

**КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ПОДВОДНОГО ВУЛКАНА 7.10  
(КУРИЛЬСКАЯ ОСТРОВНАЯ ДУГА)**

© 2021 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</sup>, А.А. Трусов<sup>7</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, 123995

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

<sup>7</sup>АО «ГНПП Аэрогеофизика», Москва, Россия, 125373

Подводный вулкан 7.10, входящий в состав Северо-Итурупской группы подводных вулканов Курильской островной дуги, был изучен в 5 рейсах научно-исследовательского судна «Вулканолог» в 1982–1989 гг. Проведенные комплексные исследования показали, что постройка подводного вулкана 7.10 сложена породами ряда от дацитов до базальтов. Вершина и склоны вулкана лишены осадков, а основание перекрыто осадочной толщей, мощность которой достигает 800 м. Минимальная глубина, зафиксированная над вершиной вулкана, составляет 210 м. В вулканической постройке выделены подводящие каналы субвертикального, северо-восточного и северо-западного направлений, а также периферические магматические очаги на глубинах 2.5–3.0 км. Сделано предположение о том, что при терминальном извержении небольшие лавовые потоки изливались в северо-северо-восточном и юго-западном направлениях, а основной лавовый поток излился в юго-восточном направлении и достиг основания вулканической постройки.

*Ключевые слова:* подводный вулкан, Курильская островная дуга, комплексные геолого-геофизические исследования.

Курильская островная дуга (КОД) является важным элементом Тихоокеанской переходной зоны, и здесь постоянно происходят современные геологические процессы, внешним проявлением которых являются извержения наземных и подводных вулканов, землетрясения и цунами.

Комплексные исследования подводных вулканов КОД, проведенные в период с 1981 г. по 1991 г. с борта научно-исследовательского судна (НИС) «Вулканолог» проводились в два этапа. На первом этапе, на ходу судна, выполнялись площадные и профильные геофизические исследования и эхолотный промер, а на втором — в выбранных точках отрабатывались станции геологического опробования. При проведении геофизических исследований использовалась единая служба судового времени, которая позволяла синхронизировать работу измерительной аппаратуры различных методов исследований

и приводить результаты измерений к единым пространственным координатам.

Описанию результатов комплексных геолого-геофизических исследований подводного вулкана 7.10, расположенного в южной части КОД, посвящена настоящая статья.

**РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ  
И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Подводный вулкан 7.10 (рис. 1), входящий в состав Северо-Итурупской группы подводных вулканов КОД, был изучен в 15-ом, 17-ом, 25-ом, 29-ом и 34-ом рейсах НИС «Вулканолог» в 1982, 1983, 1986, 1987 и 1989 гг. (Блох и др., 2020б; Подводный..., 1992).

Сведения о том, что этот подводный вулкан изучался в рейсах других отечественных или иностранных НИС, в доступных авторам настоящей

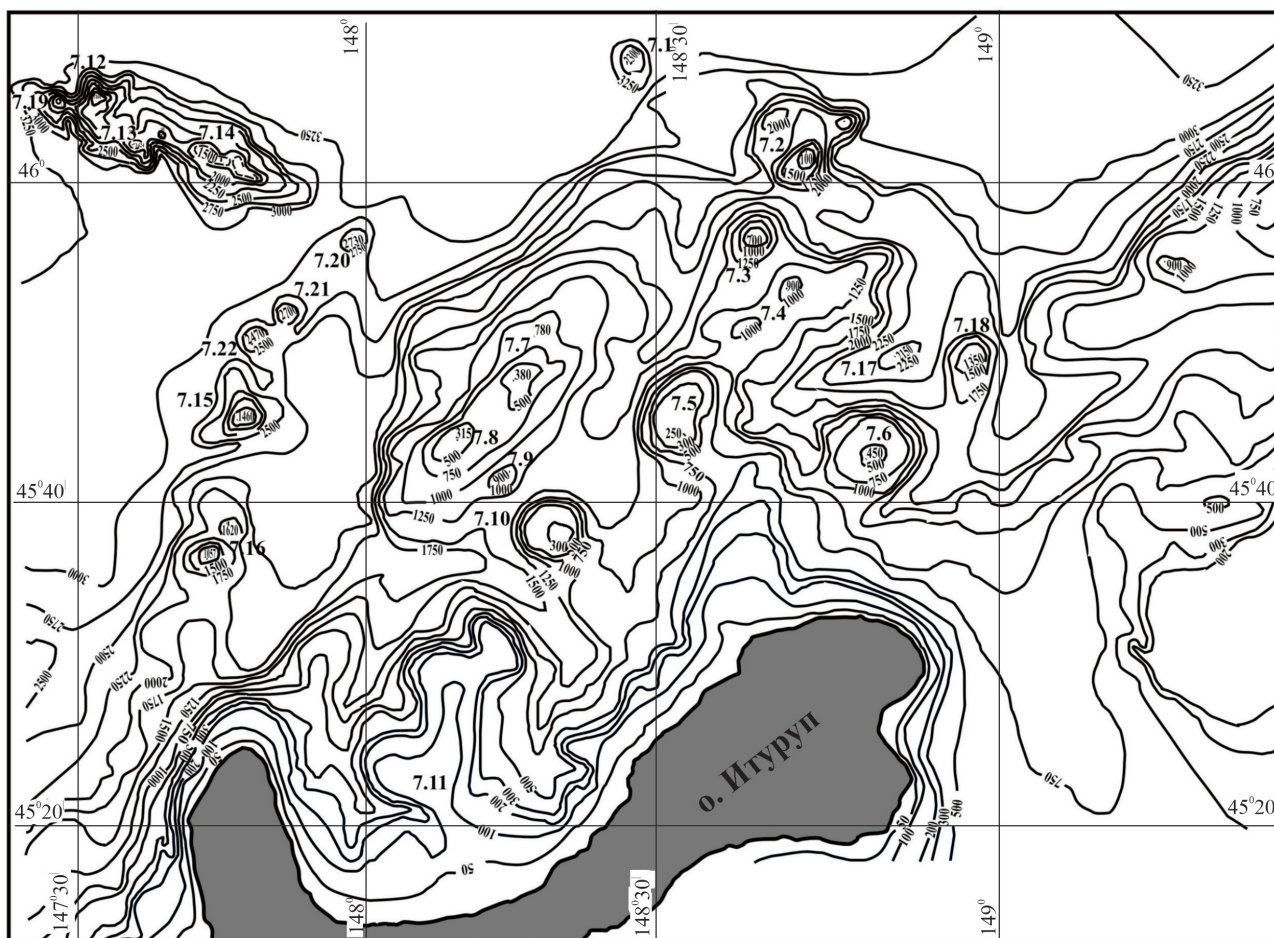


Рис. 1. Батиметрическая карта Северо-Итурупской группы подводных вулканов.

Fig. 1. Bathymetric map of the North Iturup group of submarine volcanoes.

статьи литературных источниках и материалах из сети Интернет, не обнаружены.

Эхолотный промер подводного вулкана 7.10 был выполнен с помощью глубоководного эхолота «WD-110M» фирмы NEC (Япония). Непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСП) с применением электроискрового источника типа «спаркер» было проведено в одноканальном варианте в модификации метода центрального луча. При гидромагнитной съемке (ГМС) измерения модуля полного вектора индукции магнитного поля Земли осуществлялись протонным магнитометром. При драгировании использовалась цилиндрическая драга.

Проведенные исследования показали, что подводный вулкан 7.10 имеет вершину  $2 \times 3$  км, расположенную на глубинах 210–230 м (рис. 2, 3а), и перекрытое осадочной толщей основание  $7.5 \times 12$  км (рис. 4). На вершине вулкана отмечено несколько пиков, а минимальная глубина, зафиксированная над ней, равна 210 м (рис. 2, 3а). Полная высота вулканической постройки 1800–1900 м, а объем  $\sim 45$  км<sup>3</sup> (Подводный..., 1992). К вулканической постройке приурочена локаль-

ная аномалия магнитного поля  $\Delta T_a$  с размахом 945–1000 нТл (рис. 3б).

Судя по расположению и глубине вершины, вулкан доголоценовый. При этом, учитывая величину голоценового подъема уровня океана 100–110 м, следует предполагать асимметричное погружение вершины с наклоном к северо-западу, после ее формирования на глубинах 100–200 м.

В привершинной части постройки в глубинном диапазоне 290–260 м выполнена одна станция драгирования (рис. 2) и поднято  $\sim 60$  кг горных пород (Подводный..., 1992).

К настоящему времени были опубликованы всего три химических анализа породообразующих и редких элементов пород, опробованных на подводном вулкане 7.10 (Подводный..., 1992), и один анализ избранных элементов (Ryan et al., 1995) и сделано предположение о том, что его постройку слагают свежие порфиоровые двупироксен-плагиоклазовые с титаномагнетитом андезиты и андезибазальты (Подводный..., 1992).

Концентрация радиоактивных элементов в лавах подводного вулкана 7.10 равна 1.5 мкг/г, 3.9 мкг/г и 1.37 мас.% соответственно для урана,

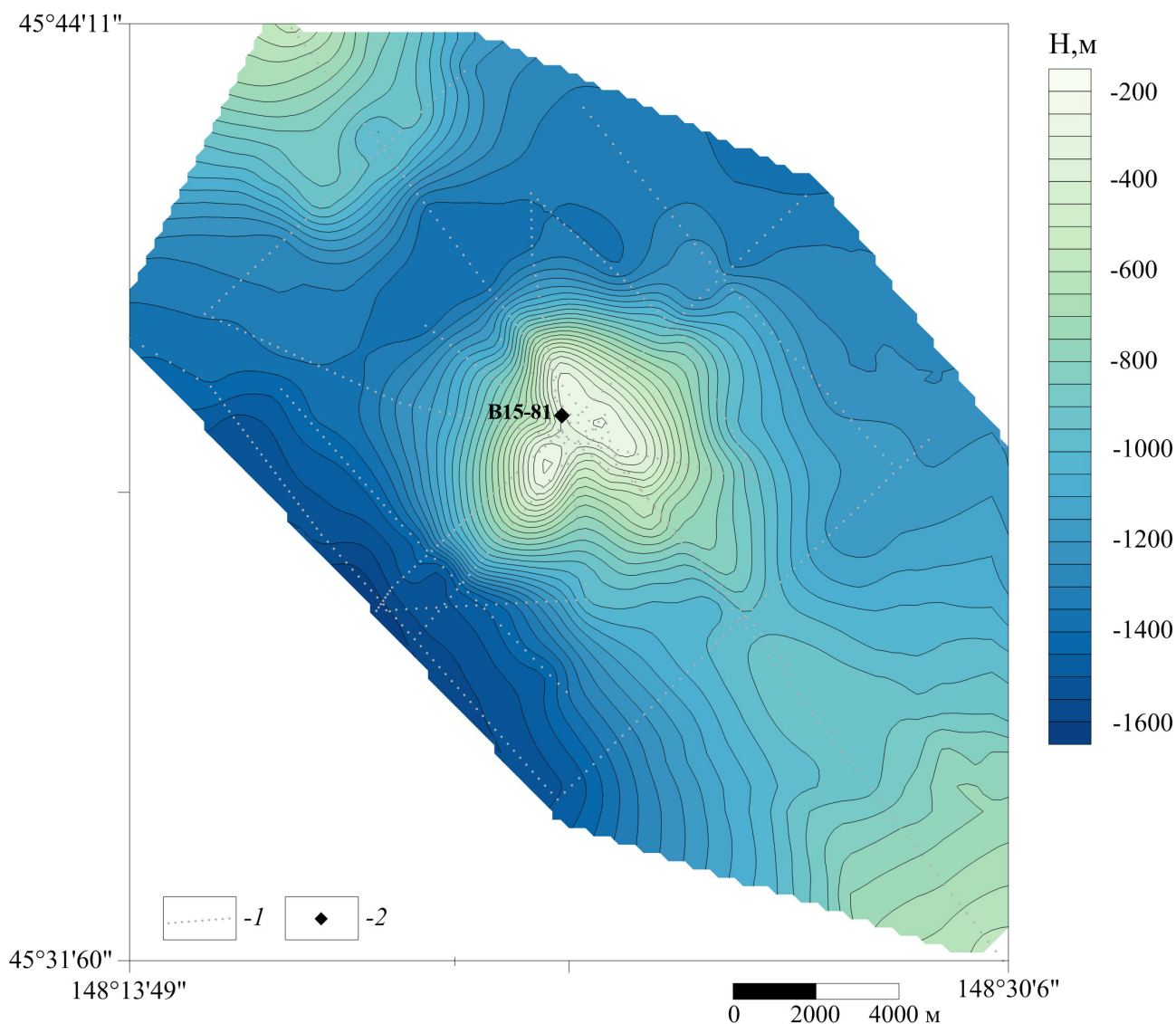


Рис. 2. Рельеф подводного вулкана 7.10: 1 — галсы; 2 — драга.

Fig. 2. The relief of the submarine volcano 7.10: 1 — tacks; 2 — dredge.

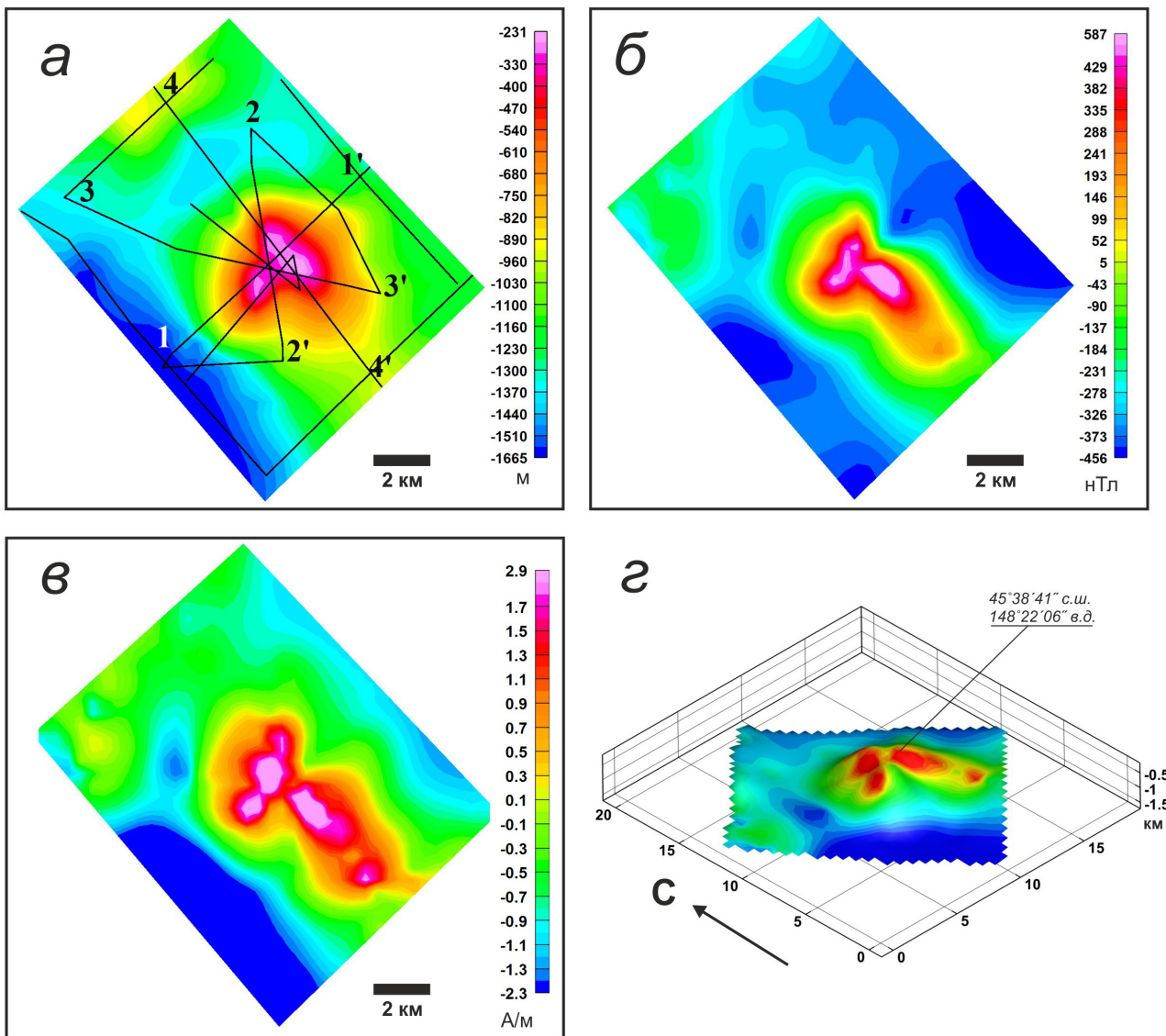
тория и калия, а соотношение  $\text{Th}/\text{U} = 2.6$  (Пузанков и др., 1991). Для того чтобы в дальнейшем не возникало недоразумений, необходимо отметить, что в цитируемой работе этот вулкан ошибочно назван вулканом 7.16.

Соотношение изотопов  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  для образца лавы B15-81-1 подводного вулкана 7.10 равно 0.513016 (Dreyer et al., 2010).

Нами были изучены еще четыре образца горных пород, драгированных на описываемом вулкане (рис. 5–7). Их химический анализ показал, что содержание кремнезема в них колеблется от 50 до ~65 мас.%, а суммарное количество щелочей находится в пределах от 3 до 5.5 мас.%. (табл. 1). Согласно этому, химический состав драгированных пород отвечает базальтам, андезибазальтам, андезитам и дацитам, что подтверждается данными петрографических исследований (рис. 7). При этом высокое

содержание кремния в образце дацита может объясняться наличием в нем тридимита, а не кварца. Интересно отметить, что среди щелочей почти во всех образцах количество  $\text{Na}_2\text{O}$  близко (3.13–3.38 мас.%, понижаясь до 2.4 только в базальтах). Количество  $\text{K}_2\text{O}$  — низкое в базальтах и в андезитах (соответственно 0.80 и 0.69 мас.%), относительно постоянное в андезибазальтах (1.52–1.77 мас.%) и повышенное в дацитах (2.11 мас.%). Нанесение полученных данных на классификационную диаграмму:  $\text{SiO}_2$ — $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  (рис. 5) показывает, что составы всех пород полностью отвечают принятой номенклатуре (Петрографический..., 2009).

Что касается редких элементов, то большая часть из них количественно отвечает среднему содержанию в породах данного состава. Несколько повышены значения Cr, Ni, Sr, V в базальте, и Ba — в даците.

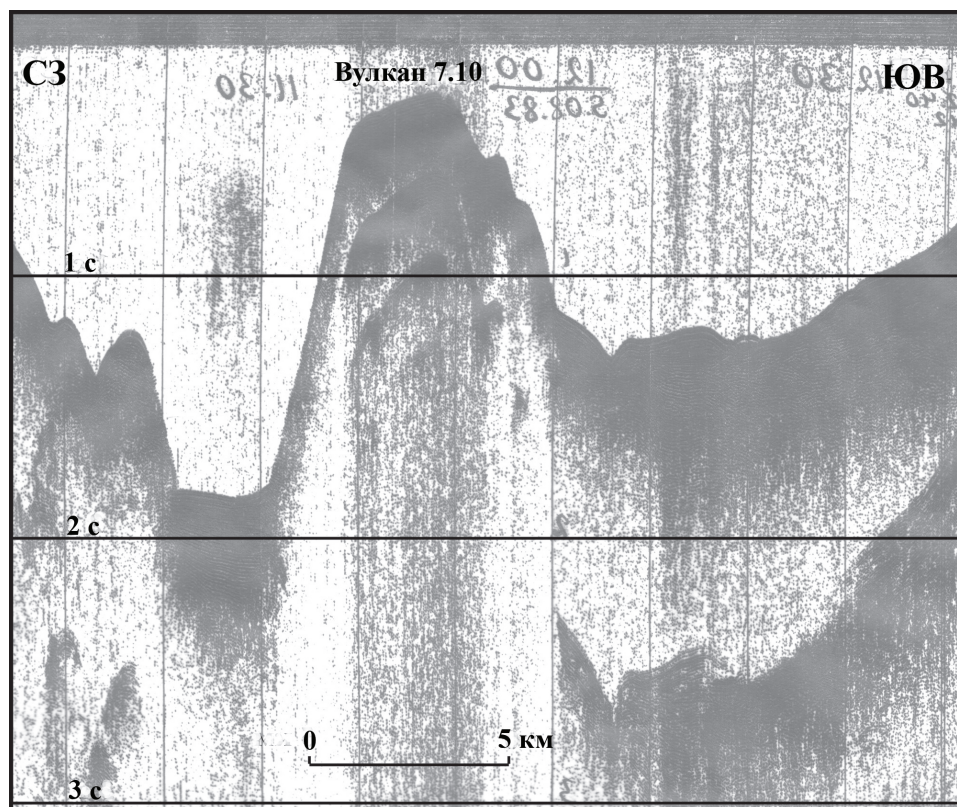


**Рис. 3.** Подводный вулкан 7.10: *а* — батиметрия; *б* — аномальное магнитное поле  $\Delta T_a$ ; *в* — распределение эффективной намагниченности  $J_{эф}$ ; *г* — распределение эффективной намагниченности  $J_{эф}$ , изображенное на поверхности вулкана. Цифрами обозначены профили, приведенные на рисунках 4 и 10.

**Fig. 3.** Submarine volcano 7.10: *a* — bathymetry; *б* — anomalous magnetic field  $\Delta T_a$ ; *в* — spatial distribution of effective magnetization  $J_{эф}$ ; *г* — spatial distribution of effective magnetization  $J_{эф}$  shown on the surface of the volcano. Numerals mark the lines shown in Fig. 4 and in Fig. 10.

Обращают на себя внимание некоторые особенности минерального состава описываемых пород. В первую очередь это относится к химическому составу минерала, отвечающего по оптическим свойствам оливину. В минерале содержится (масс. %):  $SiO_2 = 32.30$ ,  $FeO+Fe_2O_3 = 20.84$ ,  $MnO = 0.90$ ,  $MgO = 7.46$ ,  $CaO = 27.70$ ,  $Cr_2O_3 = 8.77$ , сумма = 97.97, что соответствует формуле  $(Ca_{0.89}Fe_{0.52}Mg_{0.33}Cr_{0.20}Mn_{0.02})_{1.96}Si_{0.97}O_4$ . Этот состав не характерен для классических минералов группы оливина, в которых наблюдается преобладание железа или магния, а кальций отмечен в незначительных количествах. В составе описываемого нами минерала кальций преобладает и присутствует значительное количество хрома.

Существуют изоструктурные оливину редкие минералы группы монтичеллита — монтичеллит ( $CaMgSiO_4$ ) и кирштейнит ( $CaFeSiO_4$ ), составы которых изоморфны. Эти минералы образуются при пересыщении кальцием минералообразующих сред и отмечены преимущественно в метаморфитах, но встречаются также в ультраосновных породах и вулканитах (Николаева, 2004; Плечов и др., 2017; Силаев и др., 2019; Lustrino et al., 2019). Монтичеллит, в частности, определен в районе вулкана Везувий (Principe, Marini, 2008). Но присутствие хрома в монтичеллите и кирштейните не описано. Поэтому оливиноподобный минерал в базальтах подводного вулкана 7.10 может оказаться в настоящее время неизвестным.



**Рис. 4.** Профиль НСП 4–4', пересекающий подводный вулкан 7.10. Местоположение профиля представлено на рис. 3.

**Fig. 4.** CSP 4–4' profile crossing the submarine volcano 7.10. The profile location is shown in Fig. 6.

В числе прочих минералогических особенностей отмечены свидетельства эвтектического образования титаномагнетита и ромбического пироксена, а также в лавах встречены минералы-индикаторы параметров образования вулканических пород — пижонит и тридимит (рис. 6).

Титаномагнетит по химическому составу довольно однороден, суммарное количество  $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$  колеблется в пределах 75–80, а  $\text{TiO}_2$  — 9–21 вес %, содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  находится на уровне первых десятых долей процента. По этим параметрам температура образования титаномагнетита оценивается примерно в 1280°C.

Пижонит — удивительный минерал — высокотемпературный (1200–1300°C), он может неизменно сохраниться до поверхностных температур только в случае стремительного подъема магматического вещества. При медленном движении лавовой колонны или стоянии магмы в более низкотемпературном промежуточном очаге пижонит распадается на ромбическую и моноклинную модификации пироксена. Существуют редкие факты кристаллизации пижонита при более низких температурах.

Пижонит ( $\text{Ca}_{0.13-0.21}$ ) был диагностирован перед извержением или непосредственно после него на вулкане Акита-Комагатака (Япония) в 1970–1971 гг. (Aramaki, Katsura, 1973). Потоки

лавы извергались активно, быстро застывали, не успевая пройти расстояния 600 м. Температура лавы составляла 1100–1090°C. Пижонит не распался на ромбическую и моноклинную разновидности пироксена, возможно, вследствие бронирования внешней части потока застывшей коркой и сохранившейся под этой коркой высокой температурой минералообразующего субстрата. Пижонит обнаружен и на других наземных и подводных вулканах (Блох и др., 2018; Волюнец и др., 1990; Петрова, Рашидов, 2016, 2019; Подводный..., 1992; Bailey et al., 1989; Bardintzeff et al., 2020; Bryan et al., 2004; Nakamura, Kushiro, 1973; Yamamoto et al., 1991).

В описываемых андезибазальтах вулкана 7.10 наблюдаются узкие оторочки пижонита ( $\text{Ca}_{0.11-0.18}$ ) вокруг кристаллов авгита (рис. 7). Такой парагенезис иногда объясняют первоначальной кристаллизацией ядра минерала (авгита) из расплава очаговой зоны, а каймы (пижонита) из остаточной его части. Не исключено, что такой же генезис отмечается и для описываемого минерала. Возможно, оторочки формировались одновременно с кристаллизацией основной массы породы. При этом микролиты плагиоклаза «оттягивали на себя» значительное количество кальция, обедняя этим компонентом минералообразующий субстрат вокруг вкрапленников

**Таблица 1.** Силикатный и (мас. %) и редкоэлементный (ppm) составы драгированных пород, слагающих подводный вулкан 7.10**Table 1.** The silicate (wt %) and trace element (ppm) compositions of the dredged rocks which compose submarine volcano 7.10

Обр. №	B15-81/9	B15-81/3	B15-81/1	B15-81/2	B15-81/4	B15-81 /7	B15-81/6
№ п/п	1	2	2	4	5	6	7
Порода	базальт	андезибазальт				андезит	дацит
SiO <sub>2</sub>	50.28	54.14	55.62	55.82	56.40	61.21	64.92
TiO <sub>2</sub>	0.87	0.66	0.83	0.78	0.70	0.97	0.55
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.02	18.22	17.95	17.45	17.71	14.58	14.88
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.36	4.72	2.45	3.50	4.77	4.55	4.94
FeO	5.49	4.11	5.04	5.06	2.97	4.94	0.88
MnO	0.18	0.13	0.17	0.17	0.19	0.22	0.13
MgO	6.49	3.78	3.28	3.80	2.54	1.55	1.60
CaO	10.61	8.35	7.82.	7.86	8.16	6.99	5.28
Na <sub>2</sub> O	2.44	3.13	3.17	3.27	3.33	3.37	3.38
K <sub>2</sub> O	0.80	1.66	1.77	1.66	1.52	0.69	2.11
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.15	0.27	0.30	0.25	0.23	0.17	0.15
ппп	1.49	0.92	1.24	0.86	0.99	0.10	0.93
Сумма	99.18	100.09	99.65	100.48	99.51	99.34	99.75
CO <sub>2</sub>	0.95	–	–	–	0.26	0.30	<0.20
Ba	212	450	440	370	412	195	513
Co	44	20	18	21	19	14	15
Cr	436	94	46	26	72	9	11
Cu	63	44	61	36	42	21	22
Ga	15	–	–	–	18	17	14
Mo	<2.0	–	–	–	<2.0	<2.0	<2.0
Nb	<2.0	–	–	–	<2.0	<2.0	<2.0
Ni	189	32	31	5	34	4.5	10
Pb	4.0	–	–	–	8.7	6.4	9.7
Rb	18	–	–	–	36	12	49
S	<100	–	–	–	<100	<100	250
Sc	39	–	–	–	22	37	16
Sr	436	570	430	390	550	355	334
Be	–	0.60	0.60	0.60	–	–	–
B	–	17	25	26	–	–	–
F	–	570	680	430	–	–	–
Th	<2.0	4.3	4.3	3.0	3.6	<2.0	5.4
U	<2.0	1.3	1.9	1.3	3.6	<2.0	5.4
V	269	240	380	380	171	172	125
Y	20	–	–	–	20	29	21
Zn	69	80	87	97	71	119	58
Zr	58	–	–	–	105	65	122

Примечание. Анализы 1, 5–7 выполнены в химической лаборатории Геологического института РАН методом рентгенофазового анализа (зав. лабораторией С.М. Ляпунов). Анализы 2–4 из работы (Подводный..., 1992).

Note. Analyses 1, 5–7 were performed in the Chemical Laboratory, Geological Institute, RAS using the X-ray phase method (Head of Laboratory is S.M. Lyapunov). Analyses 2–4 are from (Podvodnyi ..., 1992).

КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ

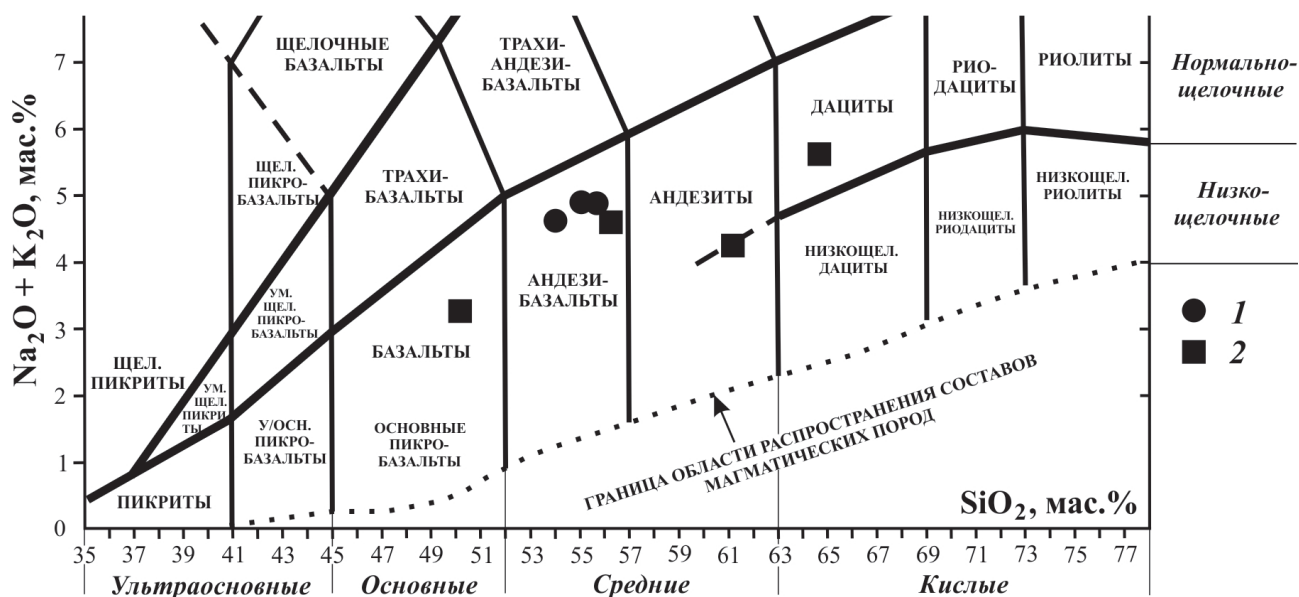


Рис. 5. Фрагмент TAS-диаграммы (Петрографический..., 2009) с нанесенным составом пород подводного вулкана 7.10: 1 — данные из работы (Подводный..., 1992); 2 — данные авторов настоящей статьи.

Fig. 5. Fragment of the TAS diagram (Petrographic..., 2009) with the plotted composition of the rocks of the underwater volcano 7.10: 1 — data from (Podvodny..., 1992); 2 — data of the authors of this article.

пироксена — авгита — и достраивая его пижонитом, содержащим значительно меньше этого компонента.

Но кроме узких каемок вокруг авгита встречаются отдельные мелкие кристаллы пижонита. Изредка они присутствуют среди микролитов. Наиболее крупные единичные кристаллы размером до 0.3 мм отмечены в основной массе на границе ее и газовой полости, выполненной поздним тридимитом. Предполагается, что пижонит образовался чуть раньше тридимита одновременно с кристаллизацией основной массой породы. Об этом же свидетельствует парагенезис пижонита и микролитов плагиоклаза ( $And_{48}$ ).

Оторочки пижонита вокруг вкрапленников авгита и присутствие его микролитов вблизи газовых пустот в ассоциации с тридимитом предполагают более позднее, чем очаговое время образования минерала. Пижонит кристаллизовался одновременно с кристаллизацией основной массы породы, возможно, в промежуточном очаге или в канале, но не во время излияния лавового потока.

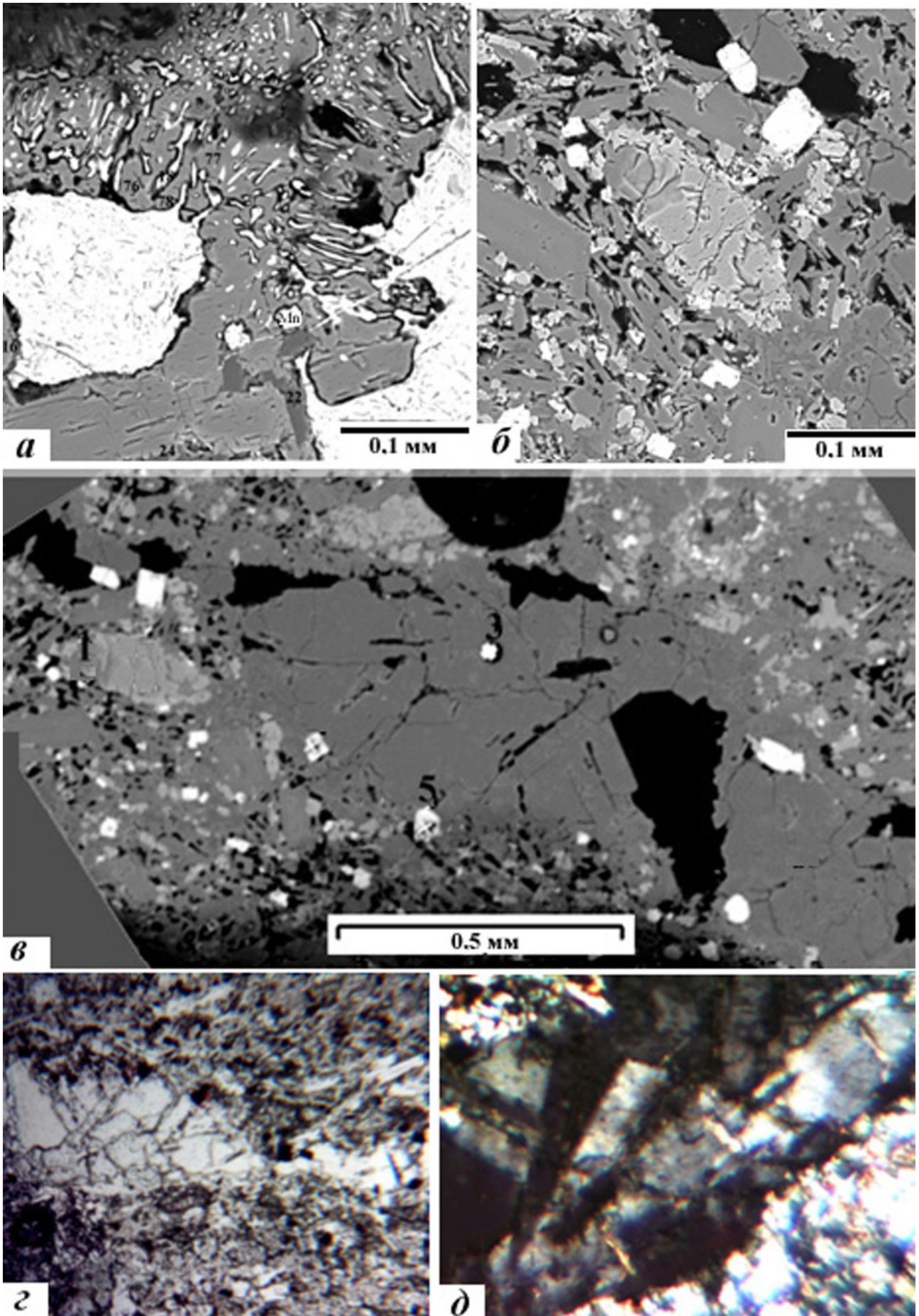
Порядок кристаллизации минеральных ассоциаций, установленный на основании

парагенетических взаимоотношений минералов, представляется следующим: (оливин(псевдо) + титаномагнетит + ромбический пироксен + битовнит ± моноклинный пироксен (вкрапленники)) → ((лабрадор- битовнит) + моноклинный пироксен (вкрапленники)) → (титаномагнетит + моноклинный пироксен, в том числе пижонит + (андезин-лабрадор) ± ромбический пироксен (микролиты)) → (тридимит (заполнение газовых полостей)). Исходя из этого, максимальную температуру минералообразования данной породы мы оцениваем порядка 1280°C, а минимальную — выше 900°C.

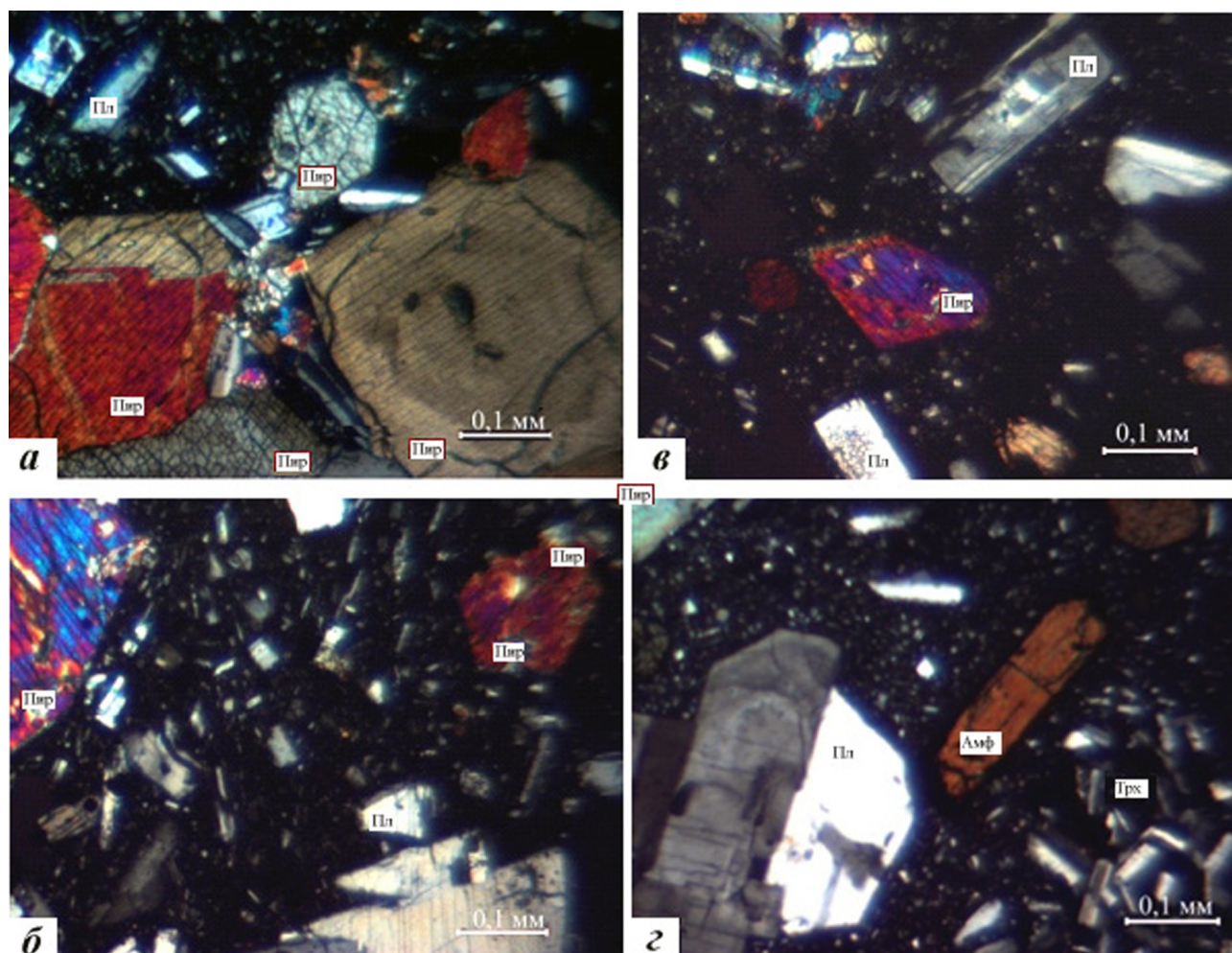
Петромагнитные исследования четырех образцов, драгированных на подводном вулкане 7.10 (табл. 2), выполненные на образцах-дублях, показали, что величина их естественной остаточной намагниченности  $J_n$  варьирует в пределах одного порядка от 1.71 до 13.2 А/м. Высокие значения  $J_n$  образцов обусловлены относительно высокой концентрацией  $C = 0.15-0.63\%$  низкокоэрцитивных псевдооднородных магнитных зерен ( $V_{cr} = 19-49$  мТл). Магнитная восприимчивость  $\chi$  изменяется в диапазоне  $(3.47-25.86) \times 10^{-3}$  СИ. Степень анизотропии изменяется от 1 до 3%.

Рис. 6. Особенности минералогии лав вулкана 7.10: а — ассоциация титаномагнетита (белое) и ромбического пироксена (серое); б — пижонит (светло серое) в ассоциации с плагиоклазом (темно серое); заполнение газового раздува в породе тридимитом: в — электронный микроскоп, г — оптический микроскоп без анализатора; д — характерное клиновидное погасание тридимита (оптический микроскоп с анализатором).

Fig. 6. Features of the mineralogy of volcano 7.10 lavas: a — association of titanomagnetite (white) and rhombic pyroxene (gray); b — pigeonite (light gray) in association with plagioclase (dark gray); filling the gas blowing in the rock with tridymite: в — electron microscope, г — optical microscope without analyzer; д — characteristic wedge-shaped extinction of tridymite (optical microscope with analyzer).







**Рис. 7.** Особенности петрографии лав вулкана 7.10. Оптический микроскоп с анализатором: *а* — образец В15-81/9: базальт, крупнопорфировый, плагиоклаз-двупироксеновый с оливином; *б* — образец В15-81/4: андезитобазальт, крупнопорфировый, двупироксен-плагиоклазовый с титаномагнетитом; *в* — образец В15-81/7: андезит мелко-среднепорфировый, титаномагнетит-пироксен-плагиоклазовый; *г* — образец В15-81/6: дацит, порфировый, пироксен-роговообманково-плагиоклазовый, с ксенолитами базальта. Пр — пироксен, Пл — плагиоклаз, Амф — амфибол, Трх — трахит.

**Fig. 7.** Peculiarities of lava petrography of the volcano 7.10. Optical microscope with analyzer: *a* — sample В15-81/9: coarse-porphyry basalt, plagioclase-two-pyroxene with olivine; *б* — sample В15-81/4: large-porphyry basalt andesite, bipyroxene-plagioclase with titanomagnetite; *в* — sample В15-81/7: fine to medium porphyry andesite, titanomagnetite-pyroxene-plagioclase; *г* — sample В15-81/6: dacite, porphyry, pyroxene-hornblende-plagioclase, with basalt xenoliths. Пр — pyroxene, Пл — plagioclase, Амф — amphibole, Трх — trachyte.

У образцов В15-81/6-2 и В15-81/9-2 наблюдаются высокие величины медианного переменного магнитного поля, что говорит о происшедших изменениях в составе титаномагнетита (Kontny et al., 2003) или его фазовых изменениях, вызванных тем, что породы кристаллизовались в краевых частях базальтовых потоков при быстром остывании расплава (Природа..., 1996). В этих условиях кристаллы титаномагнетита приобретают однодоменную и псевдооднодоменную структуру, а породы имеют высокие значения  $J_p$ .

Термоманитный анализ (ТМА) по зависимости магнитного момента насыщения от температуры  $M_s$  (Т) образцов В15-81/6-2 и В15-81/7-2 (рис. 8) показал, что на кривой первого

и второго нагревов присутствует единственная температура блокирования близкая к точке Кюри магнетита  $580^\circ\text{C}$ . Кривые первого и второго нагревов практически совпадают, нагрев идет без образования новых ферромагнитных фаз. Такая картина характерна для устойчивого к нагревам магнетита. Возможно, что в этих образцах гетерофазное разложение исходного титаномагнетита до магнетита и гемойльменита уже прошло в естественных условиях.

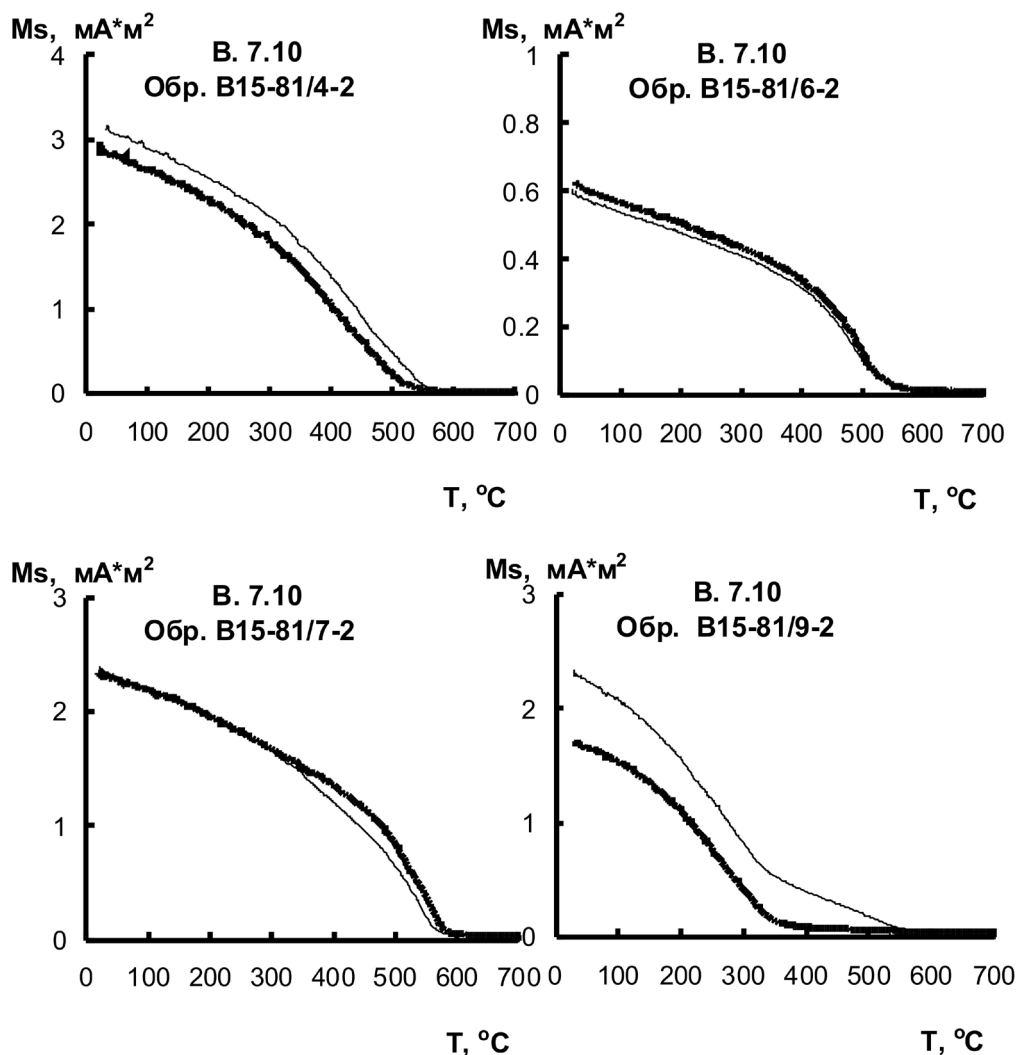
В результате проведения ТМА образца В15-81/4-2 установлено, что на кривой первого нагрева присутствует единственная температура блокирования  $\sim 525^\circ\text{C}$ . Кривая второго нагрева проходит несколько выше, температура

Таблица 2. Петромагнитные характеристики драгированных образцов горных пород, составляющих подводный вулкан 7.10  
 Table 2. Petro-magnetic characteristics of dredged rock samples composing the underwater volcano 7.10

Образец	Порода	Jn, А/м	$\alpha, 10^{-3}$ СИ	Qn	P'	$B_{0.5},$ мТл	Mrs, $\mu A^*M^2$	Ms, $\mu A^*M^2$	Mrs/Ms	Bcr, мТл	Bc, мТл	Bcr/Bc	Струк- тура	C, %
B15-81/4-1	Андезибазальт	1.71	25.80	1.67	1.008	2.5	25.62	196.60	0.13	28.80	10.73	2.68	PSD	
B15-81/4-2	Андезибазальт	1.88	25.86	1.83	1.011									0.63
B15-81/6-1	Дациит	3.43	3.47	24.84	1.026	40.0	3.09	16.05	0.19	48.56	18.21	2.67	PSD	
B15-81/6-2	Дациит	2.74	4.73	14.55	1.019									0.15
B15-81/7-1	Андезит	3.53	20.01	4.43	1.012	12.2	10.74	109.30	0.10	19.37	7.38	2.63	PSD	
B15-81/7-2	Андезит	3.56	18.77	4.77	1.014									0.49
B15-81/9-1	Базальт	7.21	11.73	15.44	1.032	50.8	9.93	38.11	0.26	28.57	14.93	1.91	PSD	
B15-81/9-2	Базальт	13.20	11.97	27.71	1.029									0.51

Примечание. Jn — естественная остаточная намагниченность;  $\alpha$  — магнитная восприимчивость; Qn — фактор Кенигсбергера, P' — степень анизотропии магнитной восприимчивости; Bcr — остаточная коэрцитивная сила; Bc — коэрцитивная сила;  $B_{0.5}$  — медианная сила;  $B_{0.5}$  — медианное поле; Mrs — остаточный магнитный момент насыщения; Ms — магнитный момент; PSD — псевдооднородные зерна; C — объемная концентрация ферромагнетика.

Note. Jn — natural remanent magnetization;  $\alpha$  — magnetic susceptibility; Qn — Koenigsberger ratio; P' — degree of anisotropy of magnetic susceptibility; Bcr — remanent coercive force; Bc — coercive force;  $B_{0.5}$  — median field; Mrs — remanent saturation magnetic moment; Ms — saturation magnetic moment; PSD pseudo-single-domain grains; MD — multidomain grains; C — volumetric concentration of ferromagnetic material.



**Рис. 8.** Термомагнитные кривые зависимости магнитного момента насыщения от температуры  $M_s(T)$  для подводного вулкана 7.10. Жирная линия — кривая первого нагрева. Тонкая линия — кривая второго нагрева.

**Fig. 8.** Thermomagnetic curves of the dependence of the saturation magnetic moment on temperature  $M_s(T)$  for the underwater volcano 7.10. The bold line is the first heating curve. The thin line is the second heating curve.

блокирования на кривой второго нагрева смещается до температуры Кюри магнетита. Таким образом, в данном образце в ходе нагрева шло гетерофазное разложение титаномагнетита с низким содержанием титана на магнетит и ильменит.

По данным ТМА образца B15-81/9-2 на кривой первого нагрева присутствует единственная температура блокирования  $\sim 355^\circ\text{C}$ . Кривая второго нагрева проходит много выше. На кривой второго нагрева присутствуют уже две температуры блокирования:  $\sim 355^\circ\text{C}$  и  $\sim 550^\circ\text{C}$  — температура, близкая к температуре Кюри магнетита. Таким образом, в данном образце в ходе нагрева шло гетерофазное разложение титаномагнетита с содержанием титана  $Ti$  ( $X=0.31$ ) на магнетит и гемоильменит.

Данные, полученные при проведении геофизических исследований подводного вулкана 7.10, были обработаны с помощью апробированной эффективной технологии количественной

интерпретации материалов ГМС в комплексе с эхолотным промером, НСП, а также анализом петромагнитных свойств и химического состава драгированных горных пород (Блох и др., 2018, 2019, 2020б). Эта технология позволяет проводить интерпретацию непосредственно по исходным профильным данным, не прибегая к процедуре их предварительного восстановления в узлах регулярной сети. При расчетах всегда используется истинный рельеф вулканических построек, определяемый с помощью данных НСП и эхолотного промера.

Применяемая технология, как и пакеты программ 3D-обработки данных геомагнитного изучения подводных вулканов, используемые иностранными коллегами (Blanco-Montenegro et al., 2008; Caratori Tontini et al., 2009; Cella et al., 2008; Koyama et al., 2008; Kubota, Uchiyama, 2005; Paoletti et al., 2008), позволяет определять особенности строения вулканических построек.

С помощью программы ИГЛА (Блох, Трусов, 2007) установлено, что вектор эффективной намагниченности горных пород  $J_{\text{эф}}$  имеет склонение  $120^\circ$  и наклонение  $81^\circ$  и развернут относительно нормального магнитного поля Земли  $T_0$  на  $37^\circ$  (рис. 9), что свидетельствует о приуроченности времени образования подводного вулкана 7.10, как и других изученных вулканов КОД (Блох и др., 2015, 2018, 2019, 2020а, 2021), к периоду геомагнитных инверсий.

Для изучения глубинного строения подводного вулкана 7.10 был проведен анализ особых точек функций, описывающих аномальные геомагнитные поля, с помощью интегрированной системы СИНГУЛЯР (Блох и др., 1993), который показал приуроченность основных особенностей функций, описывающих аномальные поля, к верхней кромке вулканических пород, а также позволил предположить наличие подводящих каналов субвертикального, северо-восточного и северо-западного направлений и периферических магматических очагов на глубинах 2.5–3.0 км (рис. 10).

В результате проведения 3D-моделирования вулканической постройки с помощью пакета программ структурной интерпретации гравитационных и магнитных аномалий СИГМА-3D

(Бабаянц и др., 2004) невязка наблюдаемого и модельного полей за 53 итерации составила 17 нТл, а наибольшая эффективная намагниченность  $J_{\text{эф}}$ , достигающая 3 А/м, наблюдается в привершинной части постройки и на всем ее юго-восточном склоне (рис. 3в, 3г). Полученные значения эффективной намагниченности хорошо согласуются с результатами петромагнитных исследований (табл. 2).

Результаты 3D-моделирования позволяют предположить, что при терминальном извержении подводного вулкана 7.10 лавовые потоки незначительной протяженности изливались в северо-северо-восточном и юго-западном направлениях, а основной лавовый поток излился в юго-восточном направлении и достиг основания вулканической постройки. Комплексная геолого-геофизическая интерпретация позволяет сделать вывод о том, что выявленные лавовые потоки сложены всеми типами пород, драгированных на подводном вулкане 7.10.

Томографическая интерпретация подводного вулкана 7.10 по производной аномального магнитного поля позволила выделить две основные интенсивно намагниченные аномальные зоны, которые, по нашему мнению, являются подводящими каналами (рис. 11).

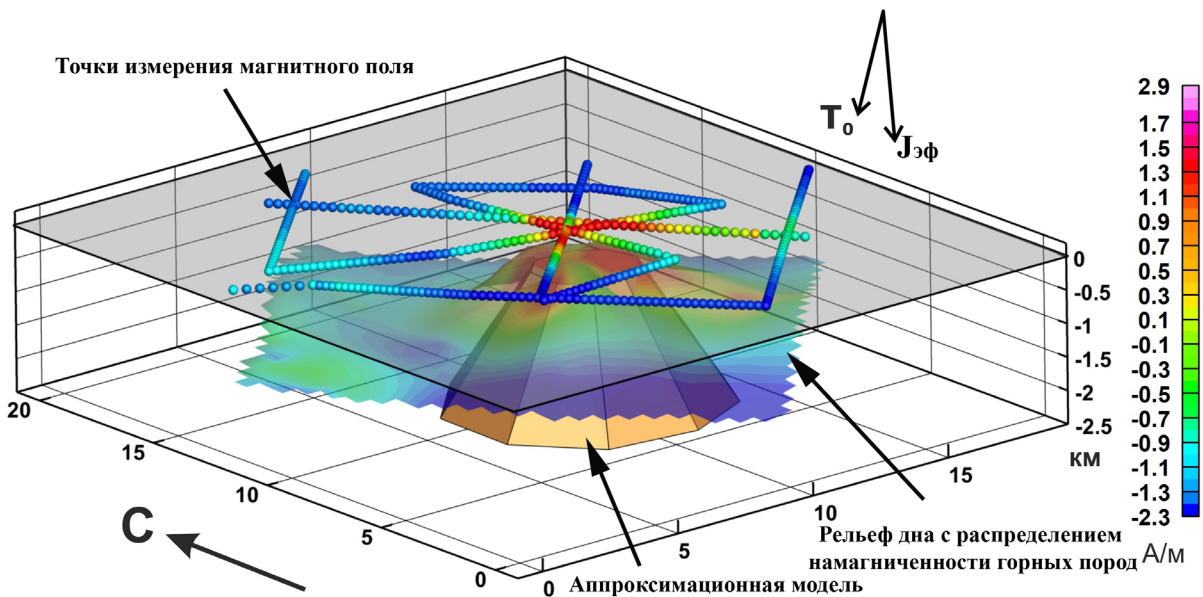


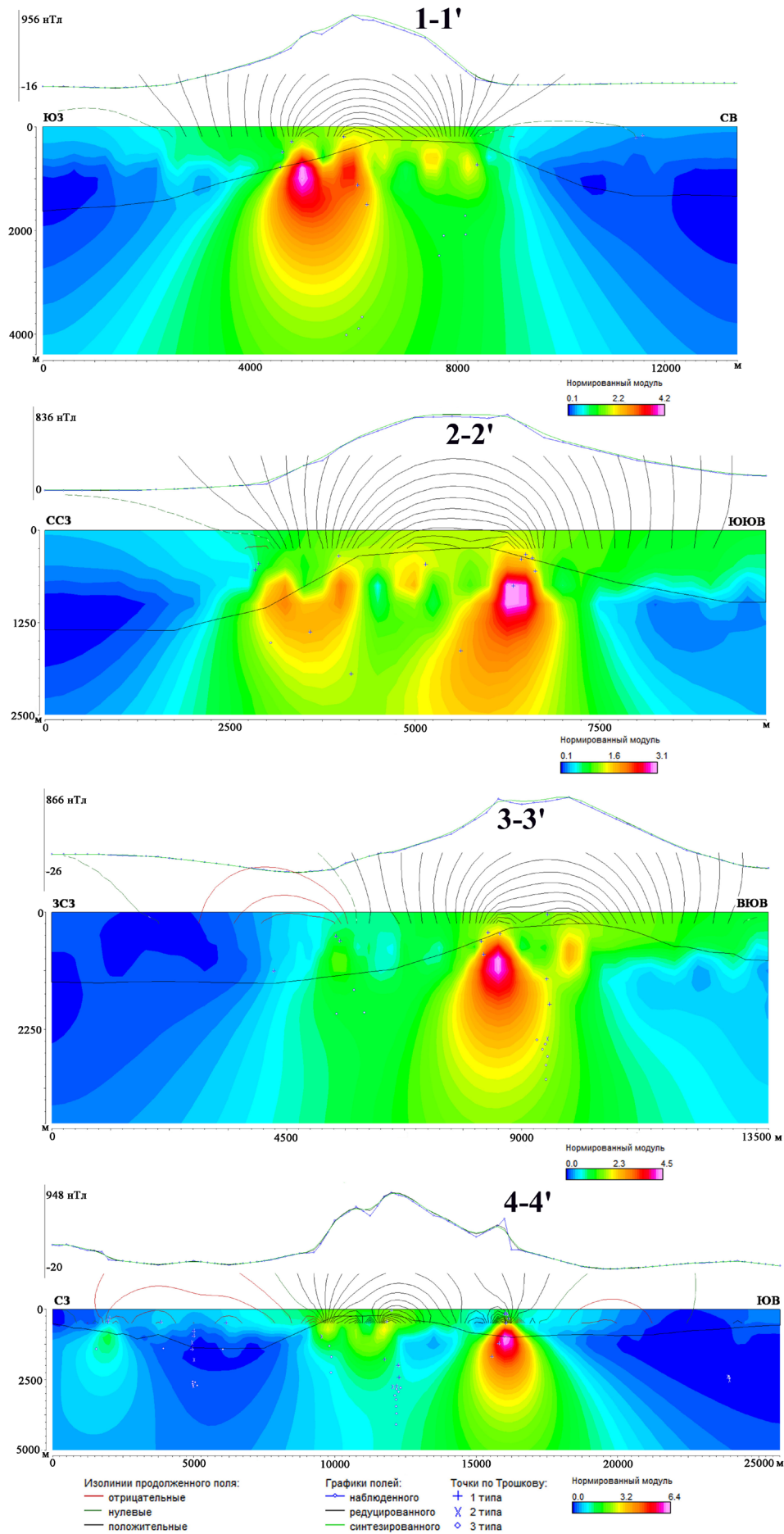
Рис. 9. Уточнение ориентации вектора эффективной намагниченности  $J_{\text{эф}}$  подводного вулкана 7.10 с помощью программы ИГЛА.

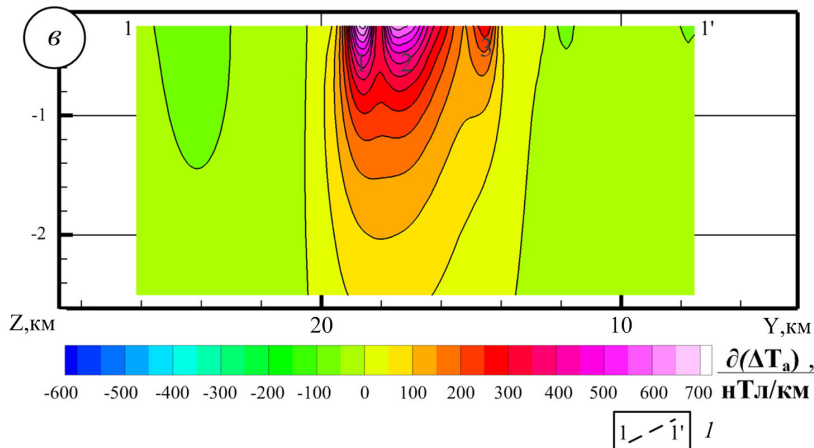
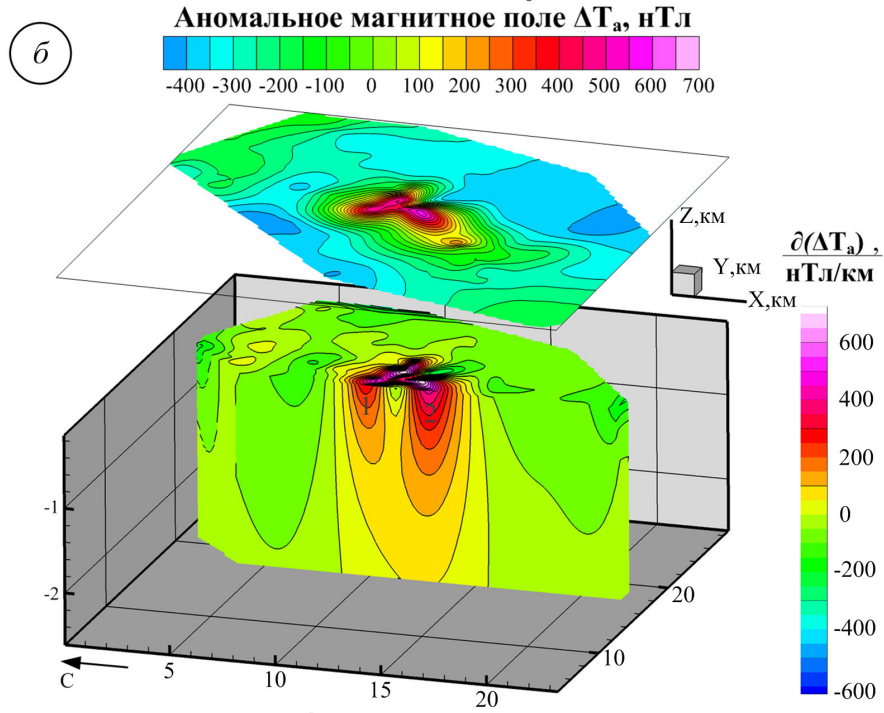
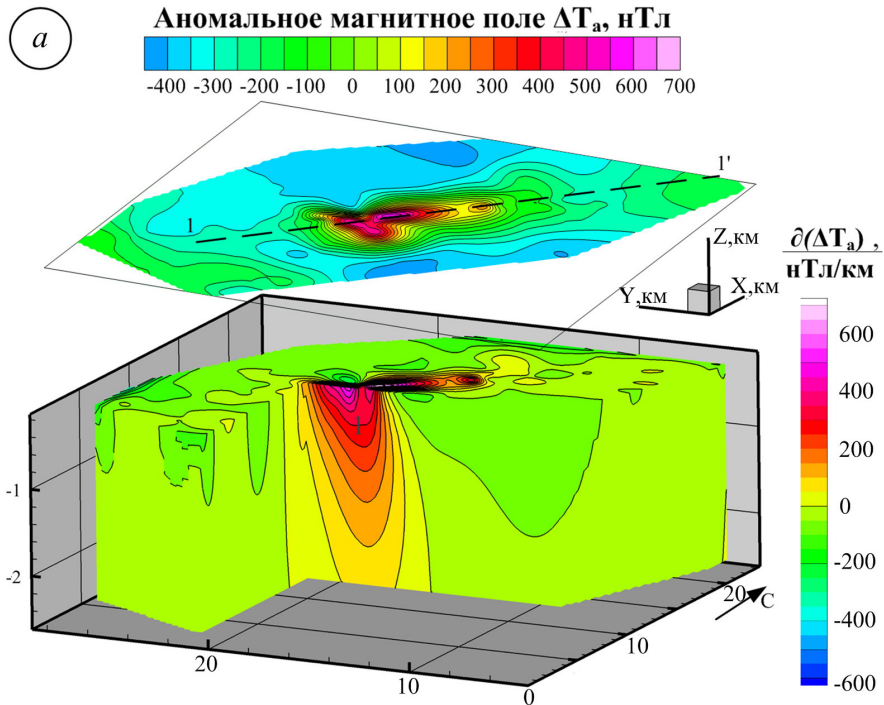
Fig. 9. The direction of the effective magnetization vector  $J_{\text{эф}}$  on submarine volcano 7.10 refined using the IGLA software.

Рис. 10. Изображения, синтезированные системой СИНГУЛЯР для локализации особых точек функции, описывающей аномальные магнитные поля  $\Delta T_a$  подводного вулкана 7.10, наложенные на рельеф дна. Местоположение профилей приведено на рис. 3.

Fig. 10. The image synthesized by the SINGULAR system to localize singularities in the function describing the anomalous magnetic field  $\Delta T_a$  of the submarine volcano 7.10 superposed on bottom relief. The location of the profiles is shown in Fig. 3.

КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ





**Рис. 11.** Изолинии аномального магнитного поля  $\Delta T_a$  и 3D-диаграммы, отражающие пространственное распределение квазинамагниченности горных пород подводного вулкана 7.10 в разных сечениях (*a*, *b*); вертикальный срез 3D-диаграммы по профилю, проходящему вкрест простирания основных магнитных аномалий (*в*): *1* — расчетный профиль.

**Fig. 11.** Isolines of the anomalous magnetic field  $\Delta T_a$  and 3D diagrams reflecting the spatial distribution of the quasi-magnetization of rocks of the underwater volcano 7.10 in different sections (*a*, *b*); vertical slice of the 3D diagram along a profile passing across the strike of the main magnetic anomalies (*в*): *1* — calculated profile.

Предположительно, оба канала имеют одни «корни», т.к. аномальные зоны соединяются на глубине порядка 1–1.5 км и далее общая зона продолжается до глубины 2–2.5 км. Также по небольшой аномальной зоне, причленяющейся ко второму каналу, выделен третий боковой канал.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных комплексных геолого-геофизических исследований обобщена вся доступная информация о подводном вулкане 7.10.

Установлено, что вершина и склоны вулкана лишены осадков, а основание перекрыто осадочной толщей, мощность которой достигает 800 м. Минимальная глубина, зафиксированная над вершиной вулкана, составляет 210 м.

Сделан вывод о том, что постройка подводного вулкана сложена по химическому составу породами ряда от дацитов до базальтов, а не только андезитами и андезибазальтами, как предполагалось ранее. Температура минералообразования находится в интервале 900–1280°C.

Впервые выполненные петромагнитные исследования горных пород, драгированных на вулкане 7.10, показали, что их остаточная намагниченность изменяется в диапазоне 1.71 до 13.2 А/м, а ее высокие значения обусловлены относительно высокой концентрацией низкокоэрцитивных псевдооднородных магнитных зерен.

Геомагнитное моделирование позволило выделить в вулканической постройке подводящие каналы различных направлений и периферические магматические очаги на глубинах 2.5–3.0 км, а также сделать вывод о том, что подводный вулкан 7.10, как и другие изученные нами вулканы КОД, образовался во время геомагнитных инверсий.

Сделано предположение о том, что при терминальном извержении подводного вулкана 7.10 лавовые потоки незначительной протяженности изливались в северо-северо-восточном и юго-западном направлениях, а основной лавовый поток излился в юго-восточном направлении и достиг основания вулканической постройки.

Полученные данные расширили имеющиеся представления о строении подводных вулканов Северо-Итурупской группы КОД.

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 0218-2019-0092 Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН при финансовой поддержке РФФИ (проект 19-05-00654-А). Петролого-минералогические исследования выполнены в Геологическом институте РАН при финансовой поддержке Государственного задания № 0135-219-0050. Палеомагнитные исследования выполнены на базе Центра коллективного пользования Института физики земли РАН при финансовой поддержке Государственного задания № 0144-2019-0006.

### Список литературы [References]

- Бабаянц П.С., Блох Ю.И., Трусов А.А.* Возможности структурно-вещественного картирования по данным магниторазведки и гравиразведки в пакете программ СИГМА-3D // Геофизический вестник. 2004. № 3. С. 11–15 [*Babayants P.S., Blokh Yu.I., Trusov A.A.* [Vozmozhnosti strukturno-veshchestvennogo kartirovaniya po dannym magnitorazvedki i gravirazvedki v pakete programm SIGMA-3D // Geofizicheskij vestnik. 2004. № 3. P. 11–15 (in Russian)].
- Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др.* Подводный вулканический массив Рикорда (Курильская островная дуга) // Вулканология и сейсмология. 2018. № 4. С. 26–42. <https://doi.org/0.1134/S0203030618040028> [*Blokh Yu.I., Bondarenko V.I., Dolgal'et al.* The Rikord Submarine Volcanic Massif, Kuril Island Arc // Journal of Volcanology and Seismology. 2018. V. 12. № 4. P. 252–267. <https://doi.org/10.1134/S0742046318040024>].
- Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др.* Комплексные геолого-геофизические исследования подводного вулканического массива Архангельского (Курильская островная дуга) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2019. № 4. Вып. № 44. С. 35–50. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2019-4-44-35-50> [*Blokh Yu.I., Bondarenko V.I., Dolgal A.S. et al.* Integrated geologic-geophysical investigation of the Archangelsky submarine volcanic massif (Kurile Island arc) // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2019. № 4(44). P. 35–50. (in Russian)].
- Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др.* Комплексные геолого-геофизические исследования подводного вулканического массива Ратманова (Курильская островная дуга) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2020а. № 2. Вып. № 46. С. 55–71. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2020-2-46-55-71> [*Blokh Yu.I., Bondarenko V.I., Dolgal A.S. et al.* Integrated geologic-geophysical investigation of the Ratmanov submarine volcanic massif (Kurile

- Island arc) // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2020a. № 2(46). P. 55–71(in Russian)].
- Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др.* Новые данные о строении подводных вулканов Центральных и Южных Курил // Труды IX Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2020)». Тверь: ООО «ПолиПРЕСС». 2020b. Том III (III). С. 482–485 [*Blokh Yu.I., Bondarenko V.I., Dolgal A.S. et al.* Novye dannye o stroenii podvodnyh vulkanov Central'nyh i Yuzhnyh Kuril. IX International conference «Marine Research and Education» MARESEDU-2020. 2020b. V. III (III). P. 482–485 (in Russian)].
- Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др.* Вулканический массив Райкоке Курильская островная дуга // Вулканология и сейсмология. 2021. № 4. С. 61–80. <https://doi.org/10.31857/S0203030621030020> [*Blokh Yu.I., Bondarenko V.I., Dolgal A.S. et al.* The Raikoke Volcanic Massif, Kuril Island Arc // Journal of Volcanology and Seismology, 2021, Vol. 15, No. 4, pp. 273–291. <https://doi.org/10.1134/S0742046321030027>].
- Блох Ю.И., Каплун Д.В., Коняев О.Н.* Возможности интерпретации потенциальных полей методами особых точек в интегрированной системе «СИНГУЛЯР» // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1993. № 6. С. 123–127 [*Blokh Yu.I., Kaplun D.V., Konyaev O.N.* Vozmozhnosti interpretacii potencial'nyh polej metodami osobyykh tochk v integrirovannoy sisteme «SINGULAR» // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Geologiya i razvedka. 1993. № 6. P. 123–127(in Russian)].
- 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 [*Blokh 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. 2015. № 2(26). P. 5–10 (in Russian)].
- Блох Ю.И., Трусов А.А.* Программа «IGLA» для интерактивной экспресс-интерпретации локальных гравитационных и магнитных аномалий // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: материалы 34-й сессии международного семинара им. Д.Г.Успенского. М: ИФЗ РАН. 2007. С. 36–38 [*Blokh Yu.I., Trusov A.A.* Programma «IGLA» dlya interaktivnoj ekspress-interpretacii lokal'nyh gravitacionnyh i magnitnyh anomalij // Voprosy teorii i praktiki geologicheskoy interpretacii gravitacionnyh, magnitnyh i elektricheskikh polej: materialy 34-j sessii mezhdunarodnogo seminar im. D.G.Uspenskogo. M: IFZ RAN. 2007. P. 36–38 (in Russian)].
- Волынец О.Н., Авдейко Г.П., Цветков А.А. и др.* Минеральная зональность четвертичных лав Курильской островной дуги // Известия АН СССР. Серия геологическая. 1990. № 1. С. 29–44 [*Volynets O.N., Avdeiko G.P., Tsvetkov A.A. et al.* Mineral zoning of the quaternary lavas of the Kurile Island Arc International Geology Review 1990. V. 32. № 2. P. 128–142. <https://doi.org/10.1080/00206819009465763>].
- Николаева А.С.* Петрология мелилитсодержащих пород вулканов Купаелло и Колле Фаббри (Центральная Италия). Дисс. канд. геол.-мин. наук. Новосибирск, 2014. 148 с. [*Nikolaeva A.S.* Petrologiya melilitsoverzhashchih porod vulkanov Kupaello i Kolle Fabbri (Central'naya Italiya). Diss. kand. geol.-min. nauk. Novosibirsk, 2014. 148 p. (in Russian)].
- Петрова В.В., Рашидов В.А.* Структурно-минералогические особенности и проблема генезиса пород подводного вулкана Минами-Хиоси (Марианская островная дуга) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2016. № 4. Вып. № 32. С. 35–58 [*Petrova V.V., Rashidov V.A.* Structural and mineralogical features and genesis problem of rocks from submarine Minami-Hioshi volcano (the Marian Island Arc) // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2016. № 4(32). P. 35–58. (in Russian)].
- Петрова В.В., Рашидов В.А.* Состав и генезис лав подводного вулкана Минами-Хиоси (Марианская островная дуга) // Доклады академии наук. 2019. Т. 485. № 2. С. 72–75. <https://doi.org/10.31857/S0869-56524852198-201> [*Petrova V.V., Rashidov V.A.* Composition and Origin of Lavas from the Minami-Hiyoshi Submarine Volcano (Mariana Arc) // Doklady Earth Sciences, 2019. V. 485. Iss. 1. P. 238–241. <https://doi.org/10.1134/S1028334X19030140>].
- Плечов П.Ю., Некрылов Н.А., Щербачев В.Д., Тихонова М.С.* Экстремально магнезиальные оливины из венанцитовых лав Пиан-ди-Челле (Италия) // ДАН. 2017. Т. 474. № 3. С. 331–335. <https://doi.org/10.7868/S0869565217150142> [*Plechov P.Y., Nekrylov N.A., Shcherbakov V.D., Tikhonova M.S.* Extreme-mg olivines from venancite lavas of Pian di Celle volcano (Italy) // Doklady Earth Sciences. 2017. T. 474. № 1. С. 507-510. <https://doi.org/10.1134/S1028334X17050245>].
- Петрографический кодекс. Магматические и метаморфические образования. СПб: изд-во ВСЕГЕИ, 2008. 200 с. [Petrographic code. Magmatic and metamorphic rocks. St.Pb.: VSEGEI Press, 2008. 200 p. (in Russian)].
- Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги. Ответственный редактор академик Ю.М. Пушаровский. М.: Наука, 1992. 528 с. [Podvodnyj vulkanizm i zonal'nost' Kuril'skoj ostrovnoj dugi. Otvetstvennyj redaktor akademik YU.M. Pushcharovskij. M.: Nauka, 1992. 528 p. (in Russian)].
- Природа магнитных аномалий и строение океанической коры. Отв. ред. Городницкий А.М. М.: ВНИРО. 1996. 283 с. [Priroda magnitnykh anomalii i stroenie okeanicheskoi kory. Gorodnitskii, A.M., Sci. Ed., Moscow: VNIRO, 1996. 283 p. (in Russian)].
- Пузанков Ю.М., Волынец О.Н., Авдейко Г.П. и др.* Геохимия микроэлементов в четвертичных вулканитах Курильской гряды. Радиоактивные элементы // Геохимические ассоциации редких и радиоактивных элементов в рудных и магматических комплексах. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1991. С. 81–97 [*Puzankov Yu.M., Volynets O.N., Avdeiko G.P. et al.* Geokhimiya mikroelementov v chetvertichnyh vulkanitah Kuril'skoj gryady. Radioaktivnye elementy // Geokhimicheskie associacii redkih i radioaktivnyh elementov v rudnyh i magmaticheskikh kompleksah.



- Novosibirsk: Nauka. Sib. otdelenie, 1991. P. 81–97 (in Russian)].
- Силаев В.И., Карпов Г.А., Аникин Л.П. и др.* Минерально-фазовый парагенезис в эксплозивных продуктах современных извержений вулканов Камчатки и Курил. Часть 2. Минералы-спутники алмазов толбачинского типа // Вулканология и сейсмология. 2019. № 6. С. 36–49. <https://doi.org/10.31857/S0203-03062019636-49> [*Silaev V.I., Karpov G.A., Anikin L.P. et al.* Mineral phase paragenesis in explosive ejecta discharged by recent eruptions in Kamchatka and on the Kuril Islands. Part 2. Accessory minerals of the Tolbachik type diamonds. 2019. T. 13. № 6. P. 376–388. <https://doi.org/10.1134/S074204631906006X>].
- Aramaki S., Katsura T.* Petrology and liquidus temperature of the magma of the 1970 eruption of Akita-Komagatake Volcano, Northeastern Japan // The journal of mineralogy, petrology and economic geology. 1973. V. 68. P. 101–124.
- Bailey J.C., Frolova T.I., Burikova I.A.* Mineralogy, geochemistry and petrogenesis of Kurile island-arc basalts Contributions to Mineralogy and Petrology. 1989. V. 102. P. 265–280.
- Bardintzeff J.-M., Nkouandou O.F., Mefire A.F.* First occurrence of pigeonite in the Cameroon Volcanic Line // Arabian Journal of Geosciences. 2020. V. 13. Iss. 12. Article 496. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05442-3>
- Blanco-Montenegro I., Nicolosi I., Pignatelli A., Chiappini M.* Magnetic imaging of the feeding system of oceanic volcanic islands: El Hierro (Canary Islands) // Geophysical Journal International. 2008. V. 173. P. 339–350. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2008.03723.x>
- Bryan S.E., Cook A., Evans J.P. et al.* Pumice rafting and faunal dispersion during 2001–2002 in the Southwest Pacific: record of a dacitic submarine explosive eruption from Tonga // Earth and Planetary Science Letters. 2004. V. 227 P. 135–154. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2004.08.009>
- Caratori Tontini F., Cocchi L., Carmisciano C.* Rapid 3-D forward model of potential fields with application to the Palinuro Seamount magnetic anomaly (southern Tyrrhenian Sea, Italy) // JGR. 2009. V. 114. B021036. <https://doi.org/10.1029/2008JB005907>
- Dreyer B.M., Morri J.D., Gill J.B.* Incorporation of Subducted Slab-derived Sediment and Fluid in Arc Magmas: B–Be–<sup>10</sup>Be–<sup>ε</sup>Nd Systematics of the Kurile Convergent Margin, Russia // Journal of Petrology. 2010. V. 51. № 8. P. 1761–1782. <https://doi.org/10.1093/ptetrology/egq038>
- Hekinian R., Muhe R., Worthington T.J., Stoffers P.* Geology of a submarine volcanic caldera in the Tonga Arc: Dive results // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2008. V. 176. Iss. 4. P. 571–582. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2008.05.007>
- Kontny A., Vahle C., de Wall H.* Characteristic magnetic behavior of subaerial and submarine lava units from the Hawaiian Scientific Drilling Project (HSDP\_2) // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2003. V. 4. № 2. 31 p. <https://doi.org/10.1029/2002GC000304>
- Koyama K., Sasahara N., Kumagawa K. et al.* 3 D-magnetic structure model of Io To // Report of hydrographic and oceanographic researches. 2008. № 44. P. 9–16.
- Kubota R., Uchiyama A.* Three-dimensional magnetization vector inversion of a seamount // Earth Planets Space. 2005. V. 57. P. 691–699. <https://doi.org/10.1186/BF03351849>
- Lustrino M., Luciani N., Stagno V.* Fuzzy petrology in the origin of carbonatitic/pseudocarbonatitic Ca-rich ultrabasic magma at Polino (central Italy) Scientific Reports. 2019. V. 9. Article 9212. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45471-x>
- Nakamura Y., Kushiro I.* Compositional Relations of Coexisting Orthopyroxene, Pigeonite and Augite in a Tholeiitic Andesite from Hakone Volcano // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1970. V. 26. Iss. 4. P. 265–275. <https://doi.org/10.1007/BF00390075>
- Noll P.D., Newsom Y.E., Leeman W.P., Ryan J.G.* The role of hydrothermal fluids in the production of subduction zone Magmas: Evidence from siderophile and chalcophile trace elements and boron // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1996. V. 60. Iss. 4. P. 587–611. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(95\)00405-X](https://doi.org/10.1016/0016-7037(95)00405-X)
- Paoletti V., Rapolla A., Secomandi M.* Magnetic signature of submarine volcanoes in the Phlegrean Fields–Ischia Ridge (North-Western side of the Bay of Naples, Southern Italy) // Annals of geophysics. 2008. V. 51. № 4. P. 575–584.
- Principe C., Marini L.* Evolution of the Vesuvius magmatic-hydrothermal system before the 16 December 1631 eruption // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2008. V. 171. Iss. 3–4. P. 301–306.
- Ryan J.G., Morris J., Tera F. et al.* Cross-Arc Geochemical Variations in the Kurile Arc as a Function of Slab Depth // Science. 1995. V. 270. P. 625–627.
- Yamamoto T., Soya T., Suto Sh. et al.* The 1989 submarine eruption off eastern Izu Peninsula, Japan: ejecta and eruption mechanisms // Bulletin of Volcanology. 1991. V. 53. Iss. 4. P. 301–308.

БЛОХ и др.

**COMPLEX GEOLOGICAL-GEOPHYSICAL STUDIES  
OF THE UNDERWATER VOLCANO 7.10 (KURIL 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</sup>, A.A. Trusov<sup>7</sup>**

<sup>1</sup>*Moscow, Russia, 105215*

<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 of RAS, Moscow, Russia, 123995*

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

<sup>7</sup>*AO GNPP Aerogeofizika, Moscow, 125373 Russia*

Submarine volcano 7.10, which is part of the North Iturup group of submarine volcanoes of the Kuril island arc, was studied in 5 voyages of the research vessel Vulkanolog in 1982–1989. Comprehensive studies have shown that the edifice of the 7.10 submarine volcano is composed of rocks of a range from dacites to basalts. The summit and slopes of the volcano are devoid of sediments, and the base is overlain by a sedimentary stratum, thickness of which reaches 800 m. The minimum depth recorded above the top of the volcano is 210 m. In the volcanic edifice, subvertical, northeastern and northwestern feeder channels, as well as peripheral magma chambers at depths of 2.5–3.0 km, were identified. It is assumed that during the terminal eruption, small lava flows poured out in the northeast and southwest directions, while the main lava flow poured out in the southeast direction and reached the base of the volcanic edifice.

*Keywords: submarine volcano, Kuril island arc, complex geological and geophysical investigations.*

Поступила в редакцию 20.04.2021 г.

После доработки 15.09.2021 г.

Принята к публикации 27.09.2021 г.