

## КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДВОДНОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО МАССИВА АРХАНГЕЛЬСКОГО (КУРИЛЬСКАЯ ОСТРОВНАЯ ДУГА)

© 2019 Ю.И. Блох<sup>1</sup>, В.И. Бондаренко<sup>2</sup>, А.С. Долгаль<sup>3</sup>,  
П.Н. Новикова<sup>3</sup>, В.В. Петрова<sup>4</sup>, О.В. Пилипенко<sup>5</sup>, В.А. Рашидов<sup>6,7</sup>, А.А. Трусов<sup>8</sup>

<sup>1</sup>Москва, Россия, 105215; e-mail: yuri\_blokh@mail.ru

<sup>2</sup>Костромской ГУ, Кострома, Россия, 156961

<sup>3</sup>Горный институт УрО РАН, Пермь, Россия, 614007

<sup>4</sup>Геологический институт РАН, Москва, Россия, 109017

<sup>5</sup>Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия, 123242

<sup>6</sup>Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия, 683006

<sup>7</sup>Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия, 690022

<sup>8</sup>АО «ГНПП Аэрогеофизика», Москва, 125373

Приводятся результаты комплексных геолого-геофизических исследований подводного вулканического массива Архангельского, расположенного в проливе Буссоль в центральной части Курильской островной дуги. Массив состоит из слившихся между собой и срезанных абразией вулканических построек. Массив слагают эндогенные базальты и экзогенные туфы. Породы и минералы, за исключением кварца, гидротермально изменены, причем изменения происходили не до, а после образования туфа. Высокие значения естественной остаточной намагниченности драгированных горных пород обусловлены большим содержанием однодоменных и псевдооднодоменных зерен титаномагнетита и магнетита.

Образование массива Архангельского, вероятнее всего, происходило в периоды глобальных геомагнитных возмущений. В постройке массива выделены подводящие каналы субвертикального и юго-восточного простираний и магнитовозмущающие блоки с разными геометрическими и магнитными характеристиками, а на глубинах 1100–1200 м выявлен периферический магматический очаг. У юго-юго-восточного подножия массива идентифицированы крупные оползневые блоки.

*Ключевые слова:* подводный вулканический массив Архангельского, Курильская островная дуга.

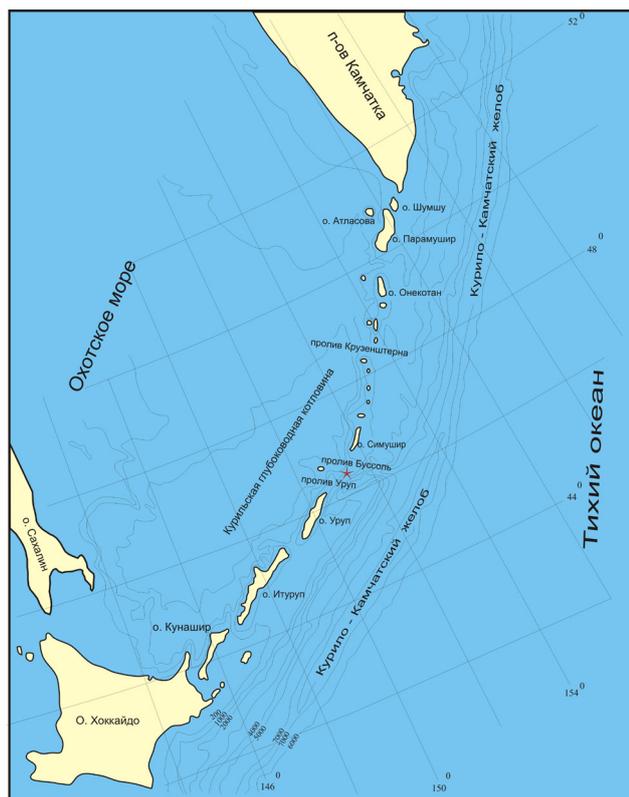
### ВВЕДЕНИЕ

Подводный вулканический массив Архангельского, названный в честь крупнейшего отечественного геолога академика Андрея Дмитриевича Архангельского (Безруков и др., 1958), расположен в центральной части Курильской островной дуги (КОД) в проливе Буссоль между о-вами Уруп и Симушир (Подводный ..., 1992; Gnibidenko, 1985; Gnibidenko, Svarichevsky, 1984) в Броутонской поперечной вулканической зоне (рис. 1, 2). В пределах этой зоны выделено 17 вулканических массивов и изолированных подводных вулканов (рис. 2), образующих ряд линейно-вытянутых структур различного простирания.

Массив Архангельского был исследован в рейсах Института океанологии АН СССР в

1949–1955 гг. на научно-исследовательском судне (НИС) «Витязь» и в 1955 г. на НИС «Крылатка» (Безруков и др., 1958), в рейсах Сахалинского комплексного научно-исследовательского института ДВО АН СССР в 1971–1972 гг. на НИС «Пегас» и «Витязь-2» (Остапенко, 1976, 1978; Остапенко, Кичина, 1977), а также в четырех рейсах на НИС «Вулканолог» Института вулканологии ДВО АН СССР и Института вулканической геологии и геохимии ДВО АН СССР в 1982–1991 гг. (Подводный ..., 1992).

Первоначально описываемая структура была названа «хребет А.Д. Архангельского» (Безруков и др., 1958), затем появилось название «вулкан Архангельского» (Остапенко, 1976, 1978; Остапенко, Кичина, 1977). В работах (Подводный ..., 1992; Gnibidenko 1985; Gnibidenko, Svarichevsky, 1984) приведено название «хребет Архангель-



**Рис. 1.** Местоположение подводного вулканического массива Архангельского.

**Fig. 1.** The location of the Archangelsky submarine volcanic massif.

ского». Название «хребет Архангельского» приведено и в работе (Новейший ..., 2005), в которой с некорректной ссылкой на работу (Подводный ..., 1992) приведен модифицированный вариант каталога подводных вулканов КОД, не опубликованный самими составителями, из которого без всякого объяснения исключены два подводных вулкана и собственное имя одного из подводных вулканов.

На наш взгляд по современным представлениям правильно называть исследованную структуру «подводный вулканический массив Архангельского», что мы и делаем в настоящей работе.

В рейсах НИС «Вулканолог» работы по изучению подводного вулканического массива Архангельского проводились в два этапа. На первом этапе на ходу судна при скорости 5–7 узлов выполнялись эхолотный промер и геофизические исследования — непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСП) и гидромагнитная съемка (ГМС), а на втором этапе в выбранных точках на малых скоростях судна отрабатывались станции драгирования. При этом сеть профилей и количество станций драгирования наращивались при проведении исследований в последующие годы.

В настоящей работе представлены интерпретация материалов геофизических исследований

подводного вулканического массива Архангельского с помощью современных компьютерных технологий, а также результаты изучения драгированного каменного материала в современных аналитических лабораториях.

## МОРФОСТРУКТУРА

Пролив Буссоль занимает особое положение в системе КОД. Это самый глубоководный пролив КОД, отделяющий Южные Курилы от Центральных Курил. Здесь происходит резкий изгиб фронта вулканической дуги. Район пролива Буссоль отличается очень сложным строением рельефа дна и высокой интенсивностью вулканизма.

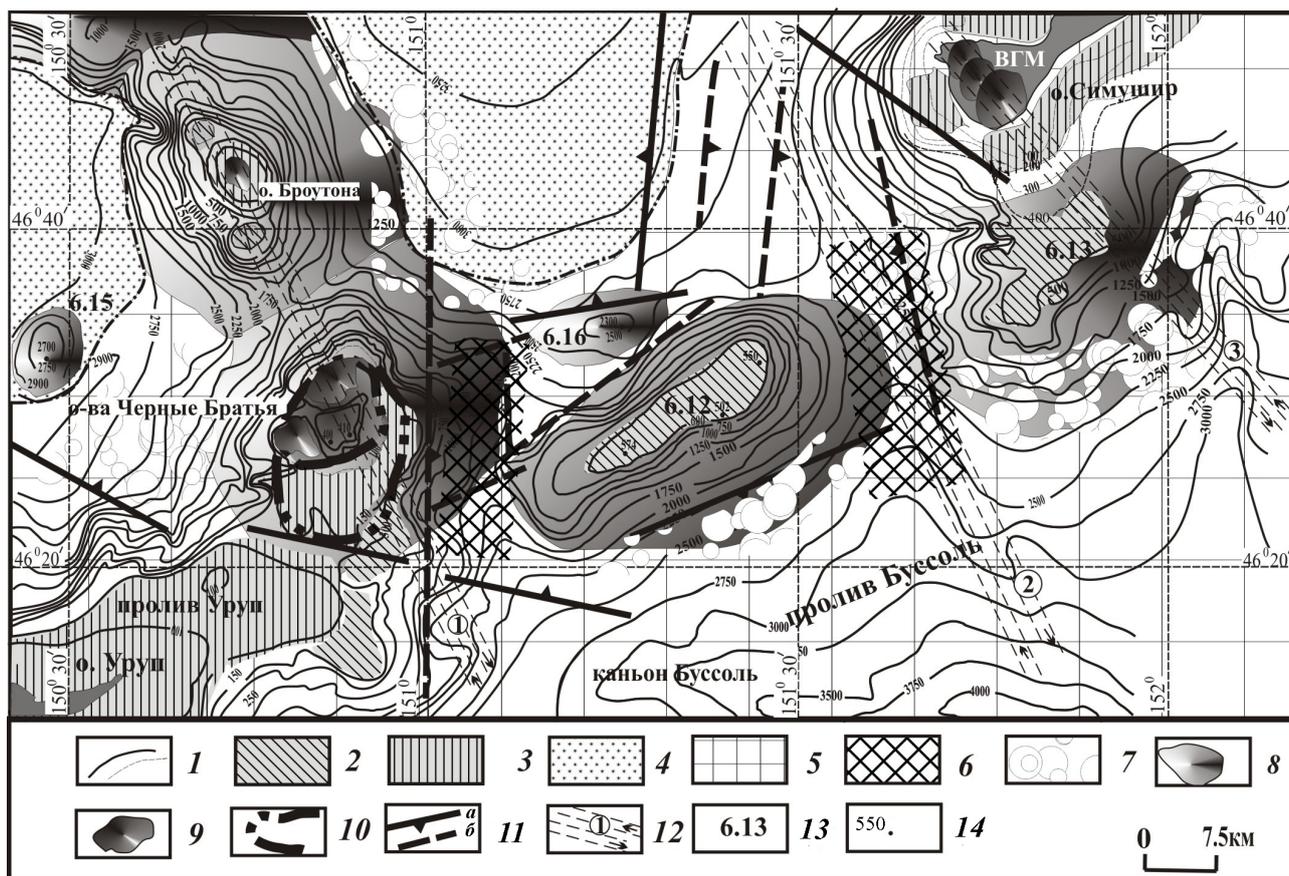
Пролив Буссоль располагается между о-вами Черные Братья и о. Симушир (рис. 2). К югу от массива Черных Братьев находится пролив Уруп, отделяющий последний от о. Уруп. Возможно, что эти два пролива образуют единую структуру, разделенную в юго-западной части вулканическим массивом Черных Братьев.

В центральной части пролива Буссоль располагается вытянутый в северо-восточном направлении (азимут простираения  $55^\circ$ ) подводный вулканический массив Архангельского. В «Каталог подводных вулканов и гор Курильской островной дуги» массив Архангельского вошел под номерами 6.12, а внутри него выделены две вулканические постройки — 6.12а и 6.12б (Подводный ..., 1992).

По современным представлениям массив Архангельского, вероятнее всего, состоит из ряда подводных вулканов, слившихся между собой и срезанных абразией, к двум из которых — 6.12а (минимальная глубина 574 м) и 6.12б (минимальная глубина 550 м) (рис. 2, 3) приурочены интенсивные положительные аномалии магнитного поля  $\Delta T_a$  (Аникин и др., 2019; Подводный ..., 1992).

Массив Архангельского поднимается с глубины  $\sim 3000$  м. Размер массива по основанию  $39 \times 22$  км, а плоская вершина размером  $4 \times 21$  км располагается на глубине  $\sim 550$ – $600$  м (рис. 2, 3). Склоны массива крутые и неровные. Крутизна юго-восточного склона массива по данным (Безруков и др., 1958) увеличивается от основания к вершине от  $6^\circ$  до  $17^\circ$ . По нашим данным крутизна юго-восточного склона достигает  $15$ – $20^\circ$ , а северо-западного —  $20$ – $25^\circ$  (Подводный ..., 1992). Суммарный объем массива —  $840$  км<sup>3</sup>, является, при современном уровне изученности, самым большим для подводных вулканических структур в пределах КОД.

Судя по характеру волновой картины на сейсмограммах НСП, подводный вулканический массив Архангельского сложен плотными, пре-



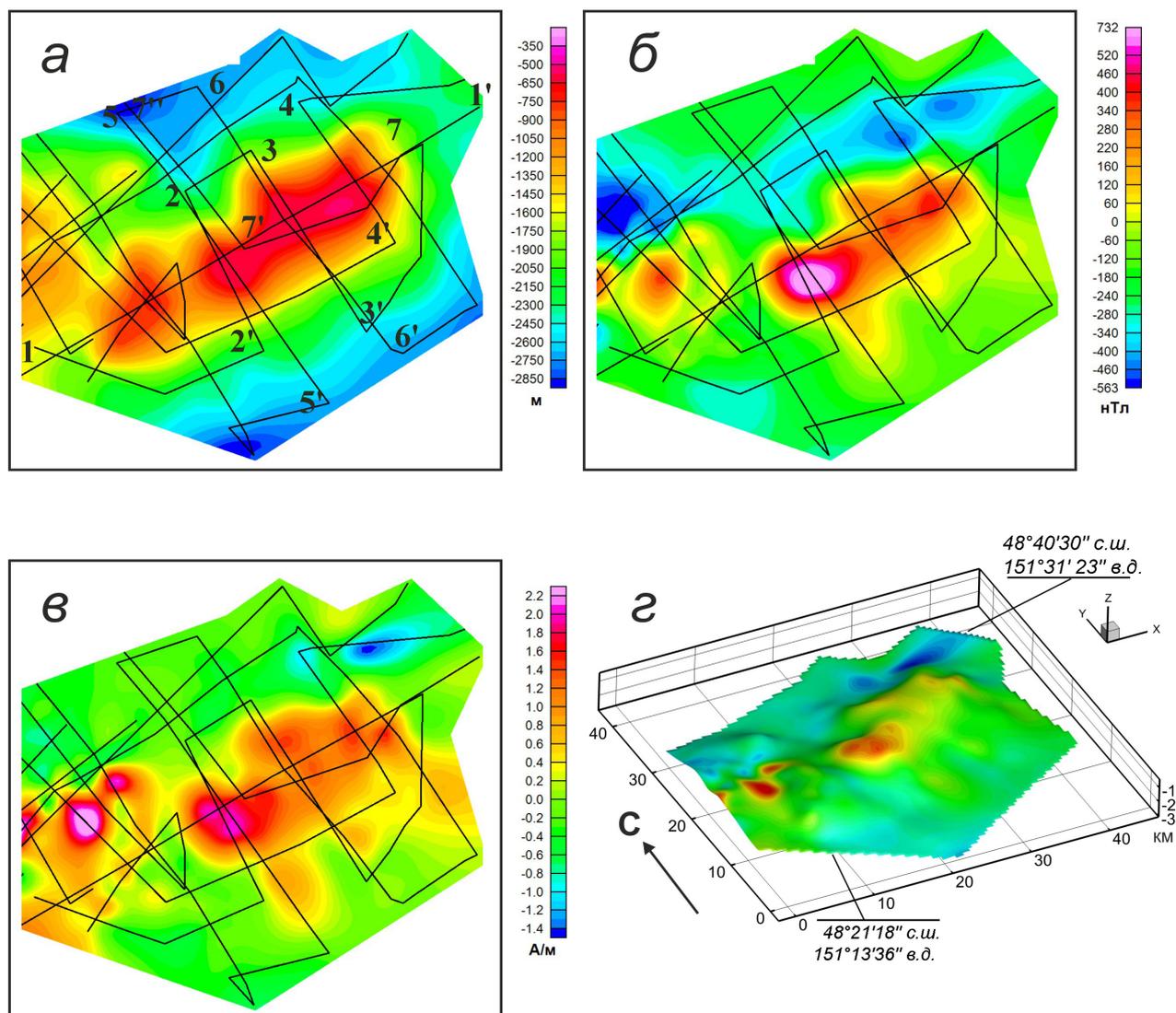
**Рис. 2.** Морфоструктурная схема пролива Буссоль: 1 — изобаты, м; 2 — плоские субгоризонтальные участки дна на глубинах более 150–200 м (переуглубленные террасы); 3 — плоские субгоризонтальные участки дна на глубинах до 150 м, соответствующие предголоценовой подводной террасе; 4 — уплощенные участки дна Курильской котловины; 5 — вершинная поверхность и склоны Большой Курильской гряды; 6 — глубоководные части пролива Буссоль; 7 — участки распространения обвально-оползневых отложений; 8 — подводные вулканические массивы; 9 — наземные вулканы; 10 — границы подводных кальдер; 11 — установленные по данным геофизических исследований (а) и предполагаемые (б) разломы; 12 — предполагаемые сдвиговые зоны и их номера (стрелками показано направление смещений); 13 — номера подводных вулканов. 14 — отличительные глубины. ВГМ — вулканы группы Мильна.

**Fig. 2.** Morphostructural diagram of the Bussol Strait: 1 — isobaths; 2 — flat subhorizontal zones of the bottom at depths of more than 150–200 m (U-shaped terraces); 3 — flat subhorizontal sections of the bottom at depths of up to 150 m, corresponding to the pre-Holocene underwater terrace; 4 — flattened sections of the bottom in the Kuril basin; 5 — top surface and slopes of the Great Kuril Ridge; 6 — deep-sea parts of the Bussol Strait; 7 — zones of landslide deposits; 8 — submarine volcanic massifs; 9 — land volcanoes; 10 — borders of underwater calderas; 11 — faults revealed based on the data of geophysical research (a) and possible faults (b); 12 — possible shear zones and their numbers (arrows mark the direction of displacements); 13 — numbers of submarine volcanoes. 14 — bottom patches. ВГМ — volcanoes of the Milne group.

имущественно вулканическими породами, что также подтверждается данными драгирования (Подводный ..., 1992).

В работе (Безруков и др., 1958) указывается, что на плоской вершине массива развиты участки гальки и полимиктовых песков. Судя по данным НСП (рис. 4), мощность этих отложений незначительна, меньше разрешающей способности метода (т.е., не превышает 10–15 м). Осадочные отложения также не фиксируются в пределах верхней и средней части склонов массива. Заметной мощности осадочные отложения появляются только вблизи основания,

где их мощность может достигать 250–300 м (рис. 4). У юго-юго-восточного подножия массива в строении этой толщи выделяются крупные переслаивающиеся линзы слабо нарушенных отложений мощностью до 100–150 м (рис. 2, 4). Их горизонтальные размеры могут достигать несколько километров. Предположительно, эти линзы представляют собой крупные оползневые блоки, сползшие с верхней и средней частей склонов вулканического массива. Учитывая значительную крутизну склонов, обрушение подобных тел может стать причиной возникновения цунами.



**Рис. 3.** Подводный вулканический массив Архангельского: *a* — батиметрия; *б* — аномальное магнитное поле  $\Delta T_a$ ; *в* — распределение эффективной намагниченности  $J_{\text{эф}}$  вулкана; *г* — распределение эффективной намагниченности  $J_{\text{эф}}$ , изображенное на поверхности вулкана. Цифрами обозначены профили, приведенные на рис. 4 и 7.

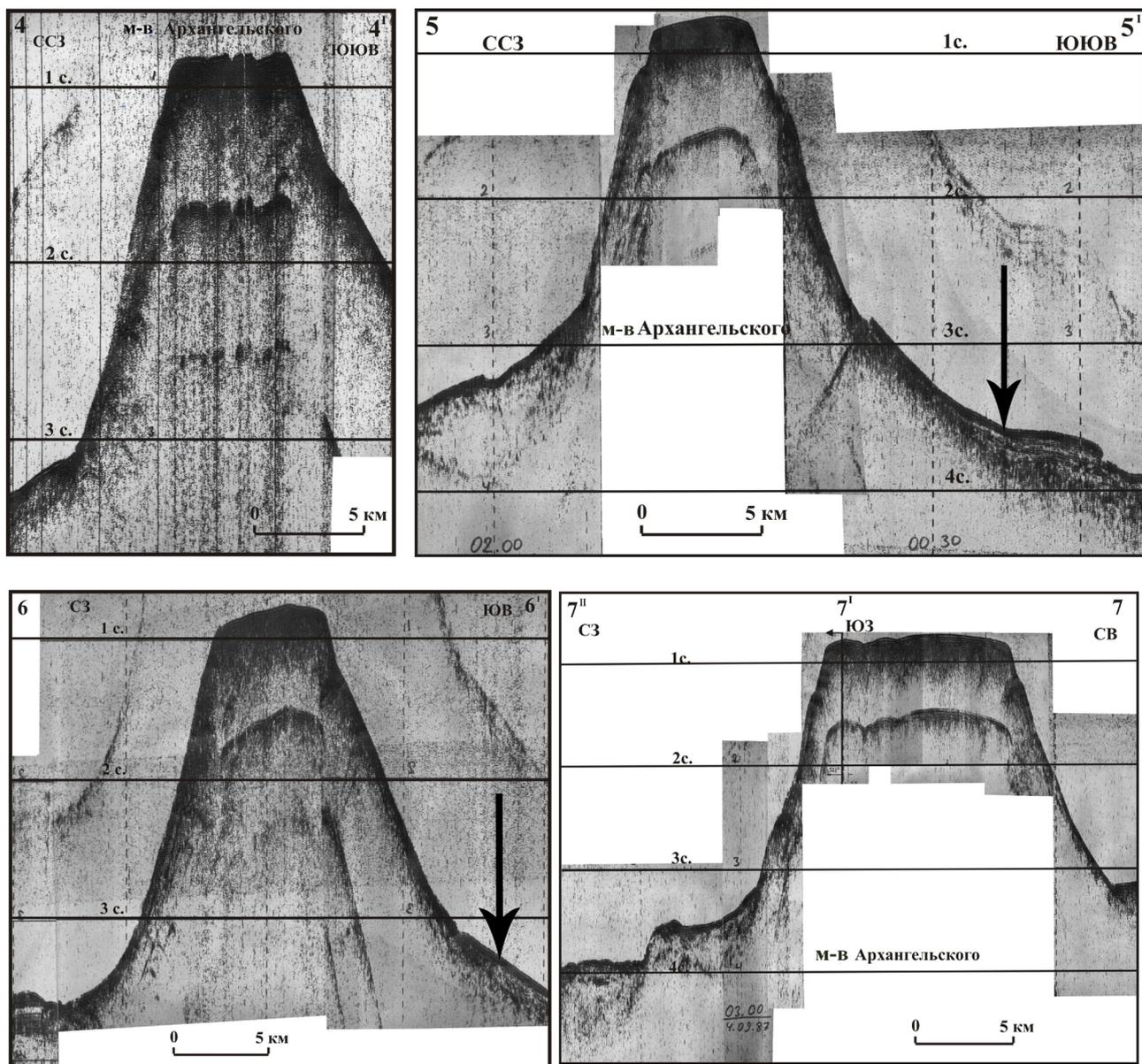
**Fig. 3.** The Archangelsky submarine volcanic massif: *a* — bathymetry; *б* — anomalous magnetic field  $\Delta T_a$ ; *в* — distribution of the effective magnetization  $J_{\text{эф}}$  on the volcano; *г* — distribution of the effective magnetization  $J_{\text{эф}}$  as shown on the volcano's surface. Numerals mark the profiles shown in Figs. 4 and 7.

Плоская вершина массива Архангельского, как и вершина подводного массива 6.13 (рис. 2), в настоящее время находится на глубинах более 500 м. Вулканический массив, вероятнее всего, образовался не позднее позднего плейстоцена. В прошлом он, по-видимому, длительное время находился вблизи уровня моря и подвергался абразии, в результате которой сформировалась его плоская вершина, а затем испытал погружение примерно на 500 м, до современного уровня. С севера к подножию подводного вулканического массива Архангельского прилегает небольшой погребенный подводный вулкан 6.16 (Бондаренко, Рашидов, 2016), который возвышается над прилегающими участками дна примерно на

400 м. Минимальная зафиксированная глубина вершины — 2300 м (рис. 2).

Два субмеридиональных желоба в рельефе дна, к юго-западу и северо-востоку от массива Архангельского, образуют два глубоководных прохода пролива Буссоль (рис. 2). С юга к ним подходят пологие долины, протягивающиеся от проходящего южнее каньона Буссоль (Блох и др., 2018; Васильев, и др., 1979; Васильев, Суворов, 1979).

Юго-западный проход пролива Буссоль отделяет подводный вулканический массив Архангельского от располагающегося несколько западнее вулканического массива Черных Братьев. Минимальная глубина в осевой части



**Рис. 4.** Фрагменты профилей НСП, пересекающих подводный вулканический массив Архангельского. Положение профилей представлено на рис. 3а. Стрелками показаны местоположения крупных переслаивающихся линз слабо нарушенных отложений.

**Fig. 4.** Fragments of CSP lines that cross the Archangelsky submarine volcanic massif. The locations of the lines are shown in Fig. 3a. The arrows mark the locations of large interstratified lenses of weakly deformed deposits.

прохода ~1600 м. Рельеф дна здесь неровный, осадочный чехол практически отсутствует. Северо-восточный проход пролива Буссоль отделяет массив Архангельского от вулканического массива 6.13. Минимальная глубина в осевой части прохода ~2300 м. Рельеф дна здесь также неровный, осадочный чехол имеет небольшую мощность и представлен, по-видимому, оползневыми образованиями.

По данным НСП в этом районе выделено значительное количество разломов (рис. 2), большинство из которых субмеридионального направления. В частности, такие сбросы ограничивают глубоководные части пролива Буссоль,

являющиеся, по-видимому, субмеридиональными грабенами.

О-ва Уруп и Симушир, а также плоские вершины массивов Архангельского и 6.13 (Блох и др., 2014) имеют близкие азимуты простирания (42–55°). Но при этом отмечается кулисообразное смещение этих блоков КОД относительно друг друга, величина которого может достигать нескольких километров. Наблюдаемая картина может быть объяснена наличием сдвиговых зон северо-западного простирания между о. Уруп и массивом Архангельского (рис. 2, сдвиговая зона 1), между хребтом Архангельского и массивом 6.13 и вблизи северного края последнего и южной

окраины о. Симушир (рис. 2, сдвиговые зоны 2 и 3). При этом первые две зоны должны иметь правостороннее смещение, а последняя — левостороннее. С движениями по этим зонам может быть связана активность вулканов Броутонской вулканической зоны и вулканов группы Мильна (рис. 2), образующих южную оконечность о. Симушир и располагающихся в направлении, поперечном простиранию самого острова.

Отметим, что подобного плана смещения островных блоков являются характерной особенностью Курильских островов. Аналогичные смещения сдвигового характера отмечались для северных и центральных Курил (Баранов и др., 2015; Бондаренко, Рашидов, 2006, 2007, 2015). Вероятно, отмечаемые тектонические движения связаны с косою субдукцией Тихоокеанской плиты. Особенно высокая тектоническая и вулканическая активность в районе пролива Буссоль может быть обусловлена изменением здесь угла поддвига плиты.

## ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Первые сведения о составе горных пород, слагающих подводный вулканический массив Архангельского, приведены в пионерской работе (Безруков и др., 1958), в которой сказано, что на плоской вершине массива развиты гальки эффузивных пород, кварцитов, гранитов и метаморфических сланцев, принесенные дрейфующими льдами и водорослями, а также участки полимиктовых песков.

Позднее сахалинские ученые в результате изучения 12 образцов драгированных вулкаников показали, что андезиты, андезибазальты и базальты, опробованные в пределах вулканического массива Архангельского, весьма неоднородны по минеральному и петрохимическому составам (Остапенко, Кичина, 1977). Во всех типах драгированных пород были отмечены безамфиболовые и амфиболовые разновидности, которые по щелочности варьировали от низкокалиевых пород нормального ряда до умеренно-калиевых пород субщелочного ряда. Часть поднятых образцов была заметно изменена, хотя присутствовали и свежие разновидности вулкаников. Драгированные оливиновые, двупироксеновые и роговообманковые андезибазальты составили 41% поднятого материала, двупироксеновые и роговообманковые андезиты — 33%, оливиновые и двупироксеновые и базальты — 26%. Соотношение обломков коренных пород и гальки равнялось 3:1, а галька имела местное происхождение (Остапенко, 1976, 1978).

При драгировании вулканического массива Архангельского, выполненного камчатскими

учеными в рейсах НИС «Вулканолог» на вулкане 6.12а, были опробованы свежие плотные базальты и андезибазальты, а при драгировании подводного вулкана 6.12б были подняты аналогичные породы, по трещинам в которых отмечены налеты серы (Подводный ..., 1992). Базальты подводного вулкана 6.12а отвечают породам низкокалиевой серии и имеют низкие концентрации Na, K, Rb, Ba, Sr, Be, P, U, Th (табл. 1), а также Ni и Cr при высоком отношении K/Rb. Андезибазальты относятся к породам умеренно-калиевой серии и имеют в основном умеренное содержание литофильных редких элементов. Базальты и андезибазальты из вулканического центра 6.12б принадлежат к породам низкокалиевой серии, имеют высокие отношения  $Na_2O/K_2O$  и низкую титанистость, высокую глиноземистость и железистость. Для них характерны низкие концентрации Li, Rb, Ba, Sr, Be, Ni, Cr (табл. 1) при довольно высоких значениях отношений K/Rb. Драгированные вулканики свежего облика, вероятно, имеют четвертичный возраст.

Среди угловатых обломков пород и полукатанных глыб, драгированных в рейсах НИС «Вулканолог», были отмечены пропилитизированные разности с вторичной гидротермальной минерализацией и окварцеванием по трещинам. Также были опробованы образцы, покрытые железомарганцевыми образованиями. Среди обломков в большом количестве обнаружены плагиогаббро, риолиты, гранодиориты, диорит-порфириды и гранит-порфириды.

Авторами настоящей работы были получены сведения о химическом составе еще трех образцов, драгированных в рейсах НИС «Вулканолог», на подводном вулкане 6.12а, и одного образца — на подводном вулкане 6.12б (табл. 1).

На основе оригинальных данных и доступного литературного материала можно предполагать, что в строении массива Архангельского принимают участие как свежие плотные базальты и андезибазальты, так и экзогенные туфы, состоящие из обломков базальтов, андезитов, кварцитов и кристаллокластов — плагиоклаза, кварца и темноцветных минералов. Во многих образцах породы и минералы, за исключением кварца, гидротермально изменены. Наиболее сильное изменение наблюдается в хорошо проницаемых туфах, в местах соприкосновения разнородных пород, а также вдоль микротрещин. Такое, а не выборочное, приуроченное к определенным породам или минералам, преобразование свидетельствует о том, что изменение породы происходило не до, а после образования туфа, следовательно, на том месте, где туф уже состоялся как порода и, соответственно, подводные термы и сам гидротермальный процесс наблюдаются

**Таблица 1.** Силикатный (масс. %) и редкоэлементный (ppm) составы драгированных пород, составляющих подводный вулканический массив Архангельского.  
**Table 1.** Silicate (wt.%) and rare element (ppm) composition of dragged rocks from the Archangelsky submarine volcanic massif.

Вулканы Обр. № № п/п	6.12а									6.12б			6.12в	
	В15-91/1а	В15-91/2а	В17-4/9	В17-5/6а	В15-91/1	В15-91/2	В15-91/3	В17-4/1	В17-5/2	В17-5/1	В17-5/2	В17-5/1	В17-5/2	В17-5/1
Порода	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
	Базальт, крупно- и среднепорфировый оливин-пироксен-плаггиоклазовый	Андезитобазальт, крупнопорфировый пироксен-плаггиоклазовый	Туф, эпидот-хлоритизированный	Туф, окварцованный, кварц-плаггиоклазовый с карбонатом и слюдой	Базальт свежий, плотный	Андезитобазальт свежий	Дациандезит	Туф пропитанный	Базальт	Андезитобазальт				
SiO <sub>2</sub>	49.76	53.73	56.17	74.79	51.54	54.04	62.24	66.99	51.63	56.93				
TiO <sub>2</sub>	0.73	0.84	0.72	0.15	0.67	0.82	0.52	0.50	0.93	0.97				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.37	17.67	17.97	13.13	18.02	16.35	17.24	15.46	20.25	17.21				
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.34	1.94	3.49	0.57	8.11	6.02	2.42	2.44	6.20	6.43				
FeO	7.96	6.39	3.48	0.54	1.62	2.54	3.17	1.02	2.84	2.63				
MnO	0.17	0.15	0.11	0.04	0.22	0.17	0.19	0.09	0.17	0.21				
MgO	3.36	3.80	3.76	0.32	6.23	6.58	2.41	1.14	3.27	3.14				
CaO	11.63	9.31	5.20	1.14	11.05	9.40	5.78	2.16	10.49	7.98				
Na <sub>2</sub> O	2.66	3.08	3.75	3.23	2.03	2.34	3.42	3.43	3.49	3.59				
K <sub>2</sub> O	0.36	1.10	1.04	4.55	0.44	1.00	2.16	5.48	0.46	0.55				
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05	0.15	0.14	0.02	0.09	0.15	0.20	0.11	0.11	0.15				
п.п.п.	0.89	0.97	3.64	1.36	0.22	0.34	0.48	1.19	0.03	0.11				
сумма	99.29	99.13	99.48	99.84	100.24	99.75	100.23	100.01	99.87	99.90				
S	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	-	-	-	-	-	-				
CO <sub>2</sub>	<0.20	0.21	0.32	0.89	-	-	-	-	-	-				
As	<5.0	<5.0	9.4	6.3	-	-	-	-	-	-				
B	-	-	-	-	49	45	15	21	35	36				
Ba	102	234	399	334	80	220	600	580	110	230				
Be	-	-	-	-	0.35	0.55	1.00	1.70	0.25	0.30				
Co	35	33	15	<5.0	34	41	15	12	31	30				
Cr	31	174	20	<5.0	34	250	20	14	12	11				
Cu	82	60	57	4	32	100	22	7.2	8.3	7.3				
Ga	15	15	17	12	-	-	-	-	-	-				
F	-	-	-	-	190	470	260	480	80	160				
Li	-	-	-	-	5	6	9	66	5	6				

Таблица 1. Окончание.  
Table 1. Continued.

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mo	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	1.00	3.00	1.00	5.00	1.00	1.00
Nb	<2.0	<2.0	<2.0	9.7	-	-	-	-	-	-
Ni	24	80	19	6.3	-	-	-	-	-	-
Pb	5.3	7.5	7.5	25	3.5	4.5	6.8	19	2.8	5.4
Rb	9.3	24	21	145	3	17	48	172	5	5
Sc	47	32	19	<5.0	-	-	-	-	-	-
Sr	239	342	410	114	290	650	590	270	430	370
Th	<2.0	2.3	<2.0	16.7	0.30	1.7	-	14.8	-	-
U	<2.0	<2.0	<2.0	3.2	0.25	0.80	260	5.5	-	-
V	298	252	169	10	400	430	170	48	28	170
Y	19	25	17	18	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Zn	74	65	88	83	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Zr	43	90	57	106	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

Примечание. Анализы 1–4 выполнены в химической лаборатории Геологического института РАН (зав. лабораторией С.М. Ляпунов); анализы 5–10 из работы (Подводный вулканизм ..., 1992).

Note. Analyses 1–4 are executed in chemical laboratory Geological Institute RAS (Managing laboratory S.M. Lypunov); analyses 5–10 from work (Podvodnyj vulkanizm ..., 1992).

на той же территории. Судя по вторичной минеральной ассоциации (рис. 5): эпидот+хлорит, температура преобразования пород была очень высокой (не менее 220°C, — нижняя возможная температурная граница формирования эпидота).

## ПЕТРОМАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

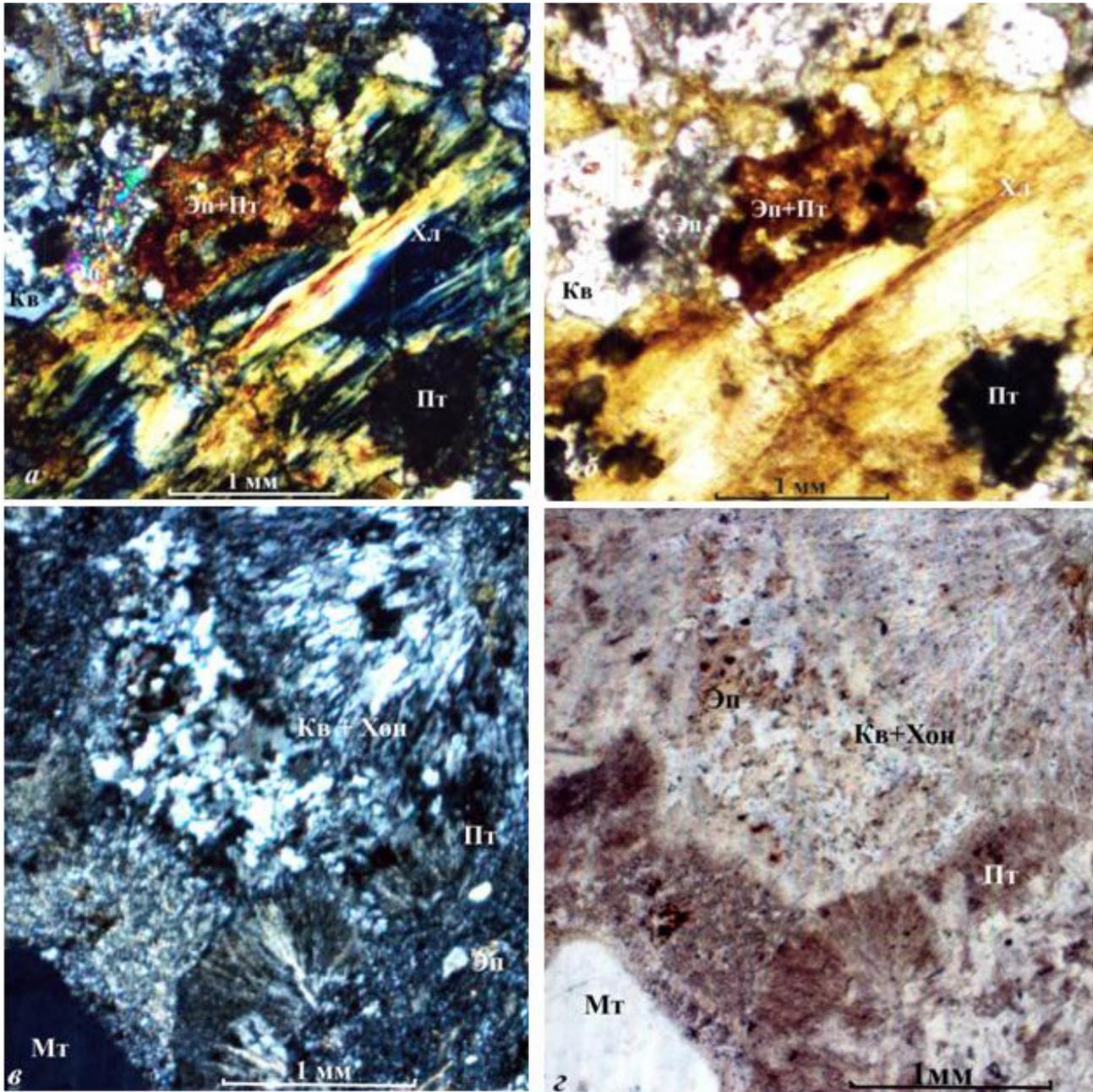
Петромагнитные исследования образцов, драгированных в пределах вулканического массива Архангельского, показали, что, они имеют естественную остаточную намагниченность  $J_n$ , достигающую 27 А/м (Подводный ..., 1992).

Для выяснения основных носителей  $J_n$  в горных породах, слагающих вулканический массив Архангельского, по отработанной методике (Рашидов и др., 2015, 2016, 2017) были выполнены комплексные петромагнитные исследования десяти образцов (табл. 2, рис. 6), которые показали, что величина  $J_n$  образцов варьирует в пределах четырех порядков от 0.006 до 11.23 А/м (Аникин и др., 2019; Блох и др., 2019а). Естественная остаточная намагниченность образцов обусловлена содержанием как низкокоэрцитивных магнитных зерен (медианное поле  $B_{0.5} = 4-35$  мТл), так и высококоэрцитивных магнитных зерен (медианное поле  $B_{0.5} = 114-119$  мТл). Степень анизотропии изменяется в диапазоне от 1% до 3%.

Терромагнитный анализ (ТМА) по зависимости намагниченности насыщения от температуры  $J_s(T)$  образцов В15-91/1 и В15-91/2 (рис. 6), драгированных с вулканической постройки 6.12а показал, что на кривой нагрева присутствует единственная точка Кюри титаномагнетита, лежащая в диапазоне температур (230–340°C), соответствующих содержанию титана  $X: 0.32-0.48$ . После нагрева до 700°C точка Кюри сдвигается в сторону роста, приближаясь к магнетитовой. Кривые охлаждения проходят много выше кривых нагрева. В этих образцах в ходе нагрева происходит гетерофазное разложение титаномагнетита до магнетита и ильменита.

ТМА по  $J_s(T)$  образца В17-4/9, драгированного на той же постройке показал, что в образце присутствует большое содержание парамагнетика, и сама кривая нагрева имеет характерный для парамагнетика вид. Кривая охлаждения проходит намного выше и на ней присутствует единственная точка Кюри магнетита 580°C. В этом образце в ходе нагрева произошло образование магнетита из немагнитных соединений.

ТМА по  $J_s(T)$  образца В17-5/6а, драгированного с вулканической постройки 6.12б показал, что на кривой нагрева присутствует единственная точка Кюри магнетита ~580°C, которая не смещается после нагрева до 700°C. Сама величина намагниченности падает в два раза. В этом образце в ходе высокотемператур-



**Рис. 5.** Вторичные изменения туфов подводного вулканического массива Архангельского, замещающие комплексы вторичных минералов (*а, б* — альбит-эпидот-хлоритовый и *в, г* — кварц-эпидотовый). Свет: *а, в* — поляризованный, *б, г* — проходящий. Эп — эпидот, Пт — пирит, Хл — хлорит, Кв — кварц, Хон — халцедон, Мт — магнетит.

**Fig. 5.** Secondary alterations in tuffs from the Archangelsky submarine volcanic massif, which replace complexes of epigenetic minerals (*a, б* — albite-epidote-chlorite and *в, г* — quartz-epidote). Light: *а, в* — polarized, *б, г* — passing. Эп — epidote, Пт — pyrite, Хл — chlorite, Кв — quartz, Хон — chalcedony, Мт — magnetite.

ного нагрева происходит окисление магнетита до маггемита.

Высокие значения естественной остаточной намагниченности  $J_n$  в образцах, драгированных на подводном вулканическом массиве Архангельского, обусловлены содержанием большой концентрации однодоменных кристаллов титаномагнетита. Низкие значения  $J_n$  обусловлены содержанием многодоменных кристаллов магнетита.

## ГЕОМАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

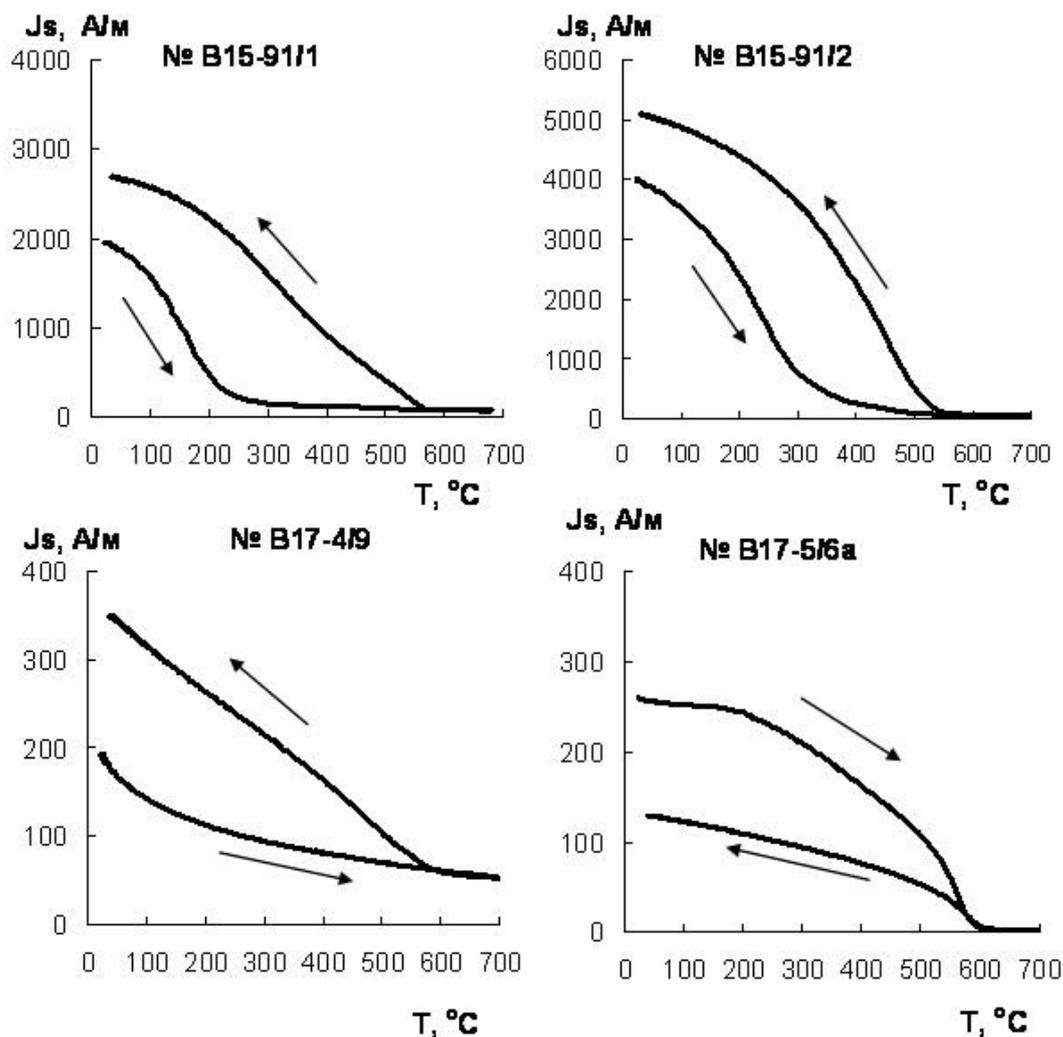
Проведенная ГМС показала, что к привершинной части подводного вулканического массива Архангельского и к его юго-западному склону приурочены локальные аномалии  $\Delta T_a$  северо-восточного и северо-северо-восточного простираний, интенсивность которых достигает 500–1000 нТл (рис. 3б).

**Таблица 2.** Петромагнитные характеристики драгированных образцов горных пород, составляющих подводный вулканический массив Архангельского.  
**Table 2.** The petromagnetic characteristics of rocks that compose the Archangelsky submarine volcanic massif.

№ образца	Jn, А/м	$\alpha$ , 10 <sup>-3</sup> СИ	Qn	P'	V <sub>0,5</sub> , мТл	Jrs, А/м	Js, А/м	Jrs/Js	Bcr, мТл	Bc, мТл	Bcr/Bc	Структура	C, %
№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Подводный вулкан 6.12а</b>													
B15-91/1-1	11.080	6.38	43.64	1.008	25.00	33.48	111.2	0.30	21.82	15.83	1.38	SD, PSD	0.75
B15-91/1-2	11.230	6.36	44.36	1.016									
B15-91/2-1	1.539	21.76	1.78	1.029	3.66	14.53	160	0.09	19.44	7.23	2.69	PSD	1.21
B15-91/2-2	4.217	16.73	6.33	1.009									
<b>Подводный вулкан 6.12б</b>													
B17-4/6-1	0.231	2.86	2.02	1.019	35.00	19.32	155.6	0.12	36.82	13.65	2.70	PSD	0.15
B17-4/6-2	0.226	2.41	2.36	1.020									
B17-4/9-1	0.006	0.2978	0.484	1.017	118.65	0.02	1.84	0.01	64.35	14.06	4.58	MD	0.04
B17-4/9-2	0.006	0.253	0.60	1.02									
B17-5/6a-1	0.224	1.16	4.85	1.022	114.17	2.609	8.813	0.30	142.7	60.82	2.35	PSD	0.06
B17-5/6a-2	0.251	1.17	5.38	1.019									

Примечание. Jn — естественная остаточная намагниченность;  $\alpha$  — магнитная восприимчивость; Qn — фактор Кенигсбергера; P' — степень анизотропии магнитной восприимчивости; V<sub>0,5</sub> — медианное поле; Jrs — остаточная намагниченность насыщения; Js — намагниченность насыщения; Bcr — остаточная коэрцитивная сила; Bc — коэрцитивная сила; MD — многодоменные зерна; PSD — псевдооднодоменные зерна; SD — однодоменные зерна; C — объемная концентрация ферромагнетика.

Note. Jn — natural remnant magnetization;  $\alpha$  — magnetic susceptibility; Qn — Koenigsberger ratio; P' — degree of anisotropy in magnetic susceptibility; V<sub>0,5</sub> — median field; Jrs — remnant saturation magnetization; Js — saturation magnetization; Bcr — remnant coercive force; Bc — coercive force; MD — multidomain grains; PSD — pseudo-single-domain grains; SD — single-domain grains; C — volumetric concentration of ferromagnetic material.



**Рис. 6.** Кривые температурной зависимости намагниченности насыщения от температуры. Стрелками обозначен цикл: нагрев-охлаждение.

**Fig. 6.** Curves of thermomagnetic analysis  $J_s(T)$  for samples. Arrows mark the heating-cooling behavior.

В результате интерпретации данных ГМС с помощью системы СИНГУЛЯР установлено, что в пределах массива Архангельского выделяются подводящие каналы субвертикального и юго-восточного простираний (рис. 7), а на глубинах 1100–1200 м расположен периферический магматический очаг.

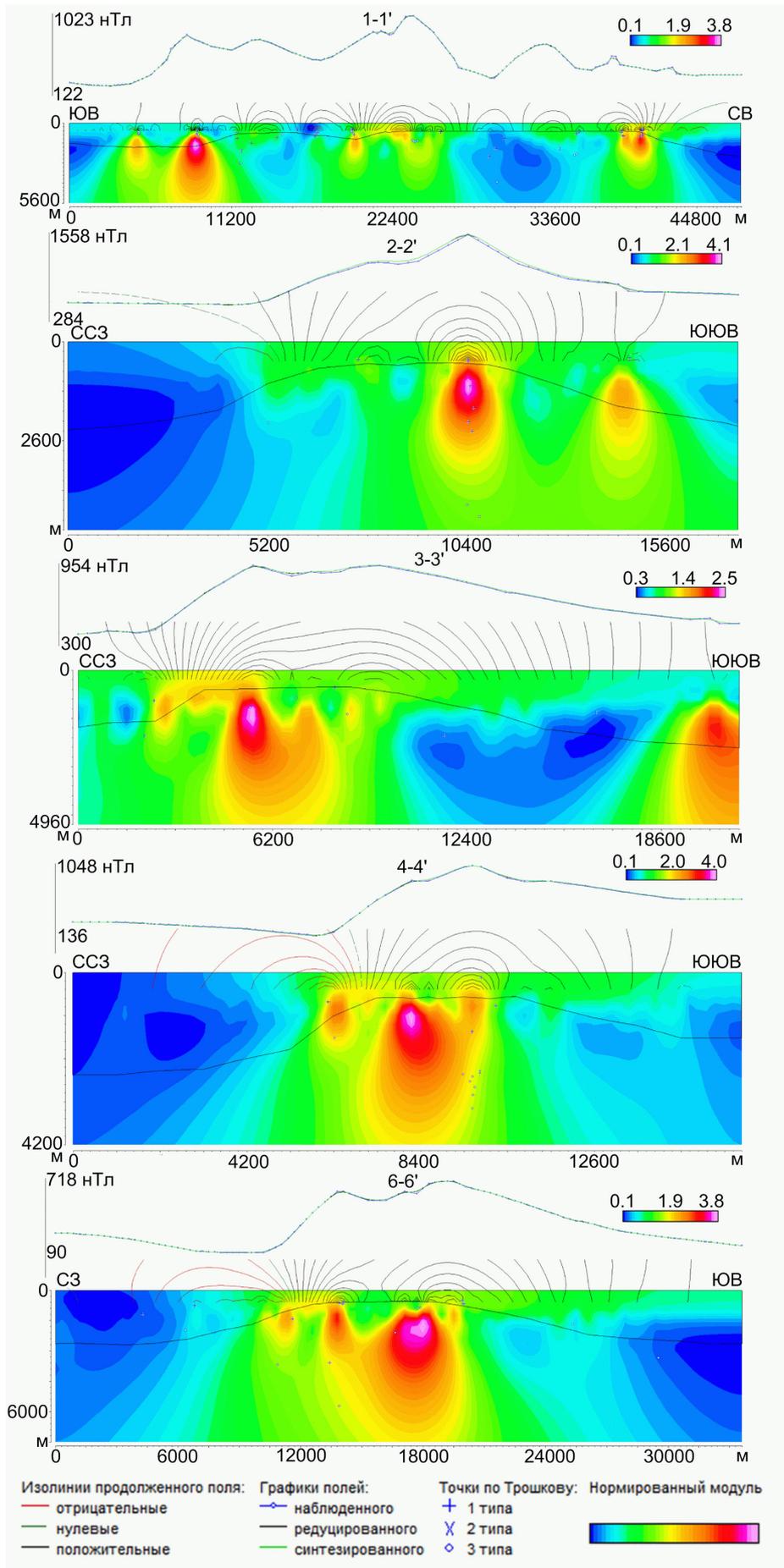
С помощью программы ИГЛА уточнено, что вектор эффективной намагниченности пород  $J_{эф}$  отклонен от вектора нормального поля  $T_0$  на запад на  $30^\circ$  (рис. 8). Это говорит о том, что образование массива Архангельского, как и других подводных вулканов и вулканических массивов КОД (Аникин и др., 2019; Блох и др., 2015, 2019б), вероятно, происходило в периоды глобальных геомагнитных возмущений.

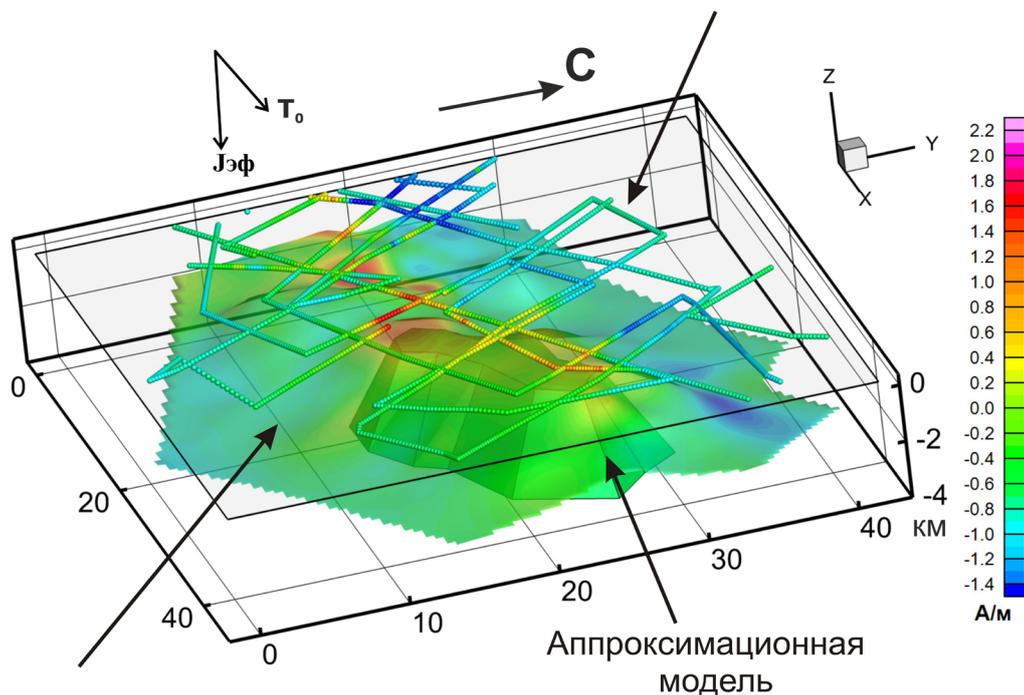
Трёхмерное моделирование вулканической постройки с помощью программы REIST из пакета структурной интерпретации гравитационных и магнитных аномалий СИГМА-3D показало, что максимальная эффективная намагниченность

подводного вулканического массива Архангельского достигающая 2.2 А/м приурочена к привершинной части массива и его юго-западному склону (рис. 3в, 3г). При этом среднеквадратическая погрешность подбора аномального магнитного поля после 89 итераций составила 37 нТл.

Учитывая результаты изучения петромагнитных характеристик драгированных пород, можно предположить, что большая часть массива Архангельского сложена базальтами и андезибазальтами.

В результате проведения томографической интерпретации массива Архангельского по первой производной вертикальной составляющей магнитного поля  $(\partial\Delta T\alpha)/\partial z$  (рис. 9) отмечено, что основные аномальные зоны квазинамагниченности  $J^*$ , линейно связанной с этим параметром, простираются в субширотном и северо-восточном направлениях (Аникин и др., 2019). Наиболее интенсивный аномальный участок приурочен к центральной положительной аномалии и про-



Точки измерения  
магнитного поляРельеф дна с распределением  
намагненности горных пород

**Рис. 8.** Уточнение направления вектора эффективной намагненности  $\mathbf{J}_{\text{эф}}$  подводного вулканического массива Архангельского с помощью программы ИГЛА.

**Fig. 8.** Refinement of the direction of the effective magnetization vector  $\mathbf{J}_{\text{ef}}$  in the Archangelsky submarine volcanic massif using IGLA software.

слеживается до глубины  $\sim 4$  км. Исходя из распределения  $\mathbf{J}^*$ , можно предположить, что каждая аномальная зона приблизительно соответствует отдельному магнитовозмущающему блоку с разными геометрическими и петромагнитными характеристиками.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные комплексные геолого-геофизические исследования подводного вулканического массива Архангельского, вместе с критическим анализом доступных литературных данных позволяют предположить, что изученный массив состоит из нескольких слившихся между собой и срезанных абразией построек, а его объем является максимальным для подводных вулканических структур в пределах КОД. Массив слагают свежие плотные базальты и

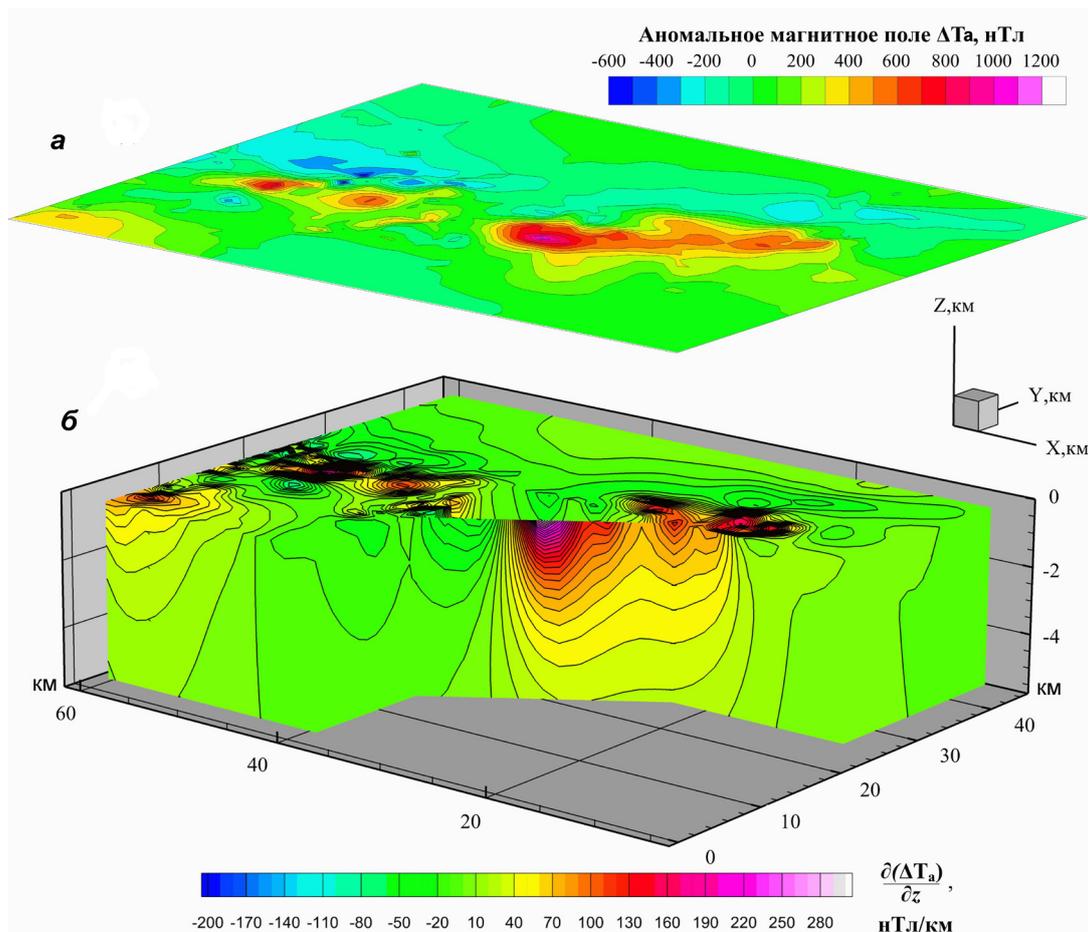
андезибазальты и экзогенные туфы. Во многих образцах породы и минералы, за исключением кварца, гидротермально изменены, причем изменение породы происходило не до, а после образования туфа. Судя по всему, температура преобразования пород была не менее  $220^\circ\text{C}$ .

Высокие значения естественной остаточной намагненности драгированных горных пород обусловлены большой концентрацией одноименных кристаллов титаномагнетита.

В постройке подводного вулканического массива Архангельского выделены подводящие каналы субвертикального и юго-восточного простираний и магнитовозмущающие блоки с разными геометрическими и магнитными характеристиками, а на глубинах 1100–1200 м — периферический магматический очаг. У юго-юго-восточного подножия массива идентифицированы крупные оползневые блоки.

**Рис. 7.** Изображение, синтезированное системой СИНГУЛЯР для локализации особых точек функции, описывающее аномальное магнитное поле  $\Delta T_a$  подводного вулканического массив Архангельского, наложенное на рельеф дна. Положение профилей представлено на рис. 3а.

**Fig. 7.** Image created by the SINGULAR software for locations of poles that describes the anomalous magnetic field  $\Delta T_a$  in the Archangelsky submarine volcanic massif; it is superposed on seafloor topography. The locations of the lines are shown in Fig. 3a.



**Рис. 9.** Изолинии аномального магнитного поля  $\Delta T_a$  (а) и 3D-диаграмма (б), отражающая пространственное распределение квазинамагниченности горных пород  $J^*$ , слагающих подводный вулканический массив Архангельского.

**Fig. 9.** The isolines of the anomalous magnetic field  $\Delta T_a$  (a) and the 3D diagram (b) that reflects the spatial distribution of the quasi-magnetization of rocks  $J^*$ , which compose the Archangelsky submarine volcanic massif.

Образование массива Архангельского, вероятно всего, происходило в периоды глобальных геомагнитных возмущений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 18-05-00410-А и 19-05-00654-А).

#### Список литературы [References]

Аникин Л.П., Блох Ю.И., Бондаренко В.И. и др. Комплексные исследования подводных и наземных вулканов Курильской островной дуги в 2018-2019 гг.) // Материалы XXII региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвященной Дню вулканолога, 28-29 марта 2019 г. / Главный редактор: д.г.-м.н. А.Ю. Озеров. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2019. С. 136–139 [Anikin L.P., Blokh Yu.I., Bondarenko V.I. et al. Kompleksnye issledovaniya podvodnyh i nazemnyh vulkanov Kuril'skoj ostrovnj dugi v 2018-2019 gg.) // Materialy XXII regional'noj nauchnoj konferencii «Vulkanizm i svyazannye s nim processy», posvyashchennoj Dnyu vulkanologa, 28 - 29 marta 2019 g. / Glavnij redaktor: d.g.-m.n. A.YU. Ozerov. Petropavlovsk-Kamchatskij: IViS DVO RAN, 2019. P. 136–139].

Баранов Б.В., Дозорова К.А. Кинематика поперечных разломов преддуговой области Центральных Курил и миграция желоба // Геология морей и океанов. Материалы XXI Международной конференции (школы) по морской геологии. Т. 5. М.: ГЕОС, 2015. С. 19–23 [Baranov B.V., Dozorova K.A. Kinematics of transcurrent faults in Central Kuriles forearc and trench migration // Geology of Seas and Oceans Proceedings of XXI International Conference on Marine Geology Moscow, November 15–20, 2015. V. 5. Moscow: GEOS, 2015. P. 19–23].

Безруков П.Л., Зенкевич Н.Л., Канаев В.Ф., Удинцев Г.Б. Подводные горы и вулканы Курильской островной гряды // Труды Лаборатории вулканологии. 1958. Вып. 13. С. 71–88 [Bezrukov P.L., Zenkevich N.L., Kanaev V.F., Udincev G.B. Podvodnye gory i vulkany Kuril'skoj ostrovnj gryady // Trudy Laboratorii vulkanologii. 1958. V. 13. P. 71–88].

Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др. Комплексные исследования подводных вулканов Броутонской поперечной вулканической зоны (Курильская островная дуга) // Материалы XXI региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвященной Дню вулканолога, 29-30 марта 2018 г. / Главный редактор: академик РАН Е.И. Гордеев. Петропавловск-Камчатский: ИВиС

- ДВО РАН, 2018. С. 91–94 [Blokhu Yu.I., Bondarenko V.I., Dolgal A.S. et al. Kompleksnyye issledovaniya podvodnykh vulkanov Broutonskoj poperechnoj vulkanicheskoj zony (Kuril'skaya ostrovnaya duga) // Materialy XXI regional'noj nauchnoj konferencii «Vulkanizm i svyazannyye s nim processy», posvyashchennoj Dnyu vulkanologa, 29–30 marta 2018 g. / Glavnyj redaktor: akademik RAN E.I. Gordeev. Petropavlovsk-Kamchatskij: IViS DVO RAN, 2018. P. 91–94].
- Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др.* Подводные вулканы Броутонской вулканической зоны (центральная часть Курильской островной дуги) // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Сборник научных трудов. Вып. 1 (46). Пермь: ГИ УрО РАН, ПГНИУ, 2019а. С. 47–51 [Blokhu Yu.I., Bondarenko V.I., Dolgal A.S. et al. Podvodnyye vulkany Broutonskoj vulkanicheskoj zony (central'naya chast' Kuril'skoj ostrovnogoj dugi) // Voprosy teorii i praktiki geologicheskoy interpretacii gravitacionnyh, magnitnyh i elektricheskikh polej: Sbornik nauchnyh trudov. Vyp. 1 (46). Perm': GI UrO RAN, PGNIU, 2019a. P. 47–51].
- Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С.* Новые данные о строении подводных вулканов Центральных Курил // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле земли, интерпретация геофизических полей. Десятые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Материалы конференции. Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2019б. С. 50–55 [Blokhu Yu.I., Bondarenko V.I., Dolgal A.S. et al. Glubinnoe stroenie, geodinamika, teplovoe pole zemli, interpretaciya geofizicheskikh polej. Desyatye nauchnye chteniya pamyati Yu.P. Bulashevicha. Materialy konferencii. Ekaterinburg: IGF UrO RAN, 2019b. P. 50–55].
- Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др.* Применение современных компьютерных технологий для исследования подводного вулканического центра вблизи юго-западной оконечности о. Симушир (Курильская островная дуга) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2014. № 2. Вып. 24. С. 27–40 [Blokhu Yu.I., Bondarenko V.I., Dolgal A.S. et al. Application of modern computer technologies for investigation of submarine volcanic centre near the South-Western coast of Simushir Island, the Kurile Island Arc // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2014. № 2(24). P. 27–40].
- Блох Ю.И., Рашидов В.А., Трусов А.А.* Оценка остаточной намагниченности подводных вулканов Курильской островной дуги с применением программы ИГЛА // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2015. № 2. Вып. № 26. С. 5–10 [Blokhu Yu.I., Rashidov V.A., Trusov A.A. Estimation of remnant magnetization of the Kuril Island Arc submarine Volcanoes using Software IGLA // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2014. № 2(26). P. 5–10].
- Бондаренко В.И., Рашидов В.А.* Погребенная подводная вулканическая зона к западу от о. Парамушир (Курильская островная дуга) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. № 2. Вып. 8. С. 69–85 [Bondarenko V.I., Rashidov V.A. A submarine volcanic Zone to the West of Paramushir Island (Kuril Island Arc) // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2006. № 2(8). P. 69–85].
- Бондаренко В.И., Рашидов В.А.* Геоморфология и тектоника Средних Курил // Геология морей и океанов: Материалы XVII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. IV. М.: GEOS, 2007. С. 32–33 [Bondarenko V.I., Rashidov V.A. Geomorphology and tectonics of the Central Kuriles // Geologiya morej i okeanov: Materialy XVII Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii (Shkoly) po morskoy geologii. T. IV. M.: GEOS, 2007. P. 32–33].
- Бондаренко В.И., Рашидов В.А.* Особенности тектоники северной части Курильской островной дуги // Геодинамические процессы и природные катастрофы. Опыт Нефтегорска: Всероссийская научная конференция с международным участием, Южно-Сахалинск, 26–30 мая 2015 г.: сборник материалов. В 2-х томах / Под ред. Б.В. Левина, О.Н. Лихачевой. Владивосток: Дальнаука, 2015. Т. 2. С. 24–27 [Bondarenko V.I., Rashidov V.A. Osobennosti tektoniki severnoj chasti Kuril'skoj ostrovnogoj dugi. Geodynamical Processes and Natural Hazards. Lessons of Neftegorsk: International scientific conference, Yuzhno-Sakhalinsk, May 26–30, 2015.: Proceedings. In 2 Volumes / Ed.: B.W. Levin, O.N. Likhacheva. Vladivostok: Dal'nauka, 2015. V. 2. P. 24–27].
- Бондаренко В.И., Рашидов В.А.* Особенности геоморфологии и тектоники пролива Буссоль (Курильские острова) // Тектоника, глубинное строение и минерагения востока Азии. IX Косыгинские чтения. Материалы Всероссийской конференции 13–15 сентября 2016 г. г. Хабаровск / Отв. ред. А.Н. Диденко и Ю.Ф. Манилов. Хабаровск: ИГиД ДВО РАН им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, 2016. С. 10–13 [Bondarenko V.I., Rashidov V.A. Osobennosti geomorfologii i tektoniki proliva Bussol' (Kuril'skie ostrova) // Tectonics, deep structure and minerageny of East Asia: Contributions of the IXth Russian Conference in memory of Academician Yu.A. Kosygin, September 13–15, 2016. Khabarovsk / Eds. Dieuko A.N. and Yu. F. Manilov. P. 10–13].
- Васильев Б.И., Суворов А.А.* Геологическое строение подводной долины Буссоль (Курильская островная дуга) // Новые данные по геологии дальневосточных морей. Владивосток. 1979. С. 58–68 [Vasil'ev B.I., Suvorov A.A. Geologicheskoe stroenie podvodnoj doliny Bussol' (Kuril'skaya ostrovnaya duga) // Novye dannye po geologii dal'nevostochnyh morej. Vladivostok. 1979. P. 58–68].
- Новейший и современный вулканизм на территории России / Отв. ред. Н.П. Лаверов. М.: Наука, 2005. 604 с. [Modern and Holocene Vplcanizm in Russia / Ed. By N.P. Laverov. Moskou: Nauka, 2005. P. 604].
- Остапенко В.Ф.* Некоторые аспекты новейшей истории прикурильской части Охотского моря в свете изучения подводных вулканов этого региона // Вулканизм Курило-Камчатского региона и о. Сахалин. Южно-Сахалинск: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 34–42 [Ostapenko V.F. Nekotorye aspekty novejshej istorii prikuril'skoj chasti Ohotskogo morya v svete izucheniya podvodnyh vulkanov etogo regiona // Vulkanizm Kurilo-Kamchatskogo regiona i o. Sahalin. Yuzhno-Sahalinsk: Izd-vo DVNC AN SSSR, 1976. P. 34–42].
- Остапенко В.Ф.* Подводные вулканы прикурильской части Охотского моря, и их значение для понимания новейшей истории этого региона // ДАН. 1978. Т. 242. № 1. С. 168–171 [Ostapenko V.F. Underwater

volcanoes of the near-Kuril part of the Sea of Okhotsk and its significance to understanding of the latest history of the region // *Doklady Earth Sciences*, 1978. V. 242. № 1. P. 168–171].

*Остапенко В.Ф., Кичина Е.Н.* Вещественный состав лав подводных вулканов Курильской дуги // Геология дна Дальневосточных морей. Владивосток: Изд-во ДВНЦАН СССР. САННИИ, 1977. С. 24–45 [*Ostapenko V.F., Kichina E.N.* Veshchestvennyj sostav lav podvodnyh vulkanov Kuril'skoj dugi // *Geologiya dna Dal'nevostochnyh morej*. Vladivostok: Izd-vo DVNC AN SSSR. SAKNII, 1977. P. 24–45].

Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги / Отв. ред. Ю.М. Пушчаровский. М.: Наука, 1992. 528 с. [Podvodnyj vulkanizm i zonal'nost' Kuril'skoj ostrovnnoj dugi / Отв. ред. Ю. М. Pushcharovskij. М.: Наука, 1992. 528 p.].

*Рашидов В.А., Пилипенко О.В., Петрова В.В.* Петромагнитные и микророндовые исследования пород подводной вулканической группы Софу (Идзу-Бонинская островная дуга, Тихий океан) // Вулканология и сейсмология. 2015. № 3. С. 36–51. <https://doi.org/10.7868/S0203030615030049> [*Rashidov V.A., Pilipenko O.V., Petrova V.V.* Petromagnetic and Microprobe Studies of Rocks in the Sofu Underwater Volcanic Cluster, Izu–Bonin Island Arc, Pacific Ocean // *Journal of Volcanology and Seismology*. 2015. V. 9. № 3. P. 182–196. <https://doi.org/10.1134/S0742046315030045>].

*Рашидов В.А., Пилипенко О.В., Петрова В.В.* Петромагнитные и петрографо-минералогические

исследования горных пород, драгированных на подводных вулканах Охотоморского склона северной части Курильской островной дуги // Физика Земли. 2016. № 4. С. 84–106. <https://doi.org/10.7868/S0002333716040062> [*Rashidov V.A., Pilipenko O.V., Petrova V.V.* Rock Magnetic and Petrographical–Mineralogical Studies of the Dredged Rocks from the Submarine Volcanoes of the Sea of Okhotsk Slope within the Northern Part of the Kuril Island Arc // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. 2016. V. 52 № 4. P. 550–571. <https://doi.org/10.1134/S109351316040066>].

*Рашидов В.А., Пилипенко О.В., Петрова В.В.* Особенности минерального состава и петромагнитные свойства пород подводного вулкана Минами-Хиоси (Марианская островная дуга) // Тихоокеанская геология. 2017. Т. 36. № 5. С. 29–43 [*Rashidov V.A., Pilipenko O.V., Petrova V.V.* Specific Features of the Mineral Composition and Petromagnetic Properties of Rocks from the Mariana–Khosu Submarine Volcano (Mariana Island Arc) // *Tikhookeanskaya Geologiya*. 2017. V. 11. № 5. P. 339–353. <https://doi.org/10.1134/S1819714017050049>].

*Gnibidenko G.S.* The Sea of Okhotsk-Kurile Islands ridge and Kurile-Kamchatka trench // *The ocean basins and margins*. N.Y.; L.: Plenum press, 1985. V. 7A: The Pacific Ocean. P. 377–418.

*Gnibidenko G.S., Svarichevsky A.S.* Tectonics of the South Okhotsk Deep-Sea Basin // *Tectonophysics*. 1984. V. 102. № 1–4. P. 225–244. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(84\)90015-5](https://doi.org/10.1016/0040-1951(84)90015-5).

## INTEGRATED GEOLOGIC-GEOPHYSICAL INVESTIGATION OF THE ARCHANGELSKY SUBMARINE VOLCANIC MASSIF (KURILE ISLAND ARC)

**Yu.I. Blokh<sup>1</sup>, V.I. Bondarenko<sup>2</sup>, A.S. Dolgal<sup>3</sup>, P.N. Novikova<sup>3</sup>, V.V. Petrova<sup>4</sup>, O.V. Pilipenko<sup>5</sup>, V.A. Rashidov<sup>6,7</sup>, A.A. Trusov<sup>8</sup>**

<sup>1</sup>*Moscow, Russia, 123995*

<sup>2</sup>*Kostroma State University, Kostroma, Russia, 156961*

<sup>3</sup>*Mining Institute, Ural Branch RAS, Perm', Russia, 614007*

<sup>4</sup>*Geological Institute RAS, Moscow, Russia, 109017*

<sup>5</sup>*Shmidt Institute of Physics of the Earth RAS, Moscow, Russia, 123995*

<sup>6</sup>*Institute of Volcanology and Seismology, FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, 683006*

<sup>7</sup>*Far East Geological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia, 690022*

<sup>8</sup>*AO GNPP Aerofizika Moscow, Russia, 125373*

The article presents the results of integrated geologic-geophysical investigation of the Arkhangelsky submarine volcanic massif, which is located in the Bussol Strait in the central zone of the Kurile Island Arc. The massif consists of amalgamated and eroded volcanic edifices and is built up of endogenous basalts and exogenous tuffs. Rocks and minerals to the exclusion of quartz are hydrothermally altered; moreover they were altered after the formation of tuff. High values of the natural remnant magnetization of dredged rocks are caused by the high content of single-domain and pseudo-single-domain grains of titanomagnetite and magnetite. The Arkhangelsky massif most likely was formed during periods of global geomagnetic disturbances. The authors have revealed feeders of the near-vertical and southeastern trends and causative magnetic blocks with different geometric and magnetic characteristics in the edifice of the massif. A peripheral magma chamber has been revealed between depths of 1100–1200 m. At the southeast foot of the massif we found large landslide blocks.

*Keywords: Arkhangelsky submarine volcanic massif, Kurile Island Arc.*