

ВОЗРАСТ ФУНДАМЕНТА И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ КЛЮЧЕВЫХ СТРУКТУР ВОСТОЧНОЙ АРКТИКИ

Верниковский В.А.^{1,2}, Метелкин Д.В.^{1,2}, Матушкин Н.Ю.^{1,2}, Травин А.В.^{2,3},
Верниковская А.Е.^{1,2}, Жданова А.И.^{1,2}

¹ *Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (ИННГ СО РАН), Новосибирск, Россия;*

² *Новосибирский государственный университет (НГУ), Новосибирск, Россия;*

³ *Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева СО РАН (ИГМ СО РАН), Новосибирск, Россия*

VernikovskyVA@ipgg.sbras.ru

Введение

Наши геолого-геофизические знания о Северном Ледовитом океане крайне недостаточны. Хотя этот океан является самым молодым на планете и самым небольшим по размерам, он прошел длительную историю формирования, протяженностью в сотни миллионов лет. Актуальность геолого-геофизических работ в Северном Ледовитом океане объясняется, прежде всего, геополитическими аспектами и проблемами, связанными с минеральными ресурсами арктических шельфов, экологией, климатом и др. Решение этих проблем связано с нашими знаниями о геологическом строении Арктики, о процессах формирования и возрасте геологических структур основания Северного Ледовитого океана, в том числе, о строении арктических осадочных бассейнов в связи с нефтегазоносностью. Геологические знания позволяют также понять соотношение континентальных окраин, включая шельфы, с различными структурами, характеризующимися континентальным строением земной коры, но находящимися в настоящее время на значительном удалении от континентов, что, безусловно, необходимо при решении задачи установления внешней границы континентального шельфа для России и других арктических государств [1].

В настоящей статье показаны наиболее значимые результаты, полученные авторами и их коллегами в текущем году. Оригинальность полученных результатов основана на комплексности геолого-геофизических работ. Исследования проводятся с использованием современной тектонической основы, и с использованием геолого-структурного, палеомагнитного, геохронологического и других методов, позволяющих не только разобраться со структурой того или иного террейна, но и решить задачи, связанные с геодинамическими палеореконструкциями.

Особенности структуры и возраст фундамента террейна архипелагов Новосибирских островов и Де-Лонга

Новосибирский террейн, выраженный в арктическом шельфе архипелагом Новосибирских островов и островов Де-Лонга, является одной из ключевых структур Арктики (рис. 1). Он входит в состав российского арктического шельфа и, по мнению многих исследователей, представляет собой континентальный террейн с докембрийским фундаментом и палеозойским чехлом, главным образом карбонатным [2, 3]. Однако многие вопросы, связанные с его строением и границами, остро дискутируются. Продолжает

дискутироваться его первоначальная принадлежность к краевым структурам Сибири или Северной Америки [4 и др.]. Также вызывает много разногласий положение западной границы Чукотско-Аляскинского террейна [5-9], в состав которого может входить Новосибирский террейн. По мнению многих ученых [10-11, и др.], согласно ротационной модели раскрытия Амеразийского (Канадского) бассейна, Чукотско-Аляскинский террейн был оторван от Северной Америки и присоединен к Сибири. Причем рассматривается предположение, что эта важнейшая граница может разделять Новосибирский блок на два, проходя между о-вами Анжу и Де-Лонга или между о-вами Котельным и Фаддеевским. Таким образом, решение указанных и других вопросов, связанных с тектоническим строением Новосибирского террейна и его границами, позволит более корректно разработать палеогеодинамические реконструкции в Арктике, в том числе кинематические модели раскрытия Амеразийского бассейна.

Выводы ранее указанных авторов о континентальной природе террейна с докембрийским фундаментом и палеозойским чехлом, в основном, базируются на геологических данных и единичных возрастных оценках, изотопных и палеонтологических. Так, геологические исследования о. Беннетта показывают, что полого залегающие преимущественно терригенные толщи содержат ископаемую фауну кембрия и ордовика [2, 12]. Вероятно, эти толщи формировались на пассивной окраине континента и, соответственно, на докембрийском фундаменте. Единичные изотопные данные возраста ранее были получены для известково-щелочного диоритового порфирита о. Генриетты (коллекция В.А. Виноградова – НИИГА) в Термохронологической лаборатории Хьюстонского университета (США) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом ступенчатого прогрева получено значение возраста плато 440 млн. лет, а из долеритов 444 ± 2 млн. лет [13]. Sm–Nd изохрона, построенная по породе в целом и клинопироксену для этих же порфиритов в Университете г. Канзас (США), соответствует возрасту 559 ± 31 млн. лет [13], указывая на наличие унаследованной древней компоненты. Эти датировки и структурные построения, базирующиеся на анализе потенциальных полей, легли в основу представлений о каледонском, а возможно, и более древнем возрасте фундамента блока Де-Лонга [2]. Новые геологические и геохронологические данные, полученные авторами проекта совместно с другими участниками международных геологических экспедиций последних лет, подтверждают суждения о докембрийском возрасте фундамента исследуемых архипелагов [14, 15].

Новые U–Pb датировки цирконов (ЦИИ ВСЕГЕИ, SIMS SHRIMP) из проб с о. Генриетты получены для четырех образцов: два из магматических тел (монцодиоритовый порфирит, долерит), два из вмещающих их туфогенно-осадочных пород [14]. В пробе из долерита о. Генриетты (обр. 13-КЕ) получен конкордантный U–Pb возраст 655 ± 6 млн. лет. Около 60% сепарированных цирконов в этой пробе – обломки округлых и призматических зерен различного габитуса. Они интерпретируются как ассимилированные из подстилающих или вмещающих пород. Их датирование указывает на наличие источников сноса неопротерозойского, мезопротерозойского, раннепротерозойского (850, 1100, 1200, 1400, 1600, 2450 млн. лет) возрастов. Более 50% цирконов, выделенных из долеритовой дайки (обр. ГН-2-ПС), – геохимически и морфологически однородная популяция с $\text{Th}/\text{U} > 1$. Они имеют конкордантный U/Pb возраст 637 ± 5 млн. лет. Около 10% от общей популяции цирконов имеют возраст 1000–1100, 1400, 1500, 1650, 2650, 2900 млн. лет, что указывает на наличие захваченных цирконов из осадочных пород фундамента. Исследования цирконов из туфогенно-осадочных пород показали следующие результаты. Свыше 50%

цирконов из туфогравелитов (проба Г7-ПС, 65 зерен цирконов) идиоморфны, имеют отчетливую магматическую природу с конкордантным U–Pb возрастом 653 ± 3 млн. лет, указывая на возраст и природу доминантного источника осадков. Наряду с идиоморфными кристаллами в этой пробе присутствуют и окатанные зерна с возрастом 1,0–2,0 млрд. лет. Аналогичная картина наблюдается в туфоконгломератах (проба Н9-ПС, 71 зерно циркона), где 62% общего количества цирконов представлены призматическими зональными кристаллами магматического генезиса со средним высоким Th/U = 1.1. Они показывают конкордантный U–Pb возраст 661 ± 3 млн. лет доминантного источника сноса. Окатанные зерна указывают на значительно больший диапазон возрастов источников – 1,0–3,0 млрд. лет. Преобладающие типы цирконов из долеритов, порфиритов, вмещающие вулканогенно-осадочные породы о. Генриетты, имеют магматическую зональность и образуют когерентные возрастные конкордантные кластеры в диапазоне 637–661 млн. лет, что позволяет достаточно уверенно говорить о позднедокембрийском возрасте этих магматических пород.

В Аналитическом центре ИГМ СО РАН (Новосибирск) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом ступенчатого прогрева был проанализирован плагиоклаз из того же образца монцодиоритовых порфиритов о. Генриетты (обр. 13-КЕ), для которого выполнено изотопное U–Pb датирование цирконов. В его спектре (рис. 2) наблюдается плато с возрастом $491 \pm 4,8$ млн. лет (62,3% выделенного ^{39}Ar). Вместе с тем интегральный возраст составляет $504,5 \pm 4,7$ млн. лет. Учитывая, что температура закрытия K–Ar системы для плагиоклаза не превышает 350°C , формирование породы происходило, вероятнее всего, на границе докембрия и палеозоя или в позднем докембрии, что вполне согласуется с изотопными U–Pb исследованиями цирконов из этой породы.

Кинематика дрейфа террейна архипелагов Новосибирских островов и Де-Лонга в палеозое и палеотектонические реконструкции

Одним из важнейших результатов исследования является получение первых палеомагнитных данных для осадочных и магматических пород архипелага. Лабораторные палеомагнитные эксперименты выполнены по стандартной методике на аппаратуре палеомагнитного центра в лаборатории геодинамики и палеомагнетизма ИНГГ СО РАН. Аппаратурный комплекс включает измерители нового поколения, в том числе криогенный магнитометр 2G Enterprise (США) со встроенной установкой для размагничивания, размещенный в экранированной комнате, на котором выполнена основная часть измерений. В основу определения компонентного состава намагниченности положено пошаговое размагничивание переменным магнитным полем для карбонатных пород о-ва Котельный и нагревом для песчаников о-ва Беннетта. При сопоставлении полученных палеомагнитных направлений отчетливо видно их сходство в стратиграфической системе координат. О первичном, возрасте установленных компонент намагниченности свидетельствует тест складки. Совпадение установленных палеомагнитных направлений для о-вов Беннетта и Котельный – свидетельство тектонического единства территории архипелагов Анжу и Де-Лонга [12, 16]. Их взаимное расположение в начале палеозоя не отличалось от современного. Рассчитанная из ТКДП кинематика дрейфа Новосибирского террейна представлена в виде двух главных составляющих: широтный дрейф (амплитуда смещение вдоль долготы) и вращение (скорость поворота вокруг вертикальной оси). На построенных диаграммах (рис. 3) видно, что скорость перемещения блока незначительная:

широтный дрейф менее 4 см/год, а вращение до 2°/млн. лет. В первой половине ордовика в кинематике немного преобладает угловая составляющая, а во второй – широтный дрейф. Можно заключить, что Новосибирский блок в раннем палеозое испытывал плавное, медленное перемещение в субтропической области Земного шара с незначительным вращением по часовой стрелке. Для обоснования тектонической когерентности Новосибирского террейна с любым из прилегающих палеоконтинентов (Сибирь, Лаврентия, Кара, Балтика) необходимо найти значимое соответствие их траекторий КДП. Ордовик-силурийские интервалы ТКДП указанных континентальных массивов не отличаются по сути. Это слабоизогнутые отрезки аналогичные Новосибирской ТКДП, которые, в зависимости от кинематики блоков, имеют несколько различную длину. Теоретически, в рамках ошибки определения координат палеомагнитных полюсов, она может быть сопоставлена с ордовик-силурийским отрезком кривой КДП любого из них, однако для такого совмещения необходимы повороты, которые подразумевают значительное расстояние между реконструируемыми тектоническими единицами, что подразумевает террейновую (!) тектоническую историю Новосибирского блока [17]. Таким образом, в раннем палеозое Новосибирский террейн, скорее всего, не имел общих границ не с одним из предполагаемых континентальных массивов. Однако, появляющиеся биофациальные данные подразумевают существенную палеогеографическую связь между Новосибирским террейном и Сибирью, указывая на наличие единого морского бассейна, который уже в начале палеозоя связывал Верхоянскую окраину и Новосибирские острова.

Раннепалеозойский возраст базальтов и долеритов поднятия Менделеева

Архипелаг Де-Лонга очень близок к подводному хребту Менделеева. Поэтому, корреляция пород этих структур очень важна для плитотектонических реконструкций. Отобрать образцы из подводного хребта Менделеева чрезвычайно сложно, но в 2012 г. в рамках высокоширотной экспедиции “Арктика-2012”, организованной Роснедра, опробование морского дна поднятия Менделеева было выполнено [18]. При этом использовали ледокол “Капитан Драницын” и научно-исследовательскую подводную лодку (НИПЛ). Кроме пробоотбора драгой телегрейфером и гидростатической трубкой проводили опробование коренных пород с помощью буровой установки ГБУ-2/4000Л (три скважины на двух участках – в северной и южной частях поднятия Менделеева), а также манипулятором, расположенным в днище НИПЛ на заранее выбранных полигонах с эскарпами. Места пробоотбора располагали вблизи резких уступов морского дна, где по опережающим сейсмическим данным (вдоль профилей МОВ ОГТ) и видеосъемкой с НИПЛ были выявлены выходы акустического фундамента (рис. 4). Авторы данной статьи принимали участие в работах по установлению возраста коренных пород хребта [19]. Четыре образца долеритов и базальтов были использованы нами для петрографического и минералогического анализов, выделения мономинеральных фракций пироксена (авгит), амфибола (роговая обманка), плагиоклаза и последующих изотопных исследований для определения возраста пород $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом. Изотопный состав аргона измеряли на масс-спектрометре Noble gas 5400 фирмы “Микромасс” (Англия) и многоколлекторном масс-спектрометре Argus фирмы “Термо Сайнтифик” (Германия) в Институте геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск.

Изотопные $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ исследования показали, что в спектрах минералов всех образцов устанавливается древняя компонента, соответствующая, судя по всему, возрасту

формирования пород. Наиболее четко она проявлена в спектрах амфибола, полученных на обоих приборах – масс-спектрометрах Noble gas 5400 и Argus (рис. 5). Максимальные значения зафиксированы на уровне $466,9 \pm 3,3$ и $471,5 \pm 18,1$ млн. лет, что близко к границе раннего–среднего ордовика. Наряду с древней компонентой, как показано выше, в спектрах ряда проб установлены компоненты с более молодыми оценками возраста. К таким этапам, прежде всего, относятся два плюмовых события – на границе перми и триаса (Сибирский плюм) и в мелу (HALIP) [20]. Таким образом, выполненные изотопные Ar/Ar исследования позволяют утверждать, что возраст базальтов и долеритов, отобранных из эскарпов поднятия Менделеева, является раннепалеозойским. Приведенные результаты не противоречат полученным чуть ранее определениям изотопного возраста этих пород U–Pb методом (SHRIMP II, ВСЕГЕИ). По тем же долеритам по единичным зернам цирконов были получены кембрийские значения возраста – 498–500 млн. лет [18]. Этот вывод, материалы сейсмических исследований экспедиции “Арктика-2012”, новые геологические и геофизические данные по Новосибирским островам позволяют предполагать докембрийский фундамент для континентального блока поднятия Менделеева подобно континентальному блоку, установленному для Новосибирских о-вов, включая архипелаг Де-Лонга [12, 14]. Более того, становится очевидным, что хребты Ломоносова и Альфа-Менделеева вместе с расположенными между ними котловинами Макарова и Подводников представляют собой естественный «мост», сложенный континентальной корой и соединяющий Северо-Американский и Азиатский континенты.

Выводы

Результаты выполненных исследований убедительно показывают, что Новосибирский террейн, включающий о-ва Де-Лонга, имеет докембрийский фундамент. Кроме собственно геологических данных – пологозалегающих раннепалеозойских отложений (кембрийских, ордовикских) пассивной континентальной окраины на о. Беннетта – получен целый ряд геохронологических доказательств.

В магматических, туфогенно-осадочных, осадочных породах о-вов Генриетты, Жохова установлены цирконы, образованные при магматической кристаллизации в поздненеопротерозойское время. Более того, в осадочных, туфогенно-осадочных, магматических породах этих островов обнаружены детритовые окатанные зерна цирконов позднепротерозойского и раннепротерозойского возрастов. Новые U–Pb данные по цирконам не противоречат изотопным датировкам, полученным другими методами – Ar/Ar, Sm/Nd в разных лабораториях в России и за рубежом. Учитывая разные температуры закрытия изотопных систем, полученные результаты дополняют друг друга.

Совпадение установленных палеомагнитных направлений для о-вов Беннетта и Котельный – свидетельство тектонического единства территории архипелагов Анжу и Де-Лонга. Их взаимное расположение в начале палеозоя не отличалось от современного. Рассчитанная из ТКДП кинематика дрейфа Новосибирского террейна показывает, что скорость перемещения блока была незначительная: широтный дрейф менее 4 см/год, а вращение до 2° /млн. лет. Можно заключить, что Новосибирский блок в раннем палеозое испытывал плавное, медленное перемещение в субтропической области Земного шара с незначительным вращением по часовой стрелке.

Полученные новые геохронологические данные по хребту Менделеева, вместе с новыми геологическими и геофизическими данными по Новосибирским островам, позволяют предполагать докембрийский фундамент для континентального блока поднятия Менделеева подобно континентальному блоку, установленному для Новосибирских островов, включая архипелаг Де-Лонга. Эти данные, безусловно, должны быть весомым вкладом в обоснование Заявки по установлению внешней границы континентального шельфа Российской Федерации.

Список литературы

1. Н.П. Лаверов, Л.И. Лобковский, М.В. Кононов, Н.Л. Добрецов, В.А. Верниковский, С.Д. Соколов, Э.В. Шипилов. *Геотектоника*, 2013, **1**, 1-32.
2. М.К. Косько / В кн.: Вольнов Д.А. (Ред.) *Тектоника Арктики. Складчатый фундамент шельфовых осадочных бассейнов*. Л.: НИИГА, 1977, 55-85.
3. В.А. Natal'in, J.M. Amato, J. Toro, J.E. Wright. *Tectonics*, 1999, **18**, 977-1003.
4. В.Е. Хаин, И.Д. Полякова, Н.И. Филатова. *Геология и геофизика*, 2009, **50(4)**, 443-460.
5. В.Б. Спектор, А.М. Андрусенко, Е.А. Дудко, Н.Ф. Карева. *Докл. АН СССР*, 1981, **260**, 1447-1450.
6. B.R. Rowley, A.L. Lottes. *Tectonophysics*, 1988, **155**, 73-120.
7. Л.М. Парфенов, Л.М. Натапов, С.Д. Соколов, Н.В. Цуканов. *Геотектоника*, 1993, **1**, 68-78.
8. A. Kuzmichev, N. Bogdanov. *EGS-AGU-EUG Joint Assembly. Geophysical Research Abstracts*, 2003, **5**, EAE03-A-05165.
9. A.B. Kuzmichev, V.L. Pease. *J. Geol. Soc. London*, 2007, **164**, 959-968.
10. A. Grantz, D.L. Clark, R.L. Phillips, S.P. Srivastava. *Geological Society of America Bulletin*, 1998, **110(6)**, 801-820.
11. L.A. Lawver, A. Grantz, L.M. Gahagan. *Geological Society of America Special Papers*, 2002, **360**, 333-358.
12. В.А. Верниковский, Д.В. Метелкин, Т.Ю. Толмачева, Н.А. Малышев, О.В. Петров, Н.Н. Соболев, Н.Ю. Матушкин. *Доклады академии наук*, 2013, **451(4)**, 423-429.
13. А.А. Каплан, П. Коупленд, Э.Г. Бро, и др. *AAPG Региональная Международная Конференция (тезисы)*. СПб.: ВНИГРИ, 2001, 2-6.
14. Е.А. Кораго, В.А. Верниковский, Н.Н. Соболев, А.Н. Ларионов, С.А. Сергеев, Н.М. Столбов, В.Ф. Проскурнин, П.С. Соболев, Д.В. Метелкин, Н.Ю. Матушкин, А.В. Травин. *Доклады академии наук*, 2014, **457(3)**, 315-322.
15. Н.Н. Соболев, Д.В. Метелкин, В.А. Верниковский, Н.Ю. Матушкин, А.В. Прокопьев, В.Б. Ершова, А.В. Шманяк, Е.О. Петров. *Доклады академии наук*, 2014, **459(5)**, 595-600.
16. Д.В. Метелкин, В.А. Верниковский, Т.Ю. Толмачева, Н.Ю. Матушкин, А.И. Жданова. *Литосфера*, 2014, **3**, 11-31.
17. В.А. Верниковский, Н.Л. Добрецов, Д.В. Метелкин, Н.Ю. Матушкин, И.Ю. Кулаков. *Геология и геофизика*, 2013, **8**, 1083-1107.
18. А.Ф. Морозов, О.В. Петров, С.П. Шокальский, С.Н. Кашубин, А.А. Кременецкий, М.Ю. Шкатов, В.Д. Каминский, Е.А. Гусев, Г.Э. Грикуров, П.В. Рекант, С.С. Шевченко, С.А. Сергеев, В.В. Шатов. *Региональная геология и металлогения*, 2013, **53**, 34-55.
19. В.А. Верниковский, А.Ф. Морозов, О.В. Петров, А.В. Травин, С.Н. Кошубин, С.П. Шокальский, С.С. Шевченко. *Доклады академии наук*, 2014, **454(4)**, 431-435.
20. Н.Л. Добрецов, В.А. Верниковский, Ю.В. Карякин, Е.А. Кораго, В.А. Симонов. *Геология и геофизика*, 2013, **54(8)**, 1126-1144.

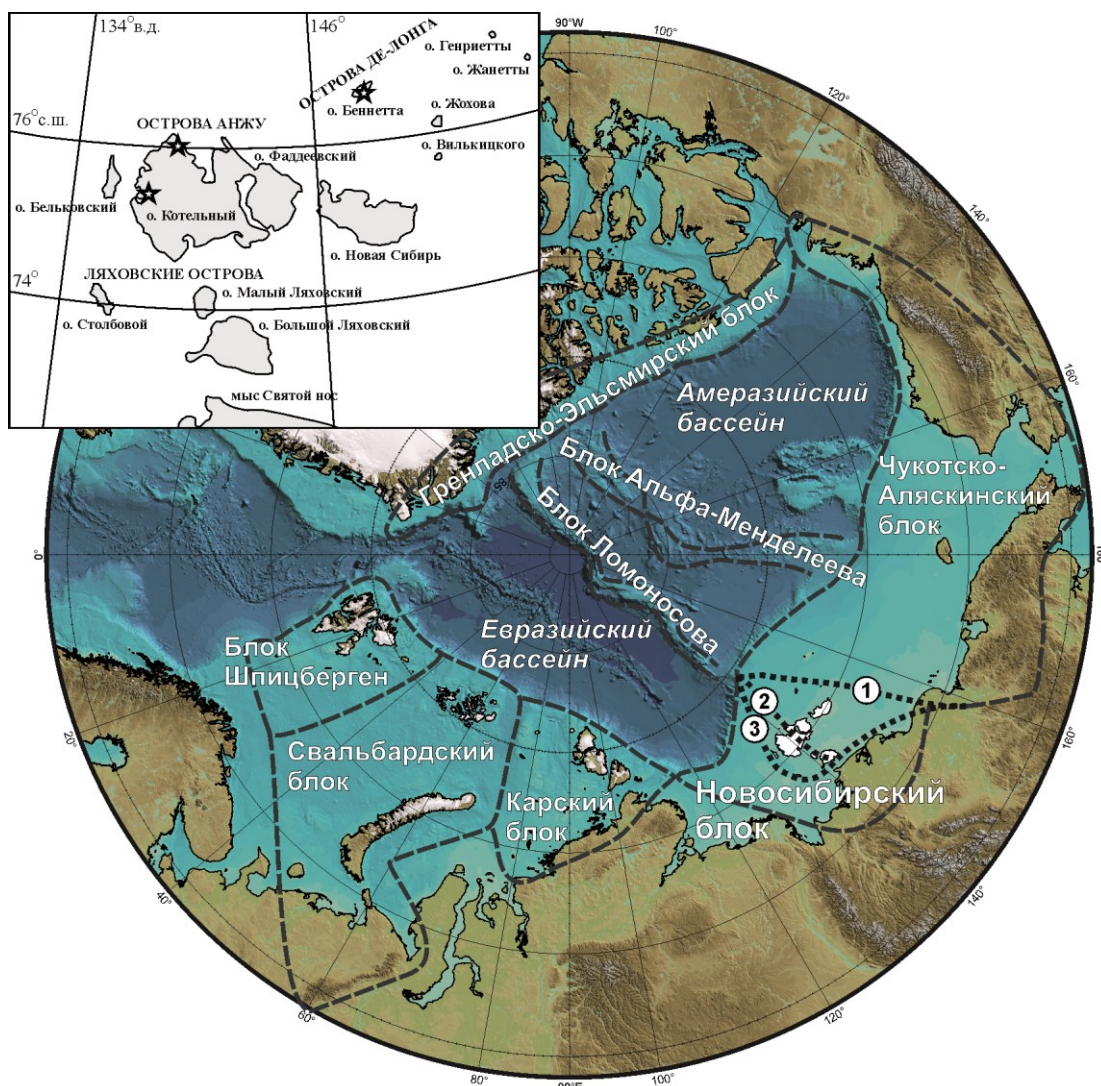


Рис. 1. Общий вид Арктического региона с положением Новосибирских о-вов и положение точек палеомагнитного опробования (звездочки) на о-вах Котельный и Беннетта. Предполагаемая западная граница Чукотско-Аляскинского террейна в контексте ротационной гипотезы открытия Амеразийского бассейна по [5-9].

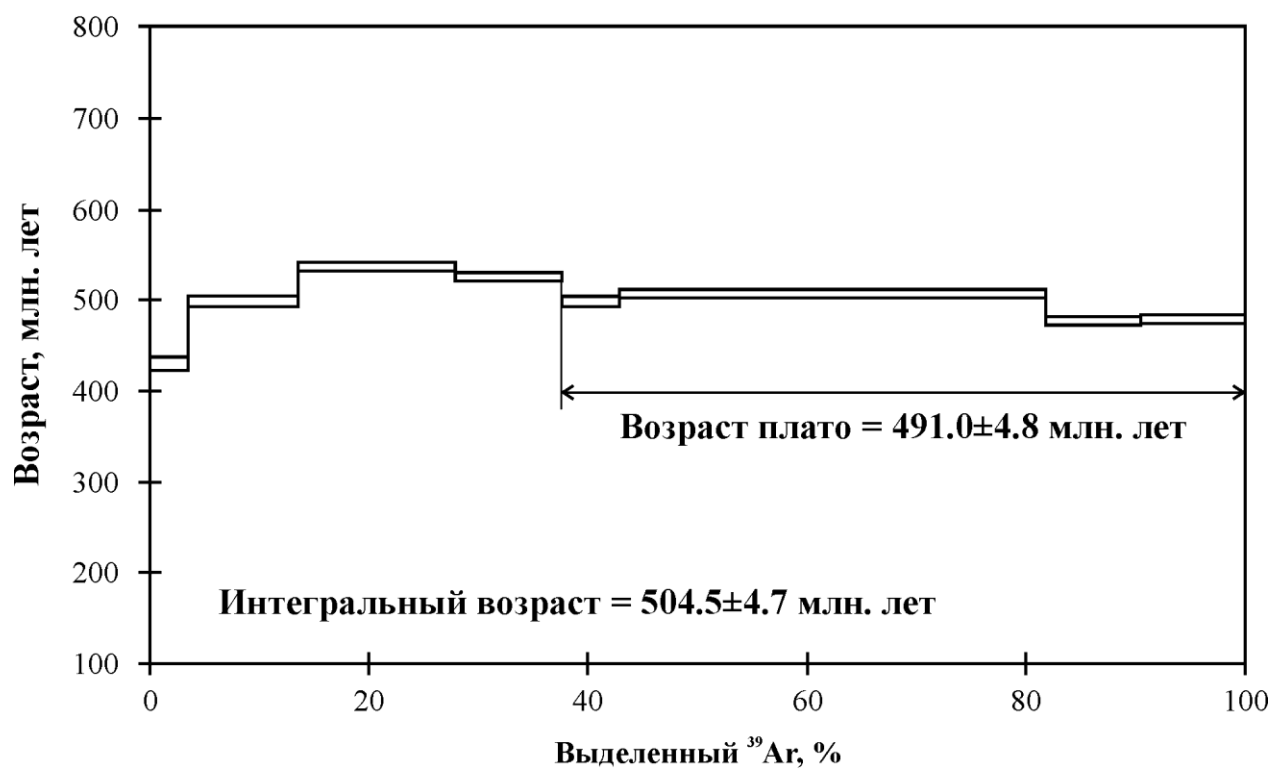


Рис. 2. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возрастной спектр для плагиоклаза из диоритового порфирита (обр. ЕК-13) острова Генриетты.

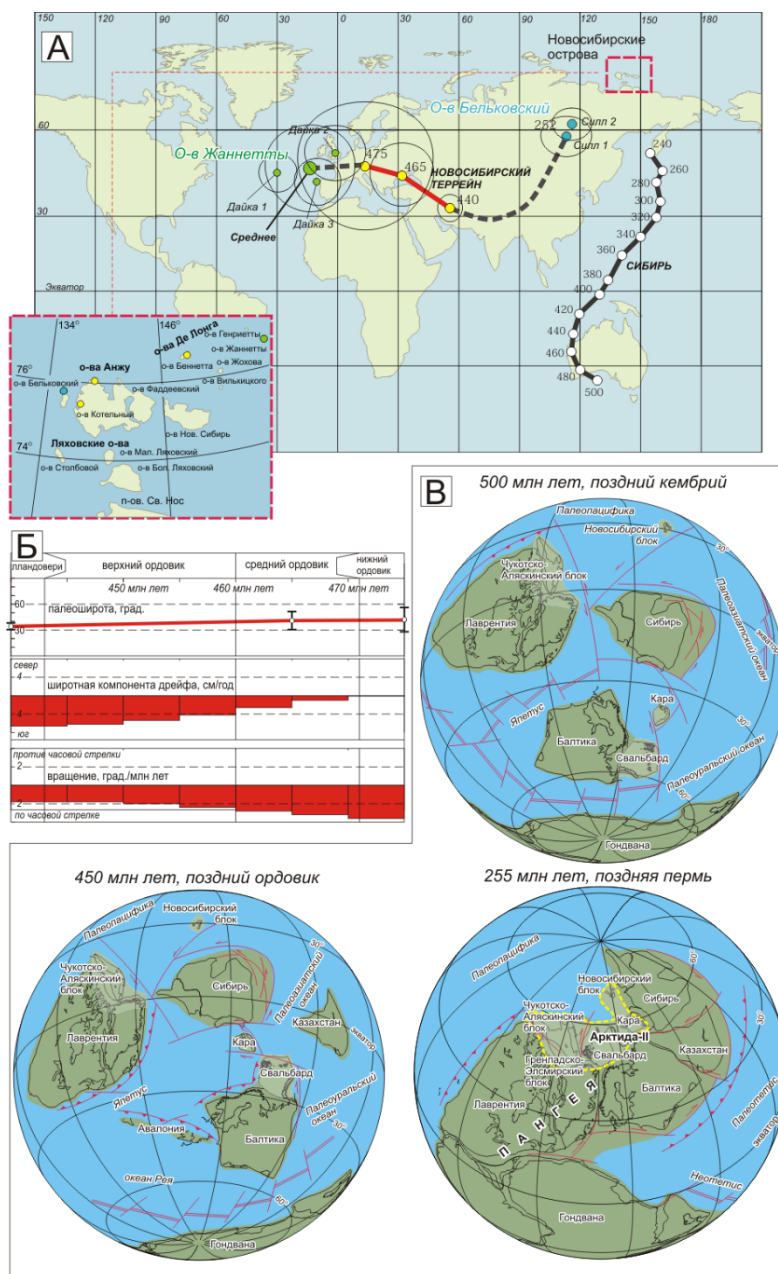


Рис. 3. Результаты палеомагнитных и кинематических исследований континентальных структур Российской Арктики и Новосибирского террейна.

А – Положение полученных виртуальных геомагнитных полюсов Новосибирского террейна и траектория кажущего движения палеомагнитного полюса (ТКДП) в сравнении с ТКДП Сибири, пунктирной линией показаны предполагаемые интервалы ТКДП. На врезке показана география палеомагнитного опробования. Б – Рассчитанные из ТКДП кинематические параметры дрейфа Новосибирского террейна в начале палеозоя: вверху – изменение палеоширотного положения террейна, в центре – скорость широтного (вдоль долготы) дрейфа, внизу – угловая скорость (скорость поворота террейна вокруг вертикальной оси). В – Палеотектонические реконструкции для позднего кембрия (500 млн. лет), позднего ордовика (450 млн. лет) и поздней перми (255 млн. лет), светло-зеленым цветом показаны блоки Арктиды.

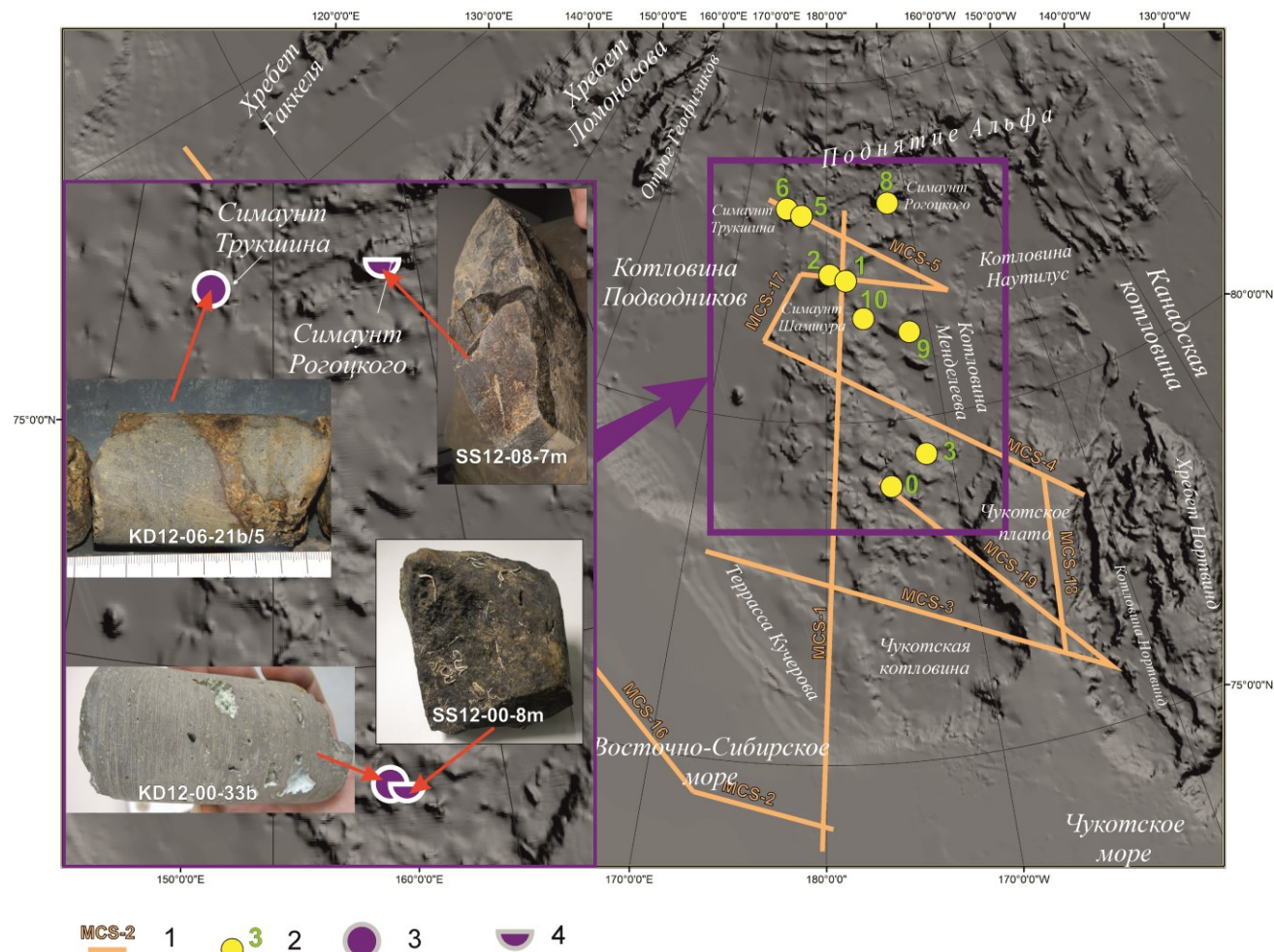


Рис. 4. Участки геологического опробования морского дна на поднятии Менделеева в ходе экспедиции «Арктика-2012» (10 августа – 6 октября 2012 г.). 1 – профили МОВ-ОГТ и сейсмические наблюдения на межгалсовых переходах; 2 – полигоны донного опробования и их номера; 3 – буровая скважина; 4 – манипулятор научно-исследовательской подводной лодки. Рельефная основа IBCAO (International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean) Version 2.23 (<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/arctic>).

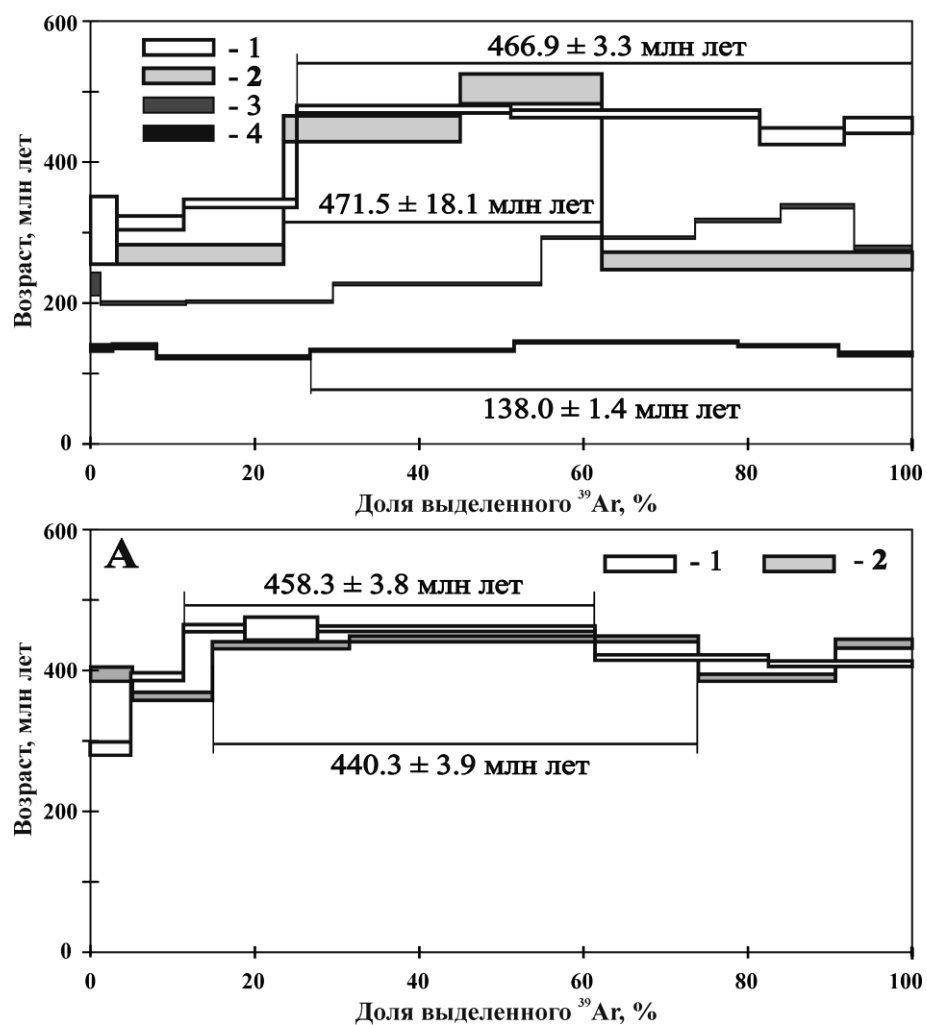


Рис. 5. Возрастные Ar/Ar спектры для амфиболов и плагиоклазов из долеритов хребта Менделеева.