss H. Petroleum surface oil seeps from a paleoproterozoic petrified giant oilfield // Terra Nova. 2009. Vol. 21(2). P. 119–126. doi: 10.1111/j.1365-3121.2009.00864.x

Melezhik V. A., Medvedev P. V., Svetov S. A. The Onega basin // Reading the Archive of Earth's Oxygenation. Vol. 1: The Palaeoproterozoic of Fennoscandia as Context forthe Fennoscandian Arctic Russia – Drilling Early Earth Project / V. Melezhik, A. R. Prave, A. E. Fallick, L. R. Kump, H. Strauss, A. Lepland, E. J. Hanski (eds.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. P. 387–490. doi: 10.1007/978-3-642-29682-6_9

Palma J. O., Rabbel O., Spacapan J. B., Ruiz R., Galland O. The Cara Cura intrusive complex, Neuquén Basin, Argentina: A field analogue of a whole igneous petroleum system // Geological Society Special Publication. 2024. Vol. 547. P. 261–290.

Rabbel O., Hasenclever J., Galerne C. Y., Galland O., Mair K., Palma O. Impact of permeability evolution in igneous sills on hydrothermal flow and hydrocarbon transport in volcanic sedimentary basins // Solid Earth. 2023. Vol. 14. P. 625–646.

Schofield N., Holford S., Millett J., Brown D., Jolley D., Passey S. R., Muirhead D., Grove C., Magee C., Murray J., Hole M. Regional Magma Plumbing and emplacement mechanisms of the Faroe-Shetland Sill Complex: Implications for magma transport and petroleum systems within sedimentary basins // Basin Research. 2015. Vol. 29. P. 41–63.

Skilling I. P., White J. D. L., McPhie J. Peperite: a review of magma-sediment mingling // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2002. Vol. 114, no. 1–2. P. 1–17.

Stepanova A. V., Salnikova E. B., Samsonov A. V., Sukhanova M. A., Ustinova V. V., Larionova Yu. O., Prave T., Kirsimäe K., Lepland A. 2.00 Ga mafic sills in the Onega basin, Fennoscandian Shield: implications Pechenga-Onega LIP and age restrictions for Paleoproterozoic Shunga event // International Dyke Conference (IDC 8)-Large Igneous Provinces (LIPs 8)-Rodinia 2023. P. 138–139.

References

Biske N. S., Romashkin A. E., Rychanchik D. V. Proterozoic peperite structures of the Lebeshchina area. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii = Geology and Mineral Resources of Karelia*. 2004;7:193–200. (In Russ.)

Kulikov V. S., Svetov S. A., Slabunov A. I., Kulikova V. V., Polin A. K., Golubev A. I., Gorkovets V. Ya., Ivashchenko V. I., Gogolev M. A. Geological map of Southeastern Fennoscandia (scale 1:750,000): a new approach to map compilation. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS.* 2017;2:3–41. (In Russ.). doi: 10.17076/geo444

Chazhengina S. Y., Ustinova V. V., Stepanova A. V. Columnar jointing in Paleoproterozoic carbon-bearing rocks (Onega Basin, NW Russia): implications for carbon migration in sedimentary rocks. *International Geol. Review*. 2024;67(8):1014–1031. doi: 10.1080/00206814.2024.2420185

Chazhengina S. Y., Ustinova V. V., Stepanova A. V. Interaction of mafic magma and carbon bearing sediments: evidence from the Paleoproterozoic Onega Basin and implications for carbon migration. *Petrology.* 2026;34(4):468–485.

Filippov M. M. Shungite rocks in Onega Basin. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2002. 146 p. (In Russ.)

Glushanin L. V., Sharov N. V., Shchiptsov V. V. (eds.). Paleoproterozoic Onega Structure: geology, tectonics, structure, and metallogeny. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2011. 431 p. (In Russ.)

Hannah J. L., Stein H. J., Zimmerman A., Yang G., Melezhik V. A., Filippov M. M., Turgeon S. C., Creaser R. A. Re–Os geochronology of a 2.05 Ga fossil oil field near Shunga, Karelia, NW Russia. *Proceedings of the 33rd International Geological Congress.* Oslo; 2008. P. 6–14.

Iacono-Marziano G., Ferraina C., Gaillard F., Di Carlo I., Arndt N. T. Assimilation of sulfate and carbonaceous rocks: experimental study, thermodynamic modeling and application to the Noril'sk-Talnakh region (Russia). *Ore Geology Reviews*. 2017;90:399–413. doi: 10.1016/j.oregeorev.2017.04.027

Mangione A., Schofield N., Holford S., Grove C., Ellis C., Forster C., Schenk O., Gardiner D., Hedley B., Broadley L., Underhill J.R. Petroleum generation and migration through the Faroe–Shetland Basin – the role of igneous intrusions. *Petroleum Geoscience*. 2023;30 (2). doi: 10.1144/petgeo2022–084

Melezhik V.A., Fallick A.E., Filippov M.M., Lepland A., Rychanchik D.V., Deine Y.E., Medvedev P.V., Romashkin A.E., Strauss H. Petroleum surface oil seeps from a Paleoproterozoic petrified giant oilfield. *Terra Nova*. 2009;21(2):119–126. doi: 10.1111/j.1365-3121.2009.00864.x

Melezhik V.A., Medvedev P.V., Svetov S.A. The Onega Basin. *Reading the Archive of Earth's Oxygenation. Vol. 1: The Palaeoproterozoic of Fennoscandia as Context forthe Fennoscandian Arctic Russia – Drilling Early Earth Project.* Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2013. P. 387–490. doi: 10.1007/978-3-642-29682-6_9

Palma J.O., Rabbel O., Spacapan J.B., Ruiz R., Gallan O. The Cara Cura intrusive complex, Neuquén Basin, Argentina: a field analogue of a whole igneous petroleum system. *Geol. Society Special Publication*. 2024;547:261–290.

Poleshchuk A.V. Paleoproterozoic brecciated rocks (peperites) of the North Onega trough, Baltic Shield. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytatelei prirody. Geol. seriya = Bulletin of the Moscow Society of Naturalists. Geol. Series*. 2007;82(6):27–46. (In Russ.)

Rabbel O., Hasenclever J., Galerne C.Y., Galland O., Mair K., Palma O. Impact of permeability evolution in igneous sills on hydrothermal flow and hydrocarbon transport in volcanic sedimentary basins. *Solid Earth*. 2023;14:625–646.

Schofield N., Holford S., Millett J., Brown D., Jolley D., Passey S.R., Muirhead D., Grove C., Magee C., Murray J., Hole M. Regional Magma Plumbing and emplacement mechanisms of the Faroe-Shetland Sill Complex: Implications for magma transport and petroleum systems within sedimentary basins. *Basin Research*. 2015;29:41–63.

Skilling I.P., White J.D.L., McPhie J. Peperite: a review of magma–sediment mingling. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2002;114(1–2):1–17.

Spiridonov E.M., Putintseva E.V., Lavrov O.B., Ladygin V.M. Cronstedtite, pumpellite, prehnite, lenninlenapeite in meta-agates and meta-basalts of the trap formation of the Early Proterozoic of the Northern Prionezhye. *Lomonosovskie chteniya: Tezisy dokl. konf. (Moskva, 18–27 apr. 2017 g.) = Lomonosov readings: Proceed. (Moscow, April 18–27, 2017).* Moscow; 2017. (In Russ.) URL: https://conf.msu.ru/file/event/4305/eid4305_attach_b0acc3e7de2cd859225469534617a6272d70ce50.pdf (accessed: 01.07.2025).

Stepanova A.V., Salnikova E.B., Samsonov A.V., Sukhanova M.A., Ustinova V.V., Larionova Yu.O., Prave T., Kirsimäe K., Lepland A. 2.00 Ga mafic sills in the Onega basin, Fennoscandian Shield: implications Pechenga-Onega LIP and age restrictions for Paleoproterozoic Shunga event. *Proceed. of the Int. Dyke Conf. (IDC 8)-Large Igneous Provinces (LIPs 8)-Rodinia.* 2023. P. 138–139.

Ustinova V.V., Stepanova A.V. Composition, correlations, and formation conditions of magnesian tholeiites in the Zaonega magmatic complex of the Onega structure. *Tektonika i geodinamika Zemnoi kory i mantii: fundamental'nye problemy-2025. Materialy LVI Tektonicheskogo soveshchaniya = Tectonics and geodynamics of the Earth's crust and mantle: fundamental problems – 2025. Proceed. of the 56th tectonic conf*. Moscow: GEOS; 2025. P. 569–600. (In Russ.)

Ustinova V.V., Stepanova A.V., Sukhanova M.A., Salnikova E.B., Erofeeva K.G., Samsonov A.V., Bessmertnyi K.N., Maksimov O.A., Silaeva O.M., Fedorov A.A. A-type granites 1.96 Ga within the Onega large igneous province, Karelian Craton. *Doklady Rossiiskoi akademii nauk = Doklady Earth Sciences*. 2026;527(2):1–8.

Поступила в редакцию / received: 28.07.2025; принята к публикации / accepted: 05.10.2026.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Степанова Александра Владимировна

канд. геол.-мин. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геологии и геодинамики докембрия, заместитель директора по НИР

e-mail: sa07sa@mail.ru

Устинова Виктория Владимировна

младший научный сотрудник
лаборатории геологии и геодинамики докембрия

e-mail: vikaystinova@yandex.ru

Чаженгина Светлана Юрьевна

канд. геол.-мин. наук, старший научный сотрудник лаборатории литологии и геохимии

e-mail: chazhengina@mail.ru

CONTRIBUTORS:

Stepanova, Aleksandra

Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Leading Researcher, Deputy Director

Ustinova, Viktoriia

Junior Researcher

Chazhengina, Svetlana

Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Senior Researcher