УДК 552.321.6 (470.22)

ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКИЕ БРЕКЧИЕВИДНЫЕ ПОРОДЫ (ПЕПЕРИТЫ) СЕВЕРО-ОНЕЖСКОЙ МУЛЬДЫ БАЛТИЙСКОГО ЩИТА

А.В. Полещук

Геологический институт РАН, Москва

Поступила в редакцию 13.02.07

Рассматриваются специфические брекчиевидные породы, относящиеся к заонежской свите людиковийского надгоризонта палеопротерозоя Северо-Онежской мульды, приуроченные к областям контактов силлов основного состава и шунгитовых пород. По данным детальных наблюдений, на ключевом объекте выяснены закономерности пространственного распределения этих пород, предложена их морфологическая классификация, рассмотрены различные гипотезы их возникновения, предложена собственная модель их образования. Формирование описываемых пород происходило в несколько этапов и инициировалось внедрением силлов габбро-долеритов в обводненные пластичные илоподобные осадочные породы. Это привело к фрагментации базитов в приконтактовой области силла с рассеиванием новообразованных фрагментов среди пластичных вмещающих пород. Вмещающие породы в свою очередь приобретали подвижность, способность к перемещению в пространстве.

В процессе полевых исследований, посвященных изучению особенностей строения Онежской мульды, автором были изучены специфические породы (представленные разнообразными фрагментами пород основного состава в матриксе высокоуглеродистых шунгитовых пород), структурно и генетически приуроченные к областям контактов силлов диабазов и шунгитовых пород. Образования эти, стратиграфически относящиеся к заонежской свите людиковийского надгоризонта палеопротерозоя, известны в естественных обнажениях, примерно в 100 км к северо-востоку от г. Петрозаводска, в окрестностях п. Толвуя (рис. 1).

С учетом выявленной предыдущими исследователями зональности в распределении этих брекчиевидных пород нами были подготовлены и документированы обнажения общей площадью более 300 м^2. Детальное изучение этих обнажений позволило решить ряд важных вопросов, связанных с закономерностями строения и происхождения пород на данном участке (в частности проблему отнесения этих пород к эффузивной или интрузивной фации), а также предложить решение более глобальных вопросов, связанных с реконструкциями обстановок внедрения силлов габбро-долеритов и возможностью влияния этих интрузий на процесс формирования купольных залежей шунгитовых пород.

Анализ и поиск описания подобных образований в отечественной [12, 17] и зарубежной [23—25] литературе показали, что зональность и важнейшие черты строения этих пород аналогичны формации пеперитов (peperite formation).

Термин "пеперит" (peperite) в геологической литературе был известен начиная с XVII в. и в настоящее время применяется для описания горных пород, которые формировались в результате смешения магмы с обводненными, неконсолидированными осадками [6, 23—25].

"Формация пеперитов" (peperite formation) является результатом дезинтеграции, или фрагментации, магмы с формированием "кластитов" (clasts) и смешения этих "кластитов" с окружающими осадками (перевод автора по [23]; перевод термина "формация" понимается в определении Н.С. Шатского[1]).

В работе приводится детальное описание кинематических взаимоотношений развитых здесь пород, предлагается морфологическая классификация этих образований, рассматриваются различные точки зрения их происхождения, а также приводится собственная модель их формирования.

Общий обзор

На юго-восточной окраине Балтийского щита располагается палеопротерозойская Онежская мульда, имеющая площадь более 17 000 км^2, представляющая собой отрицательную морфоструктуру земной коры [8], вытянутую в юго-восточном — северо-западном направлении (рис. 1). В ее составе выделяются две палеопротерозойские синформные структуры: Северо-Онежская мульда (100×120 км) и Западно-

[1] Термин "формация" понимается как "естественные сложные сообщества горных пород и отложений разных генетических типов, объединяемых единством тектонических условий образования" [15, с. 68].

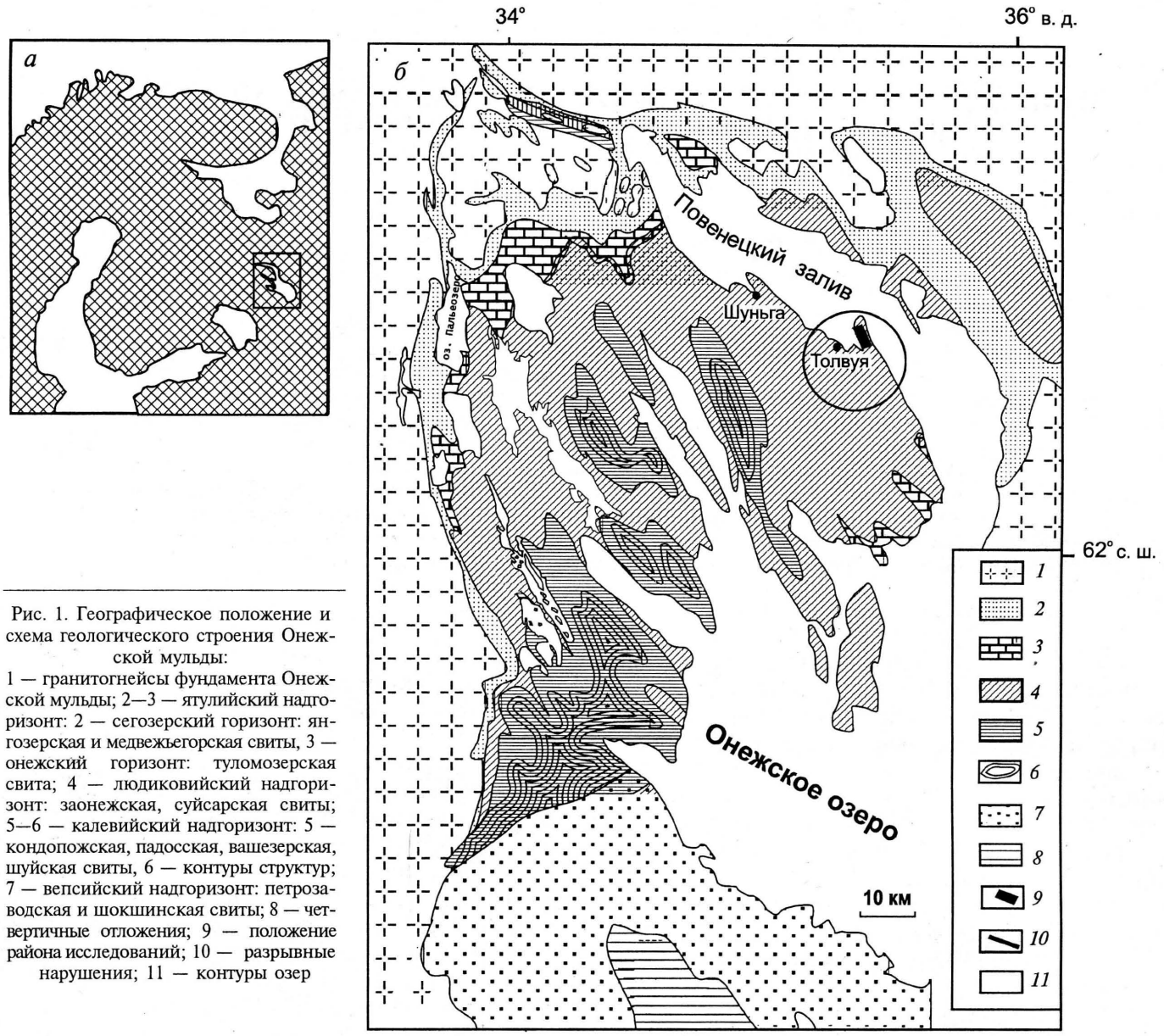


Рис. 1. Географическое положение и схема геологического строения Онежской мульды:
1 — гранитогнейсы фундамента Онежской мульды; 2—3 — ятулийский надгоризонт: 2 — сегозерский горизонт: янгозерская и медвежьегорская свиты, 3 — онежский горизонт: туломозерская свита; 4 — людиковийский надгоризонт: заонежская, суйсарская свиты; 5—6 — калевийский надгоризонт: 5 — кондопожская, падосская, вашезерская, шуйская свиты, 6 — контуры структур; 7 — вепсийский надгоризонт: петрозаводская и шокшинская свиты; 8 — четвертичные отложения; 9 — положение района исследований; 10 — разрывные нарушения; 11 — контуры озер

Онежская (50×100 км) синклиналь. В пределах Северо-Онежской мульды выделяются следующие надгоризонты палеопротерозойского комплекса пород: сумийский и сариолийский, образовавшиеся в возрастных пределах 2600—2300 млн лет, ятулийский (2300—2100 млн лет), людиковийский (2100—1950 млн лет), калевийский (1950—1800 млн лет) [8].

Вулканогенно-осадочные образования ятулийского надгоризонта местами с корой выветривания в основании, местами с размывом залегают на гранитогнейсах архейского фундамента Северо-Онежской мульды, андезитобазальтах сумийского надгоризонта и полимиктовых конгломератах сариолийского надгоризонта нижнего протерозоя. Ятулийский надгоризонт подразделяется на два горизонта: нижний, сегозерский горизонт (янгозерская, медвежьегорская свиты; мощность 0—400 м), представлен кварцитами, кварцитопесчаниками, алевролитами, сланцами, кварцевыми гравелитами и конгломератами, а также покровами базальтовых лав с прослоями пирокластитов; верхний, онежский (туломозерская свита; общая мощность 150—500 м) представлен пестроцветными и красноцветными доломитами, строматолитовыми и онколитовыми известняками, кварцитопесчаниками, гравелитами и различными сланцами. Терригенно-карбонатные толщи туломозерской свиты прорваны силлами основных пород мощностью от 17 до 180 м.

Залегающая выше по разрезу толща людиковийского надгоризонта подразделяется на два отдела. Нижний (заонежская свита; общая мощность от 300 до 1800 м) сложен слюдисто-полевошпатовыми, карбонатными и шунгитовыми сланцами, алевролитами, туфоалевролитами, песчаниками и известняками с горизонтами базальтов и их туфов, а также многочисленными силлами габбро-диабазов суммарной мощностью по разным источникам от первых сотен до 900 м. Верхний отдел представлен суйсарским магматическим комплексом, который включает в себя оса-

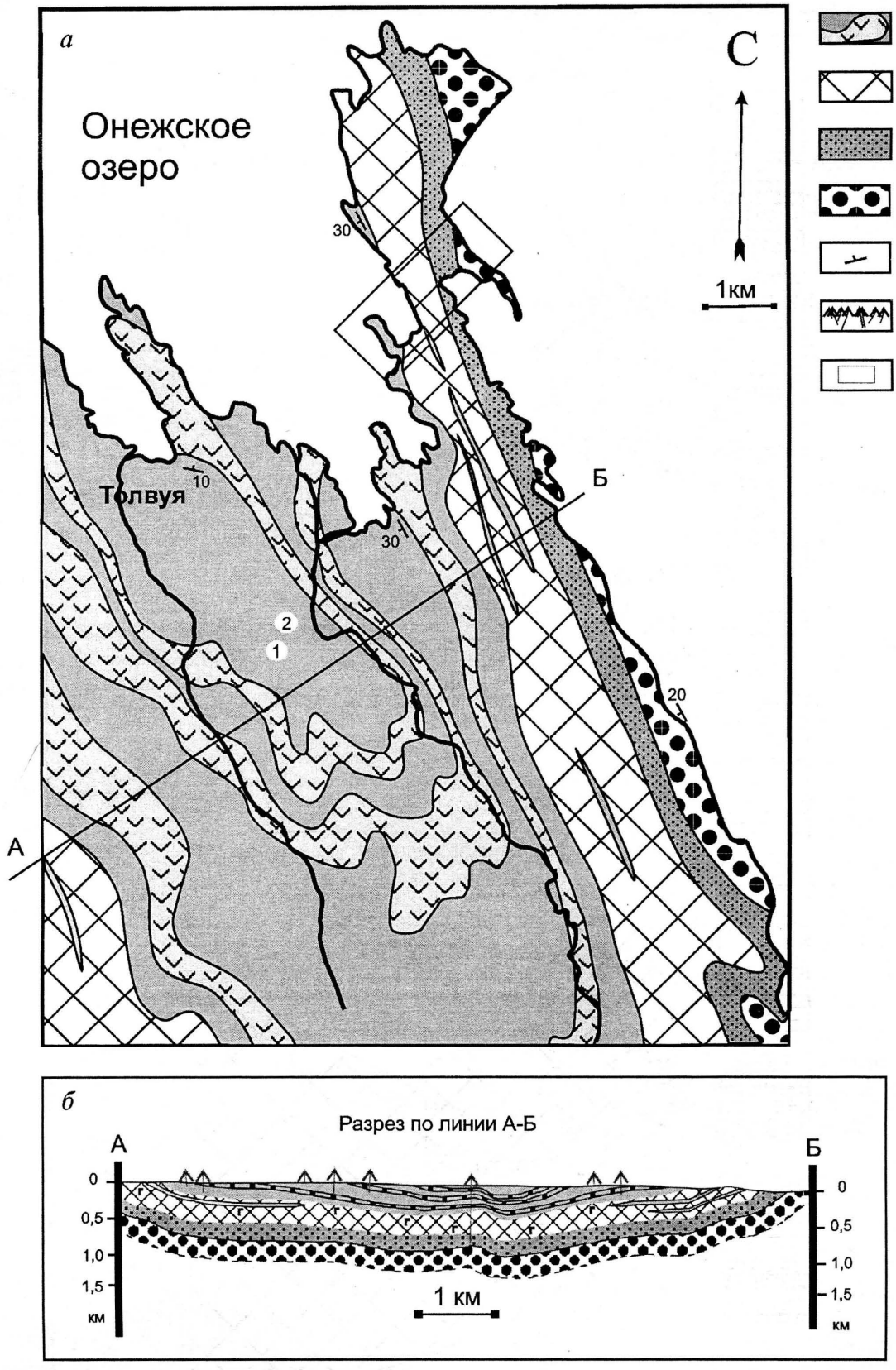
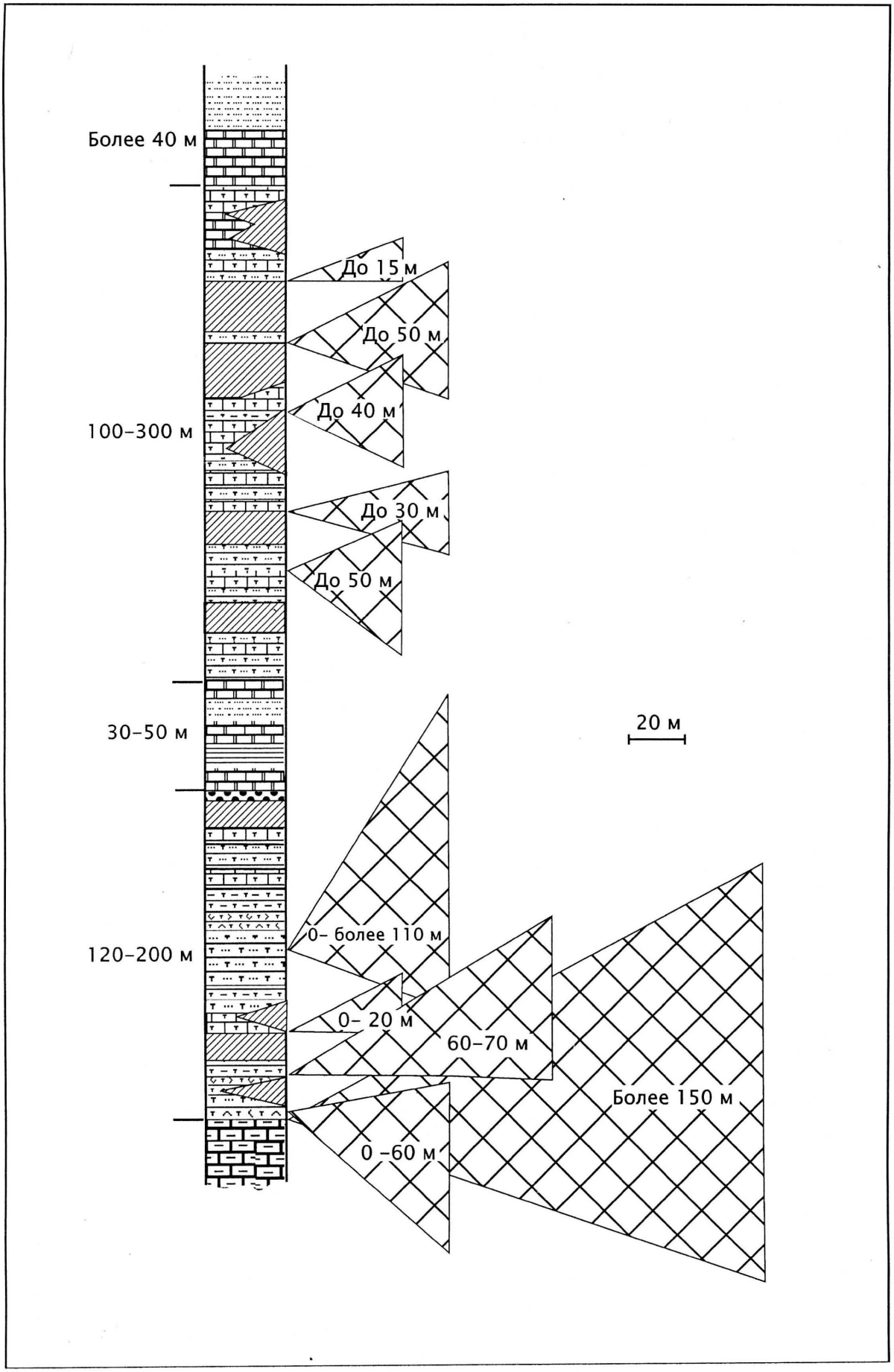


Рис. 2. Схема геологического строения Толвуйской синклинали (составлена с использованием материалов ПГО "Невскгеология"): 1—3 — людиковийский надгоризонт, заонежская свита: 1 — верхняя подсвита, осадочно-вулканогенный тип разреза: шунгитоносные малоуглеродистые осадочные породы, доломиты, алевролиты, туфоалевролиты с силлами и лавами основного состава, высокоуглеродистые шунгитовые породы, 2 — габбро-диабазы "нижнего силла", 3 — нижняя подсвита: карбонатно-глинистые сланцы, песчаники, доломиты; 4 — ятулийский надгоризонт, туломозерская свита: доломиты, строматолитовые и онколитовые известняки, песчаники, сланцы, силлы и лавы основного состава; 5 — элементы залегания; 6 — местоположение буровых скважин; 7 — участок работ; цифры на схеме — месторождения высокоуглеродистых шунгитовых пород: 1 — Зажогинское; 2 — Максовское


Более 40 м
100–300 м
30–50 м
120–200 м
До 15 м
До 50 м
До 40 м
До 30 м
До 50 м
20 м
0– более 110 м
0– 20 м
60–70 м
Более 150 м
0 –60 м
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11

дочно-вулканогенные толщи суйсарской свиты и комагматичные им интрузивные образования: силлы, дайки, некки. Максимальная мощность суйсарской свиты в западном обрамлении Северо-Онежской мульды, по результатам буровых работ, составляет 389 м. Мощность комагматичных вулканитам силлов ультраосновного состава до 200 м [10].

Вверх по разрезу суйсарские вулканиты надстраиваются отложениями калевийского надгоризонта: шунгитсодержащими вулканомиктовыми (кондопожская и вашезерская свиты) и полевошпат-кварцевыми (падосская и шуйская свиты) песчаниками с прослоями алевролитов, гравелитов и конгломератов. Мощность калевия до 700 м.

Геологическое описание

Шунгитоносные отложения верхней подсвиты заонежской свиты характеризуются значительной фациальной изменчивостью, прослежены буровыми работами на всей площади Северо-Онежской мульды. Наиболее крупные месторождения высокоуглеродистых шунгитоносных пород (Зажогинское, Максовское, Шуньга и др.) структурно приурочены к Толвуйской синклинали Северо-Онежской мульды (рис. 2, 3, 8), где детально изучены геолого-геофизическими методами [2, 7, 18, 20].

В пределах Толвуйской синклинали Северо-Онежской мульды выделяется осадочно-вулканогенный тип разреза верхней подсвиты заонежской свиты [2, 7, 9, 18], включающий три циклично построенные пачки. Каждый цикл начинается туфогенно-осадочными и высокоуглеродистыми породами, а завершается типичными осадочными породами — доломитами, алевролитами, первично-глинистыми сланцами с меньшим содержанием углерода [2, 7, 9, 18]. В образованиях верхней подсвиты заонежской свиты выделяется до 9 горизонтов шунгитоносных пород, не выдержанных по мощности и составу (рис. 3) [2, 7, 9, 20]. По содержанию шунгитового вещества это малоуглеродистые (единицы %) и высокоуглеродистые (до 45—75—80%) шунгитовые породы. По составу они представлены кремнистыми, слюдистыми, карбонатными породами. Пластовые и линзовидные тела шунгитоносных пород по латерали часто сменяются туфоалевролитами, разделяются на подгоризонты пластами магматических пород, которые представлены лавами, силлами, реже телами более сложной морфологии. В частности, буровыми работами в центральной части Толвуйской синклинали между отложениями нижней и верхней подсвит заонежской свиты установлено крупное стратиформное тело габбро-диабазов ("нижний силл") мощностью около 400 м (рис. 2).

Участок исследований располагается в северо-восточном крыле Толвуйской синклинали Северо-Онежской мульды (п-ов Клим, в 6 км по дороге от п. Толвуя к дер. Лебещина) (рис. 2).

Согласно геологической карте масштаба 1:100 000 (отчет ПГО "Невскгеология" за 1991 г.), в пределах восточной части п-ова Клим обнажаются пестроцветные карбонатные породы ятулийского надгоризонта, подстилающие толщу заонежской свиты (рис. 2). Центральную часть п-ова Клим слагают выходы стратиформного "нижнего силла" габбро-диабазов, полого падающего в юго-западных румбах. Силл вскрыт буровыми работами на всей площади Толвуйской синклинали.

На геологической карте масштаба 1:200 000 (отчет ВСЕГЕИ за 1998 г.) вдоль области контакта габбро-диабазов и шунгитоносных осадочных пород показана узкая полоса образований, отнесенных к эффузивной фации магматических пород заонежской свиты.

В окрестностях дер. Лебещина дорога пересекает серию неравномерно обнаженных возвышенностей, отпрепарированных ледником, достигающих высоты 5—7 м над уровнем Онежского озера.

В пределах ключевого объекта исследований (рис. 4) обнажаются: 1 — породы основного состава, относимые различными исследователями к силловой или лавовой фации; 2 — низкоуглеродистые шунгитоносные осадочные породы и высокоуглеродистые шунгитовые породы, стратиграфически относящиеся к первой пачке верхней подсвиты заонежской свиты (табл. 1).

Шунгитоносные осадочные породы (мощность около 150 м) представлены туфопелитами, алевролитами, алевропесчаниками с содержанием углеродистого вещества до 10%. Породы обладают тонкой слоистостью с преимущественным падением к юго-западу (с углами падения 25—50°). Высокоуглеродистые шунгитовые породы ("максовиты" с содержанием углеродистого вещества от 10 до 45% [18]) обнажаются среди брекчиевидных пород, где выполняют пространство между фрагментами базитов разнообразных форм и размеров и обладают мелкостолбчатой отдельностью.

Субгоризонтальный эрозионный срез с неглубокими врезами и довольно сложная картина взаимоотношений обнажающихся здесь брекчиевидных пород привели различных исследователей к созданию нескольких гипотез их формирования.

История исследований

Первой публикацией, посвященной строению Северо-Онежской мульды, является работа Л.П. Галдобиной [3], в которой описываются взаимоотноше-

Рис. 3. Схема строения продуктивной толщи на Зажогинском месторождении в центральной части Толвуйской синклинали, по [9]: 1—10 — людиковийский надгоризонт, заонежская свита: 1 — верхняя подсвита: доломиты, 2 — алевролиты, 3 — глинистые сланцы, 4 — туфы пелитовые, 5 — туфы алевритовые, 6 — туфы карбонатные, 7 — лидиты, 8 — туфы сливные, 9 — высокоуглеродистые шунгитовые породы, 10 — положение тел пород основного состава; 11 — нижняя подсвита: карбонатно-глинистые сланцы, песчаники, доломиты

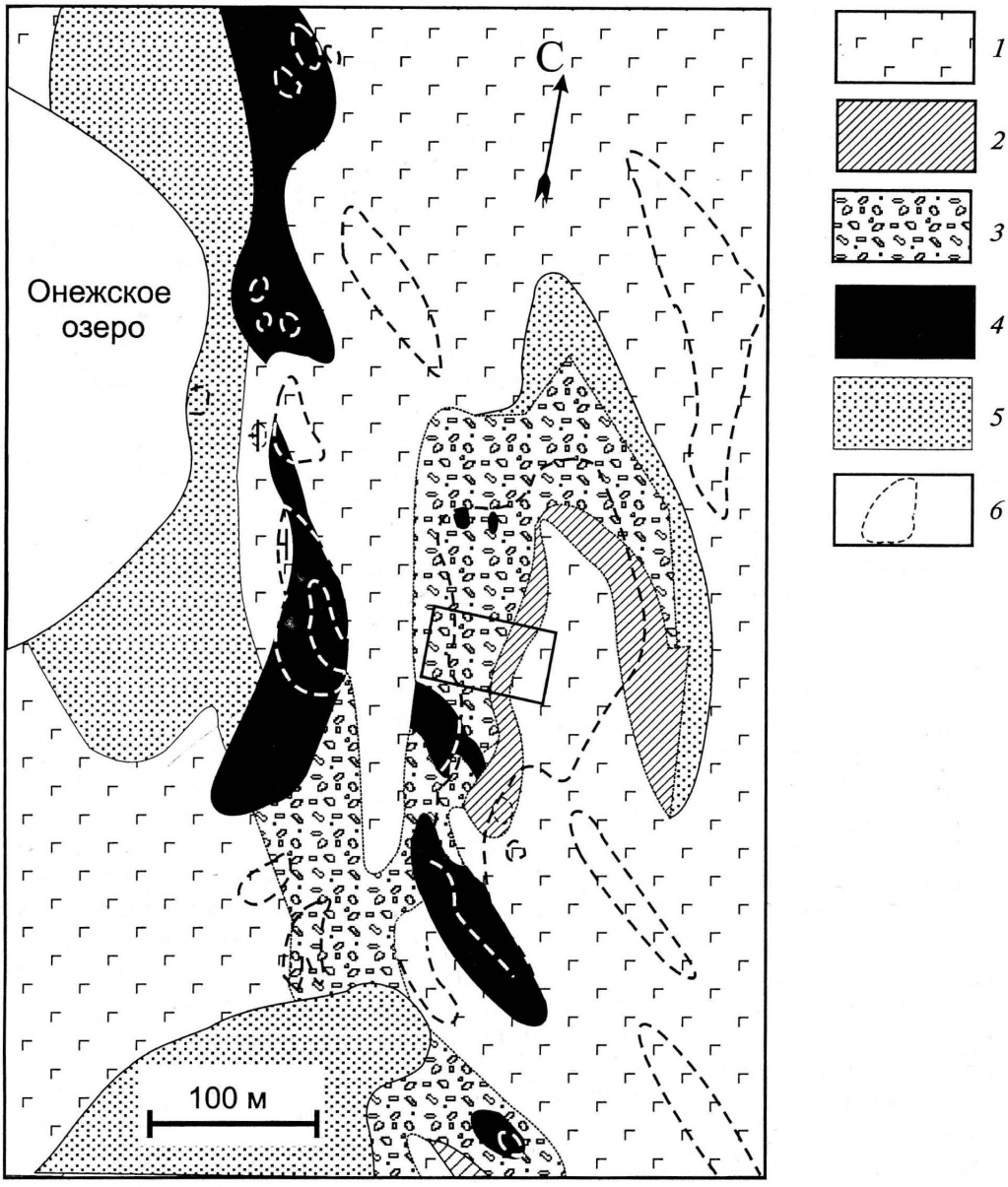


Рис. 4. Схема геологического строения участка Южная Лебещина (схема составлена и любезно предоставлена А.Е. Ромашкиным [1]) с упрощениями и дополнениями автора, по [18]:
1 — габбро-диабазы; 2 — область распространения жил шунгитовых пород в габбро-диабазах; 3 — пепериты (шунгит-базитовые брекчиевидные породы); 4 — тела высокоуглеродистых шунгитовых пород (максовитов); 5 — низкоуглеродистые шунгитсодержащие осадочные породы; 6 — контуры обнажений. Прямоугольником показано положение расчистки

Таблица 1

Наблюдаемые и реконструируемые породы

Наблюдаемые породы	Реконструируемые исходные породы
Габбро-диабазы, фрагменты базитов разнообразных форм и размеров	Расплав основного состава (долериты) интрузивной фации приповерхностных интрузий (силлов)
Высокоуглеродистые шунгитовые — "максовиты"	Обогащенные углеродистым веществом пластичные, водосодержащие илы, образующие горизонты среди шунгитоносных пород с меньшим содержанием углерода
Шунгитоносные	Песчано-алевритистые с примесью туфогенного материала осадочные породы, содержащие незначительное количество углерода

ния шунгитовых пород и пород основного состава: габбро-диабазы в результате серии тектонических нарушений разбиты на глыбы и обломки различного размера и формы. Шунгитовые породы участка цементируют обломки габбро-диабазов. Углеродистое вещество проникает по тонким трещинкам в базиты, облекает обломки либо само содержит мелкие обломки основных пород. Также отмечаются "круговые структуры", когда обломочный материал базитов закономерно распределяется по окружности с образованием цепочек диаметром 1,5—2 м. Среди крупнообломочной брекчии габбро-диабазов располагаются специфические образования овальной формы, диаметром 0,6—0,4 м ("фумарольные каналы"). В этих образованиях высокоуглеродистые породы имеют мелкостолбчатую отдельность с радиальным расположением столбиков.

В распределении брекчий можно наблюдать зональность от основных пород к шунгитовым: плотный ненарушенный диабаз — трещиноватый диабаз, где трещины заполнены шунгитовой породой, далее следует постепенный переход к крупноглыбовой породе плотной упаковки и мелкообломочной породе с обломками, погруженными в цемент из шунгитовых пород.

Таким образом, происхождение фрагментов диабазов (брекчий, глыб, обломков) связывается с тектоническим дроблением силла габбро-диабазов тектоническими нарушениями (брекчирование) и последующим заполнением межобломочного пространства и трещин в диабазах углеродистым веществом, посту-

пающим в виде флюида по реконструируемым фумарольным каналам.

Последовательность формирования смешанных пород по Л.П. Галдобиной (реконструкция автора): 1-я стадия — наличие в разрезе "остывшего" силла габбро-диабазов (способного "хрупко", с образованием обломков, быть раздробленным тектоническими нарушениями); 2-я стадия — собственно тектоническая фрагментация — дробление габбро-диабазов с образованием глыб, брекчий; 3-я стадия — заполнение и цементация пространства между обломками углеродистым веществом.

Позднее была высказана гипотеза об эффузивном происхождении фрагментов базитов вследствие втекания лавового потока в субстанцию наподобие асфальта [21].

В результате появившихся в литературе в последние годы обобщений, освещающих подобные процессы, появилась возможность по-новому подойти к интерпретации условий формирования наблюдающихся здесь брекчиевидных базитовых и шунгитовых пород [1, 13, 14].

Фактический материал

При первичном описании взаимоотношений пород основного состава и шунгитовых пород будем использовать термины, не связанные определенной генетической нагрузкой. Например, вместо использованных предыдущими исследователями терминов "брекчии", "глыбы", "обломки", "капли базальтового расплава" будем использовать название "фрагменты" с описанием формы, размера, взаимоотношений с шунгитовыми породами.

Из геологической схемы участка [1] (рис. 4) следует, что в центре возвышенности обнажаются породы основного состава, в обрамлении которых приблизительно на том же гипсометрическом уровне обнажаются шунгитовые породы, содержащие фрагменты базитов. В соответствии с установленной предыдущими исследователями зональностью на западном склоне возвышенности произведена расчистка общей площадью более 300 м^2, разделенная на квадраты со стороной 3 м (рис. 5).

В пределах расчистки с востока на запад обнажаются:

1. Массивные габбро-диабазы. Формируют центральную часть возвышенности и обнажаются в виде сглаженной ледником субгоризонтальной поверхности площадью более 140 м^2, в обрамлении которой на том же гипсометрическом уровне распо-

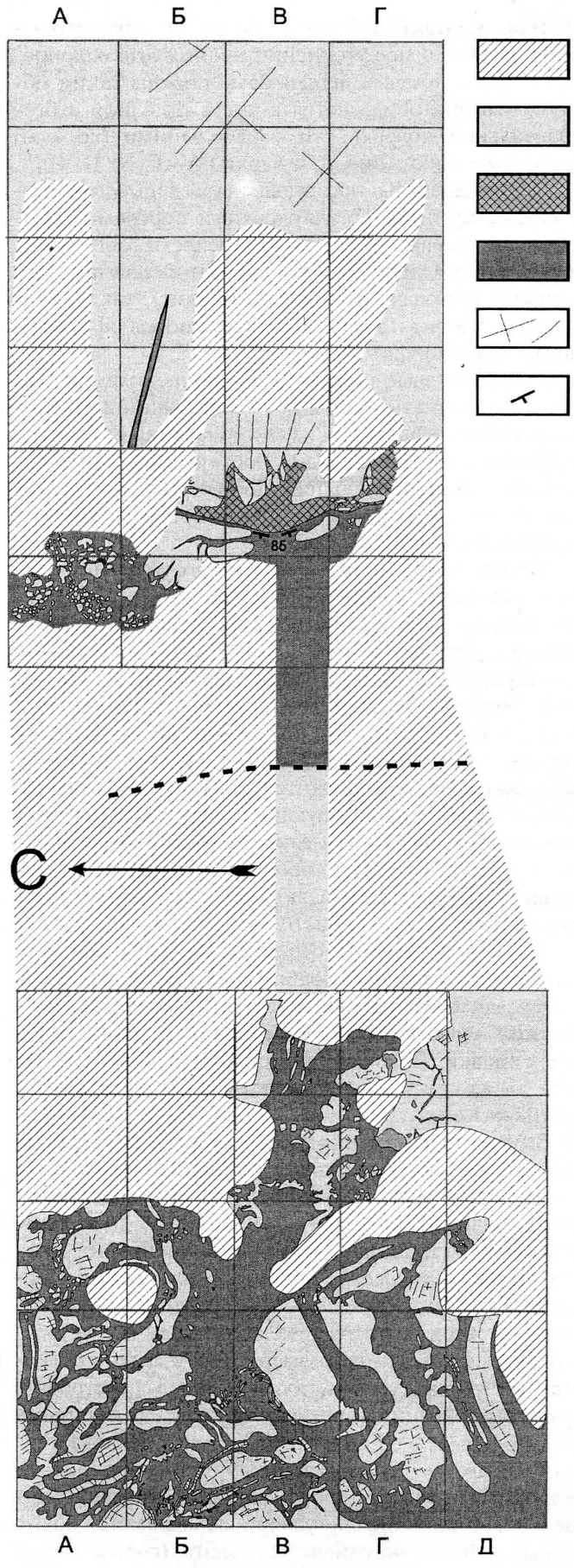


Рис. 5. Схема расчистки в западном борту возвышенности (составлена автором совместно с Е.Ю. Боровковой, Ф.С. Кочкиным, К.Г. Прянишниковым):
1 — задернованная область; 2 — габбро-диабазы и породы основного состава (базиты); 3 — область развития жил шунгитовых пород в габбро-диабазах; 4 — шунгитовые породы; 5 — трещины отдельности в габбро-диабазах и базитах; 6 — элементы залегания. Пунктир — контакт между диабазами и шунгитовыми породами. Длина стороны квадрата сетки 3 м

лагается контакт габбро-диабазов и шунгитовых пород. Необходимое уточнение: ледник отпрепарировал габбро-диабазы и шунгитовые породы таким образом, что они обнажаются в пределах одной субгоризонтальной поверхности с небольшими (до 1 м) перепадами высот (рис. 5, квадраты А—Г, № 1—4).

Габбро-диабазы представлены зеленовато-серыми средне-крупнокристаллическими породами, с неотчетливо выраженными на плоскости обнажения трещинами отдельности. Они состоят из плагиоклаза, амфибола (роговая обманка, актинолит), также присутствуют хлорит и кварц. Структура пород офитовая, иногда пойкилоофитовая.

2. Шунгитовые породы. Черные пелитоморфные высокоуглеродистые породы с содержанием углеродистого вещества до 45%, характеризуются отсутствием слоистости и сложно диагностируемой в шлифах минеральной составляющей. Породы обычно трещиноватые, часто обладают различно ориентированной мелкостолбчатой отдельностью.

3. Область контакта. (рис. 5, квадраты Б—Г, № 5). Вблизи контакта с шунгитовыми породами в массивных габбро-диабазах содержатся многочисленные жилы шунгитовых пород. В квадратах Б, № 3—5 жила шунгитовых пород в габбро-диабазах отстоит от зоны контакта более чем на 4 м, имеет мощность 4—10 см, уменьшающуюся при удалении от области контакта по простиранию жилы. Контакты с габбро-диабазами ровные, незначительно извилистые. Шунгитовые породы, формирующие жилу, обладают неотчетливо выраженной мелкостолбчатой отдельностью, которая вытянута по простиранию жилы. В шунгитовых породах, составляющих жилу, отсутствуют признаки первичной слоистости.

Плоскость рисунка отражает реальную картину распределения типов пород в области контакта. Здесь в габбро-диабазах наблюдается значительное количество жил шунгитовых пород различной мощности и ориентировки. Для удобства описания область контакта была разделена условно на внутреннюю и внешнюю зоны.

Внутренняя зона контакта ограничена областью развития жил и прожилков. Мощность жил меняется от нитевидных до нескольких сантиметров по мощности и длиной от первых сантиметров до первых метров. Более мощные жилы прямолинейны на большем протяжении, менее мощные жилы более извилисты. Участки габбро-диабазов, ограниченные жилами шунгитовых пород, имеют сглаженные угловато-округлые очертания, размер таких участков колеблется от первых сантиметров до первых метров (в случае ограничения таких участков более мощными жилами, рис. 6, б). Если, глядя на схему области контакта, мысленно изъять жилы шунгитовых пород, то соседние фрагменты габбро-диабазов, которые данные жилы ограничивали, удачно складываются друг с другом в более крупный фрагмент (с некоторым уменьшением объема). Таким образом, границы соседних фрагментов здесь являются конформными.

Западнее по мере приближения к внешней зоне контакта увеличивается как количество жил, так и их мощность, уменьшается размер участков габбро-диабазов, которые эти жилы ограничивают. Средние размеры участков от 3—5 до 20—30 см. Общее процентное соотношение габбро-диабазов и жил шунгитовых пород составляет приблизительно 80/20 (рис. 5, квадраты Б—Г, № 5).

Отличительная особенность габбро-диабазов внутренней зоны контакта — конформность границ соседних участков, разделенных жилами шунгитовых пород.

Внешняя зона контакта (рис. 5, квадраты А—Г, № 5—6). К внутренней области контакта вплотную примыкают шунгитовые породы, имеющие отчетливо выраженную мелкостолбчатую отдельность. Здесь берут начало и упомянутые мощные жилы шунгитовых пород, следящиеся в глубь массивных габбро-диабазов. Среди преобладающих шунгитовых пород внешней зоны контакта подчиненное значение имеют фрагменты базитов угловатой, округлой и удлиненной формы, а также промежуточных форм. Размеры фрагментов базитов от нескольких сантиметров в поперечнике до первых метров (рис. 5, квадраты Б—Г, № 5—6). Процентное содержание фрагментов базитов среди шунгитовых пород относительно невелико и меняется от участка к участку от 0 до 50%, увеличиваясь для областей развития "роеподобных скоплений".

"*Роеподобные скопления*" (рис. 6, а) представлены в основном изометричными экземплярами базитов со средними размерами 2—10 см. На рис. 5 в квадрате А, № 5—6 можно наблюдать типичное "роеподобное скопление" фрагментов базитов округло-угловатой формы (более крупные экземпляры) и угловато-округлой (более мелкие) среди шунгитовых пород. Контакты мелких фрагментов с шунгитовыми породами четко очерченные, резкие. Фрагменты данного скопления по своей форме и размерам сопоставимы с участками базитов, ограниченных жилами шунгитовых пород внутренней зоны контакта, однако, в отличие от последних, фрагменты в скоплении более разобщены (отношение базиты / шунгитовые породы около 30—50%). Кроме того, для фрагментов скопления нехарактерна конформность границ соседних фрагментов. В то же время форма, размеры базитовых фрагментов в "роеподобном скоплении" удачно сопоставляются с формой, размерами базитов внутренней зоны контакта.

Таким образом, при приближении от внутренней зоны к внешней зоне контакта последовательно увеличивается содержание прожилков в массивных габбро-диабазах. Шунгитовое вещество образует прожилки мощностью от нитевидных до первых сантиметров. На участках сгущения прожилков или в непосредственном контакте с шунгитовыми породами содержание углерода в диабазах возрастает: углерод содержится в межкристаллическом пространстве периферийных частей некоторых фрагментов, в трещинах,

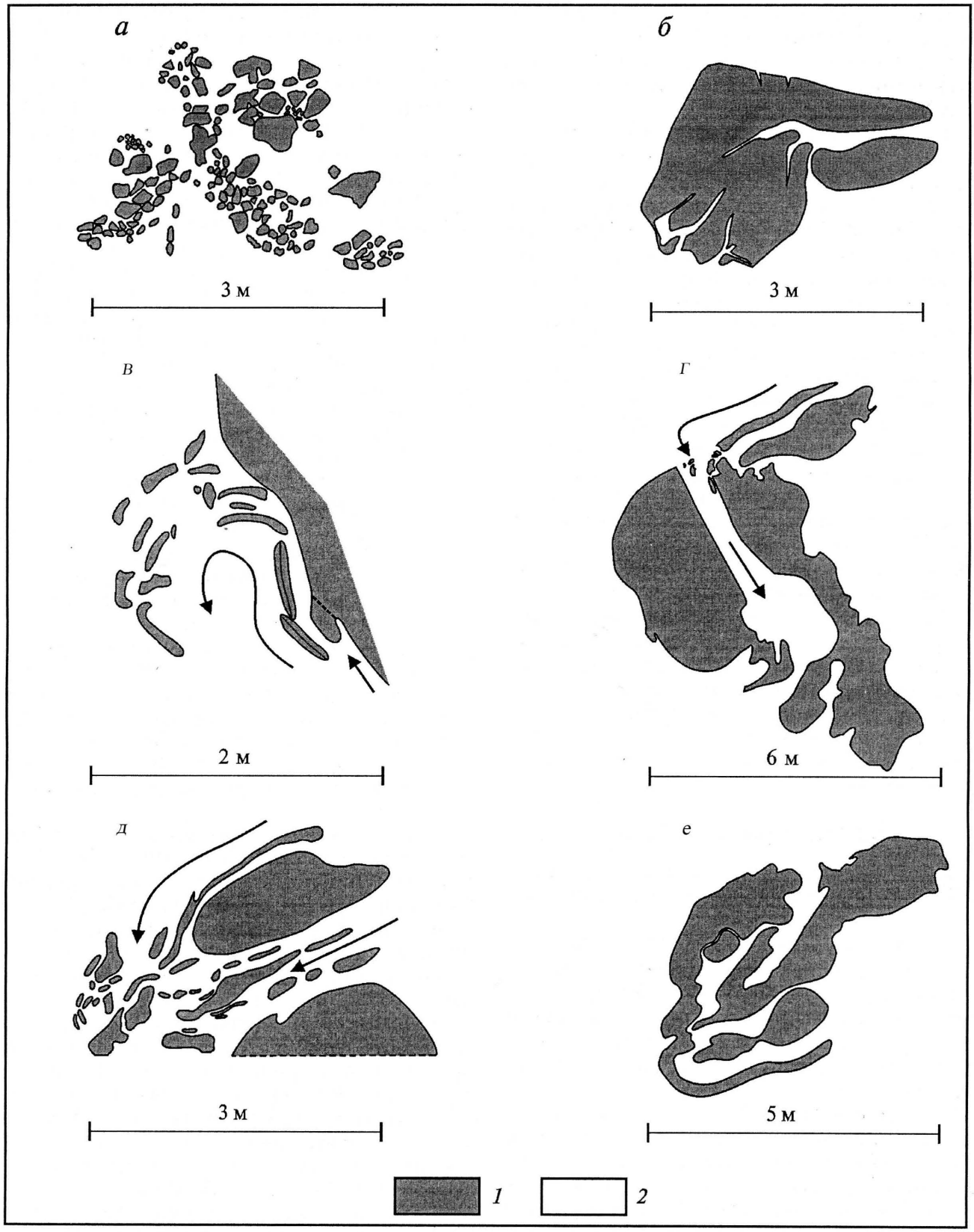


Рис. 6. Основные типы фрагментов базитов в шунгитовых породах (детализация рис. 5):
1 — породы основного состава; 2 — высокоуглеродистые шунгитовые породы

а также участвует в выполнении редких миндалин. В целом обуглероженность диабазов возрастает вблизи внешней зоны контакта.

Для внутренней зоны контакта характерна конформность очертаний соседних мелких и более крупных участков базитов, разделенных жилами шунгито-

вых пород, при общем преобладании содержания базитов над шунгитовыми породами в данной зоне (рис. 6, б). Из этого можно сделать вывод, что данные участки базитов, ограниченные жилами, располагаются *in situ*.

Для "роеподобных скоплений" базитов во внешней зоне контакта характерно отсутствие конформности границ соседних фрагментов; соотношение "фрагменты базитов / шунгитовые породы" колеблется от 50% до полного преобладания шунгитовых пород на отдельных участках внешней зоны контакта. В то же время именно для базитов "роеподобных скоплений" характерны формы фрагментов, аналогичные участкам базитов, ограниченных жилами шунгитовых пород внутренней зоны контакта. Это может свидетельствовать о первоначальной фрагментации базитов "роеподобных скоплений" во внутренней зоне контакта. Затем вследствие проникновения шунгитовых пород в базиты в виде жил и последующем расширении жил часть фрагментов была таким образом "отщеплена" из внутренней зоны контакта и испытала перемещение и рассеивание в поле шунгитовых пород в пределах области контакта.

Все остальные фрагменты базитов, располагающиеся как вблизи, так и на удалении от области контакта, в пределах западного склона возвышенности, "рассеяны" среди шунгитовых пород. Опираясь на отсутствие конформности границ соседних крупных фрагментов базитов, а также на определенные закономерности в их распределении, можно сделать вывод, что они испытывали то или иное пространственное перемещение, причем совместно с вмещающими породами.

Морфологическая классификация

По углу падения контактов фрагментов базитов с шунгитовыми породами можно выделить две группы базитов.

1. Группа объединяет фрагменты базитов с углами падения контактов с шунгитовыми породами, колеблющимися в пределах 50—90°. Эти фрагменты имеют четкие резкие границы с шунгитовыми породами (рис. 5, квадраты Д, № 10—11; А, № 11 (юго-западная часть квадрата); Б, № 11 (северо-западная часть квадрата), рис. 6, г).

2. Группа объединяет фрагменты с пологими падениями (<50°) контактов с шунгитовыми породами, что обусловливает извилистость контактов на плоскости обнажения, наличие тонких "нашлепок" шунгитовых пород на поверхности фрагментов базитов (рис. 5, квадраты Г—Д, № 7—8) и как следствие несколько усложняет процесс установления истинной формы всего фрагмента базита. Встречаются случаи многослойного чередования плоских фрагментов базитов и шунгитовых пород, напоминающие по строению "слоеный пирог" (рис. 5, квадраты А, № 10—11; рис. 6, е).

По конфигурации все фрагменты можно условно разделить на изометричные и удлиненные.

К удлиненным фрагментам относятся вытянутые в одном направлении и различающиеся "степенью удлинения" и "степенью искривления". Превышение длины над шириной отдельных экземпляров составляет от первых единиц до первых десятков раз (рис. 5, квадраты Б, Д, № 11; рис. 6, д). Часто согласно удлинению отчетливо следует одна система трещин отдельности, перпендикулярно к которым (и контактам с шунгитовыми породами) развиваются трещины отдельности другой системы. Иногда параллельно трещинам отдельности в базитах располагаются жилы шунгитовых пород, разделяющие фрагмент на части. Границы разделенных жилой частей первоначального, более крупного фрагмента характеризуются прямолинейностью и полной конформностью очертаний (рис. 5, квадраты А, № 10; Б, № 11; В—Г, № 10—11).

Искривленность отдельных удлиненных фрагментов базитов колеблется от незначительной (рис. 5, квадраты Б, № 11; Б, № 9) до образования незамкнутых концентрических дуг (рис. 6, в).

Изометричные фрагменты имеют округлую форму, преимущественно маленькие размеры — до 5 см в диаметре. За пределами изученного участка известны скопления практически шарообразных фрагментов в шунгитовых породах.

Округлые и удлиненные фрагменты имеют отчетливо выраженные корочки закалки, а в центральных частях более крупных экземпляров можно наблюдать отчетливую диабазовую структуру. Менее крупные удлиненные и изометричные фрагменты обладают более мелкокристаллическими (вплоть до афанитовых) структурами по сравнению с более крупными фрагментами.

Общие закономерности строения и распределения фрагментов базитов в шунгитовых породах следующие: более мелкие изометричные и удлиненные фрагменты пространственно тяготеют к более крупным фрагментам, располагаются в их периферии. Неединичны случаи наличия мелких фрагментов в жилах шунгитовых пород, проникающих в более крупные фрагменты (рис. 5, квадраты В, № 10; Д, № 9—11; рис. 6, д). Длинные оси мелких фрагментов либо серии фрагментов располагаются параллельно зальбандам жил шунгитовых пород и соответственно контактам с более крупными фрагментами, содержащими данную жилу шунгитовых пород. Удлиненные изогнутые фрагменты закономерно ориентируются в пространстве, выстраиваясь в вытянутые в одном направлении цепочки (рис. 5, квадраты Б, № 11; Д, № 10—11) либо в искривленные цепочки, вплоть до образования незамкнутых окружностей (Б, № 9; В, № 10; рис. 6, в). Именно в периферии этих округлых, удлиненно-округлых фрагментов установлены корочки закалки и специфическое расположение систем трещин отдельности — параллельно удлинению и субперпендикулярно к нему и контакту с вмещающими породами.

Основная масса округло-угловатых фрагментов ("брекчиевидных") на изученной площади встречена лишь *in situ* во внутренней зоне контакта и "рассеянной" в шунгитовых породах в виде "роеподобных скоплений" во внешней зоне контакта. Единичные фрагменты такой формы встречены в крупных жилах шунгитовых пород, проникающих от области контакта в глубь массивных габбро-диабазов. У фрагментов округло-угловатой формы корочек закалки не обнаружено.

Мелкие округлые фрагменты имеют более совершенную сфероидальную форму, чем более крупные, что может быть связано с меньшей площадью поверхности, испытывающей динамическое воздействие мобилизованных осадков.

Краткие выводы. Фрагменты базитов остывали среди пластичных углеродсодержащих пород, о чем свидетельствуют: 1) уменьшение размера микролитов в "удлиненных округлых" фрагментах базитов от центра к периферии фрагментов (вплоть до образования корочек закалки); 2) закономерная ориентировка трещин отдельности базитов — субперпендикулярно контактам с окружающими породами; 3) изогнутая форма "удлиненных округлых" фрагментов; 4) наличие шунгитового вещества в периферийных частях фрагментов.

Вмещающие углеродсодержащие породы были пластичны в период фрагментации базитов и были способны испытывать перемещение в пространстве, на это указывают: 1) мелкостолбчатая отдельность шунгитовых пород; 2) наличие жил шунгитовых пород среди шунгитовых пород; 3) наличие жил шунгитовых пород среди базитов; 4) явления закономерной пространственной ориентировки "изогнутых округлых" фрагментов (обладающих корочками закалки) с образованием цепочек, "роеподобных скоплений", незамкнутых концентрических окружностей; 5) явления, интерпретируемые как "распад", "расщепление" более крупных фрагментов базитов на отдельные более мелкие фрагменты (рис. 6, в).

Причины разнообразия точек зрения на происхождение фрагментов базитов в шунгитовых породах объекта исследований

1. Отсутствие единого взгляда на происхождение собственно шунгитовых пород.

Сочетание в пределах одного участка массивных габбро-диабазов и фрагментов базитов разнообразной морфологии вынуждало исследователей при описании этих фрагментов использовать различную терминологию, несущую генетическую нагрузку и соответственно влияющую на последующую интерпретацию происхождения.

В частности, Л.П. Галдобина [3] впервые установила зональное распределение диабазов, однако применительно ко всем фрагментам использовала термины "брекчии", "глыбы", "обломки", взяв за основу, вероятно, угловатую морфологию границ многочисленных фрагментов диабазов, отсутствие корок закалки у "брекчиевидных" фрагментов и "роеподобных скоплений" в области контакта шунгитовых пород и массивных габбро-диабазов. В то же время наличие жил шунгитовых пород в габбро-диабазах, а также образований с радиально ориентированной мелкостолбчатой отдельностью она интерпретирует как более позднюю цементацию базитов (брекчий, глыб, обломков) шунгитовым веществом (вследствие гидротермальной деятельности), а также как заполнение шунгитовым веществом трещин в базитах. Наличие брекчий, глыб, обломков в шунгитовых породах позволяет логично предполагать фрагментацию базитов за счет дробления. Причиной этого дробления названы тектонические нарушения.

Однако, по результатам наших наблюдений, наличие у фрагментов базитов (округлой, угловато-округлой формы, удлиненных фрагментов с различной степенью искривленности) корочек закалки и специфически ориентированных трещин отдельности свидетельствует об остывании их среди вмещающих пород, и поэтому образование "смешанных" базит-шунгитовых пород не может являться следствием пассивной цементации раздробленных "холодных" базитовых "брекчий" шунгитовым веществом.

2. Более поздними исследованиями [21] изометричные округлые фрагменты с корочками закалки, названные "каплями базальтового расплава", а также округлая форма более крупных фрагментов базитов, наличие миндалин в отдельных фрагментах базитов позволили представить процесс формирования этого типа фрагментов вследствие излияния потока базальтовой лавы на локализованую залежь вязких шунгитовых протопород. Входящее в их состав углеродистое вещество обладало способностью размягчаться под влиянием тепла. "Излияние базальтов и прогрев протовещества залежи привели к его миграции по латерали и вертикали. Латерально перемещенные порции протовещества участвовали в формировании подушкообразных тел и сцементировали их. Вертикально мигрирующие фракции заполнили трещины в базальтах..." [21, с. 20]. Подошва базальтового потока интенсивно брекчировалась вследствие проседания пластичного материала под нагрузкой, т.е. фрагменты базитов отнесены к эффузивной фации магматических пород и являются останцами единого базальтового потока, прогревшего сверху "залежь". Такая точка зрения удачно объясняет "каплевидную форму" отдельных округлых фрагментов, наличие в их периферии корок закалки, более мелкокристаллическое сложение по сравнению с основной массой габбро-диабазов, наличие в отдельных фрагментах базитов миндалин, а также брекчированных пород основного состава.

Однако в центральной части возвышенности (область "основного" контакта) с шунгитовыми породами контактируют крупно- и среднекристаллические габбро-диабазы (традиционно относимые к силловой фации). Нашими исследованиями не обнаружено

каких-либо эффузивных аналогов этих габбро-диабазов, а также их переходов в мелкокристаллические разности, обладающие признаками эффузивных пород (текстуры течения, насыщенные миндалинами разности и пр.). Это означает, что если базальтовый поток существовал, то был впоследствии эродирован, и на его существование указывают ныне "только подушкообразные тела", "каплевидные" (иногда содержащие миндалины) и "брекчиевидные" фрагменты мелкокристаллических диабазов.

Однако такие фрагменты могут образовываться вследствие разрушения силлов при их взаимодействии с пластичными водосодержащими вмещающими породами. Такая интерпретация их происхождения также удачно объясняет специфическую зональность пространственного распределения базитов и шунгитовых пород (см. выше).

Кроме того, анализ геологической ситуации (рис. 2, 4) показывает, что толща шунгитовых пород с рассеянными в ней фрагментами базитов не подстилает габбро-диабазы, обнажающиеся в центральной части возвышенности (как было бы в случае излияния потока лавы на залежь пластичной субстанции), а залегает "стратиграфически выше" этого тела (основного источника фрагментов базитов). Фрагменты базитов со средне- и мелкокристаллическими структурами среди шунгитовых пород распространены локально в области обрамления, в современном эрозионном срезе окаймляющей с юго-запада выходы габбро-диабазов со средне-крупнокристаллическими структурами. Эта область (в более крупном масштабе) приурочена к области контакта габбро-диабазов и шунгитоносных пород (алевропесчаников, туфоалевролитов), на отдельных участках сохраняющих первичные седиментационные признаки. Исходя из условий залегания пород основного состава в северо-восточном крыле Толвуйской синклинали — падения к юго-западу, к центру структуры (рис. 2, 4), можно сделать вывод, что высокоуглеродистые шунгитовые породы (находящиеся вблизи контакта с габбро-диабазами) и шунгитоносные породы (расположенные на удалении от области контакта) залегают выше по разрезу, чем породы основного состава — габбро-диабазы и фрагменты базитов среди высокоуглеродистых шунгитовых пород. Таким образом, в настоящее время общая "стратиграфическая последовательность" (если корректно употреблять этот термин в отношении силла габбро-диабазов) следующая: 1) габбро-диабазы, обнажающиеся в центральной части возвышенности; 2) фрагменты базитов среди шунгитовых пород; 3) шунгитоносные породы с первичными седиментационными признаками.

3. Иногда встречаются устные заключения некоторых исследователей о том, что округлая форма, корочки закалки фрагментов базитов указывают на сходство этих фрагментов базитов с шаровыми лавами.

Для анализа этой точки зрения представляется уместным рассмотреть вопрос о некоторых особенностях строения шаровых лав, являющихся результатом фрагментации магматического расплава при его взаимодействии с водной средой.

Фрагментация расплава при образовании шаровых лав. "Истинные шаровые лавы" формируются под влиянием избытка пара из внешних источников: "благодаря ли излиянию лавы в воду, благодаря ли ее излиянию или интрузии в водосодержащие осадки" (Стирнс, 1937), по [5]. Под "шаровыми лавами" следует понимать такие "тела соответствующей формы, которые обладают собственной поверхностью охлаждения... т.е. каждое их них является самостоятельным геологическим телом, обособившимся до своего отвердевания — на суше или под водой" [5].

Шаровые лавы сопровождаются обычно, кроме редких случаев (исключений), огромным количеством брекчий, туфов, туфобрекчий, во много раз превышающих объемы собственно шаровых лав, а также ассоциируются со сплошными лавовыми потоками. В случае субаэрального происхождения шаровых лав, они не сопровождаются пирокластическими образованиями. Они могут формировать пласты различной мощности, целиком состоящие из шаров, либо быть приурочены к верхним, нижним, реже средним частям потоков. Иногда шары встречаются в виде изолированных разобщенных тел в туфобрекчиях. В подавляющем большинстве случаев шаровые лавы ассоциируют с осадочными породами морского генезиса, что указывает на их подводное происхождение, однако встречаются шаровые лавы несомненно субаэрального происхождения. Также известны интрузивные шаровые лавы, дающие отчетливые интрузивные контакты с вмещающими породами, которые в момент извержения представляют собой рыхлые водосодержащие илы.

Таким образом, при излиянии лав в воду или внедрении силлов в приповерхностных условиях в водосодержащие пластичные осадки формируются самостоятельные геологические тела, отличающиеся собственной поверхностью охлаждения, имеющие округлую "шаровидную" форму, обладающие выраженными зонами закалки.

Для удобства приведем некоторые особенности строения шаровых лав следующего (по сравнению с заонежской свитой) стратиграфического уровня (суйсарская свита людиковийского надгоризонта), детально описанных на о. Суйсари в западной части Онежской мульды М.А. Гиляровой [5].

Внешняя корочка шаров всегда стекловатая, тахилитовая, от периферии к центру шары или представлены однородной массой, или, гораздо чаще, обнаруживают зональность. Зональность проявляется в закономерном распределении миндалин и вариолей.

Пустоты и полости. В центральной части шаров обычно присутствуют полости и пустоты различной величины (что зависит от размера шара, наличия или отсутствия миндалекаменных зон), и очертания пустот в общем повторяют очертания шаров.

При излиянии лавы в первые же моменты образования шаров происходит нарушение равновесия в результате смены режима давления и температуры, что вызывает отделение газовой фазы, которая первоначально распределялась более-менее равномерно по всему телу шара. Быстрое остывание и затвердевание расплава в краевой части шара происходят раньше, чем успеет обособиться газовая фаза, поэтому образуется стекловатая оболочка — корочка закалки.

Радиальные пустоты по форме напоминают карандаши, начинаются близ края шара и выклиниваются к центру.

Трещины отдельности. Шары очень часто разбиваются концентрическими и радиальными трещинами на ряд сегментов.

С момента своего образования шары подвергаются неравномерному охлаждению и деформациям при движении. Твердая и хрупкая внешняя корка их покрывается рядом радиальных трещин, выклинивающихся к центру и залечивающихся выжимающейся изнутри еще жидкой лавой. В образовавшиеся трещинки будет стремиться проникнуть газовая фаза, и таким образом, вероятно, будут формироваться присутствующие в некоторых шаровых лавах радиально расположенные сильно вытянутые в разрезе карандашеобразные пустоты, которые выклиниваются к центру шара. Особенно интенсивным разрывам шары должны подвергаться в тот момент, когда они совершенно отвердели, и температура их поверхности становится настолько низкой, что "рубашки пара", окружающие шар, исчезнут совершенно и не будут препятствовать их соприкосновению с водой. Это приведет к наиболее интенсивному теплообмену. К этому моменту шары в своей массе окажутся настолько твердыми, что образующиеся радиальные и концентрические трещины отдельности уже не смогут залечиваться расплавом из центра шара.

Вариоли и миндалины занимают чаще всего краевую часть шара различной мощности, прилежащую к стекловатой корочке. Они или распределяются равномерно в основной массе краевой части, далее, к центру, редея и исчезая совсем на большем или меньшем расстоянии от края шара, или образуют ряд концентрических зон параллельно внешней поверхности шаров.

Зоны миндалин гораздо чаще, чем вариоли, встречаются в шаровых лавах, наблюдаются, в отличие от вариолей, в порфиритовых разновидностях и обнаруживают значительно больше вариаций как в распределении, так и по составу их выполнения. Иногда миндалины располагаются только в краевой части шаров с образованием концентрических зон и совсем исчезают к середине шаров. Близ края шара миндалины часто сплющиваются и вытягиваются параллельно поверхности шаров либо в радиальном направлении. Иногда миндалины встречаются только ближе к центральной части. К центру шаров их количество и размеры увеличиваются. Иногда они занимают срединные части шаров. Реже миндалины распределяются равномерно по всему телу шара, а в отдельных случаях описаны шаровые лавы с миндалевидной краевой и центральной зонами и плотной промежуточной зоной (Старк, 1938), по [5].

Распределение миндалин в теле шара зависит от двух основных факторов, действующих в диаметрально противоположных направлениях: 1) вращательное движение всей массы шара имеет тенденцию сконцентрировать легкую газовую фазу к центру шара; 2) увеличение вязкости вследствие охлаждения задерживает этот процесс на различных стадиях. В зависимости от соотношений этих факторов зоны миндалин в теле шара будут иметь различное распределение [5].

В шаровых лавах интрузивного происхождения, шары не могут испытывать (или испытывают ограниченные) вращательные движения, поэтому в них должны отсутствовать центральные газовые пузыри, а газовая фаза будет распределяться в краевой части шаров.

Таким образом, большинство из известных теорий происхождения шаровых лав предполагает обязательное влияние воды или водяного пара на расплав, что приводит к образованию шаров, причем независимо от источника воды и фациальной обстановки— при подводных ли извержениях, втеканием ли лавы в водные бассейны или интрузиями магмы в водосодержащие илы.

Харкер еще в 1909 г. показал, что излияние лавы на дно моря — это инъекция магмы между мягкими илами и вышележащей водой. В результате получаются прекрасные шаровые лавы с миндалевидными краями между илистыми осадками, и они являются отчетливо интрузивными [5].

Следовательно, для формирования округлых очертаний фрагментов базитов необходимо участие воды (пара), что приводит к их обособлению в виде отдельных геологических тел с собственной поверхностью охлаждения. Источником пара могут служить обводненные осадки (для случаев интрузии магмы) либо водная среда (для шаровых лав).

Однако в последнем случае интенсивное охлаждение приведет к обособлению газовой фазы и концентрации ее в пустотах, создадутся благоприятные условия для формирования зон вариолей; шаровые лавы вследствие высокого температурного градиента будут разбиваться радиально ориентированными трещинами отдельности. Этих признаков при изучении "округлых" фрагментов базитов, распределенных среди шунгитовых пород, мы не наблюдаем.

Итак, округлая (часто изогнутая) форма фрагментов базитов изученного участка, наличие корочек закалки, трещин отдельности свидетельствуют об остывании некоторых типов фрагментов в виде пластичных тел среди пластичных осадков, содержавших воду. Однако, вероятно, вследствие меньшей теплопроводности осадков по сравнению с водной средой признаки эти имеют свою специфику и выражены менее отчетливо по сравнению с таковыми в шаровых лавах (табл. 2).

Округлые фрагменты базитов, морфологически сходные с шаровыми лавами, лишь один из выделенных типов фрагментов. Необходимо объяснить происхождение "брекчиевидных" фрагментов базитов, не обладающих корочками закалки, специфическую зональность в общем распределении фрагментов, а также способность осадков к перемещению. Эти вопросы могут быть решены, если рассмотреть их с позиций образования формации пеперитов (peperite formation) или просто пеперитов, которые возникают вследствие смешения магмы и водосодержащих пластичных осадков [1, 14, 23—25]. С этих позиций предлагается следующая интерпретация наблюдавшихся закономерностей.

Таблица 2

Некоторые характерные признаки фрагментов базитов и шаровых лав

Характерные признаки		
шаровых лав	фрагментов основных пород (базитов)	
	"округлых"	"брекчиевидных"
Внешняя корочка закалки	установлена для округлых и удлиненных фрагментов	нет
Пустоты и полости, радиальные пустоты	на изученной площади не выявлены	
Вариоли и миндалины	есть указания на обнаружение миндалин в базитах за пределами изученной площади	нет
Трещины отдельности	фрагменты базитов обладают специфическими трещинами отдельности — согласно удлинению и субперпендикулярно к удлинению. Не встречено фрагментов с радиально ориентированными трещинами отдельности, характерными для шаровых лав	нет

Зональность и происхождение всего многообразия фрагментов базитов изученной части участка Лебещина — результат взаимодействия габбро-долеритов и пластичных (илоподобных) обводненных осадков в приповерхностных условиях.

I. В результате проведенного анализа морфологии, строения и распределения разнообразных типов фрагментов базитов выделяются два основных типа фрагментов: 1) округлые и удлиненные, имеющие корочки закалки, трещины отдельности и формировавшиеся на высокотемпературном этапе; 2) брекчиевидные, не обладающие корочками закалки, образовавшиеся на следующем, менее высокотемпературном этапе.

Фрагментация основных пород происходила в два этапа.

1. На начальном, высокотемпературном этапе (режим — пластичный для базитов и вмещающих пород) пластичные осадки, прогретые снизу внедрившимся силлом, приобретали подвижность (тепло отводилось путем конвективного переноса — "бурления", в котором были задействованы пластичные вмещающие породы). В непосредственном контакте от тела силла происходило "отщепление" фрагментов базитов, которые благодаря своей пластичности обладали способностью приобретать округлую форму (рис. 6, д). Если площадь поверхности фрагментов не была слишком мала, на нее оказывали влияние мобилизованные осадочные породы, "захватившие" фрагмент. Так получались фрагменты округло-удлиненного типа с разной степенью кривизны, а также цепочки из таких фрагментов (рис. 6, в). Если площадь поверхности фрагмента была мала, он чаще сохранял округлую изометричную форму. Впоследствии у этих фрагментов возникали корочки закалки и трещины отдельности, следующие согласно удлинению и субперпендикулярно к контакту с вмещающими осадками.

2. На следующем, менее высокотемпературном этапе (режим — хрупкий для базитов и пластичный для вмещающих пород) базиты области эндоконтакта силла и крупных фрагментов области экзоконтакта разбивались многочисленными прямолинейными и извилистыми трещинами, заполнявшимися пластичными вмещающими породами (сейчас это жилы шунгитовых пород). В итоге образовывались брекчиевидные фрагменты, не обладающие корочками закалки, оставшиеся на месте своего образования (зона эндоконтакта) либо рассеянные в области экзоконтакта с образованием "роеподобных скоплений".

II. Условия, при которых осадки могли сохранять свою пластичность (и способность к перемещению в пространстве), существуют (по Н.М. Страхову [16, с. 81]) на глубинах от первых метров до немногих десятков (10—50) и первых сотен (200—300) метров. Отсутствие следов непосредственного термального воздействия расплава (зон обжига, признаков "выгорания" углерода) на вмещающие породы, а также наличие корочек закалки у некоторых типов фрагментов базитов указывают на то, что вмещающие породы содержали воду. В то же время пластичность водосодержащих вмещающих пород играла важнейшую роль в отводе тепла от "тела" силла: тепло отводилось вследствие конвективного перемешивания пластичных осадков. Свидетельства этого перемешивания — разноориентированная мелкостолбчатая отдельность шунгитовых пород, жилы шунгитовых пород в базитах и в шунгитовых породах, а также наличие округлых в плане образований, названных Л.П. Галдобиной "фумарольными каналами" (см. выше).

Наличие воды обусловило появление корочек закалки и как результат сил поверхностного натяжения округлой формы отдельных типов фрагментов базитов. Механизм этого процесса был сходен с механизмом образования шаровых лав, однако имел свою специфику. Вследствие незначительного содержания

воды в осадках (по сравнению с чистой водной средой), а также большей вязкости обводненных осадков во внутреннем строении фрагментов базитов нет признаков интенсивной теплоотдачи, характерных для "истинных" шаровых лав [5], формировавшихся в чистой водной среде: отсутствует зональность, представленная концентрическими зонами миндалин и вариолитов; отсутствуют радиально ориентированные трещины отдельности, а также центральные газовые пузыри.

III. Характерная зональность: массивные габбродиабазы — брекчиевидные диабазы с жилами шунгитовых пород — округлые и брекчиевидные фрагменты базитов, "рассеянные" среди шунгитовых пород, наличие двух типов фрагментов базитов, формировавшихся в два этапа, — пластичном и хрупком, — хорошо согласуется с закономерностями строения пород "формации пеперитов", приведенных в работе [24]. Специфический облик, четкая структурная приуроченность, единые тектонические условия образования комплекса базит-шунгитовых пород (объединяющего породы двух разных генетических типов — магматических и осадочных) позволяют далее рассматривать их в составе единой "формации пеперитов", которая в нашем случае является индикатором малоглубинных (область существования обводненных, пластичных осадков) условий внедрения силлов габбро-долеритов людиковийского этапа силлогенеза.

Идентификация таких индикаторов малоглубинных условий внедрения силлов делает возможным рассмотрение в применении к людиковийскому этапу развития Северо-Онежской мульды новых моделей, учитывающих выявленные закономерности, например "аквамагматогенную" модель Г.С. Федосеева, предложенную им для структур Минусинского прогиба [17]. Согласно этой модели, подъем магматического расплава до некоторого критического уровня реализуется в пределах декомпрессионных структур (мульды, прогибы, синеклизы), размеры которых предопределяют масштабы магматизма и максимальные размеры силлов. Силлы располагаются внутри некомпетентных толщ, внедряясь по плоскостям, связанным с карбонат-, битумоид-, рассолсодержащими, влагонасыщенным горизонтами. Эта модель предполагает наличие магмоподводящих каналов в центральных частях депрессий. Формирование магмоподводящих каналов происходит в условиях растяжения во внутренних частях депрессий. Впоследствии они превращаются в магмоколонны, что по времени совпадает с максимальным прогибанием ложа осадочного бассейна [17].

Некоторые динамические следствия и практическое применение результатов

Наиболее крупные залежи, представляющие собой эксплуатационные месторождения шунгитового сырья, разведаны в пределах Толвуйской синклинали Северо-Онежской мульды (рис. 2, 8). Все разведанные месторождения здесь структурно приурочены к изометричным антиклинальным складкам 2-го порядка (осложняющим Толвуйскую синклиналь), в замковых частях которых образуют купольные залежи мощностью до 120 м. Залежи располагаются на приблизительно одинаковом расстоянии друг от друга, со средним расстоянием между центрами соседних куполов около 1400 м [18, 20].

В пределах Толвуйской структуры располагаются наиболее детально разведанные Максовское и Зажогинское месторождения (рис. 2, 3, 8), а также более пяти перспективных залежей шунгитовых пород, приуроченных к шестому горизонту второй пачки верхней подсвиты заонежской свиты [18]. Детальный обзор существующих гипотез формирования месторождений шунгитовых пород приводится в работах [18, 20], в которых их авторами начиная с 1994 г. развивается гипотеза многоэтапного формирования куполовидных тел шунгитовых пород по принципу складок нагнетания. Для объяснения механизма их эволюции привлекаются модели образования соляно-купольных структур. Диапировые складки [20] развиваются в случае присутствия в разрезе горизонтов с относительно низкой плотностью, перекрытых породами с большей плотностью. Такая система становится неустойчивой, она способна к саморазвитию путем инверсии плотностей и формирования разнообразных структур [18, 20]. Согласно этому механизму, образование купольных месторождений протекает в несколько этапов: сначала происходит накопление веществ, содержащих органическое вещество, их литификация, накопление перекрывающих пород — туфоалевролитов, туфов, доломитов, базальтов. На следующем этапе начинается миграция свободного шунгитового вещества и органоглин, которые "всплывают" сквозь перекрывающие толщи с образованием диапировых структур [18, 20].

Проблема временного интервала, в котором наступает инверсия плотностей (после которых начинают развиваться купольные структуры), может быть удачно решена в свете новых данных о строении области контакта "нижнего силла" габбро-диабазов и шунгитовых пород, изученных в окрестностях дер. Лебещина (и прослеженных буровыми работами в центральной части Толвуйской структуры).

Так, форма фрагментов базитов, корочки закалки, закономерное распределение трещин отдельности во фрагментах базитов участка Лебещина — следствие синхронности формирования базитов и вмещающих их, не потерявших пластичности шунгитовых пород. Кинематический анализ взаимоотношений пород указывает на совместное перемещение фрагментов базитов и шунгитовых пород в процессе формирования формации пеперитов вследствие конвективного перемешивания при отводе тепла от поверхности силла. Тепловое воздействие внедрившегося силла привело к снижению вязкостно-плотностных характеристик пластичных вмещающих пород, вызвало конвективное перемешивание и перемещение в

пространстве — вверх от горячей поверхности силла. Следовательно, инверсия плотностей (которая привела к обособлению и росту купольных структур) может быть вызвана (и совпадать по времени) этапом внедрения силлов габбро-долеритов в пластичные осадки.

Результаты экспериментального моделирования влияния флуктуаций температуры на вязкость пород, приводящих к уменьшению вязкостных свойств пород и как следствие их подвижности по отношению к окружающей среде, приведены в работе [22, с. 221] (рис. 7): «...рассматриваемая модель представляет собой слой флюида, в некоторых частях нижней границы которого температуры отличаются от температуры слоя в целом... В участке с повышенной температурой возникает прогретая "капля", которая поднимается вверх сквозь окружающий флюид. При значительных размерах прогретого участка возникает несколько таких "капель", приблизительно на равном расстоянии одна от другой...»

Морфология возникающих "капель" идентична морфологии структур, возникающих при экспериментальном моделировании процессов развития диапиров, которые привлекались для объяснения развития купольных залежей шунгитовых пород [18, 20]. Кроме того, закономерное расположение всплывающих "капель" (на равном расстоянии друг от друга) соответствует закономерностям пространственного распределения купольных залежей.

Площадной прогрев, необходимый для возникновения серии "капель" [22], мог возникать вследствие внедрения и размещения силлов среди толщ неконсолидированных осадков, что повлекло за собой изменение их вязкостно-плотностных характеристик и послужило толчком к зарождению диапировых структур, а также могло определить закономерности их будущего площадного расположения (на равном расстоянии друг от друга).

Породы, подобные пеперитам, изученной части участка Лебещина, названные "шунгит-базальтовыми брекчиями" [7], вскрыты скважинами в пределах южных флангов Максово-Зажогинского месторождения, что свидетельствует о более широком распространении пород формации пеперитов в пределах Толвуйской синклинали Заонежского п-ова Северо-Онежской мульды.

На синхронность процессов магматизма и формирования залежей шунгитовых пород указывает наличие в центральной части Максовской купольной залежи шунгитовых пород интрузивного тела сложной конфигурации (рис. 8). "Силлово-дайковая" (Г-образная) форма этого тела габбро-диабазов наводит на мысль о внедрении этого тела в уже хрупкие шунгитовые породы (например, в Г-образную трещину отрыва в центральной части купольной залежи шунгитовых пород, которая могла быть использована габбро-долеритами как ослабленная зона в процессе внедрения). Однако детальные описания приконтактовых взаимоотношений [19] скорее свидетельствуют о пластичности вмещающих пород в момент внедрения тела габбро-долеритов сложной конфигурации.

Таким образом, существовало минимум два этапа интрузивной деятельности. На начальном этапе площадное тепловое воздействие силлов габбро-долеритов инициировало процесс инверсии плотностей (см. выше), послужило толчком к зарождению диапировых структур, производными которых являются современные купольные месторождения шунгитовых пород. На следующем этапе происходило становление тел сложной морфологии, приуроченных к центральным частям купольных структур (Максовская залежь шунгитовых пород).

Явления пластичного перераспределения осадочных пород известны и за пределами Толвуйской синклинали. Так, в разрезе старейшего месторождения Шуньга, расположенного на перемычке озер Путкозеро и Валгмозеро, на окраине поселка с одноименным названием начиная с 1930 г. известны будины доломитов среди шунгитов и лидитов шунгит-доломит-лидитового комплекса верхней подсвиты заонежской свиты (рис. 9). Будинирование доломитов произошло до окончательной литификации карбонатных пород — на это указывает округлая форма будин и закономерная ориентировка трещин отдельности в будинах [11].

"Движущей силой" процесса перераспределения нелитифицированных осадочных пород также могло служить тепловое воздействие силлов габбро-долеритов, установленных буровыми работами [4] в основании разреза шунгит-доломит-лидитового комплекса верхней подсвиты заонежской свиты Шуньгской синклинали Северо-Онежской мульды.

В случае корректности интерпретации модельных данных [22] в их применении к развитию купольных залежей также появляется возможность связать время формирования складчатости и сингенетичных купольных месторождений шунгитовых пород Северо-Онежской мульды со временем внедрения силлов габбро-долеритов в толщи палеопротерозойского вулканогенно-осадочного комплекса заонежской свиты людиковийского надгоризонта.

Выводы

1. Важнейшие особенности строения пород и зональность их распределения удачно объясняются, если их относить к породам формации пеперитов (peperite formation). В нашем случае формирование их связано с взаимодействием силла габбро-долеритов (ныне представленного крупнокристаллическими габбро-диабазами) и пластичных илоподобных углеродсодержащих пород (ныне представленных шунгитовыми породами). В результате проведенного анализа морфологии, строения и распределения разнообразных типов фрагментов базитов выделяются следующие этапы их образования.

На начальном, высокотемпературном этапе (режим пластичный для базитов и вмещающих

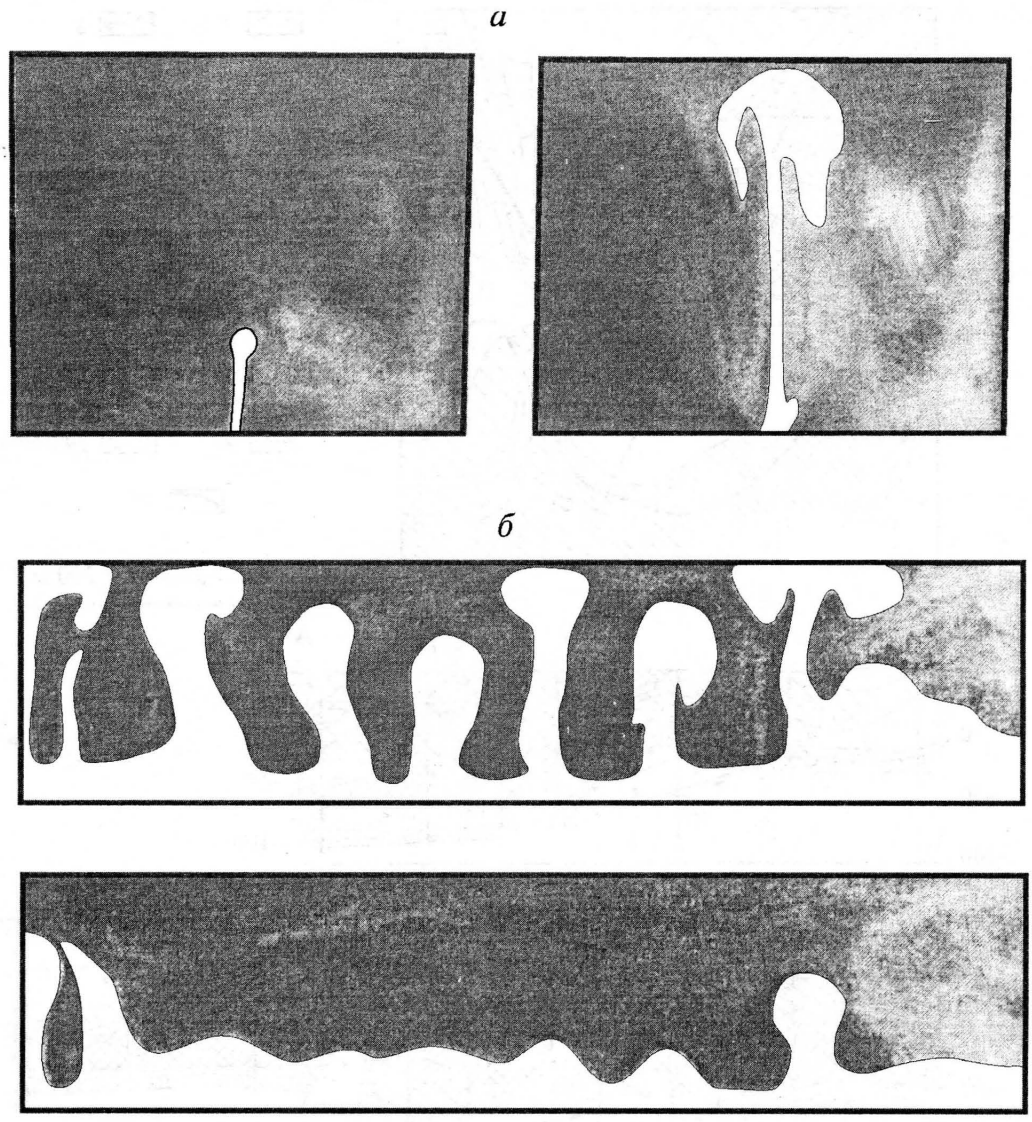


Рис. 7. Возникновение и подъем единичной (*а*) и многих (*б*) "капель" при подогревании слоя флюида снизу (по экспериментальным данным [22]). На каждой паре фотографий показаны начальная и конечная стадии процесса

пород) формировались фрагменты округло-удлиненной и изометричной формы, обладающие корочками закалки, "отщепленные" от тела силла и "рассеянные" среди вмещающих пород.

На следующем, менее высокотемпературном этапе (режим хрупкий для базитов и пластичный для вмещающих пород) базиты области эндоконтакта силла и крупные фрагменты области экзоконтакта разбивались трещинами, заполнявшимися пластичными углеродсодержащими породами. Так формировались фрагменты, не обладающие корочками закалки.

2. Выявлены новые признаки, указывающие на то, что вмещающие породы не были литифицированы, сохраняли пластичность и содержали воду, а также обладали способностью к перемещению в пространстве.

Наличие воды обусловило появление корочек закалки, округлой формы (в результате действия сил поверхностного натяжения) многочисленных фрагментов базитов. Механизм этого процесса был сходен с механизмом образования шаровых лав, однако вследствие незначительного (по сравнению с чистой водной средой) содержания воды в осадках и их большей вязкости (по сравнению с водной средой) имел свою специфику, что привело к отсутствию у фрагментов базитов некоторых признаков, характерных для шаровых лав.

Способность к пространственному перемещению пластичных углеродсодержащих пород играла важнейшую роль в процессе отвода тепла от "тела" силла — происходило это путем конвективного перемешивания, сопровождавшегося захватом фрагментов базитов пластичными вмещающими породами.

Условия, при которых осадочные породы могли сохранять свою пластичность, существуют на глубинах от первых метров до первых сотен метров [16]. Таким образом, породы формации пеперитов в нашем случае являются индикаторами малоглубинных (область существования обводненных, пластичных осадков) условий внедрения силлов.

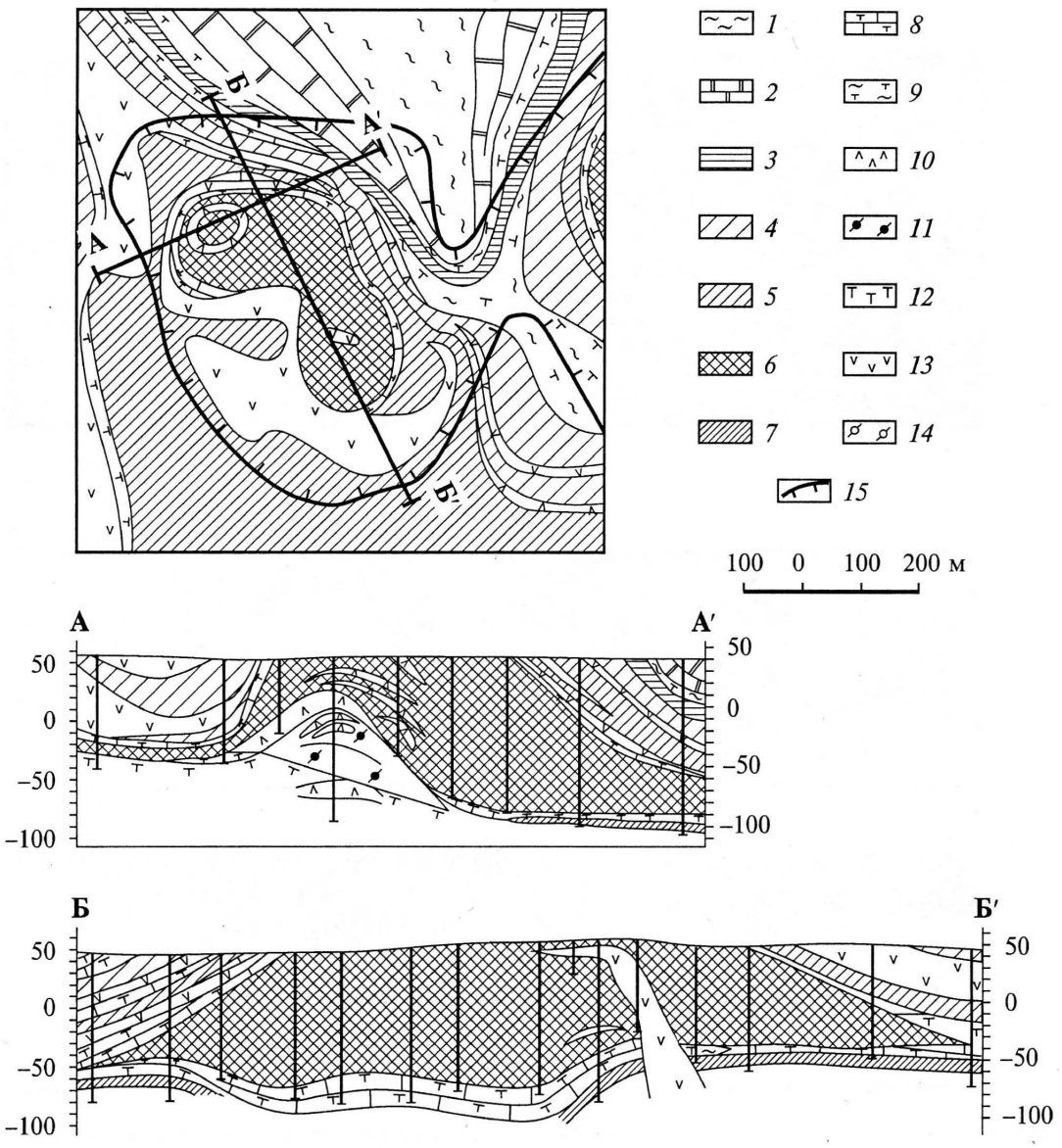


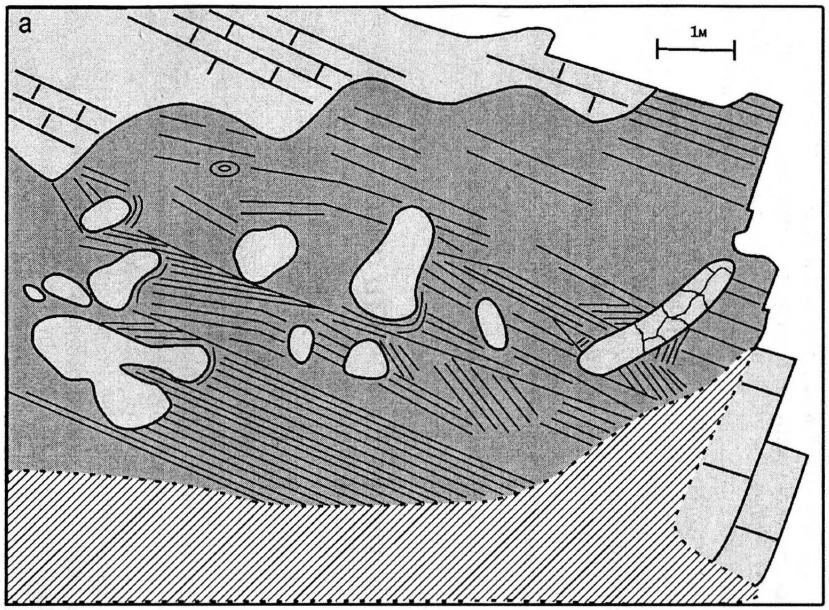
Рис. 8. Схема геологического строения и разрезы Максовской залежи шунгитовых пород, по [9]:
1 — алевролиты; 2 — доломиты; 3—7 — горизонты шунгитовых пород, соответственно девятый, восьмой, седьмой, шестой и пятый; 8 — туфы и карбонатные метасоматиты; 9 — туфы алевритовые; 10 — туфы альбито-кремнистые, лидиты; 11 — карбонатно-биотитовые метасоматиты; 12 — переслаивание туфов разного состава; 13 — метадиабазы (силлы, дайки); 14 — карбонатно-тремолитовые метасоматиты; 15 — границы пласта № 6

Идентификация этих "индикаторов малоглубинных условий" внедрения силлов и реконструкция их формирования делают возможным рассмотрение новых моделей (в частности "аквамагматогенной" модели внедрения силлов [17]) для реконструкции тектонической эволюции Северо-Онежской мульды на людиковийском этапе развития.

Сопоставление результатов наблюдения с экспериментальными данными [22] открывает перспективы внесения дополнения в существующую модель [18, 20] формирования купольных месторождений Северо-Онежской мульды, связав начальный этап обособления куполов с этапом внедрения силлов людиковийской эпохи силлогенеза.

Автор выражает глубокую признательность Е.Ю. Боровковой, Ф.С. Кочкину и К.Г. Прянишникову за помощь в подготовке геологической документации обнажений, А.Е. Ромашкину за плодотворные обсуждения при проведении полевых исследований, К.А. Докукиной за неоценимую помощь и рекомендации при написании статьи.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 07-05-01158; 06-05-64848), Научной школы (проект № НШ-7559.2006.5), проекта ОНЗ РАН № 5.



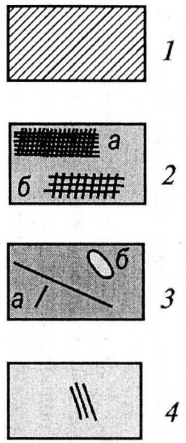
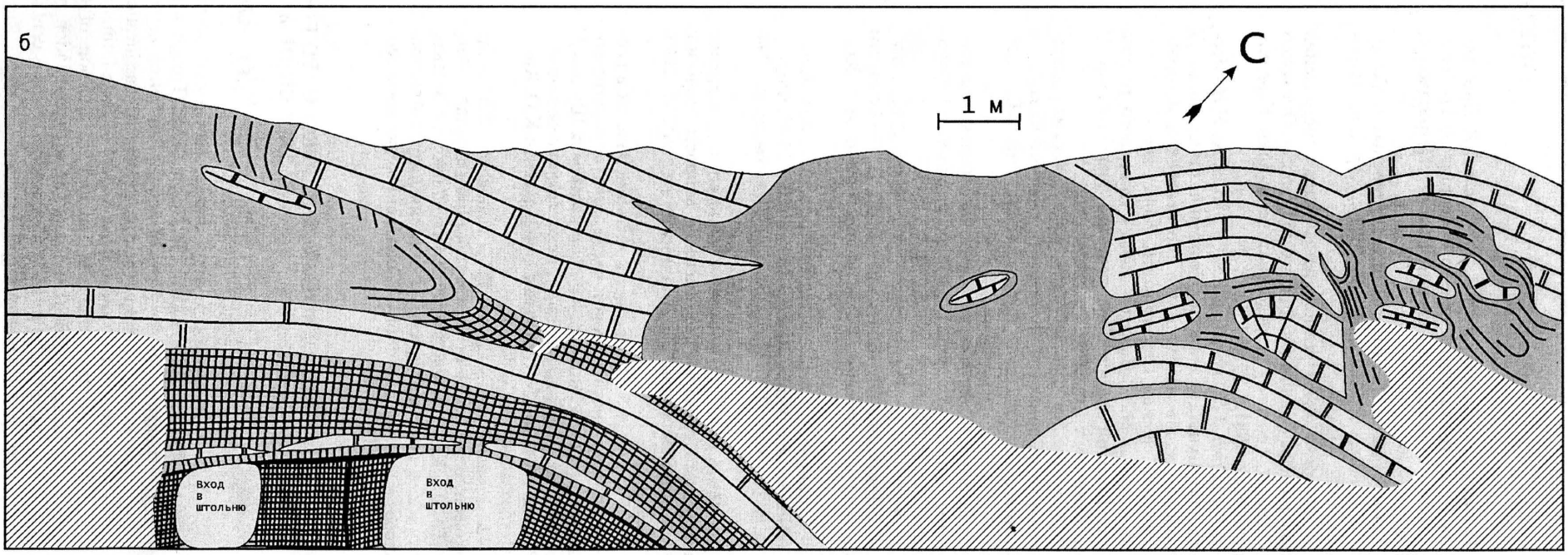


Рис. 9. Разрезы, иллюстрирующие строение шунгит-доломит-лидитового комплекса в карьере в п. Шуньга (а — западной, б — северо-восточной стенки карьера): 1 — задернованные участки; 2 — шунгитовые породы (штрихами показан характер отдельности: а — в шунгитовых породах продуктивного горизонта, б — в вышележащих шунгитовых породах); 3 — карбонатные породы с трещинами отдельности (а), фрагменты карбонатных пород среди лидитов (б); 4 — лидиты (штрихами показаны трещины скорлуповатой отдельности)



ЛИТЕРАТУРА

1. *Биске Н.С., Ромашкин А.Е., Рычанчик Д.В.* Протерозойские пеперит-структуры участка Лебещина // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 7. Петрозаводск, 2004. С. 193—200.

2. *Галдобина Л.П.* Геология шунгитоносных вулканогенно-осадочных образований протерозоя Карелии. Петрозаводск, 1982. 204 с.

3. *Галдобина Л.П.* Предполагаемый канал поступления углеводородных флюидов в нижнем протерозое Онежской структуры // Геология и рудогенез докембрия Карелии. Петрозаводск, 1991. С. 15—18.

4. *Галдобина Л.П., Ковалевский В.В., Рожкова Н.Н.* Месторождение Шуньга — геология, геохимия, минералогия // Углеродсодержащие формации в геологической истории: Тр. междунар. симпоз. Петрозаводск, 2000. С. 66—72.

5. *Гилярова М.А.* Шаровые лавы Суйсарского района Южной Карелии и проблема генезиса шаровых лав // Вестн. Ленингр. ун-та. 1951. № 1. С. 1—45.

6. *Докукина К.А.* Фрагментация магматических расплавов в сдвиговых зонах (на примерах Восточного Казахстана и Западного Прибайкалья): Автореф. канд. дис. М., 2005. 20 с.

7. *Купряков С.В., Михайлов В.П.* Зажогинское месторождение шунгитовых пород // Новое в геологии Северо-Запада РСФСР: Сб. науч. тр. М., 1988. С. 79.

8. *Леонов М.Г., Колодяжный С.Ю., Зыков Д.С., Полещук А.В.* Тектоника Онежской мульды. Ст. 1. Особенности геологического строения // Изв. вузов. Геол. и разв. 2003. № 1. С. 3—11.

9. Органическое вещество шунгитоносных пород Карелии (генезис, эволюция, методы изучения) / М.М. Филиппов, А.И. Голубев, П.В. Медведев и др. Петрозаводск, 1994. 208 с.

10. *Полещук А.В.* К вопросу о кинематике внедрения Кончезерского силла // Современные вопросы геологии: Мат-лы молодеж. конф. "3-и Яншинские чтения". М., 2003. С. 108—111.

11. *Полещук А.В.* О некоторых закономерностях в распределении карбонатных пород среди лидитов шунгит-доломит-лидитового комплекса в старом карьере п. Шуньга // Геология, геоэкология и полезные ископаемые северо-запада России: Мат-лы XVII молодеж. конф. памяти К.О. Кратца. Петрозаводск, 2006. С. 45—47.

12. *Полещук А.В., Котов Ф.С., Селиванов В.В.* и др. Приконтактовые брекчии верхнеятулийского силла "Медные Горы" Кумсинской зоны Северо-Онежской мульды (Балтийский щит) как критерии отличия интрузий основного состава от палеопотоков // Современные вопросы геологии: Мат-лы молодеж. конф. "2-е Яншинские чтения". М., 2002. С. 122—124.

13. *Полещук А.В., Ромашкин А.Е.* О возможности влияния силлов габбро-долеритов на процесс формирования купольных залежей шунгитовых пород Онежской мульды // Тектонические закономерности размещения полезных ископаемых: В 2 т.: Мат-лы XXXIII тектонич. совещ. Т. 2. М., 2005. С. 100—104.

14. *Полещук А.В., Ромашкин А.Е., Рычанчик Д.В.* Вопросы терминологии и происхождения макротекстур участка Лебещина Онежской мульды // Геология и геоэкология Европейской России и сопредельных территорий. СПб., 2004. С. 137—139.

15. Справочник по тектонической терминологии. М., 1970. 581 с.

16. *Страхов Н.М.* Основы теории литогенеза. Т. 1. М., 1960. 212 с.

17. *Федосеев Г.С.* Роль литомиктитовых брекчий и конвергентных макроструктур при картировании "изотропных" силлов и лавовых палеопотоков // Петрография на рубеже XXI века. Итоги и перспективы. Т. I. Сыктывкар, 2000. С. 295—298.

18. *Филиппов М.М.* Шунгитоносные породы Онежской структуры. Петрозаводск, 2002. 280 с.

19. *Филиппов М.М., Бискэ Н.С., Медведев П.В., Ромашкин А.Е.* Контактовый метаморфизм на Максовском месторождении шунгитоносных пород. 1. Основные признаки // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 5. Петрозаводск, 2002. С. 107—116.

20. *Филиппов М.М., Ромашкин А.Е.* Генетические признаки формирования месторождений шунгитовых пород Карелии // Углеродсодержащие формации в геологической истории: Тр. междунар. симпоз. Петрозаводск, 2000. С. 58—66.

21. *Хейсканен К.И., Рычанчик Д.В.* Путеводитель геологических экскурсий по Карелии. Петрозаводск, 1998. С. 20.

22. *Элдер Дж.* Количественное лабораторное изучение динамических моделей динамических интрузий // Механизм интрузий магмы. М., 1972. С. 213—230.

23. *Busby-Spera C.J., White J.D.L.* Variation in peperite textures associated with differing host sediment properties // Bull. Volcanol. 1987. Vol. 49. P. 765—776.

24. *Skilling I.P., White J.D.L., McPhie J.* Peperite: a review of magma-sediment mingling// J. Volcanol. Geothermal Res. 2002. Vol. 114, N 1—2.

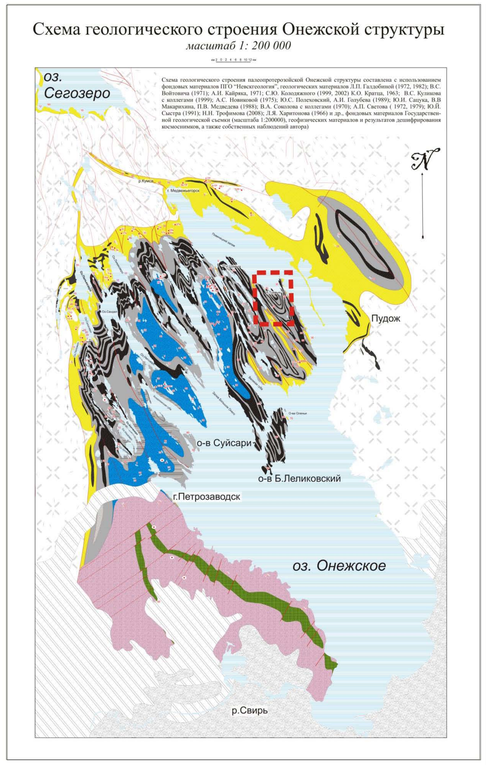
25. *White J.D.L., McPhie J., Skilling I.* Peperite: a useful genetic term // Bull. Volcanol. 2000. Vol. 62. P. 65—66.

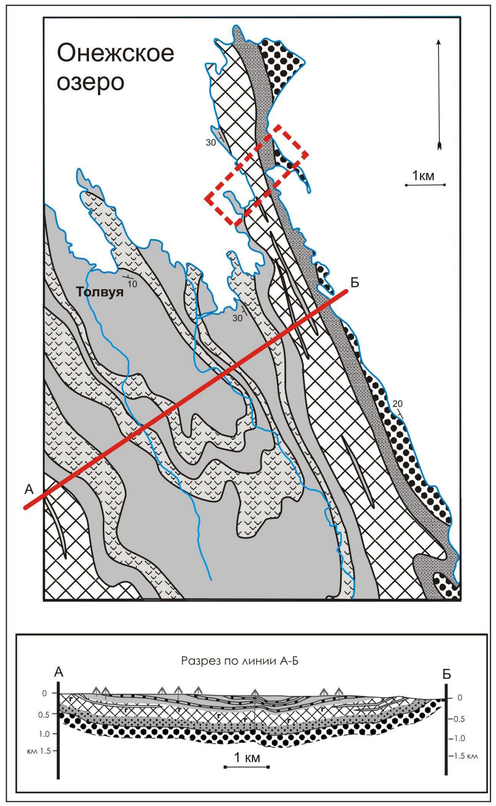
PALEOPROTEROZOIC BRECCIATED ROCKS (PEPERITES) OF NORTH ONEGA TROUGH OF BALTIC SHIELD

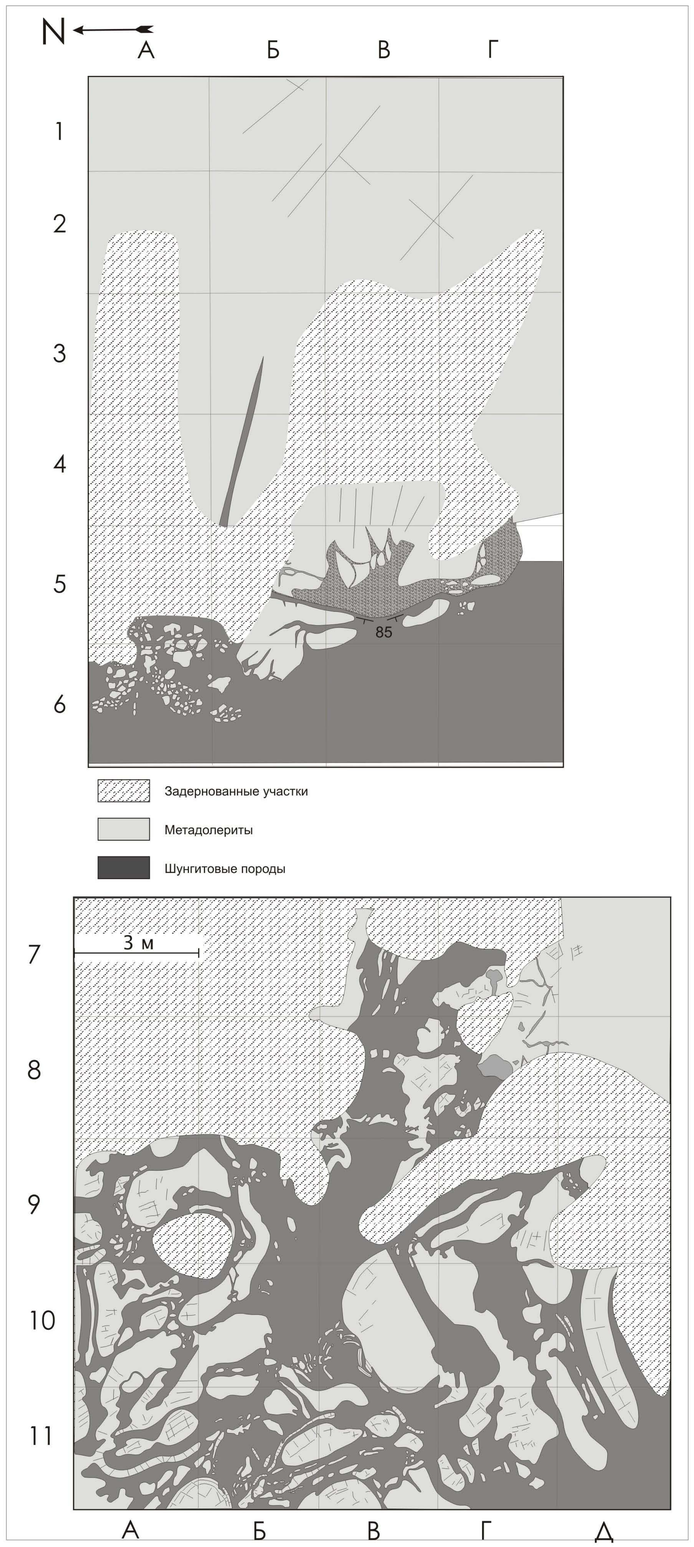
A.V. Poleshchuk

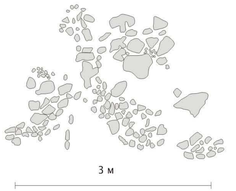
In this article are examined the specific brecciated rocks of Zaonega Formation (Lyudikovian Paleoproterozoic) in the North Onega Trough which confined to areas of contacts basic sills and shungites. On the basis of detailed studies on key objects the pattern of spatial distribution of these rocks are found out, their morphological classification is offered, various hypotheses of their formation are considered, and original model of their formation is offered. Origin of described rocks occurs in several stages and was initiated by intrusion of the gabbro-dolerite sill in wet plastic mud-like sedimentary strata. It has led to a fragmentation of dolerite rocks and mingling with dispersion of produced clasts in soft rock matter. The rocks containing these clasts, in turn, got mobility and ability to movements in space.

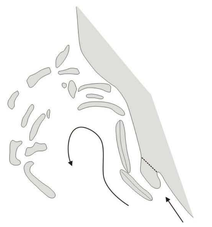
Палеопротерозойские пеперит-структуры Онежской мульды

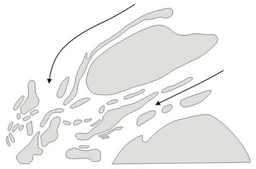


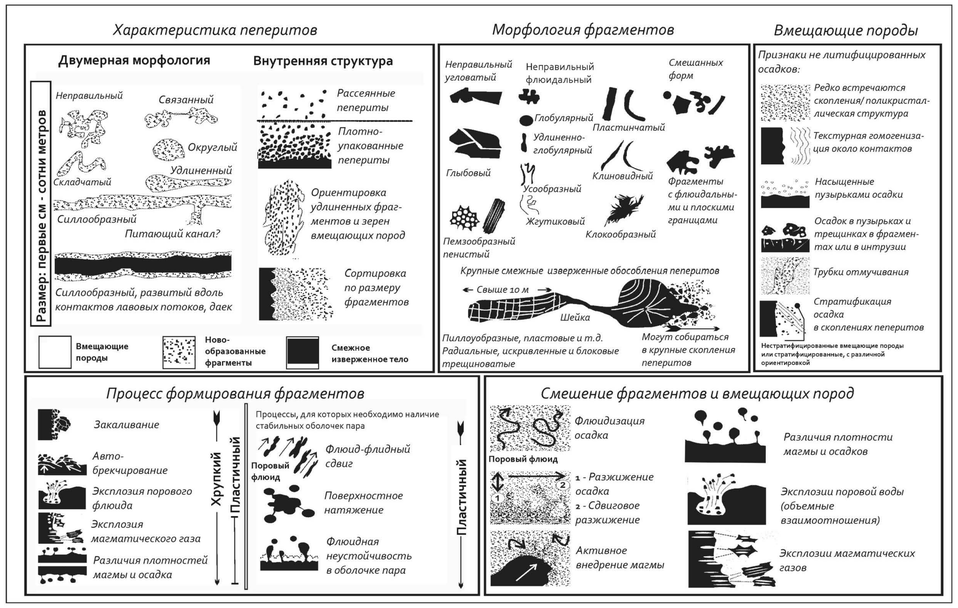












Классификация пеперитов. По данным: [Skilling et.al., 2002], с упрощениями