ФИЗИКА ЗЕМЛИ, 2023, № 4, с. 53–64

УДК 551.242

СПРЕДИНГ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЕВРАЗИАТСКОЙ ЛИТОСФЕРНОЙ ПЛИТЫ ПО ДАННЫМ GPS-ИЗМЕРЕНИЙ И ЕГО ВОЗМОЖНАЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ[1]

© 2023 г. В. И. Шевченко[1], А. А. Лукк[1, *]

[1]Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

*****E-mail: lukk@ifz.ru*

Поступила в редакцию 26.07.2022 г.
После доработки 26.02.2023 г.
Принята к публикации 28.02.2023 г.

На всей, от Атлантического до Тихого океана, территории Евразиатской литосферной плиты, рассматриваемой в статье, векторы скоростей горизонтальных в восточном направлении смещений GPS-станций образуют пологую, плавную, выпуклую к северу огромную дугу. В ее составе можно выделить три относительно нешироких дугообразных полосы. Самая южная из них и наиболее обеспеченная результатами измерений полоса (дугообразная полоса **A** в данной статье) подробно рассмотрена в статье [Шевченко и др., 2021]. Прямые, реальные результаты опубликованных геодезических измерений показали, что длина этой полосы увеличивается на 5–10 мм/год. Дуга удлиняется. В упомянутой статье были рассмотрены и отклонены пять вариантов интерпретации этого удлинения, исходящие из представления о внешнем воздействии на горные породы земной коры/литосферы названной дугообразной полосы. Наиболее вероятной причиной удлинения представляется внутренний процесс увеличения объема упомянутых пород полосы в результате привноса в них глубинными флюидами дополнительного минерального материала и его последующей кристаллизации. В данной статье приводятся результаты аналогичных геодезических измерений на территориях двух других дуг – **B** и **C**. Оказалось, что расположенная севернее других дугообразная полоса **C** удлиняется (и со сходной скоростью), как и находящаяся южнее других полоса **A**. Но расположенная между ними полоса **B** смещается в восточном направлении, не удлиняясь. Геодезические измерения в осевой части Срединно-Атлантического хребта, на о.Исландия позволяют предположить, что общее расширение Атлантического океана и соответствующее восточное смещение Евразиатской литосферной плиты связано с нагнетанием пластичных магматических (основного состава) клиньев в осевой, рифтовой зоне упомянутого хребта. На фоне этого общего восточного смещения литосферной плиты отдельные ее части (дугообразные полосы **A** и **C** маркируют эти части) смещаются в том же восточном направлении с нарастающей с З на В скоростью. Этот рост скорости и соответствующее удлинение двух перечисленных полос мы связываем с упомянутым привносом дополнительного минерального материала и его последующей кристаллизацией.

Ключевые слова: дугообразная полоса, глубинные флюиды, геодезические измерения, удлиненние полос.

DOI: 10.31857/S0002333723040099, **EDN:** TLYPYQ

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время (приблизительно с середины прошлого, XX в.) в геотектонике ведущую роль играет неомобилистская плейттектоническая концепция. В ее основу положено представление о разделении земной коры/литосферы на плиты, блоки, массивы разного размера. Выделяется несколько крупных литосферных плит (Евразиатская, Африканская, Аравийская, Индо-Австралийская, Северо- и Южно-Американская, Антарктическая и Тихоокеанская), серия плит (мезоплит) меньшего размера, а также многочисленные микроплиты [Зоненшайн и др., 1976; Хаин, 2001; Хаин и др., 2005; и др.]. Взаимные латеральные перемещения этих плит, блоков, массивов, их конвергенция, коллизия, дивергенция, трансформные проскальзывания рассматриваются в этой концепции как главные проявления и ведущие причины процессов тектогенеза разного ранга – от глобальных до локальных. Располагающиеся между смежными литосферными плитами

[1] Термин (спрединг) переводится на русский язык как (растекание), (разрастание), (расширение), (раздвижение)". ([Зоненшайн и др., 1976, с. 16]) " Спрединг – буквально означает распространение, разрастание" ([Хаин, Ломизе, 2005, с. 41]).

подвижные пояса, подвижные сооружения рассматриваются как зоны скопления обломков, глыб коры/литосферы меньшего размера. Деформирование подвижных поясов и сооружений связывается с взаимными перемещениями (преимущественно со сближениями) соседних более крупных плит. Сами плиты рассматриваются как жесткие, "твердотельные", практически недеформирующиеся образования. Они могут только раскалываться на более мелкие обломки или, наоборот, объединяться в более крупные образования.

Результаты появившихся во второй половине прошлого века методов высокоточных геодезических измерений горизонтальных смещений элементов тектонической структуры Земли (в первую очередь, метода GPS) потребовали существенной коррекции некоторых ранее сложившихся представлений.

Прежде всего отметим, что, по крайней мере, в нескольких вполне представительных частях подвижных поясов и подвижных сооружений (Альпы, Апеннины, Пиренеи, Большой Кавказ, Таджикская депрессия) при явных признаках обстановки субгоризонтального сжатия (соответствующие дислокации слоистых горных пород, механизмы очагов землетрясений), геодезические измерения выявили не сужение, а увеличение ширины этих объектов. В результате приходится говорить об увеличении объема (и площади) пород, слагающих эти пояса и сооружения, т.е. об их объемном расширении, объемном распоре [Шевченко, 1984; Шевченко и др., 2017; 2018]. Предполагаемая причина распора пород – привнос в них глубинными флюидами дополнительного, аллохтонного минерального материала и его последующая кристаллизация.

Позднее сходная картина была обнаружена применительно к Евразиатскому континенту [Шевченко и др., 2021].

КИНЕМАТИКА СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЕВРАЗИАТСКОГО КОНТИНЕНТА ПО ДАННЫМ GPS-ИЗМЕРЕНИЙ

Судя по результатам геодезических GPS-измерений (в системе координат ITRF) для территории северной части Евразиатского континента (сЕк) (рис. 1) его западная половина смещается в В–СВ направлении, а восточная – в В–ЮВ. Движение в целом идет по пологой, выпуклой к северу и столь плавной дуге, что это не позволяет предположить (на протяжении всей ее с запада на восток ~12000 км) разделение сЕк на несколько частей – блоков, субплит. Меньше, но кое-где обращает на себя внимание то, что движение сЕк в восточном направлении происходит со скоростью, устойчиво нарастающей в том же восточном направлении.

Территория сЕк в целом крайне неравномерно освещена геодезическими измерениями. Но в ее южной части имеется продольная дугообразная полоса (рис. 1 или, что то же, дуга **А** на рис. 2). Эта дуга прослеживается от Пиренейского полуострова на западе до Корейского полуострова на востоке. В пределах этой полосы GPS-станции распределены относительно равномерно и с достаточной плотностью. При этом векторы скоростей смещений этих станций устойчиво ориентированы вдоль названной полосы. В результате векторы скоростей смещений станций, расположенных в пределах полосы относительно западнее, смотрят, образно выражаясь, в затылок векторов станций, расположенных восточнее. Перечисленные обстоятельства дают возможность детально оценить характер изменения скоростей горизонтальных смещений GPS-станций на территории сЕк в пределах упомянутой дугообразной полосы.

Дугообразная полоса (дуга) А

Результаты этой оценки расположения и изменения величины векторов скоростей смещений GPS-станций в дугообразной полосе (рис. 1, рис. 2) изложены в упомянутой статье [Шевченко и др., 2021].

Геодезические измерения показали, что скорости восточных смещения GPS-станций в пределах рассматриваемой дугообразной полосы увеличиваются в направлении с запада на восток.. На графике "скорость–долгота" (см. рис. 3, **А**) линия аппроксимации, отвечающая дугообразной полосе **А**, характеризуется соответствующим наклоном.

Такая картина не может быть получена простым смещением сЕк. Она однозначно указывает на увеличение длины, на удлинение на 4–10 мм/год дугообразной полосы (рис. 1) или полосы **А** (рис. 2). В упомянутой статье рассмотрены и отклонены пять вариантов геодинамической интерпретации этого удлинения. Наиболее вероятной причиной удлинения, по нашему мнению, служит, по-видимому, увеличение объема, объемное расширение, объемный распор слоистых пород земной коры/литосферы территории полосы [Шевченко и др., 2021].

Неясными остаются, по крайней мере, два вопроса. Во-первых, свойственно ли такое удлинение рассмотренной дугообразной полосы (на рис. 1 или дуги **А** на рис. 2) другим частям сЕк, или это единственное в своем роде явление? Во-вторых, перемещается ли сЕк (неотъемлемая часть Евразиатского континента) в восточном направлении так, как это подразумевается в рамках плейттектонической концепции, и одновременно удлиняется, или видимость восточного перемещения со-

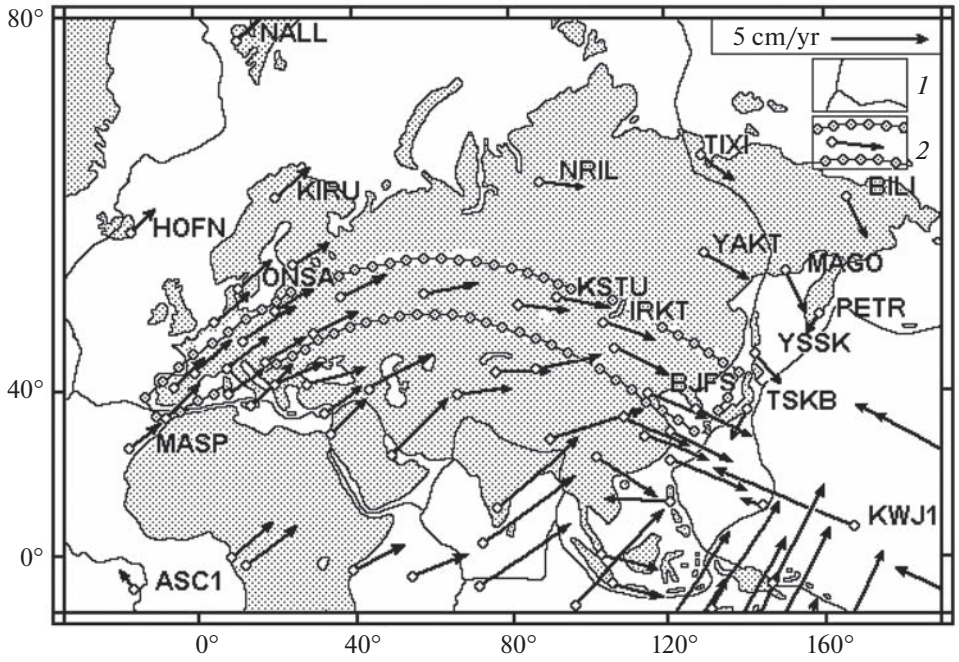

Рис. 1. Распределение векторов скоростей горизонтальных смещений геодезических GPS-станций, расположенных на Евразиатской и смежных литосферных плитах (система координат ITRF2004 [Heflin et al., 2004, фрагмент; Шевченко и др., 2021]): *1* – границы литосферных плит; *2* – выделенная авторами анализируемая дугообразная полоса (см. также дугу **A** на рис. 2).

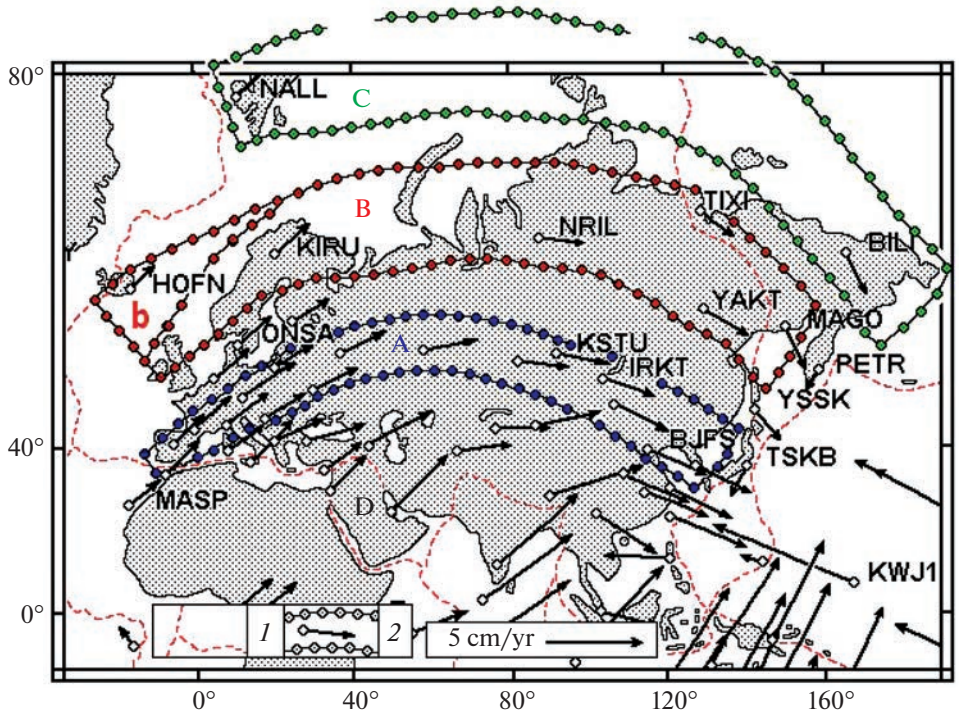

Рис. 2. Распределение векторов скоростей горизонтальных смещений GPS-станций, расположенных на Евразиатской и смежных литосферных плитах ([Heflin et al., 2004, фрагмент] система координат ITRF2004): *1* – границы литосферных плит; *2* – выделенные авторами анализируемые в статье дугообразные полосы **A**, **B** и **C** – части территории Евразиатской литосферной плиты.

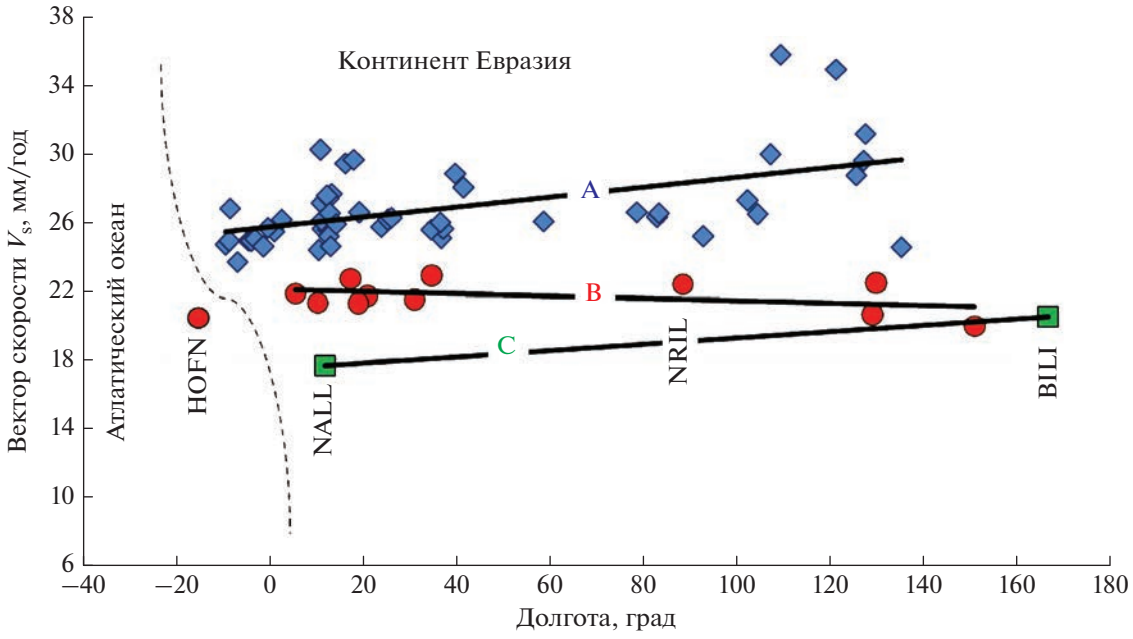

Рис. 3. Графики увеличения с запада на восток скоростей полных горизонтальных смещений GPS-станций в пределах дугообразнвх полос (дуг) **A** и **C** и неизменности скоростей смещений станций в дуге **B** (по данным [SOPAC] за все время GPS-измерений. Местоположение выделенных дугообразных полос **A**, **B** и **C** см. на рис. 1, рис. 2 (графики построены И.С. Крупенниковой).

здается в результате только удлинения cEк в этом же направлении?

В попытке получить ответ на первый из этих вопросов обратимся к той менее освещенной геодезическими измерениями части территории cEк, которая располагается непосредственно севернее дуги **A** (рис. 2).

Севернее этой последней можно выделить (в том числе по аналогии с этой дугой **A**) еще две дугообразных полосы – дугу **B** (о.Исландия–Фенноскандия, GPS-станции **NRIL**–**YAKT**–**MAGO**) и предполагаемую дугу **C** (о.Шпицберген, станция **NALL** на западе и Чукотский полуостров, станция **BILI** на востоке). В пределах этих двух полос векторы скоростей смещений в восточном направлении немногочисленных GPS-станций демонстрируют расположение в плане, аналогичное таковому в предыдущей полосе **A**. Промежутки между перечисленными дугами – это полосы, не затронутые геодезическими измерениями.

Для ответа на второй вопрос необходимо обратиться к доступным материалам по кинематике и геодинамике евразиатской части Атлантического океана.

Необходимо отметить, что подавляющая часть дугообразной полосы **B** располагается в пределах Евразиатского континента. Но небольшой ее участок на западном окончании полосы (включая о.Исландия) относится к Атлантическому океану. Этот участок на рис. 2 обозначен буквой **b**. Континентальную и океаническую части полосы **B** приходится рассматривать раздельно.

Континентальная часть дугообразной полосы (дуги) B

На всем протяжении континентальной части дугообразной полосы **B** почти все GPS-станции, в отличие от станций дуги **A**, характеризуются скоростями горизонтального смещения в восточном направлении, близкими к 22 мм/год [SOPAC]. В результате на всем графике “скорость–долгота”, отвечающем континентальному интервалу дуги, линия аппроксимации, в отличие от такой же линии для дугообразной полосы **A** (рис. 2, рис. 3, дуга **A**), располагается практически горизонтально (рис. 3, **B**).

Это указывает на отсутствие в пределах континентальной части дуги **B** каких-либо направленных изменений скоростей горизонтальных смещений GPS-станций. Приведенные данные означают, что соответствующая часть Евразиатского континента смещается в восточном направлении как практически единое неизменное целое. Но, тем не менее, та часть континента, которая отвечает дуге **A**, смещается иначе.

Дугообразная полоса (дуга) C

Расположенная еще далее на север дуга **C** в значительной степени домысливается по анало-

гии с двумя предыдущими дугами. Она опирается всего на две станции GPS-измерений – на о. Шпицберген (NALL) на западе дуги и на Чукотском полуострове (BILI) на востоке (рис. 2). В первом случае полный вектор горизонтального смещения (~17–18 мм/год) ориентирован в СВ направлении, во втором (~20–21 мм/год) – в ЮВ направлении [SOPAC]. Приведенные цифры позволили показать возможное положение линии апроксимации. Она, при всей ее недостаточной обоснованности, определенно свидетельствует в пользу того, что та часть сЕк, которая соответствует дуге **C**, в отличие от предыдущей дуги **B**, перемещается в восточном направлении с некоторым в этом же направлении увеличением скорости. Об этом свидетельствует наклонность упомянутой линии апроксимации. При этом наклоны таких линий, отвечающих дугам **A** и C, оказываются практически одинаковыми, что означает сходное увеличение скоростей восточных смещений GPS-станций этих двух дуг.

Таким образом, можно говорить о том, что территории, соответствующие, с одной стороны, южной (дуга **A**) и, по-видимому, северной (дуга **C**) частям сЕк, и, с другой стороны, промежуточной между ними части (дуга **B**), смещаются в восточном направлении по-разному. В первом случае с ускорением, во втором – без такового. Для получения более детальной картины необходима значительно более высокая степень GPS-изученности территории рассматриваемой части Евразиатского континента.

ГЕОДИНАМИКА КОРЫ/ЛИТОСФЕРЫ ЕВРАЗИАТСКОЙ ЧАСТИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА

Океаническая часть дугообразной полосы (дуги) B

Как уже отмечалось, в состав Евразиатской литосферной плиты, кроме значительной части континента Евразия, включают прилегающую к нему часть акватории Атлантического океана (рис. 1, рис. 2). Эта его часть ограничена на востоке континентальным склоном Евразиатского континента, а на западе – осевым рифтом Срединно-Атлантического хребта, на юге юге – Азоро-Гибралтарской разломной зоной**.**

Включение прилегающей к континенту части коры/литосферы Атлантики в состав Евразиатской плиты обосновывается в рамках плейттектонической концепции отсутствием сейсмичности на границе между континентальной и океанической частями плиты [Зоненшайн и др., 1979]. Геодезические GPS-измерения на восточной, евразиатской половине о. Исландия (станция HOFN, океаническая подзона **b** дугообразной полосы **B** на рис. 2) показали, что полная горизонтальная скорость СВ смещения названной станции равна 20.4 мм/год [SOPAC] (рис. 3). Эта скорость, по нашему мнению, может быть сопоставлена, соотнесена, наиболее вероятно, со скоростями смещений других станций, входящих в упомянутую дугу **B**. Такое сходство скоростей смещений станции на океанической коре и станций на континентальной коре может быть истолковано как подтверждение принадлежности океанической подзоны **b** и всей остальной континентальной территории дугообразной полосы **B** к одной и той же Евразиатской литосферной плите.

Если предположить, оставаясь в рамках плейттектонической концепции, что сЕк, рассмотренная часть Евразиатского континента, перемещается в восточном направлении как упоминавшаяся “пассивная жесткая пластина”, то к западу от нее должна возникнуть область субгоризонтально ориентированного в направлении ~З–В растяжения какой-то части земной коры/литосферы. Может образоваться ее утонение, разрывы, зияния. В результате в тыльной части перемещающегося на восток континента Евразия может (должна?) возникнуть океаническая впадина.

Изучение океанической части Евразиатской литосферной плиты проще всего начать с рассмотрения некоторых материалов по территории о.Исландия. Данные о современной кинематике коры/литосферы этой части Атлантического океана можно получить на этом острове. Он расположен в пределах Срединно-Атлантического хребта. Осевые части срединно-океанических хребтов, в том числе и на упомянутом острове, рассечены продольной рифтовой долиной. При ее образовании происходит раздвижение бортов рифта и опускание его днища, а также накопление вулканогенного материала основного состава в рифте, на склонах хребта и на смежной территории океанического дна. Не вызывают сомнения явные признаки обстановки субгоризонтального растяжения, характерные для океанических рифтов – сбросы, сдвиги, раздвиги, зияющие трещины, многочисленные дайки основных пород (базальтов). Их морфология указывает на то, что они образовались путем свободного заполнения открывающихся трещин магматическим материалом [Зоненшайн и др., 1979; Трифонов, 1983]. Эти дайки слагают до 5–10–15% объема пород в полосе рифта на упомянутом острове [Ломизе, 1976].

В рамках плейттектонической концепции образование интересующей нас части Атлантического океана связывают обычно с дивергентным раздвижением смежных континентальных Евразиатской и Северо-Американской литосферных плит, с их удалением друг от друга в восточном и западном направлениях соответственно. Результаты геодезических измерений на этих континентах согласуются с таким представлением (см. рис. 1, рис. 2, а также [Heflin et al., 2004; и др.]). По поводу

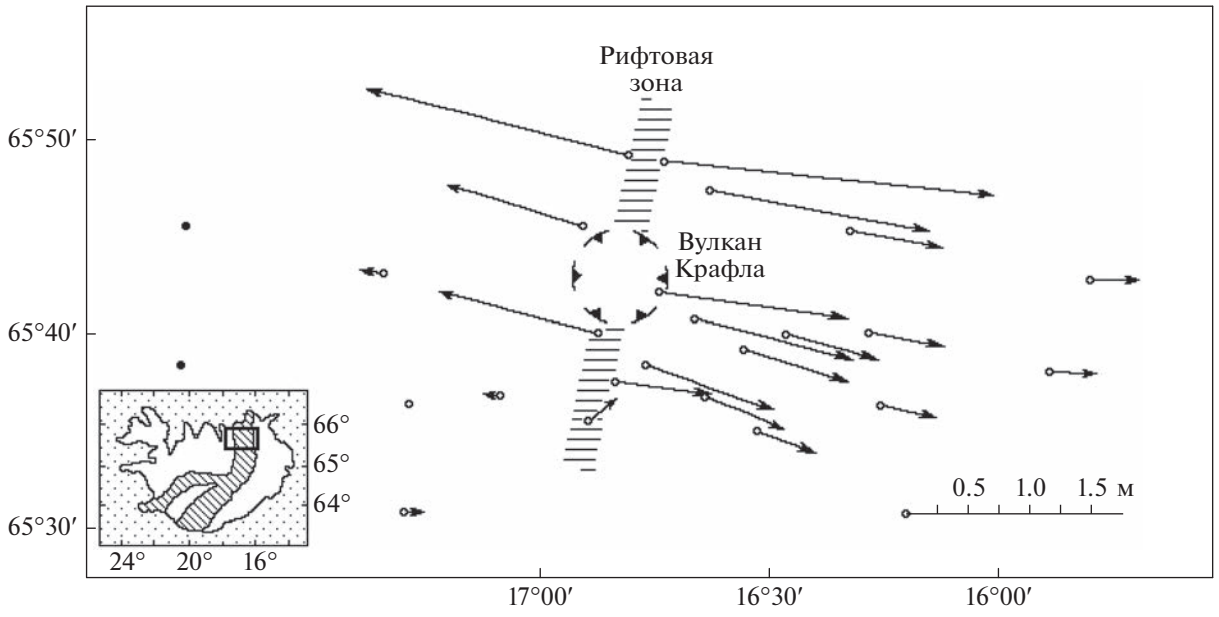

Рис. 4. Результаты геодезических измерений в северной части о.Исландия (по работе [Wendt et al., 1985]) (на врезке к рисунку прямоугольником обозначен район работ; косой штриховкой отмечена рифтовая долина).

механизма такого раздвижения существуют разные точки зрения. Наиболее распространено мнение, что оно происходит в обстановке общего субгоризонтального растяжения – например, под действием расходящихся в разные стороны ветвей восходящего конвективного потока мантийного материала [Добрецов и др., 2001; Дубинин и др., 2001; Зоненшайн и др., 1976; 1979; Сорохтин и др., 1991, Трубицын, 2000; 2018]. Предполагаются также возможность гравитационного соскальзывания литосферных плит с поднятия срединно-океанического хребта, а также латеральные перемещения плит в результате тяги погружающейся в мантию их краевой субдуцирующей части – слэба с его отрицательной плавучестью [Артюшков, 1979; Хаин и др., 2005]. Базальтовая магма при этом только заполняет образующуюся в срединно-океаническом хребте щель [Зоненшайн и др., 1979; Перфильев и др., 1991; Трифонов, 1983]. Другие исследователи приписывают базальтовой магме активную роль в образовании рифта. Предполагается, что магма нагнетается под большим давлением в осевую часть срединно-океанического хребта и расталкивает в стороны смежные плиты [Кропоткин и др., 1987а; Ломизе, 1976; Пущаровский и др., 1995; Трубицын, 2000; 2018; Хаин и др., 2005]. Этот процесс можно назвать магморазрывом – по аналогии с известным процессом гидроразрыва (механизм гидравлического расклинивания в работе [Хаин и др., 2005]). Соответственно можно выделять пассивный и активный механизмы рифтогенеза [Хаин и др., 2005].

Геодезические измерения на территории Исландии определенно подтверждают эту вторую точку зрения. Такие измерения были проведены в северной части о. Исландия [Wendt et al., 1985] (рис. 4).

Показаны смещения геодезических пунктов за период 1977–1980 гг. Залитые кружки – пункты, принятые за неподвижные, опорные; по отношению к ним показаны смещения прочих пунктов (незалитые кружки). Ориентация векторов смещений основана на предположении, что два восточных крайних пункта движутся только в восточном направлении долины в субширотном направлении. Но, кроме этого, было выявлено очень характерное изменение величин, ориентированных в противоположных направлениях смещений западного и восточного бортов рифта. Оказалось, что амплитуды этих смещений очень быстро уменьшаются по мере удаления от рифта.

Представляется вполне очевидным, что в том случае, если одна литосферная плита просто отодвигается от другой (в данном случае, как было отмечено выше, Евразиатская и Северо-Американская плиты движутся в противоположных направлениях) под действием, например, мантийных конвективных потоков, то скорости смещения геодезических пунктов на каждой из этих плит должны были бы быть более-менее одинаковыми на всей территории каждой из плит. Но в рассматриваемом случае эти смещения уменьшаются в 5–10 раз на расстояниях порядка 40–50 км от рифтовой долины Если геодезические пункты, расположенные на западном и восточном бортах

рифта, сместились за время наблюдений (1977–1980 гг.) в противоположных направлениях на 2 и 2.5 м соответственно, то на удалении от осевой его части – только на первые десятки сантиметров.

Но если скорость раздвижения бортов рифтовой долины так быстро уменьшается с удалением от ее оси, причем в обе стороны, то неизбежным представляется вывод о том, что причина такого раздвижения, его движущая сила находится в самом рифте. Это согласуется с представлением об активной роли магматического материала, нагнетаемого в осевую часть рифта и расталкивающего в противоположные стороны борта рифта (рис. 5). Такое расталкивание подразумевает напряженное состояние субгоризонтального сжатия.

Результаты изучения механизмов очагов землетрясений “показывают, что практически вся область Атлантики, кроме узких рифтовых зон и ... троговых долин поперечных (трансформных) разломов, в настоящее время охвачена сжимающими горизонтальными напряжениями” [Разницын, 2004, с. 101]. В Исландии уже на небольшом расстоянии от оси рифта (до 1–2 км) натурные измерения обнаруживают избыточное, т.е. превышающее литостатическую нагрузку горизонтальное сжатие [Кропоткин и др., 1987а; Милановский и др., 1979; Пущаровский и др., 1995; Разницын, 2004]. Такая ситуация характерна и для других срединно-океанических хребтов [Кропоткин и др., 1987].

Напряжения субгоризонтального сжатия обычно реализуются образованием надвиговых и некоторых других, сопряженных с ними, дислокаций. И действительно, “... сейсмический имидж океанической коры Атлантики определяется прежде всего наличием в ней большого количества наклонных отражающих горизонтов, интерпретируемых в качестве разломов. В обстановке горизонтального сжатия наличие наклонных разломов в коре неизбежно приводит к возникновению надвигов или поддвигов ... .” [Разницын, 2004, с. 101]

Материалы по морфологии тектонических дислокаций в коре Атлантического океана согласуются с этими данными. На профиле через осевую часть Срединно-Атлантического хребта в Центральной Атлантике (рис. 6) можно видеть западнее и восточнее рифтовой долины, где обстановка растяжения сомнения не вызывает, серию разрывных нарушений, полого наклоненных соответственно в сторону долины. По этим разломам происходит перекрытие мантийными ультрамафитами “слоев” габбро и базальтов, которые изначально располагались “стратиграфически” выше ультрамафитов. Нам представляется, что перемещения по этим разломам могут быть интерпретированы, во-первых, как дивергентно ориентированные осебежные надвиговые, либо, во-вторых, как конвергентные осестремительные поддвиговые. Последнее, судя по общей картине на профиле, кажется нам более вероятным.

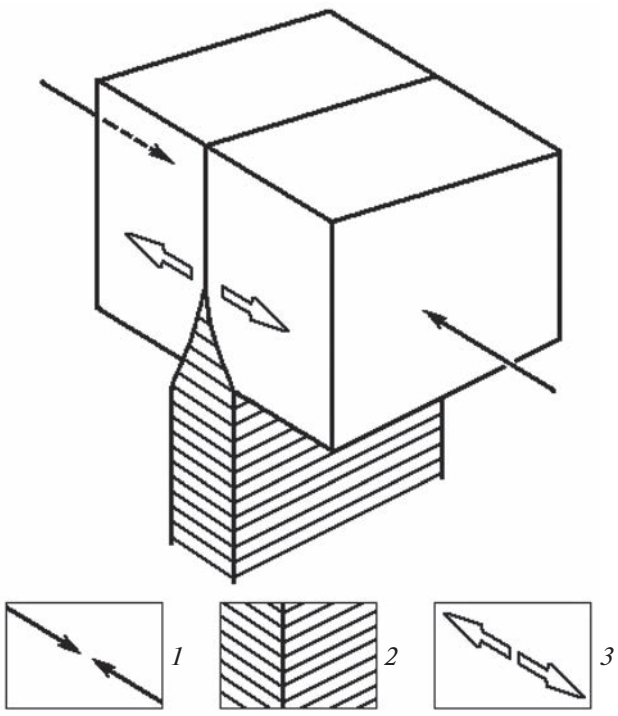

Рис. 5. Магматический клин под рифтовой долиной (по Э. Андерсону и М. Хаберту из работы [Хаин и др., 2005]): *1* – минимальное сжимающее напряжение; *2* – базальтовый расплав; *3* – раздвиг (и спрединг) как следствие расклинивающего воздействия внедряющегося расплава.

Дело в том, что предположение о связи этих “дивергентных надвигов” с предполагаемыми расходящимися на восток и на запад ветвями восходящего по оси хребта мантийного потока (рис. 6) представляется крайне спорным. Эти расходящиеся ветви не могут дивергентно смещать висячие крылья надвигов, не затрагивая их лежачих крыльев. Эти последние должны были бы в такой ситуации смещаться в тех же дивергентных, расходящихся направлениях, что и сами “надвиги”, в первую очередь. Поэтому единственная, как нам кажется, возможность получить в рассматриваемом случае изображенную на профиле картину – допустить встречные, поддвиговые смещения упомянутых лежачих крыльев пологих разломов.

Для объяснения происхождения этого встречного, в сторону оси Срединно-Атлантического хребта, а не обычного, от него движения, приходится допустить объемное расширение, распор слоистых толщ пород океанической коры/литосферы, аналогичное таковому, выявленному для Евразиатского континента (см. выше и в статье [Шевченко и др., 2021]). Предполагается, что расширяются части океанической коры/литосферы,

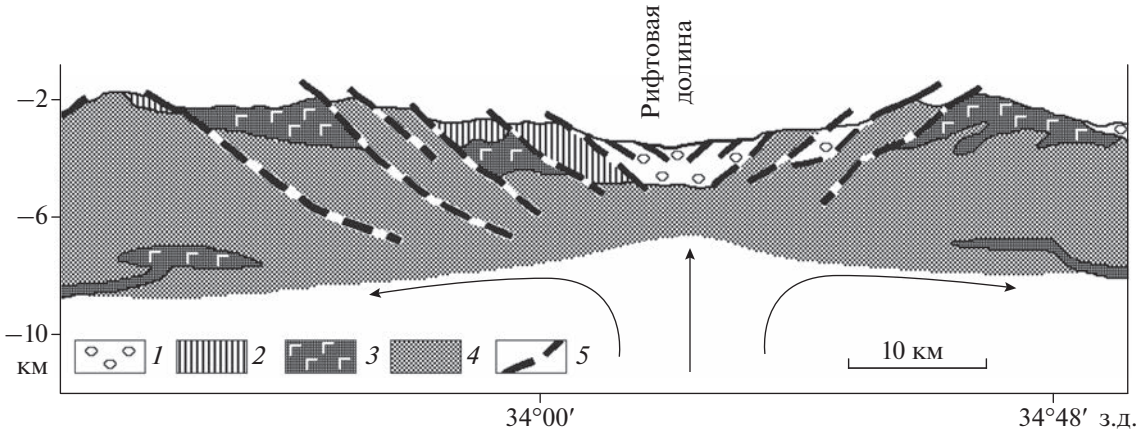

Рис. 6. Схема геологического строения океанической коры осевой части Срединно-Атлантического хребта на профиле, пересекающем рифтовую долину на широте 7° с.ш. [Савельева, 2004]: *1* – базальты; *2* – дайки долеритов; *3* – габбро; *4* – реститовые мантийные ультрамафиты; *5* – разломы (надвиги или поддвиги – авторы); стрелками показано направление движения мантийного материала.

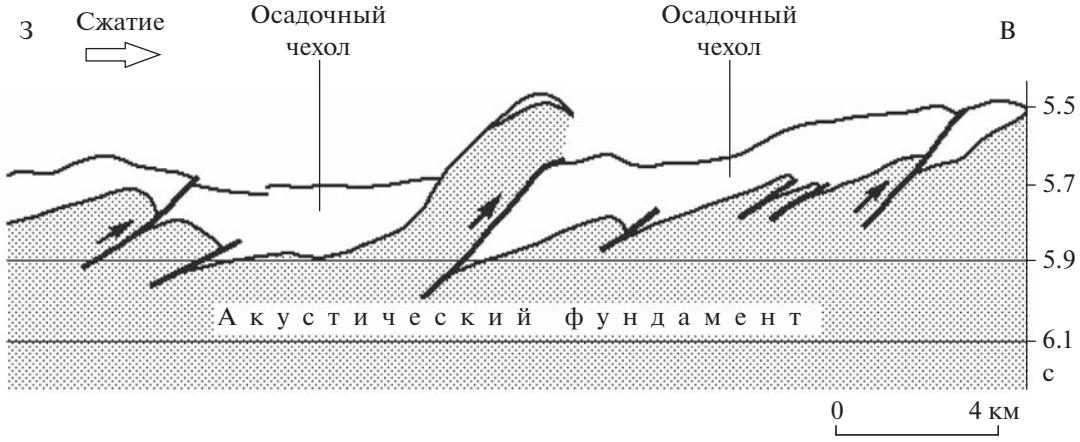

Рис. 7. Строение океанической коры по профилю НСП на западном фланге Срединно-Атлантического хребта. Стрелками показаны направления смещений взбросо-надвиговых блоков [Пилипенко, 1993].

располагающиеся между Евразиатским континентом и Срединно-Атлантическим хребтом.

Симметричность (относительно оси хребта) его тектонической структуры (см. рис. 6) позволяет распространить это предположение о расширении, распоре пород на кору/литосферу океана между Северо-Американским континентом и Срединно-Атлантическим хребтом. В этом случае на обстановку сжатия, связанного с расширением, распором слоистых пород в верхней части коры указывает, по-видимому, морфология выявленных здесь чешуйчато-надвиговых дислокаций [Пилипенко, 1993], (рис. 7).

Они очень сходны с дислокациями, например, зоны Северного склона Большого Кавказа и восточного Предкавказья, сформировавшимися в результате увеличения объема (и площади) слоистых пород [Шевченко и др., 2017]. Это позволяет предположить действие аналогичного механизма и в рассматриваемом случае.

И надвиговая, и поддвиговая интерпретации приведенных профилей согласуются с упомянутыми данными о напряженном состоянии субгоризонтального, вкрест простирания хребта сжатия земной коры Атлантики и, в том числе, бóльшей части Срединно-Атлантического хребта. В то же время результаты упомянутых геодезических измерений на территориях смежных континентов Евразии и Северной Америки свидетельствуют, как уже упоминалось, о реальном расширении впадины Атлантического океана [Heflin et al., 2004; и др.].

Такое сочетание данных об обстановке сжатия, о надвиго- и/или поддвигообразовании в рассматриваемой части земной коры Атлантики, но при реальном увеличении ее ширины, застав-

ляет вновь (см. выше) обратиться к представлению об увеличении объема, (и площади) слоистых пород в результате предполагаемого привноса в них восходящими потоками глубинных флюидов дополнительного, аллохтонного минерального материала и его последующей кристаллизации. Упоминавшиеся напряжения сжатия в этой ситуации приходится рассматривать как результат этого увеличения, как результат объемного распора пород.

Возникает вопрос о сопоставимости результатов изучения тектонических движений геологическими и геодезическими методами. Первые фиксируют результаты процессов, длившихся тысячи–миллионы лет. Практический опыт позволяет дать положительный ответ на этот вопрос.

Так, например, на Большом Кавказе геологическими методами очень давно выявлено направленное с севера на юг перемещение материала слоистых горных пород (так называемая южная вергентность тектонических структур этого сооружения). Это типично для временно*о*го интервала от нескольких десятков до одной-двух сотен миллионов лет жизни Большого Кавказа. И точно такая же направленность современных перемещений установлена для этого сооружения по геодезическим измерениям.

Сходная картина выявлена для Атлантического океана. Современное расширение океана четко установлено геодезическими измерениями. А расширение, происходившее в предыдущие приблизительно 150 млн лет, – в результате анализа распределения датированных полосовых магнитных аномалий дна океана.

Таким образом, преимущественно устанавливается высокая степень унаследованности современных движений или обстановок от таковых, существовавших в предыдущее геологическое время. Геологические перестройки структурных планов, бесспорно, случаются, но они оставляют те или иные следы. На рассмотренной территории Евразии такие следы не обнаружены для рассмотренных интервалов времени.

На фоне этой картины, на фоне перечисленных характеристик Атлантического океана осевой рифт Срединно-Атлантического хребта с его явными признаками обстановки растяжения выглядит как структурное образование чуждое, вполне обособленное, самостоятельное, связанное с отдельным тектоническим процессом. Можно предположить, что образование рифтовой структуры связано, как уже упоминалось, с магматическим расклиниванием, т.е. с активным воздействием на земную кору/литосферу внедряющихся в нее субвертикальных “пластичных клиньев” магматических дайкообразных тел. Напряжения растяжения возникают, по-видимому, только непосредственно над теми узкими каналами, над теми расположенными на глубине разломными зонами, над щелями, по которым нагнетается магматический материал. При этом в верхней части коры/литосферы, над фронтальными частями этих магматических тел возникают трещины реального растяжения Они представляют собой реакцию этой верхней части коры/литосферы на происходящее на более глубоких уровнях внедрение магматических тел и раздвижение, расталкивание ограничивающих эти тела блоков, расталкивание бортов каналов (см. рис. 5).

Соответственно землетрясения с механизмами растяжения в осевой части срединно-океанического хребта происходят преимущественно на глубинах 2–3, максимум 5–10 км [Дубинин и др., 2001]. Таким способом пассивная, в данном случае, верхняя часть коры/литосферы приспосабливается к увеличению ее площади на более глубоком уровне. Это увеличение, повторим еще раз, происходит в данном случае в результате внедрения клиньев магматического материала. При этом на глубине возникает обстановка субгоризонтального распора. Затем раскрывшиеся на более высоком уровне трещины могут либо остаться зияющими, либо заполняются продолжающим подниматься магматическим материалом.

Сформировавшееся в осевой части Срединно-Атлантического хребта дайкообразное магматическое тело может быть затем рассечено новой субвертикальной трещиной, по которой внедрится клин магматических пород последующей генерации. Процесс может повторяться многократно. Этот процесс происходит, по-видимому, при более-менее определенных *p*-*t*-условиях, на некоторой более-менее определенной глубине. В результате многократного латерального наслаивания субвертикальных параллельных даек или дайкообразных тел долеритов в составе средней части базальтового слоя земной коры океана образуется, по-видимому, таким способом “комплекс параллельных даек долеритов” [Хаин и др., 2005]. В конечном результате возникают полосовые магнитные аномалии, маркирующие последовательное, в обстановке субгоризонтального сжатия (распора), увеличение ширины океанического бассейна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В разделе, посвященном кинематике земной коры/литосферы северной части Евразиатского континента (сЕк), мы на основе результатов геодезических измерений пришли к выводу о существовании двух типов наблюдаемых на дневной поверхности горизонтальных смещений частей рассмотренной территории континента. Дневная поверхность одной из этих частей (дуга **B**) смещается в восточном направлении с практически одинаковой на всем протяжении дуги скоростью,

другие дуги (дуга **A** и, вероятно, дуга **C**) – смещаются со скоростями, устойчиво возрастающими в том же восточном направлении. Такое увеличение скоростей однозначно свидетельствует о современном удлинении дуг **A** и **C,** т.е. о современном удлинении соответствующих частей территории Евразиатского континента.

Совместный анализ геодезических, сейсмических и некоторых тектонофизических данных привел нас к выводу, что для объяснения этих явлений необходимо предположить увеличение объема и площади слоистых пород этих частей территории континента (см. также [Шевченко и др., 2021]). И предположить соответствующий привнос в них дополнительного минерального материала. Это явление характерно для территрии дуг **A** и **C**.

В разделе, рассматривающем океаническую (Атлантического океана) часть Евразиатской литосферной плиты (сЕп), приведены материалы геодезических и сейсмологических исследований, которые показали, что выявленное прямыми измерениями расширение (спрединг) земной коры/литосферы Атлантического океана происходит, по-видимому, в результате внедрения магматических клиньев на границе смежных литосферных плит, в осевой, рифтовой зоне Срединно-Атлантического хребта. Клинья наращивают западную боковую, торцевую сторону океанической части коры/литосферы сЕп и в результате отодвигают, оттесняют, отжимают Евразиатскую плиту в восточном направлении. Этот механизм, тем самым, объясняет, с одной стороны, расширение, спрединг коры/литосферы Атлантического океана (т.е. сЕп), а с другой – объясняет сопряженное с расширением акватории движение континентальной части сЕп в восточном направлении. Это расширение акватории и перемещение континента – части единого процесса.

Судя по имеющимся данным о возрасте полосовых магнитных аномалий Атлантического океана [Зоненшайн и др., 1979; Хаин и др., 2005], в интересующей нас области океана эти аномалии формируются в течение мелового–кайнозойского времени. Следовательно, в этот интервал геологической истории происходит расширение океана и, тем самым, соответствующее наращивание западной окраины Евразиатской литосферной плиты и ее перемещение в восточном направлении.

Поскольку горизонтальное давление, возникающее при внедрении магматических клиньев в осевой полосе Срединно-Атлантического хребта, приложено к западному краю сЕп, последняя перемещается латерально в восточном направлении как единое целое, все части которого характеризуются одинаковыми величинами векторов скоростей движения. Именно такую одинаковость и согласованность векторов скоростей на всем протяжении дуги **B** демонстрируют рис. 2 и соответствующий график на рис. 3.

Строение Срединно-Атлантического хребта на всем его протяжении с севера на юг по существу сходно с таковым на о.Исландия. Повсеместно внедряются магматические клинья, формируются полосовые магнитные аномалии. Следовательно, можно предполагать, что латеральное смещение в восточном направлении (с неизменяющейся в этом направлении скоростью) должно быть свойственно не только территории дуги **B**, но и всей Евразиатской литосферной плите (что ясно следует из рис. 1 и рис. 2) и, в том числе, дугам **A** и **C**.

Однако территории этих двух дуг действительно явно смещаются в восточном направлении, но в отличие от дуги **B** смещаются с устойчивым увеличением скорости в том же восточном направлении. Мы полагаем, что в этих случаях к упомянутому общему восточному смещению рассматриваемой северной части Евразиатской плиты добавляется удлинение части территории континента (и, по-видимому, дна акватории океана) на которой располагаются эти дуги **A** и **C** и, соответственно, происходит увеличение общей скорости смещения этих двух дуг.

Это с ускорением смещение предложено объяснить дополнительным к общему восточному смещению сЕп процессом – увеличением объема (и площади) слоистых пород на территорий дуг **A** и **C** в результате привноса в них глубинными флюидами дополнительного, аллохтонного минерального материала и его последующей кристаллизацией. Предполагается, таким образом, распространить действие механизма объемного распора, ранее примененного для объяснения процесса формирования тектонической структуры подвижных поясов и подвижных сооружений, на литосферные плиты, на платформенные территории.

Кроме того, необходимо отметить, что скорости восточного смещения вдоль трех перечисленных дуг изменяются также от дуги к дуге. Они последовательно уменьшаются с юга на север, от дуги **A** к дуге **B** и затем к дуге **C** (рис. 2, рис. 3).

Применительно к океану принято увеличение его ширины называть спредингом. Спрединг считается отличительной особенностью океанов, в том числе и Атлантического. Однако, судя по приведенным результатам геодезических измерений (рис. 2, рис. 3), линейные размеры северной части континентальной Евразии также увеличиваются (дуги **A** и **C**) сходным образом. Это расширение океана и это удлинение дуг в пределах континента – структурно и генетически (вследствие увеличения площади толщ слоистых пород коры/литосферы в результате привноса аллохтон-

ного минерального материала) – однотипные процессы. Поэтому есть основания говорить о спрединге не только впадины океана, но и названных частей Евразиатского кратона. Расширение океанической части плиты, происходящее вследствие внедрения магматических клиньев, предложено называть **наращиванием плиты** [Зоненшайн и др., 1979]) (или торцевым наращиванием плиты – *авторы*). Увеличение длины (и площади) частей Евразиатской плиты, происходящее (главным образом ??) в ее континентальной части в результате объемного расширения, объемного распора пород вследствие включения в их состав дополнительного аллохтонного минерального материала можно назвать **разрастанием (объемным разрастанием)** частей плиты. Возможно, что механизм разрастания действует как дополнительный и в пределах коры/литосферы океана.

Таким образом, мы приходим к выводу, что восточное смещение в северной части Евразиатской литосферной плиты имеет достаточно сложную внутреннюю структуру. Оно определяется и в случае торцевого **наращивания** плиты, и в случае **разрастания** ее частей привнесением дополнительного аллохтонного минерального материала – поступившего, во-первых, на границе смежных плит путем внедрения магматических клиньев, а также, во-вторых, поступлением в состав слоистых пород самой плиты в составе восходящего потока глубинного флюидного раствора и послеющей кристаллизации растворенного вещества.

Нам неизвестны какие-либо особенности тектонической структуры рассмотренной территории, ее GPS-кинематики или геодинамики, которые указывали бы в нашем случае на иные причины тектонических процессов, например, на роль мантийной конвекции. Убедительное, на наш взгляд, возражение против самого существования такой конвекции (в принятом в литературе виде) привел П.Н. Кропоткин [1987б].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Артюшков Е.В. Геодинамика. Наука. 1979. 327 с.

Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А. Глубинная геодинамика. Тр. Объединенного ин-та геологии, геофизики и минералогии СО РАН. Вып. 850. Новосибирск: изд-во СО РАН, филиал "ГЕО". 2001. 409 с.

Дубинин Е.П., Ушаков С.А. Океанический рифтогенез. М.: ГЕОС. 2001. 293 с.

Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Моралев В.М. Глобальная тектоника, магматизм и металлогения. М.: Недра. 1976. 231 с.

Зоненшайн Л.П., Савостин Л.А. Введение в геодинамику. М.: Недра. 1979. 311 с.

Кропоткин П.Н. Тектонические напряжения в земной коре по данным непосредственных измерений. Напряженное состояние земной коры. М.: Наука. 1973. С. 21–31.

Кропоткин П.Н. Теория тектоники литосферных плит и геодезические измерения // Природа. 1992. № 7. С. 42–43.

Кропоткин П.Н., Макеев В.М. Современное напряженное состояние земной коры. Современная тектоническая активность Земли и сейсмичность. М.: Наука. 1987а. С. 192–206.

Кропоткин П.Н., Ефремов В.Н., Макеев В.М. Напряженное состояние земной коры и геодинамика // Геотектоника. 1987б. № 1. С. 3–24.

Кропоткин П.Н., Ефремов В.Н. Новые доказательства теории тектоники плит // Геотектоника. 1994. № 1. С. 16–24.

Ломизе М.Г. Базальтовые дайки и разрастание земной коры в Восточной Исландии // Геотектоника. 1976. № 2. С. 57–72.

Милановский Е.Е., Трифонов В.Г., Горячев А.В., Ломизе М.Г. Исландия и срединно-океанический хребет. Геоморфология. Тектоника. М.: Наука. 1979. 206 с.

Перфильев А.С., Ахметьев М.А., Гептнер А.Р., Дмитриев Ю.И., Золотарев Б.П., Самыгин С.Г. Миоценовые базальты Исландии и проблемы спрединга. Тр. Геол. ин-та АН СССР. М.: Наука. 1991. Вып. 461. 208 с.

Пилипенко А.И. Тектонические деформации Бразильской котловины // Докл. РАН. 1993. Т. 330. № 4. С. 484–487.

Пущаровский Ю.М., Пейве А.А., Разницын Ю.Н., Базилевская Е.С. Разломные зоны Центральной Атлантики. Тр. Геол. ин-та РАН. 1995. Вып. 495. 164 с.

Разницин Ю.Н. Тектоническая расслоенность литосферы молодых океанов и палеобассейнов. Тр. Геол. ин-та РАН. М.: Наука. 2004. Вып. 560. 270 с.

Савельева Г.Н. Строение области перехода мантия-кора в современных и древних центрах спрединга (Центральная Атлантика и Полярный Урал) // Геотектоника. 2004. № 4. С. 3–19.

Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. Глобальная эволюция Земли. М.: изд-во Моск. ун-та. 1991. 446 с.

Трифонов В.Г. Позднечетвертичный тектогенез. Тр. Геол. ин-та АН СССР. М.: Наука. 1983. Вып. 361. 224 с.

Трубицын В.П. Основы тектоники плавающих континентов // Физика Земли. 2000. № 9. С. 3–40.

Трубицын В.П. Уникальная тектоника Земли // Земля и Вселенная. 2001. № 5. С. 18–28.

Хаин В.Е. Тектоника континентов и океанов (год 2000). М.: Научный мир. 2001. 606 с.

Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. М.: изд-во Моск. ун-та. 2005. 560 с.

Шевченко В.И. Происхождение структур горизонтального сжатия в складчатом сооружении. М.: Наука. 1984. 160 с.

Шевченко В.И., Лукк А.А., Гусева Т.В. Автономная и плейттектоническая геодинамики некоторых подвижных поясов и сооружений. М.: ГЕОС. 2017. 612 с.

Шевченко В.И., Гусева Т.В., Добровольский И.П., Крупенникова И.С., Лукк А.А. Автономная (неплейттектоническая) геодинамика Пмренеев // Гнофизические процессы и биосфера. 2018. Т. 17. № 1. С. 77–108.

Шевченко В.И, Крупеникова И.С., Лукк А.А. 2021. GPS-кинематика северной части Евразиатского континента и ее возможная геодинамическая интерпретация // Физика Земли. 2021. № 6. С. 10–19.

Heflin M. Moore A., Murphy D., Desai S., Bertiger W., Haines B., Kuang D., Sibthorpe A., Sibois A., Ries P., Hemberger D., Dietrich A. GPS Time Series. 2004. URL: http:sideshow.jpl. nasa.gov/mbh/series.html

SOPAC. URL: http://sopac-csrc.ucsd.edu

Wendt K., Moller D., Ritter B. 1985. Geodetic measurements of surface deformations during the present rifting episode in NE Iceland // J. Geoph. Res. 1985. V. 90. № B12. P. 10163–10172.

Spreading in the Northern Part of the Eurasian Lithospheric Plate from GPS Measurements and Its Possible Geodynamic Interpretation

V. I. Shevchenko[a] and A. A. Lukk[a, *]

[a]*Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, 123242 Russia*

**e-mail: lukk@ifz.ru*

Over the whole area of the Eurasian lithospheric plate considered in the paper —rom the Atlantic to the Pacific Ocean—the velocity vectors of the horizontal eastward displacements of GPS sites form a gentle, smooth, huge arc, convex towards the north. Three relatively narrow bow-shaped bands can be distinguished within the arc. The southernmost band, most provided with measurement data (bow-shaped band **A** in this paper) is discussed in detail in (Shevchenko et al., 2021). The direct, real results of the published geodetic measurements have shown that the length of this band increases by 5 to 10 mm annually. The arc is lengthening. In the cited paper, we considered and rejected five interpretations of this lengthening, which are based on the idea of external action of the above bow-shaped band on the rocks of the Earth's crust/lithosphere. The most probable cause of the elongation seems to be the internal process of the increase in the volume of these rocks within the band due to the supply of the additional mineral material into these rocks by the deep fluids and its subsequent crystallization. In this paper, we present the results of similar geodetic measurements in other two bow-shaped bands, **B** and **C**. It turns out that bow-shaped band **C** located to the north of the other bands, is lengthening (and at a similar rate) as band **A** located to the south of the other bands. At the same time, bow-shaped band B, which has an intermediate position between bands **A** and **C**, is moving eastward without lengthening. Geodetic measurements in the axial part of the Mid-Atlantic Ridge in the Iceland island suggest that the general expansion of the Atlantic Ocean and the corresponding eastward motion of the Eurasian lithospheric plate are related to the injection of plastic magmatic wedges (of basic composition) in the axial, rift zone of the ridge. Against the background of this general eastward motiont of the lithospheric plate, its constituent parts (the bow-shaped bands **A** and **C are markers of these parts**) are moving in the same eastward direction with a velocity increasing from west to east. We attribute this increase in the velocity and the corresponding lengthening of the two bands to the above inflow of the additional mineral material and its subsequent crystallization.

Keywords: bow-shaped band, deep fluids, geodetic measurements, lengthening of the bands