

УДК 551.24

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ПРЕКРАЩЕНИЯ КАЙНОЗОЙСКИХ СДВИГОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В ХАТАНГА-ЛОМОНОСОВСКОЙ РАЗЛОМНОЙ ЗОНЕ (АРКТИКА)

© 2020 г. Академик РАН Л. И. Лобковский^{1,2,*}, М. В. Кононов¹, Э. В. Шипилов³

Поступило 17.02.2020 г.

После доработки 27.02.2020 г.

Принято к публикации 28.02.2020 г.

В контексте модели верхнемантийной циркуляции под континентом, сопряженной с субдукцией океанической литосферы, показана прямая связь между кинематикой движения литосферных плит в северо-западной части Тихого океана и геодинамической эволюцией Арктики и Северо-Восточной Азии в верхнем мелу и кайнозое. Как следствие, дается простое геодинамическое объяснение возникновения и последующего прекращения кайнозойских сдвиговых деформаций в Хатанга-Ломоносовской разломной зоне, что является важным аргументом в пользу представления о подводном поднятии Ломоносова как естественном продолжении Евразийской окраины в область Арктического (Амеразийского) бассейна.

Ключевые слова: Арктика, Северо-восточная Азия, Тихоокеанская литосфера, субдукция, верхнемантийная циркуляция, поднятие Ломоносова, Хатанга-Ломоносовская зона сдвига, Гавайско-Императорский хребет

DOI: 10.31857/S2686739720050102

В последние годы заметно актуализировалась проблема происхождения и эволюции основных тектонических структур Арктического региона. Во многом это связано с геополитическим процессом установления внешних границ континентального шельфа (ВГКШ) в Северном Ледовитом океане (СЛО) для приарктических государств. Россия принимает самое активное участие в этом процессе, продвигая свою заявку по ВГКШ в СЛО в Комиссию ООН по границам шельфа [1]. В процессе обсуждения российской заявки возник вопрос о геологической принадлежности хребта (поднятия) Ломоносова к Евразийской континентальной окраине. Вопрос этот возник в связи с наличием Хатанга-Ломоносовской сдвиговой разломной зоны, вдоль которой хребет Ломоносова должен был смещаться относительно Евразийской окраины в районе Лаптевоморского шельфа в процессе раскрытия (спрединга) Евразийского бассейна и отрыва хребта Ломоно-

сова от Баренцево-Карской континентальной окраины [2] (рис. 1).

В случае, если смещение хребта Ломоносова относительно Евразийской окраины продолжалось бы в современную эпоху вдоль Хатанга-Ломоносовской трансформной зоны, то это обстоятельство, очевидно, служило бы аргументом против утверждения о естественном непрерывном продолжении этой окраины по хребту Ломоносова в СЛО. Если же указанное относительное смещение происходило достаточно давно (скажем, более 40 млн лет тому назад) и в современную эпоху оно отсутствует, тогда есть все основания считать хребет Ломоносова естественной подводной частью Евразийской континентальной окраины, принявшей современный облик в процессе геологической эволюции. Таким образом, ключевое значение приобретает вопрос о времени возникновения, развития и прекращения сдвиговых деформаций в пределах Хатанга-Ломоносовской разломной зоны.

Следует подчеркнуть, что само возникновение Хатанга-Ломоносовской сдвиговой зоны большинство исследователей совершенно естественно связывает с зарождением и развитием спрединга в Евразийском бассейне, который, судя по наличию магнитной аномалии С25 в центральной части бассейна, начался здесь около 56.5 млн лет назад [3]. На начальном этапе раскрытия бассей-

¹ Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, Москва, Россия

² Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Россия

³ Полярный геофизический институт Кольский Научный Центр Российской академии наук, Мурманск, Россия

*E-mail: llobkovsky@ocean.ru

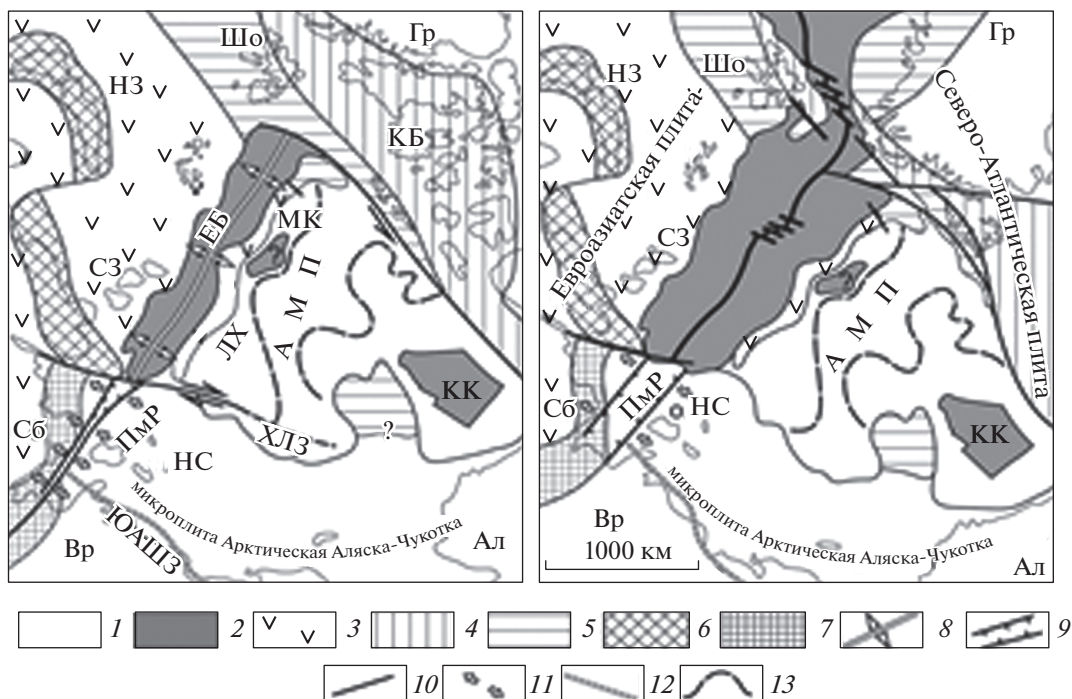


Рис. 1. Схема геодинамики Евразийского бассейна на начальном (около 50 млн лет назад, слева) и современном (справа) этапах. Ал – Аляска, АМП – Поднятие Альфа-Менделеева, Вр – Верхоянский складчатый пояс, Гр – Гренландия, ЕБ – Евразийский бассейн, КК – Канадская котловина, ЛМР – Лаптевоморская рифтовая система, ЛХ – хребет Ломоносова, МК – котловина Макарова, НЗ – Новая Земля, о. КЕЛ – о-ва Королевы Елизаветы, о. НС – о-ва Новосибирские, Сб – Сибирь, СЗ – арх. Северная Земля, ХЛЗ – Хатангско-Ломоносовская зона разломов, Шп – Шпицберген, ЮАШЗ – Южно-Ануйская шовная зона. 1 – области с континентальной корой; 2 – области с океанической корой; 3 – Евро-Азиатская часть Лавразии, складчатые пояса: – палеозойские: 4 – Элсмирской орогении, 5 – каледонской орогении; – мезозойские: 6 – Новоземельско-Таймырский, 7 – Верхоянско-Оленекский; 8 – спрединговые хребты; 9 – Лаптевоморская рифтовая система; 10 – главные разломные зоны; 11 – растяжение рифтов; 12 – Южно-Ануйская шовная зона; 13 – контуры поднятия Альфа-Менделеева.

на в раннем и среднем эоцене $\approx 53-46$ млн лет назад скорость спрединга была заметной и составляла примерно 2.56 см/год [3]. Около 46 млн лет назад скорость спрединга резко упала более, чем в полтора раза, – до 1.66 см/год. В дальнейшем скорость в олигоцене-начале миоцена достигла минимальных значений 0.8–0.9 см/год, т.е. спрединг перешел в ультрамедленную фазу. Исходя из концепции тектоники деформируемых литосферных плит [4] можно предположить, что переход в режим ультрамедленного спрединга в Евразийском бассейне соответствует геодинамической обстановке, характеризующейся развитием рассеянных внутриплитных деформаций в обширной области литосферы, включающей Арктику и Северо-Восточную Азию при отсутствии локализованного правостороннего сдвига в Хатанга-Ломоносовской разломной зоне.

Для объяснения особенностей строения, происхождения и эволюции основных тектонических элементов Арктического региона была разработана базовая геодинамическая модель эволюции литосферы Арктики [5–7] (рис. 2). В основе этой модели лежит представление о развитии под лито-

сферой Арктики и Северо-Восточной Азии верхнемантийной конвекции, сопряженной с субдукцией Тихоокеанской литосферы. Ее геометрию определяет горизонтально вытянутая конвективная ячейка, нижнюю ветвь которой представляет поток вещества, текущий вдоль подошвы верхней мантии в сторону континента от зоны субдукции, а верхнюю ветвь представляет подлитосферный возвратный поток, текущий, наоборот, к зоне субдукции и волокущий Арктическую и Евразийскую континентальную литосферу в сторону Тихого океана [5–7]. Из модели следует, что интенсивность волочения континентальной литосферы Арктики в сторону Тихого океана и соответственно степень ее растяжения и (или) спрединга пропорциональна скорости субдукции литосферных плит Тихого океана в различные периоды времени. В частности, изменение скорости раскрытия Евразийского бассейна с точки зрения рассматриваемой модели зависит от вариаций скорости ортогональной субдукции плит Тихого океана под литосферу Арктики в кайнозой.

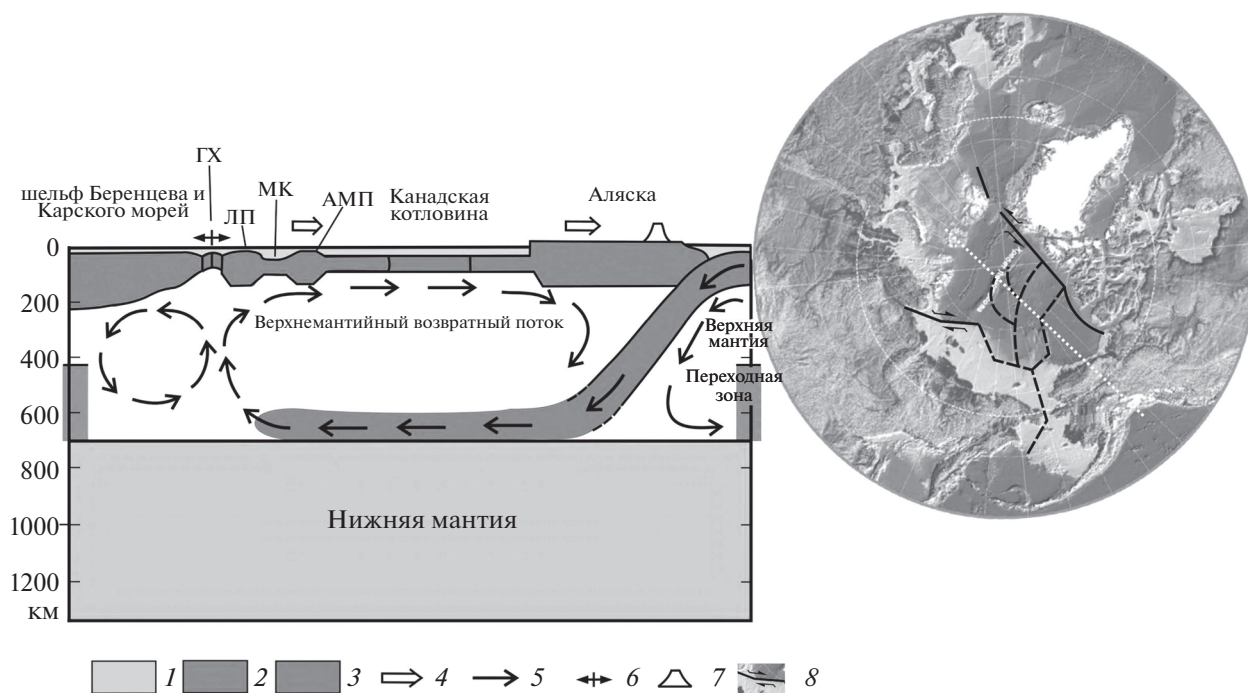


Рис. 2. Разрез глубинной геодинамической модели верхнемантийной конвективной ячейки, сопряженной с Тихоокеанской зоной субдукции, объясняющей раскрытие Евразийского бассейна, адаптированный для палеогеодинамической реконструкции Арктического региона на 57 млн лет (слева) и схема положения сдвиговых зон при движении Амеразийской микроплиты (справа). Белый точечный пунктир – линия модельного глубинного геодинамического разреза. 1 – осадочный чехол и водный слой, 2 – континентальная литосфера, 3 – океаническая литосфера, 4 – направление движения Амеразийской микроплиты, 5 – векторы перемещения верхнемантийных потоков, 6 – осевая зона спрединга Евразийского бассейна, 7 – островодужный вулканизм, 8 – сдвиги по краям Амеразийской микроплиты. ГХ – хребет Гаккеля, ЛП – поднятие Ломоносова, МК – котловина Макарова, АМП – поднятие Альфа-Менделеева.

В свою очередь скорость и направление субдукции литосферы Тихого океана под континентальные окраины Арктики и Северо-Восточной Азии непосредственно связаны с кинематикой литосферных плит Северо-Западной части Тихого океана в мелу и кайнозое, которая определяется на основе анализа линейных магнитных аномалий и внутриплитного магматизма различного возраста. Известным примером такого анализа в рамках классической концепции горячих точек является определение кинематической эволюции плит Тихого океана на основе изучения возрастов надводных и подводных вулканов, составляющих Гавайско-Императорский хребет (ГИХ) [8]. Согласно общепринятой точке зрения, видимый изгиб в середине цепи, отделяющий юго-восточную Гавайскую часть цепи от северных Императорских подводных гор, интерпретируется как результат изменения движения Тихоокеанской плиты относительно неподвижной Гавайской горячей точки. Радиологические исследования изгиба ГИХ показали, что Тихоокеанская плита изменила свое движение примерно 47.5 млн лет назад [9]. Возраст изгиба (47.5 млн лет) соответствует времени резкого замедления скорости спрединга

в Евразийском бассейне примерно 46 млн лет назад (рис. 3).

На рис. 4 показаны геодинамические обстановки взаимодействия литосферных плит Тихого океана с литосферой Арктики и Северо-Восточной Азии, основанные на плито-тектонических реконструкциях [11], представленных для возрастов 57 и 44 млн лет назад и изображенных на фоне современных контуров материков на глобусе. На левом фрагменте показано положение палеозон субдукции на время 57 млн лет и начало спрединга в Евразийском бассейне. Штриховкой нанесена область распространения в плане верхнемантийной ячейки, которая охватывает значительную площадь от зон субдукции плит Тихого океана до хребта Гаккеля и рифтовой зоны озера Байкал. На реконструкции 57 млн лет (рис. 4, слева) видно, что под Арктику погружается, в основном, очень быстрая плита Кула (12 см/год). При этом векторы плиты направлены ортогонально к зоне субдукции. Отсюда следует, что в соответствии с базовой геодинамической моделью, под арктической литосферой должна развиваться верхнемантийная конвективная ячейка, интенсивность которой отвечает повышенной скорости движения плиты Кула, примерно вдвое превышающей ана-

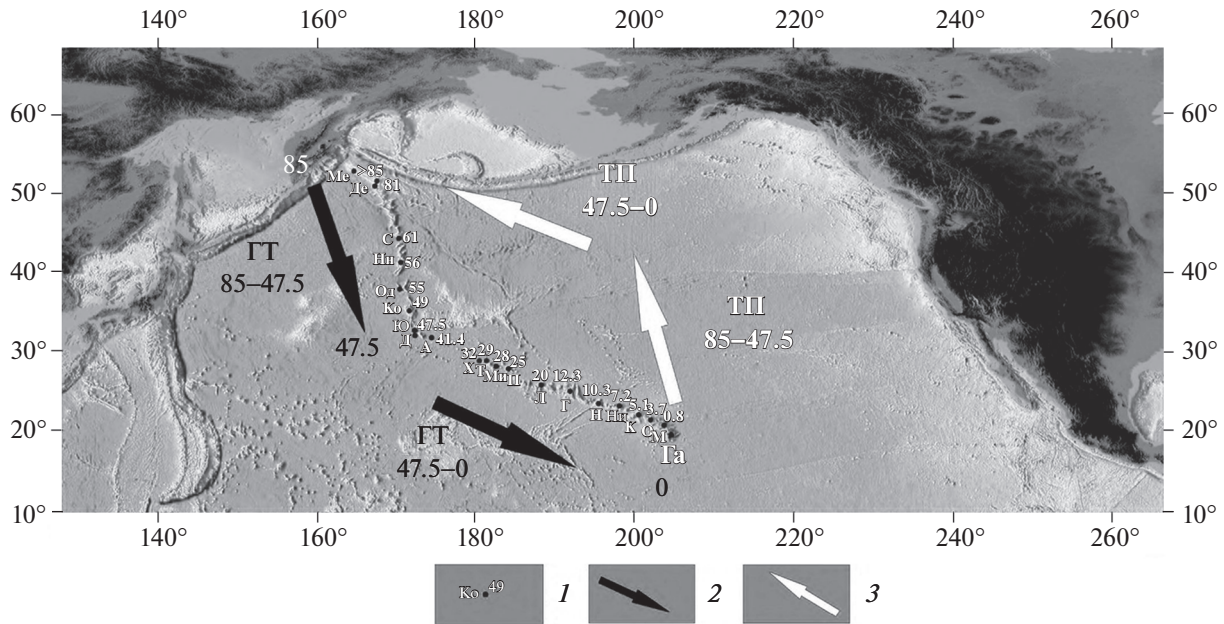


Рис. 3. Возраст изгиба между Гавайским и Императорскими хребтами островов и подводных гор (47.5 млн лет назад) по радиологическим датировкам. 1 – точка опробования и возраст пород на подводных горах, гайотах и островах, млн лет (возрастные датировки, по [9, 10]); 2 – направление омоложения вулканизма горячей точки (возраст перегиба 47.5 млн лет): с севера на юг (Императорский хребет, 85–47.5 млн лет), с северо-запада на юго-восток (Гавайский хребет, 47.5–0 млн лет назад); 3 – направление движения Тихоокеанской плиты относительно горячих точек с юга.

логичную скорость Тихоокеанской плиты. Поэтому и возвратное подлитосферное течение, имеющее повышенную скорость, достаточно интенсивно тянет Американо-Азиатскую микроплиту в сторону Тихого океана, поддерживая спрединг в Евразийском бассейне с ощутимыми скоростями около 2.5 см/год. Выдвижение Американо-Азиатской микроплиты в сторону Тихого океана обеспечивали в это время левосторонние сдвиги в арктической Канаде и правосторонние сдвиги на арктическом Российском шельфе и Чукотке, в частности Хатанга-Ломоносовский сдвиг (рис. 4, слева).

После геодинамической перестройки 47.5 млн лет назад в Тихом океане ситуация в отношении Арктики радикально поменялась. На рис. 4 (правый фрагмент) показаны положение палеозоны субдукции на время 44 млн лет, фронт верхнемантийной возвратной ячейки (пунктирная линия) на расстоянии 3500 км от места субдукции и вектор абсолютного движения Тихоокеанской плиты (быстрая плита Кула к этому времени была полностью поглощена в зоне субдукции). Можно утверждать, что в результате геодинамической перестройки 47.5 млн лет назад океанический материал литосферы почти перестал поступать под Арктику посредством субдукции и, соответственно, значительно снизилась интенсивность сопряженной верхнемантийной циркуляции под арктической литосферой. Вследствие этого скорость океанического спрединга в Евразийском бассейне должна была упасть, возможно, с некоторой

задержкой по времени. Как было отмечено выше, такое падение скорости спрединга отмечается по магнитным аномалиям для времени около 46 млн лет назад. В этом и состоит геодинамический механизм перехода спрединга Евразийского бассейна в ультрамедленный режим. Спад интенсивности верхнемантийной циркуляции под литосферой Арктики и ее возрастание под литосферой Северо-Восточной Азии, связанное с кинематической перестройкой движения литосферных плит Тихого океана, привели к соответствующим изменениям интенсивности и геометрии поля рассеянных деформаций, охватывающих Арктику и Северо-Восточную Азию. Поэтому Американо-Азиатская микроплита после перестройки кинематики плит Тихого океана и соответствующей реорганизации верхнемантийной циркуляции эволюционно вошла в состав Евразийской окраины после прекращения режима сосредоточенных сдвиговых деформаций в линейной Хатанга-Ломоносовской зоне и развития режима площадных рассеянных деформаций в общем сегменте литосферы, включающем Арктику и Северо-Восточную Азию.

Описанная перестройка геодинамических режимов, определившая смену сдвигового характера деформирования в Хатанга-Ломоносовской разломной зоне на площадной тип рассеянных деформаций находит отражение в волновой картине разреза осадочной толщи вдоль сейсмического профиля МОВ ОГТ, проведенного вдоль хребта Ломоносова вквосток простираения Хатанга-

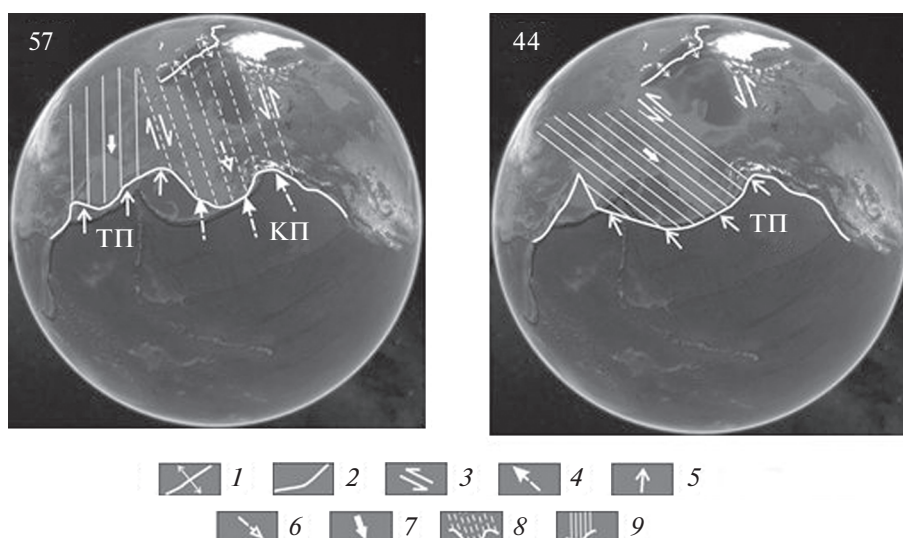


Рис. 4. Схема поступления литосферного океанического вещества под континентальную кору Арктического региона на время 57 млн лет (вверху, до времени изгиба Гавайско-Императорского хребта 47.5 млн лет) и 44 млн лет назад (внизу, после времени изгиба Гавайско-Императорского хребта 47.5 млн лет назад) в соответствии с векторами движения океанических плит. 1 – спрединг на арктическом подводном хребте Гаккеля; 2 – система зон субдукции, действующая на это время; 3 – сдвиговые зоны; 4–5 – векторы скоростей движения: 4 – океанической плиты Кула (≈ 12 см/год), 5 – Тихоокеанской плиты (≈ 6.5 см/год); 6–7 – направление движения в соответствии с воздействием верхнемантийной конвективной ячейки навстречу Тихоокеанской зоне субдукции: 6 – арктической Амеразийской микроплиты, 7 – Евразийской плиты; 8, 9 – горизонтальный размер подлитосферной верхнемантийной ячейки, образованной в результате субдукции океанской литосферы в глубоководных желобах: 8 – плиты Кула, 9 – Тихоокеанской плиты.

Ломоносовской трансформной зоны [12]. Картина разреза показывает, как сильно деформированные осадки в его нижней и средней части перекрываются горизонтально лежащими толщами более молодых осадочных слоев, которые накапливались со второй половины эоцена до настоящего времени. Отсюда следует главный вывод настоящей работы: смещение хребта Ломоносова относительно Евразийской окраины вдоль Хантага-Ломоносовской трансформной зоны, которое имело место с начала кайнозоя, сопровождая развитие в это время активного спрединга в Евразийском бассейне на хребте Гаккеля, прекратилось во второй половине эоцена одновременно с переходом спрединга в ультрамедленную фазу и, следовательно, с этого момента можно считать континентальное поднятие Ломоносова частью континентальной окраины Евразии, испытавшей погружение в процессе поздне меловой и кайнозойской эволюции Арктического региона и подверженной внутриплитным деформациям, как и все континенты на Земле.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИОРАН 0149–2019–0005 и государственной программы 5–100 МФТИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казмин Ю.Б., Лобковский Л.И., Кононов М.В. Геодинамическая модель развития Амеразийского бассейна Арктики (к обоснованию принадлежности хребта Ломоносова, поднятия Менделеева и котловины Подводников к Российской материковой окраине) // Арктика: экология и экономика. 2014. Т. 16. № 4. С. 14–27.
2. Piepjohn K., Lorenz H., Franke F., et al. Mesozoic Structural Evolution of the New Siberian Islands. Circum-Arctic Lithosphere Evolution // Pease V., Coakley B. (eds). Geol. Soc. London. Special Publ. 2018. V. 460. P. 239–262.
3. Глебовский В.Ю., Каминский В.Д., Минаков А.Н., Меркурьев С.А., Чилдерс В.А., Брозина Д.М. История формирования Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана по результатам геосторического анализа аномального магнитного поля // Геотектоника. 2006. № 4. С. 21–42.
4. Лобковский Л.И. Тектоника деформируемых литосферных плит и модель региональной геодинамики применительно к Арктике и Северо-Восточной Азии // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 3. С. 476–495.
5. Лобковский Л.И., Вержбицкий В.Е., Кононов М.В. и др. Геодинамическая модель эволюции арктического региона в позднем мезозое-кайнозое и проблема внешней границы континентального шельфа России // Арктика: Экология и экономика. 2011. № 1. С. 104–115.

6. Лаверов Н.П., Лобковский Л.И., Кононов М.В. и др. Геодинамическая модель развития Арктического бассейна и примыкающих территорий для мезозоя и кайнозоя и внешняя граница континентального шельфа России // Геотектоника. 2013. № 1. С. 3–35.
7. Казмин Ю.Б., Лобковский Л.И., Кононов М.В. Геодинамическая модель эволюции Арктического бассейна в мелу и кайнозой // ДАН. 2015. Т. 462. № 5. С. 565–571.
8. Duncan R.A., Clague D.A. Pacific Plate Motion Recorded by Linear Volcanic Chains // Ocean Basins and Margins / Nairn A.E.M. (ed.). N.Y.: Plenum Press, 1985. V. 7A. P. 89–121.
9. O'Connor J.M., Steinberger B., Regelous M., et al. Constraints on Past Plate and Mantle Motion from New Ages for the Hawaiian-Emperor Seamount Chain // Geochem. Geophys. Geosyst. 2013. V. 14. P. 4564–4584.
10. Larson K.M., Freymueller J.T., Philipson S. Global Plate Velocities from the Global Positioning System // J. Geophys. Res. 1997. V. 102. № B 5. P. 9961–9981.
11. Кононов М.В. Тектоника плит северо-запада Тихого океана. М.: Наука, 1989. 168 с.
12. Шпилов Э.В., Лобковский Л.И., Шкарубо С.И. Хатангско-Ломоносовская зона разломов: строение, тектоническая позиция, геодинамика // Арктика: экология и экономика. 2019. № 3 (35). С. 47–61.

GEODYNAMIC CAUSES OF OCCURRENCE AND TERMINATION OF CENOZOIC SHEAR DEFORMATIONS IN THE KHATANGA-LOMONOSOV FAULT ZONE (ARCTIC)

Academician of the RAS L. I. Lobkovsky^{a,b,#}, M. V. Kononov^a, and E. V. Shipilov^c

^a Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

^b Moscow Physico-Technical Institute, Dolgoprudny, Russian Federation

^c Polar Geophysical Institute, Kola National Center, Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russian Federation

[#]E-mail: llobkovsky@ocean.ru

In the context of models of mantle circulation beneath the continent, coupled with the subduction of the oceanic lithosphere, shown a direct link between the kinematics of plate tectonics in the Northwest Pacific ocean and geodynamic evolution of the Arctic and north-east Asia in the upper Cretaceous and Cenozoic. As a result, a simple geodynamic explanation is given for the occurrence and subsequent termination of Cenozoic shear deformations in the Khatanga-Lomonosov fault zone, which is an important argument in favor of the idea of the underwater rise of the Lomonosov as a natural extension of the Eurasian margin to the Arctic (Amerasian) basin.

Keywords: Arctic, north-east Asia, Pacific lithosphere, subduction, upper mantle circulation, Lomonosov uplift, Khatanga-Lomonosov shift zone, Hawaiian-Imperial ridge