

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

© 2020 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, Россия, 125373

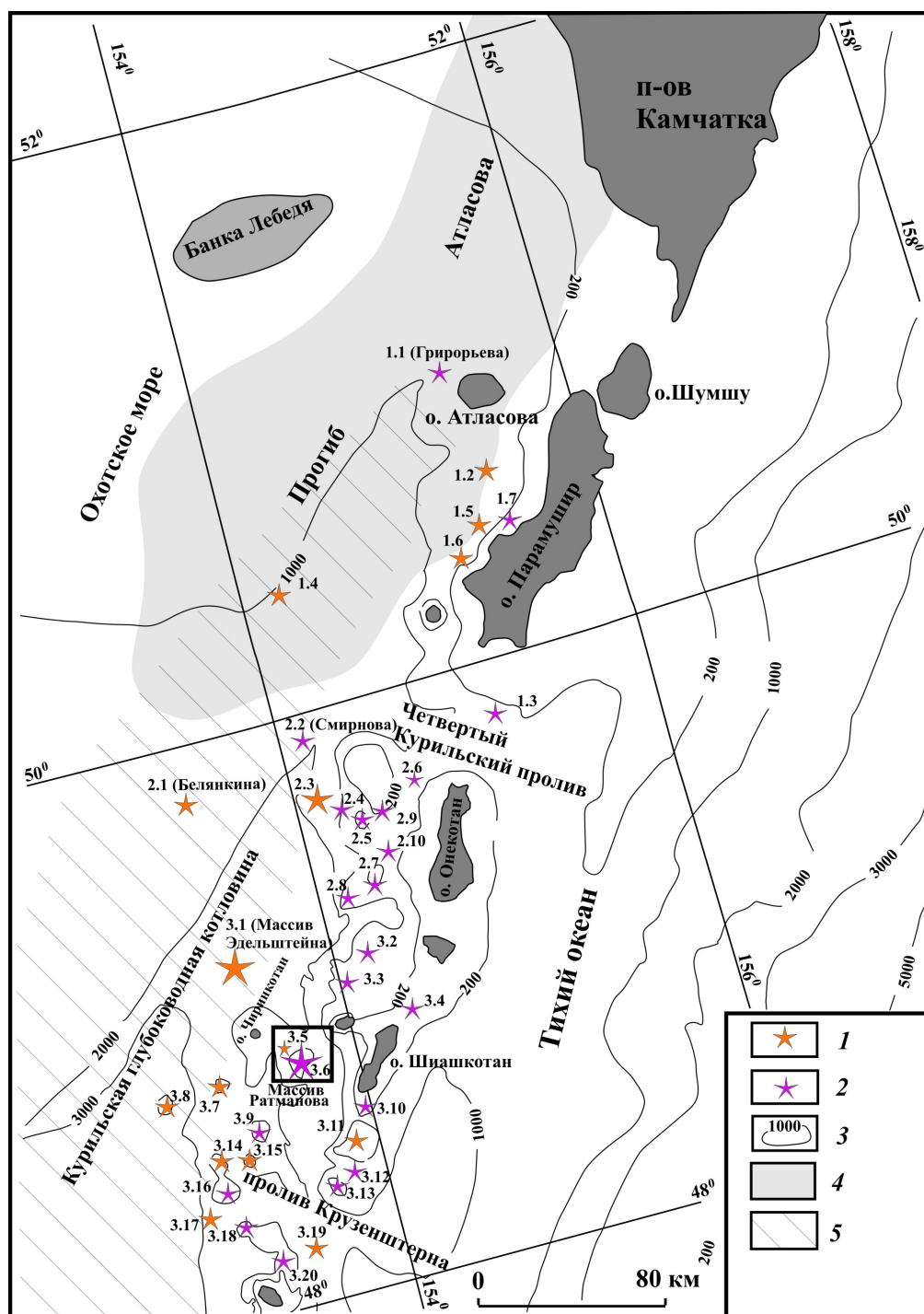
Приведены результаты комплексных геолого-геофизических исследований подводного вулканического массива Ратманова, расположенного в Курильской островной дуге в 15 км к юго-востоку от о. Чиринкотан. На северо-западном склоне массива располагается небольшой подводный вулкан с относительной высотой 400–450 м, при драгировании которого были подняты андезиты и незначительное количество андезибазальтов. Получены новые данные о минеральном и химическом составе, а также структурных особенностях горных пород, составляющих массив. Высокие значения естественной остаточной намагниченности этих пород обусловлены большим содержанием псевдооднородных зерен титаномagnetита. Подножие массива перекрыто вулканогенно-осадочной толщей мощностью 400–800 м, а его образование, вероятнее всего, происходило в периоды глобальных геомагнитных возмущений. Максимальная эффективная намагниченность массива достигает 0.8 А/м. В вулканическом массиве выделены подводящие каналы, а в интервалах глубин 3.8–4.6 км и 6–7.1 км – периферические магматические очаги.

*Ключевые слова:* подводный вулканический массив Ратманова, комплексные геолого-геофизические исследования.

### ВВЕДЕНИЕ

Значительный вклад в изучение подводного вулканизма Тихого океана внесли 15-летние исследования с борта научно-исследовательского судна (НИС) «Вулканолог», в рейсах которого были изучены подводные вулканы Новогвинейского и Южно-Китайского окраинных морей, южной части Командорской котловины, «горячей точки» Сокорро, гайоты Магеллановых гор и гор Маркус-Уэйк, Кермадек, Соломоновой, Марианской, Идзу-Бонинской и Курильской островных дуг. Результаты этих исследований описаны в целом ряде статей и монографий (Подводный..., 1992; Родников и др., 2014; Селиверстов, 2009 и др.); представлены в атласах (Международный..., 2003), каталогах (<http://www.kscnet.ru/ivs/grant/>

[http://www.kscnet.ru/ivs/grant\\_04/catalogue.html](http://www.kscnet.ru/ivs/grant_04/catalogue.html)), информационных ресурсах (<http://guyot.ocean.ru/>), базах данных ([http://zeus.wdcb.ru/wdcb/sep/traverses/cd\\_rom\\_ru.html](http://zeus.wdcb.ru/wdcb/sep/traverses/cd_rom_ru.html); [http://geoportal.kscnet.ru/submarine\\_volcanoes/](http://geoportal.kscnet.ru/submarine_volcanoes/)), на картах (Авдейко и др., 2000; Тектоническая..., 2000) и web-сайтах ([http://www.kscnet.ru/ivs/grant/grant\\_04/](http://www.kscnet.ru/ivs/grant/grant_04/)). Полученные в рейсах НИС «Вулканолог» оригинальные геолого-геофизические данные до сих пор не потеряли своей актуальности и продолжают обрабатываться с помощью современных интерпретационных технологий и лабораторных баз. Существенную роль в этих исследованиях в последние годы занимает изучение подводных вулканов Курильской островной дуги (КОД), проводимое авторами настоящей работы (Блох и др., 2014, 2018, 2019, 2020; Бондаренко, Рашидов, 2018а, 2018б; Рашидов и др.,



**Рис. 1.** Схема расположения подводных вулканов северной части КОД: 1 — островершинные вулканы; 2 — плосковершинные вулканы, 3 — изобаты; 4 — прогиб Атласова; 5 — Курильская глубоководная котловина.

**Fig. 1.** The layout of submarine volcanoes in the northern part of Kurile Island arc: 1 — peaked volcanoes; 2 — flat-top volcanoes, 3 — isobaths; 4 — Atlasov trough; 5 — Kuril backarc basin.

2016), в которой представлены результаты комплексных геолого-геофизических исследований подводного вулканического массива Ратманова.

Подводный вулканический массив Ратманова, состоящий из подводной горы Ратманова (Безруков и др., 1958), названной в честь известного отечественного океанографа-гидролога

Георгия Ефимовича Ратманова (Юркевич, 2011), и подводного вулкана 3.5 (Подводный..., 1992), расположен на Охотоморском склоне КОД в 15 км к юго-востоку от о. Чиринкотан (рис. 1). В рейсах Института океанологии АН СССР был проведен эхолотный промер горы Ратманова (Безруков и др., 1958), а в рейсах Института вулканологии

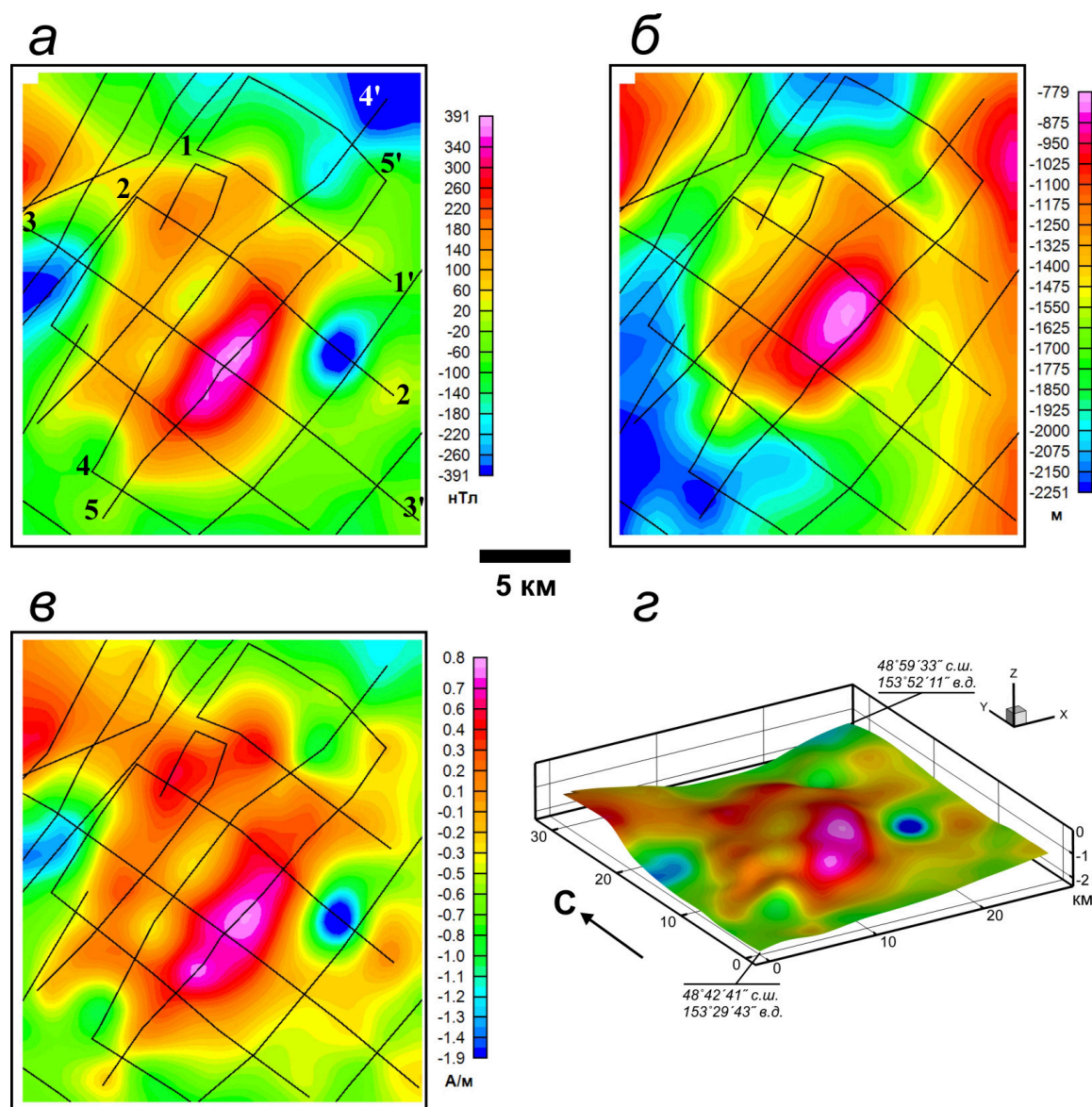
ДВО АН СССР — комплексные геолого-геофизические исследования всего массива, включавшие в себя эхолотный промер, непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСП), модульную гидромагнитную съемку (ГМС) и драгирование (Аникин и др., 2017а, 2017б; Блох и др., 2017а, 2017б, 2017в; Подводный..., 1992).

### МОРФОЛОГИЯ

Поднимаясь с глубин 2200–1500 м до глубин 800–700 м, подводный вулканический массив Ратманова вытянут в северо-восточном направлении, и имеет плоскую вершину размером

10×16 км (рис. 1, 2), которая наклонена в западном направлении под углом 4–6°. Крутизна южного, северного и восточного склонов достигает 19–30°, а западный склон является более пологим. Объем вулканического массива Ратманова ~180 км<sup>3</sup> (Подводный..., 1992).

На северо-западном склоне массива Ратманова в 25-м рейсе НИС «Вулканолог» был обнаружен новый небольшой конусовидный подводный вулкан, которому в «Каталоге подводных вулканов и гор Курильской островной дуги» был присвоен номер 3.5 (Подводный..., 1992). Относительная высота этого вулкана 400–450 м, а минимальная отметка глубины над вершиной ~1112 м.



**Рис. 2.** Подводный вулканический массив Ратманова: аномальное магнитное поле  $\Delta T_a$  (а); батиметрия (б); распределение эффективной намагниченности  $J_{эф}$  вулкана (в); распределение  $J_{эф}$ , изображенное на поверхности вулкана (г). Цифрами отмечены профили, показанные на рис. 8 и 11.

**Fig. 2.** The Ratmanov submarine volcanic massif: anomalous magnetic field  $\Delta T_a$  (a); bathymetry (б); effective magnetization distribution  $J_{эф}$  of the volcano (в); effective magnetization distribution  $J_{эф}$ , shown on the volcano surface (г). Numerals mark the profiles shown in Figs. 8 and 11.



Возраст вулкана 3.5 оценивается как четвертичный.

Следует отметить, что в работе (Новейший..., 2005) с некорректной ссылкой на монографию (Подводный..., 1992) приведена таблица под названием «Подводные вулканы Курильской островной дуги», в которой отсутствуют подводная гора Ратманова и вулкан 3.5.

## ПЕТРОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

При драгировании южного склона привершинной части массива Ратманова в интервале глубин 1490–1270 м (станция В25-41) подняты щебень и галька субафировых палеотипных андезитов, а при драгировании вулкана 3.5 на глубинах 1300–1112 м (станция В25-40) — однородные светло-серые андезиты и небольшое количество андезибазальтов (Блох и др., 2017б; Подводный..., 1992). Во вкрапленниках отмечены моноклинный пироксен, плагиоклаз, роговая обманка, биотит, редко встречаются рудный минерал и крупные вкрапленники кварца.

Впервые после 1992 г., когда были опубликованы результаты химического анализа образцов В25-40/2, В25-40/5, В-25-40/1 и В25-40/1 (Антонов, 1993, 2008; Подводный..., 1992), нами были получены новые полные химические анализы еще четырех образцов горных пород (Блох и др., 2017) (табл. 1), слагающих подводный вулканический массив Ратманова (образцы В25-40/4, В25-40/8, В25-40/6а, В25-40/2а), выполненные в химической лаборатории Геологического института (ГИН) РАН методом рентгенофазового анализа (зав. лабораторией С.М. Ляпунов). Микрозондовые анализы и объемные съемки минералов из этих образцов выполнены в ГИН РАН на аналитическом сканирующем электронном микроскопе Cam Scan MV2300 при участии операторов Н.В. Горьковой и А.Т. Савичева и во Всероссийском институте минерального сырья им. Н.М. Федоровского на микроанализаторе JXA-8100 фирмы JEOL, оснащенном энергодисперсионной приставкой INCA, при участии оператора И.Г. Быстрова.

Химический и петрографический составы большей части драгированных пород, в целом, отвечают андезитам. Но их текстура неоднородна. Особенность состоит в присутствии мелких округлых меланократовых, реже лейкократовых выделений, варьирующих по размеру от менее 1–2 мм до 10–15 см в поперечнике. Химический состав наиболее крупных темноцветных обособлений соответствует андезибазальтам, а мелких, с высоким содержанием оливина (рис. 3) — базальтам.

Лейкократовые обособления по составу отвечают дациандезитам. В них раскисление состава

обусловлено присутствием вкрапленников кварца (рис. 4). Все включения не имеют жестких ограничений (рис. 4) и можно предполагать, что их кристаллизация происходила внутри андезитового расплава, но раньше кристаллизации вмещающей основной массы породы.

Вероятно, при кристаллизации такой необычной породы (неравномерно-комковатая текстура и одновременное присутствие оливина и кварца в пределах одного шлифа), расплав был неоднороден и местами состоял из несмешивающихся порций. Полученная в результате порода по текстуре, структуре и составу неоднородна, но отдельные ее составные части скреплены единой раскристаллизованной основной массой или вулканическим стеклом.

Несмотря на присутствие в породе обособлений разного петрографического и химического состава, очевидно несомненное химическое родство проанализированных пород. Содержание  $\text{SiO}_2$  (масс.%) колеблется от 54.5–59.6 (в андезибазальтах — 54.5–55.2, в андезитах — 56.9–59.6). Суммарное содержание щелочей  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  составляет 4.5–5.5 (в андезибазальтах — 4.5–5.09, в андезитах — 5.05–5.45), при некотором преобладании оксида натрия над оксидом калия. Суммарное количество оксидов железа составляет 5.0–8.0 (в андезибазальтах — 7.3–8.0 и 5.1–6.6 — в андезитах), при некотором преобладании количества закисного железа над окисным. Колебания в содержании остальных пороодообразующих элементов неравномерны, но и они находятся в пределах, характерных для андезибазальтов и андезитов нормального ряда. Содержание редких элементов не превышает фоновых значений для этих пород (табл. 1).

Основу породы составляет роговообманково-двупироксен-плагиоклазовый (с поздним биотитом) андезит, крупно- и среднепорфировый, крупно- и мелкопористый. Наблюдается и пятнисто-полосчатое распространение крупно- и мелкокристаллических зон, а иногда присутствуют зоны дробления и резкие неровные границы между участками породы с разными структурами. Отношение вкрапленники/микролиты в крупнокристаллической части составляет от 1/1 до 6/1, в мелкокристаллической — 1/4. Структура основной массы диабазовая, гиалопелитовая, интерсертальная, местами трахитовая. Присутствует остаточное стекло.

Во вкрапленниках преобладает плагиоклаз (до 55%), моноклинный пироксен (30%), ромбический пироксен (5%), роговая обманка (5%), ~5% составляют суммарно кварц, оливин и титаномагнетит (рис. 4–6). Оливин присутствует во включениях базальта (рис. 3) и в основной массе андезибазальта, тогда как кварц в этих породах отсутствует. На участках породы, где в плагиоклазе



и кварце наблюдается повышенное содержание газо-жидких включений, в основной массе среди микролитов появляются тонкие иглы амфибола (рис. 3). Аксессуарными минералами являются апатит и циркон. Среди микролитов также встре-

чаются и средние, и ультраосновные составы плагиоклаза. Отмечается непрерывный рост номеров плагиоклаза от лабрадора 56 до анортита 94.

Рудные минералы представлены, в основном, титаномагнетитом с разным содержанием

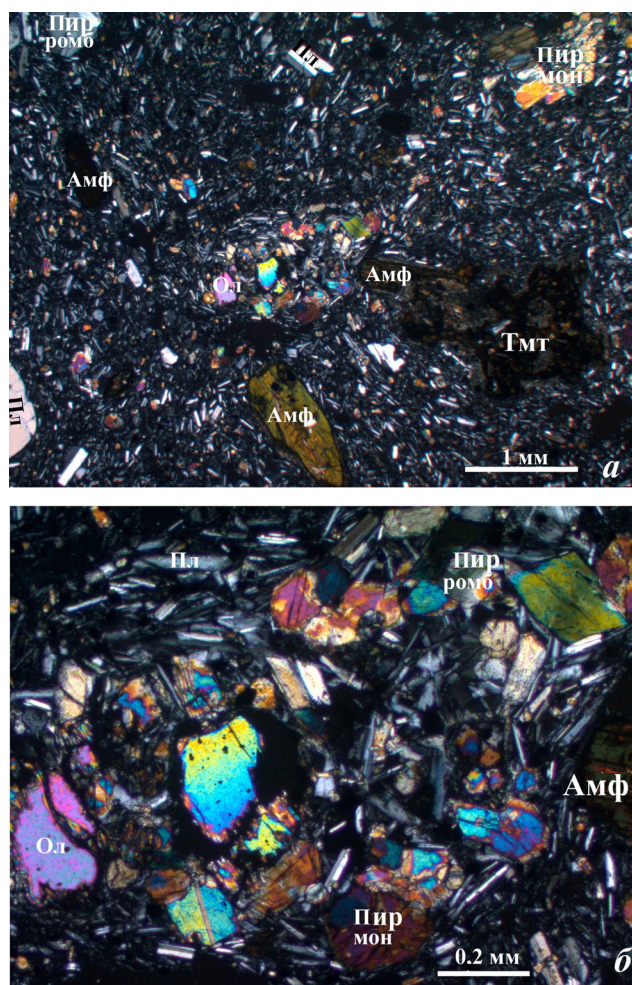
**Таблица 1.** Силикатный (масс. %) и редкоэлементный (ppm) составы драгированных пород, слагающих подводный вулканический массив Ратманова

**Table 1.** Silicate (wt %) and rare element (ppm) composition of dragged rocks from the Ratmanov submarine volcanic massif

Обр. №	B25-40/5	B25-40/2	B25-40/4	B-25-40/1	B25-40/8	B25-40/6a	B25-40/2a	B25-40/1
№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8
Содержание в масс.%								
SiO <sub>2</sub>	54.49	55.15	57.68	59.62	56.90	58.64	59.35	59.41
TiO <sub>2</sub>	0.67	0.66	0.60	0.52	0.72	0.72	0.67	0.61
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.82	17.73	17.23	16.89	17.02	18.02	17.74	16.56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.81	2.82	2.59	2.73	3.51	2.08	1.27	2.65
FeO	4.20	4.49	3.81	3.41	3.08	3.10	3.81	3.04
MnO	0.20	0.25	0.14	0.25	0.15	0.14	0.14	0.15
MgO	3.91	4.24	3.74	3.07	3.73	3.54	3.29	2.95
CaO	8.00	8.62	7.47	6.61	8.31	7.22	7.19	7.51
Na <sub>2</sub> O	3.17	2.92	3.06	3.36	3.32	2.84	3.05	3.25
K <sub>2</sub> O	1.92	1.61	2.04	2.09	1.73	2.20	2.07	2.12
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.21	0.23	0.22	0.21	0.23	0.15	0.18	0.19
п.п.п.	1.21	0.68	1.03	1.07	0.97	1.02	0.83	1.22
Сумма	99.67	99.43	99.64	99.87	99.66	99.66	99.57	99.66
S	н/опр	н/опр	н/опр	н/опр	0.01	<0.01	<0.01	0.01
Содержание в ppm								
Sc	н/опр	н/опр	н/опр	н/опр	27	18	19	18
V	200	180	160	150	214	159	159	173
Cr	15	99	72	42	130	86	77	83
Co	19	26	20	14	19	17	14	12
Ni	25	56	35	27	36	30	24	29
Cu	50	27	400	40	32	29	30	26
Zn	85	70	67	77	53	64	51	51
Ga	н/опр	н/опр	н/опр	н/опр	16	17	16	15
As	н/опр	н/опр	н/опр	н/опр	<2.0	2.4	<2.0	<2.0
Rb	48	22	44	49	39	50	47	48
Li	9	11	9	10	н/опр	н/опр	н/опр	н/опр
Ba	500	400	400	400	н/опр	н/опр	н/опр	н/опр
Sr	600	560	540	530	514	16	516	493
Y	н/опр	н/опр	н/опр	н/опр	18	17	495	17
Zr	н/обн	н/обн	н/обн	н/обн	74	78	75	74
Nb	н/обн	н/обн	н/обн	н/обн	3.1	1.5	<1.5	3.2
Mo	3.0	н/обн	2.0	4.0	<1.5	2.5	2.9	<1.5
Th	н/обн	н/обн	4.4	6.1	5.3	4.6	4.0	5.4
U	н/обн	н/обн	1.7	1.8	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
Pb	н/обн	н/обн	н/обн	н/обн	5.1	7.8	6.0	5.8
Be	1.0	н/обн	0.85	0.65	н/опр	н/опр	н/опр	н/опр
B	36	н/обн	38	38	н/опр	н/опр	н/опр	н/опр
F	240	н/обн	310	280	н/опр	н/опр	н/опр	н/опр

Примечание. Анализы 1, 2 из (Антонов, 1993, 2008; Подводный..., 1992); 4, 8 из (Подводный..., 1992); 3, 5–7 из (Блох и др., 2017б).

Note. Analyses 1, 2 from work (Antonov 1993; 2008; Podvodnyj vulkanizm..., 1992); 4, 8 from work (Podvodnyj vulkanizm..., 1992); 3, 5–7 from work (Blokh et al., 2017b).



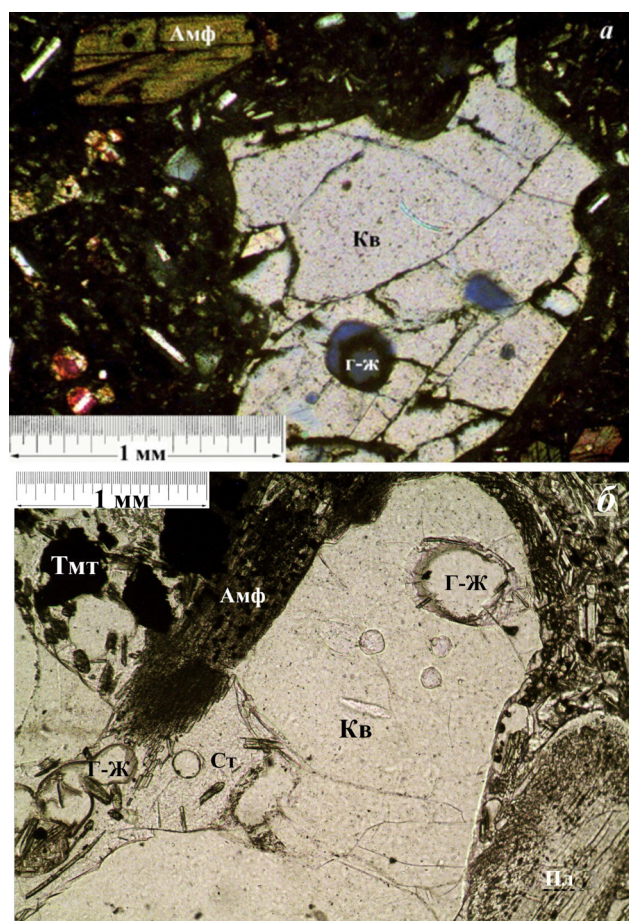
**Рис. 3.** Образец B25-40-6a (оптический микроскоп, прозрачный шлиф, съемка с анализатором): *a* — андезит; *б* — включение базальта и его границы. Ол — оливин, Пир мон — моноклинный пироксен, Пир ромб — ромбический пироксен, Амф — амфибол, Пл — плагиоклаз, Тит — титаномagnetит.

**Fig. 3.** Sample B25-40-6a (optical microscope, thin section, analyzer shot): *a* — andesite; *б* — inclusion of basalt and its boundaries. Ол — olivine, Пир мон — monoclinic pyroxene, Пир ромб — rhombic pyroxene, Амф — amphibole, Пл — plagioclase, Тит — titanomagnetite.

титана и хромшпинелью. Титаномagnetит редко образует крупные вкрапленники (рис. 6), но в основной массе является обычным минералом, составляя до 30% от общего состава микролитов. В большинстве случаев содержание титана в минерале колеблется от 0.15 до 0.30, очень редко до 1.0 формульной единицы (5–10, иногда до 40 масс.%). При этом во вкрапленниках наблюдается меньше титана (но больше железа), чем в микролитах.

## ПЕТРОМАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Комплексные петромагнитные исследования драгированных образцов, выполненные

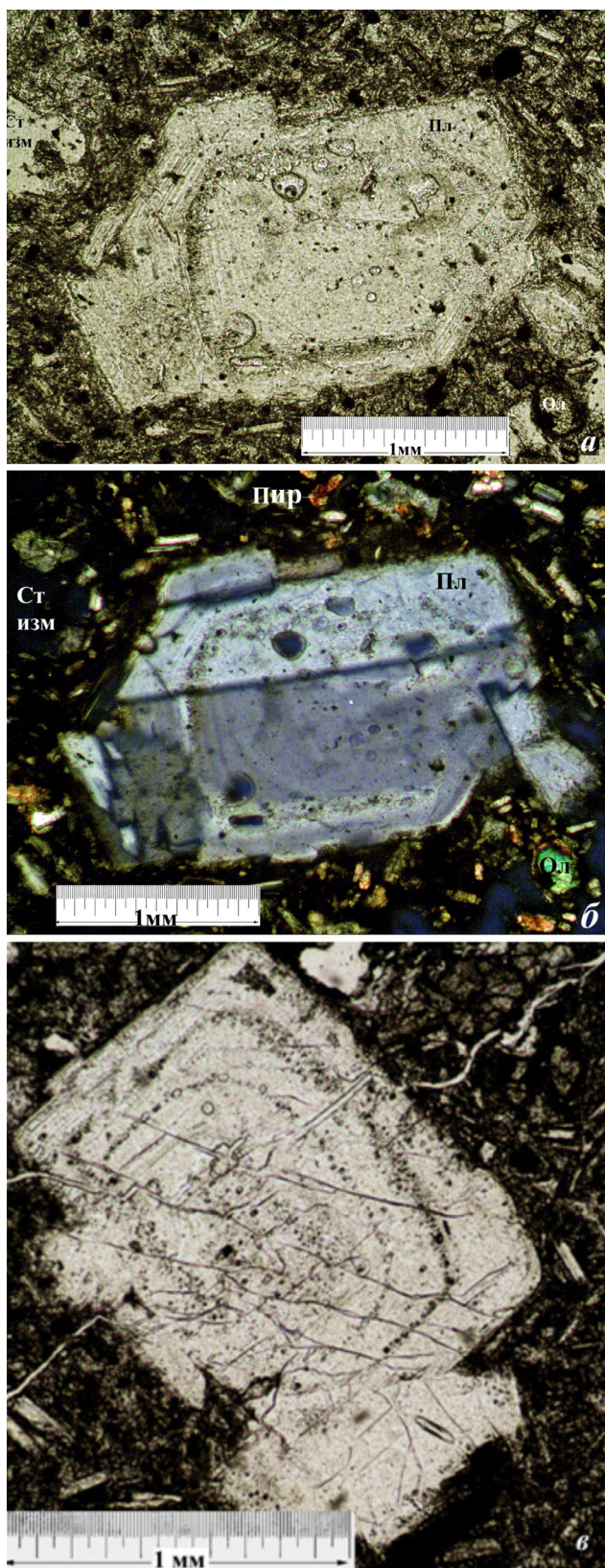


**Рис. 4.** Вкрапленники кварца: *a* — окруженный основной массой андезита (оптический микроскоп, прозрачный шлиф, съемка с анализатором); *б* — обтекаемый микролитами плагиоклаза (оптический микроскоп, без анализатора). Ст — вулканическое стекло, Кв — кварц, Г-Ж — газовой-жидкие включения. Остальные обозначения приведены на рис. 3.

**Fig. 4.** Quartz grains: *a* — in the main mass of andesite (optical microscope, thin section, analyzer shot); *б* — surrounded by plagioclase microlites (optical microscope, shot without an analyzer). Ст — volcanic glass, Кв — quartz, Г-Ж — gas-liquid inclusions. For other symbols see Fig. 3.

с помощью современного лабораторного оборудования по отработанной методике (Блох и др., 2017б; Рашидов и др., 2016), показали, что остаточная намагниченность  $J_n$  изученных образцов достаточно высокая и изменяется от 0.7 до 6.1 А/м (табл. 2), что обусловлено высоким содержанием (магнитная восприимчивость  $\chi$  изменяется в диапазоне (30–108),  $10^{-3}$  СИ) низкокоэрцитивных (остаточная коэрцитивная сила  $B_{cr}$  изменяется в интервале 18–19 мТл, разрушающее намагниченность медианное переменное магнитное поле  $B_{0.5}$  изменяется в интервале 19–43 мТл) ферромагнитных минералов. Магнитная анизотропия  $P'$  в образцах достигает 9%.





**Рис. 5.** Сдвойникованный зональный вкрапленник плагиоклаза, окруженный основной массой андезибазальта: *a* – *б* (оптический микроскоп: без анализатора (*a*), с анализатором (*б*)); *в* – вкрапленник плагиоклаза с газово-жидкими включениями по зонам роста (оптический микроскоп, без анализатора). Ст изм — стекло измененное. Остальные обозначения приведены на рис. 3.

**Fig. 5.** Twinned zonal plagioclase inclusion in the main mass of andesibasalt: *a* – *b* (optical microscope: shot without analyzer (*a*), analyzer shot (*b*)); *v* – plagioclase with gas-liquid inclusions in the growth zones (optical microscope, shot without analyzer). Ст изм — altered glass. For other symbols see Fig. 3.

Таким образом, основными носителями намагниченности являются титаномagnetит и титаномagnetит с низким содержанием Ti, по составу близкий к magnetиту.

Падение магнитной восприимчивости после прогрева до 700°C связано с протеканием однофазного окисления титаномagnetита и дальнейшим образованием маггемита и титаномagгемита.

Исследование петель магнитного гистерезиса на вибрационном магнитометре VSM (PMC Micro Mag 3900, США) показало, что структура зерен титаномagnetита псевдооднородная (PSD) и многодоменная (MD).

Таким образом, основными носителями намагниченности являются псевдооднородные зерна титаномagnetита с остаточной намагниченностью 0.6–6.1 A/м и высокой объемной концентрации, достигающей  $C \geq 1\%$ .

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

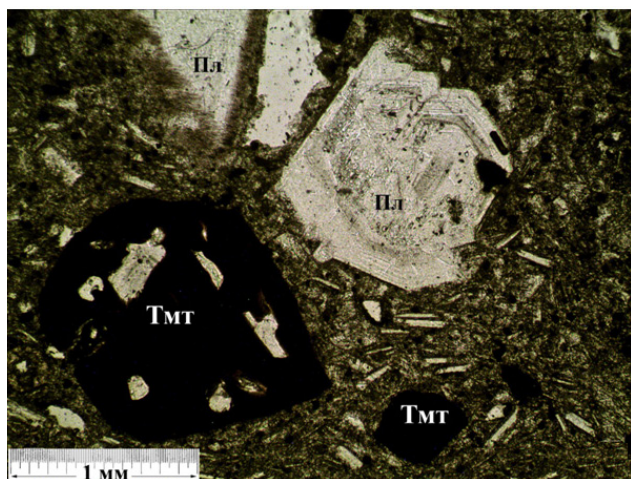
Судя по данным НСП, подножье массива с налеганием перекрыто вулканогенно-осадочной толщей мощностью 400–800 м (рис. 8). Учитывая мощность этих осадков, можно говорить о том, что относительная высота массива в северной части составляет 1300 м, в южной — 2300 м.

В результате проведения ГМС установлено, что массив Ратманова картируется положительной аномалией магнитного поля  $\Delta T_a$  северо-восточного простирания. Максимальная интенсивность аномалии — 400 нТл, приурочена к юго-восточной части плоской вершины, локальная аномалия интенсивностью 200 нТл — к вулкану 3.5, а нулевые значения соответствуют основанию массива (рис. 2а).

Интерпретация материалов геофизических исследований была выполнена с помощью разработанной авторами настоящей работы эффективной технологии моделирования данных ГМС в комплексе с эхолотным промером, НСП и анализом естественной остаточной намагниченности, а также химического состава

Термомангнитный анализ образцов по зависимости магнитной восприимчивости от температуры  $\chi(T)$  на каппаметре Multi-Function Kappabridge MFK1-FA с приставкой CS3 (AGICO, Чехия) показал наличие двух ферромагнитных фаз с точками Кюри ~400–420°C и ~530–550°C (рис. 7).





**Рис. 6.** Вкрапленники титаномagnetита (Тмт), который в процессе роста захватывает микролиты зонального плагиоклаза (Пл), среди основной массы андезита.

**Fig. 6.** Inclusions of titanomagnetite (Тмт), which in the process of growth captures microlites of zonal plagioclase (Пл), among the main mass of andesite.

Эта технология в настоящее время наряду с программными комплексами иностранных коллег (Blanco-Montenegro et al., 2020; Paoletti et al., 2016; Tontini, de Ronde, 2013), успешно применяется для изучения подводных вулканов, островов-вулканов и подводных склонов наземных вулканов.

Для уточнения глубинного строения массива Ратманова был проведен анализ особых точек функций, описывающих аномальные геомагнитные поля, с помощью интегрированной системы СИНГУЛЯР (Блох и др., 1993). Эта система позволяет синтезировать результаты локализации особенностей в едином интерфейсе тремя независимыми и хорошо зарекомендовавшими себя на практике методами, разработанными под руководством В.Н. Страхова, В.М. Березкина и Г.А. Трошкова (Березкин, 1988; Страхов и др., 1977; Трошков, Грознова, 1981). Метод Страхова базируется на аппроксимационном продолжении в нижнюю полуплоскость одного из элементов

драгированных горных пород (Блох и др., 2012). При этом применялись разнообразные методы интерпретации, одни из которых ориентированы на 2D и 2.5D-анализ магнитного поля на отдельных галсах, а другие — на 3D-анализ по всему массиву наблюдений. При расчетах использовался истинный рельеф вулканических построек, с учетом погребенного под осадками основания, полученный по данным эхолотного промера и НСП. Для уточнения глубинного строения подводных вулканов использовался анализ особых точек, томографический анализ и монтажный метод решения обратной задачи магнитометрии.

**Таблица 2.** Петромагнитные характеристики драгированных образцов горных пород, слагающих подводный вулканический массив Ратманова

**Table 2.** The petromagnetic characteristics of rocks of the Ratmanov submarine volcanic massif

№ образца	B25-40/1-1	B25-40/1-2	B25-40/2a-1	B25-40/2a-2	B25-40/6a-1	B25-40/6a-2	B25-40/8-1	B25-40/8-2
Jn, А/м	2.42	6.10	1.29	0.68	1.46	1.45	0.82	1.05
æ, 10 <sup>-3</sup> ед. СИ	57.66	107.70	39.68	39.05	35.34	29.61	39.75	35.19
Qn,	1.05	1.42	0.81	0.43	1.04	1.23	0.52	0.73
P'	1.070	1.088	1.009	1.031	1.047	1.021	1.031	1.021
Bcr, мТл	18.5	18.1	18.7	18.5	19.3	19.1	18.1	18.7
Bc, мТл	5.70		5.65		4.00		11.4	
B <sub>0.5</sub> , мТл	25.2	18.5	35.7	35.0	36.2	42.6	27.0	18.9
Jrs, А/м	424.6	914.6	225.4	203.0	157.0	145.6	204.6	192.6
Js, А/м	4750		3100		2900		4160	
Jrs/Js	0.089		0.073		0.054		0.049	
Bcr/Bc	3.25		3.31		4.82		1.59	
Структура	PSD		PSD		PSD-MD		PSD-MD	
C, %	1.14		0.75		0.71		0.97	

Примечание. Jn — естественная остаточная намагниченность; æ — магнитная восприимчивость; Qn — фактор Кенигсбергера, P' — степень анизотропии магнитной восприимчивости; Bcr — остаточная коэрцитивная сила; Bc — коэрцитивная сила; B<sub>0.5</sub> — медианное поле; Jrs — остаточная намагниченность насыщения; Js — намагниченность насыщения; PSD — псевдооднодоменные зерна; MD — многодоменные зерна, C — объемная концентрация ферромагнетика.

Note. Jn — natural remnant magnetization; æ — magnetic susceptibility; Qn — Koenigsberger ratio; P' — degree of anisotropy in magnetic susceptibility; Bcr — remnant coercive force; Bc — coercive force; B<sub>0.5</sub> — median field; Jrs — remnant saturation magnetization; Js — saturation magnetization; PSD pseudo-single-domain grains; MD — multidomain grains; C — volumetric concentration of ferromagnetic material.

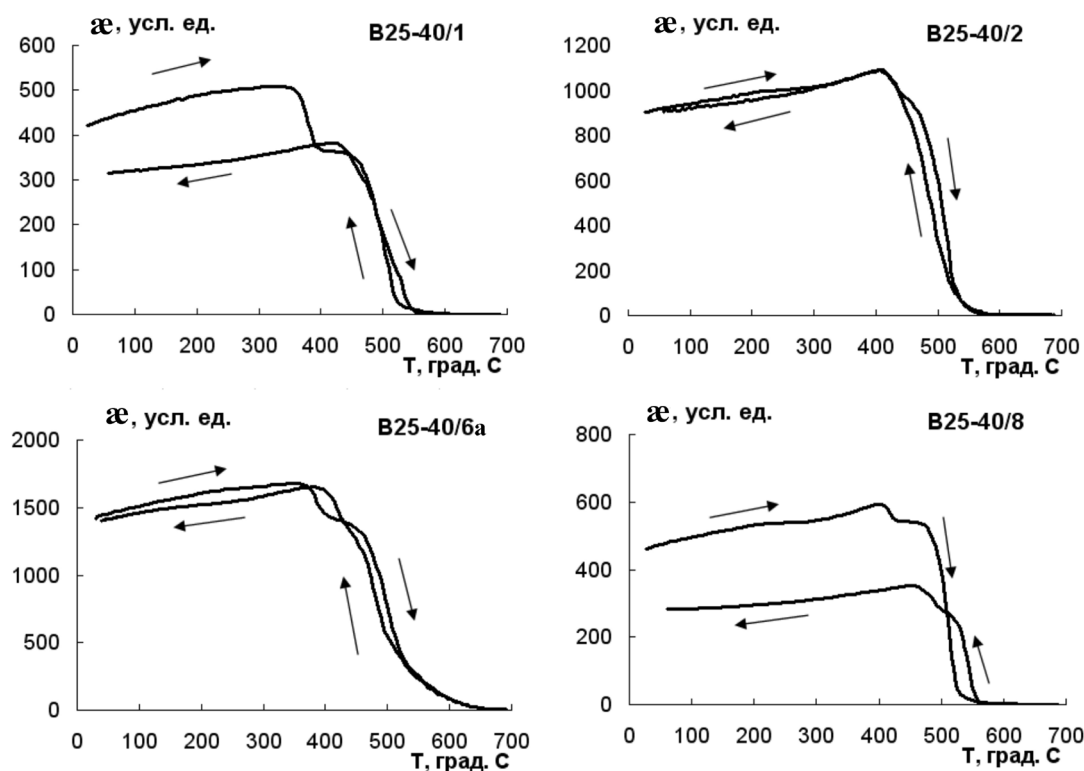


Рис. 7. Кривые зависимости магнитной восприимчивости  $\chi$  от температуры ( $T$ ). Стрелками обозначен цикл нагрев-охлаждение.

Fig. 7. Curves of dependence of magnetic susceptibility  $\chi$  on temperature ( $T$ ). Arrows designate the heating-cooling cycle.

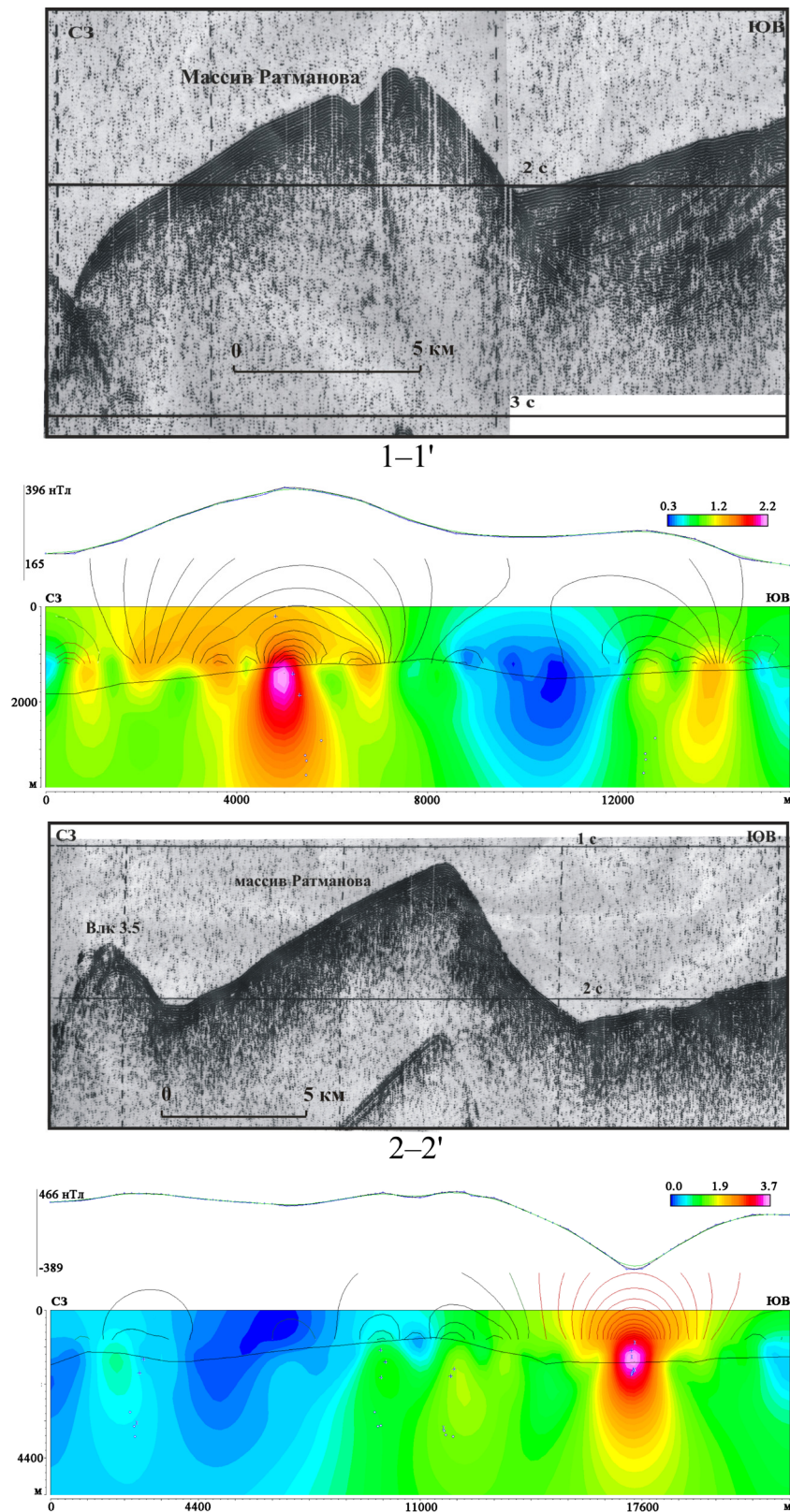
анализируемого поля. Нами для локализации применялось продолжение самого поля, экстраполяция вниз изолиний которого указывает на местоположение особенностей как точек пересечения изолиний. Метод Березкина основан на построении в нижней полуплоскости нормированной функции. Нами применялся нормированный модуль поля, экстремумы которого, в первую очередь, максимумы, отмечают особые точки. Метод Трошкова локализует особенности путем анализа отношения производных в скользящих окнах, а с его помощью удобно определять тип особых точек. Точки первого типа — вершины многоугольников, второго — края тонких пластов, а третьего типа — центры локальных масс. Синтез результатов позволяет осознавать устойчивость проводимой локализации. Применение интегрированной системы СИНГУЛЯР позволило предположить, что основные особые точки функции, описывающей магнитные аномалии, приурочены к верхней кромке вулканических пород, слагающих постройку подводного массива Ратманова, тогда как подводящие каналы являются субвертикальными. Кроме того, в интервалах глубин 3.8–4.6 км и 6–7.1 км выделены периферические магматические очаги (рис. 8).

С помощью программы ИГЛА установлено, что вектор эффективной намагниченности пород  $J_{\text{эф}}$ , слагающих массив Ратманова, отклонен от

вектора нормального поля  $T_0$  к юго-востоку на угол около  $54^\circ$  (рис. 9). Это позволяет предположить, что образование вулканического массива Ратманова, как и других изученных подводных вулканов и массивов КОД (Блох и др., 2014, 2015, 2019, 2020), приурочено к периодам геомагнитных инверсий.

3D-моделирование вулканической постройки с помощью программы REIST из пакета структурной интерпретации гравитационных и магнитных аномалий СИГМА-3D показало, что максимальная эффективная намагниченность  $J_{\text{эф}}$  вулканического массива Ратманова достигающая 0.8 А/м, отмечена на юго-востоке плоской привершинной части (рис. 2в, 2г), что хорошо согласуется с данными петромагнитных исследований. При этом среднеквадратическая погрешность подбора аномального магнитного поля после 66 итераций составила 17 нТл.

Томографический анализ аномального магнитного поля подводного вулкана Ратманова по первой вертикальной производной составляющей аномального магнитного поля  $(\partial \Delta T_a) / \partial z$  показал наличие множества отдельных областей повышенных значений эффективной намагниченности  $J_{\text{эф}}$ , пространственно связанных с двумя линейными разломными зонами, практически параллельно пересекающими вулканический массив (рис. 10а).



**Рис. 8.** Изображение, синтезированное системой СИНГУЛЯР для локализации особых точек функции, описывающей аномальное магнитное поле  $\Delta T_a$  подводного вулканического массива Ратманова, с наложенным рельефом дна по данным эхолотных промеров, совмещенное с фрагментами записи НСП. Местоположение профилей приведено на рис. 2а. Пояснения в тексте.

**Fig. 8.** Image created by the SINGULAR software to localize the points of the function that describes the anomalous magnetic field  $\Delta T_a$  of the Ratmanov submarine volcanic massif. Superimposed is bottom relief by echo-sounding measurements combined with fragments of the continuous seismic profiling. The location of the profiles is shown in Fig. 2a. See text for explanations.



# КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ

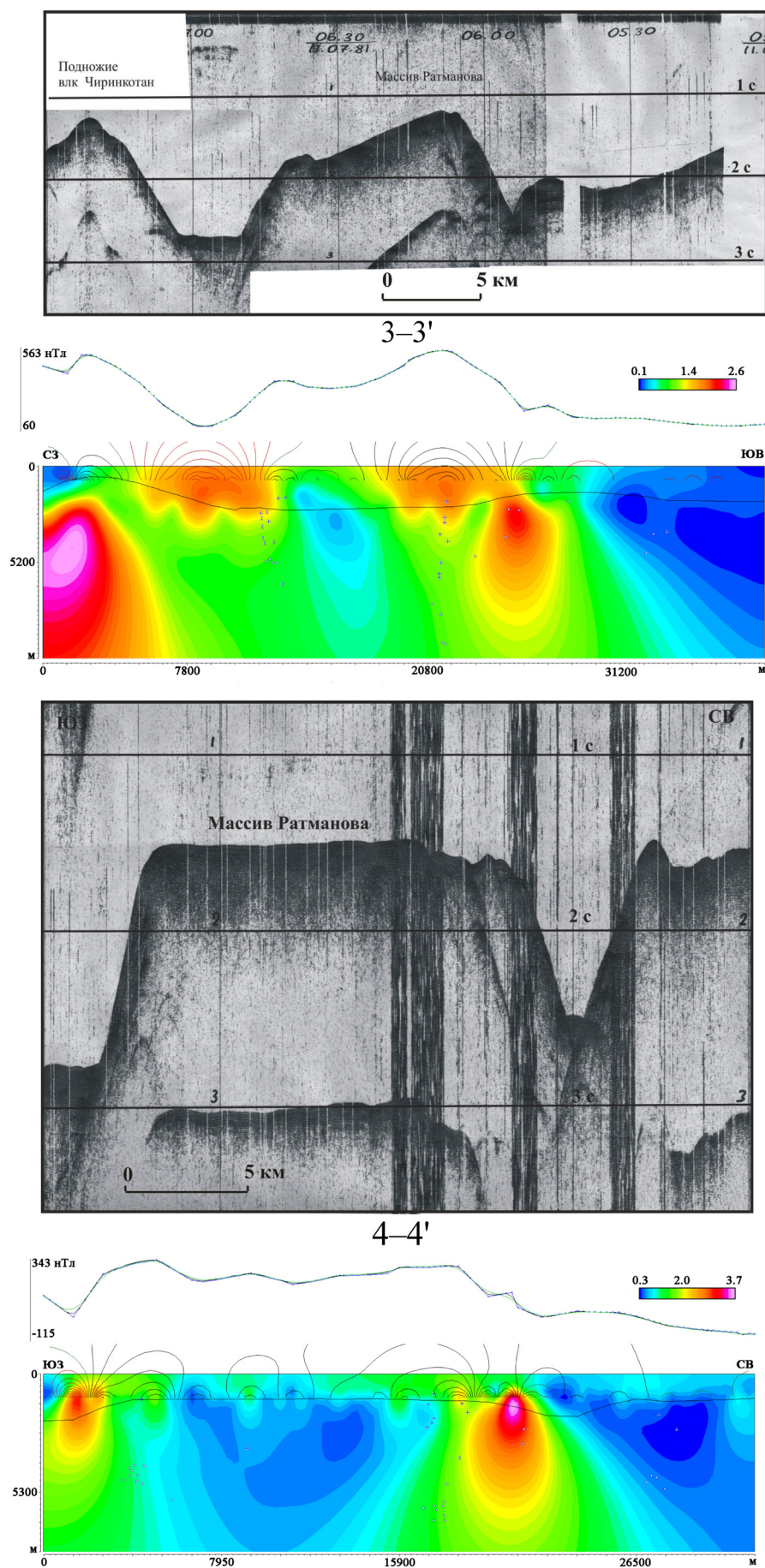


Рис. 8. Продолжение

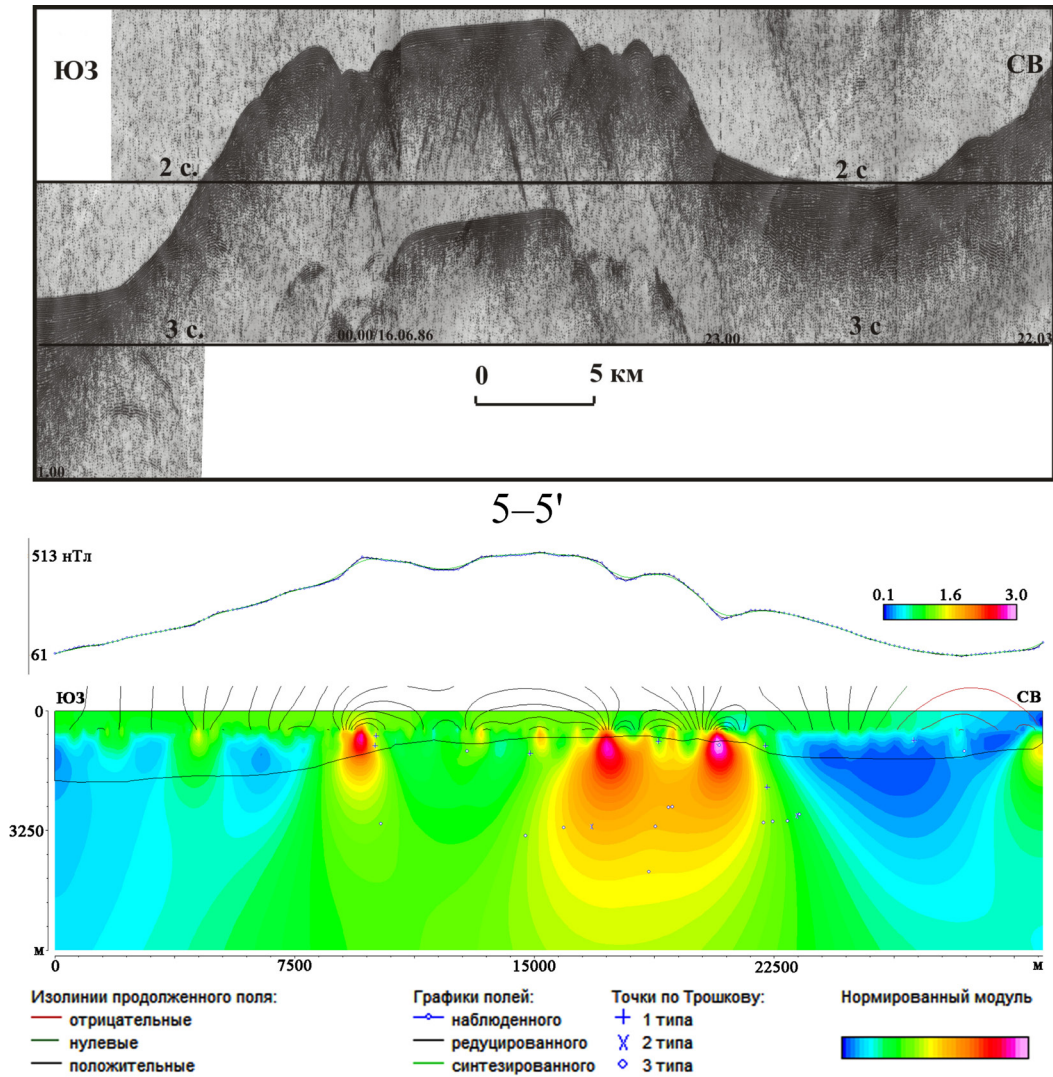


Рис. 8. Окончание

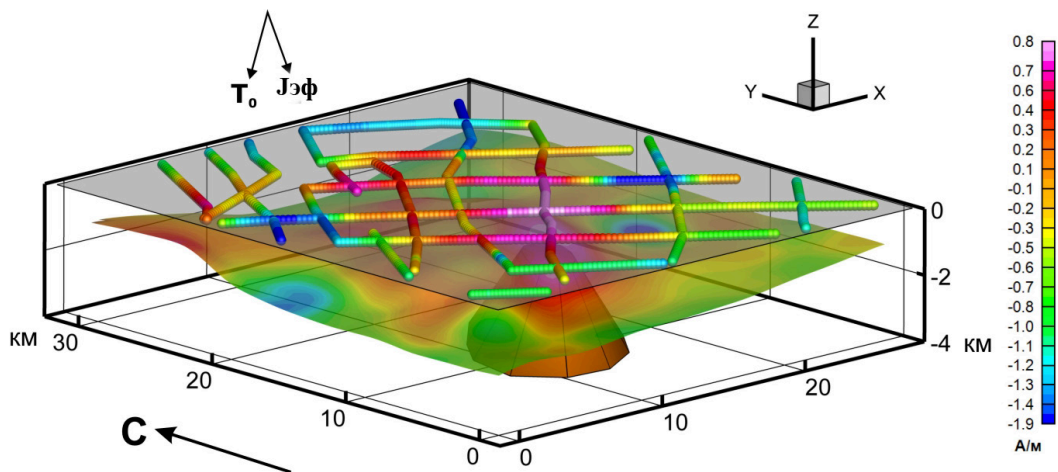
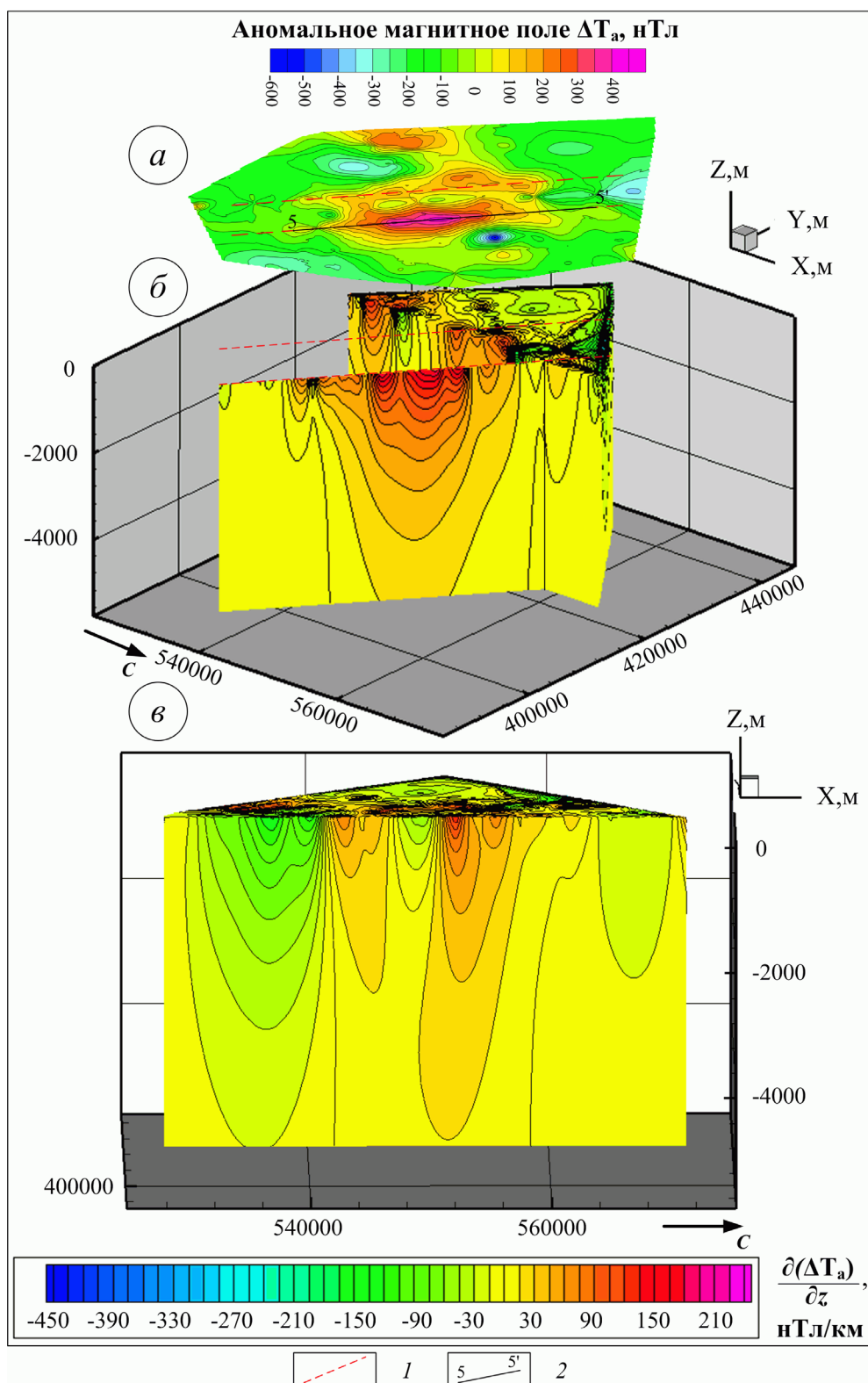


Рис. 9. Уточнение ориентации вектора эффективной намагниченности  $J_{эф}$  подводного вулканического массива Ратманова с помощью программы ИГЛА.

Fig. 9. Refinement of the vector direction of the effective magnetization  $J_{эф}$  of the Ratmanov submarine volcanic massif using IGLA software.



**Рис. 10.** Изолинии аномального магнитного поля  $\Delta T_a$  (а) и 3D-диаграммы (б, в), отражающие пространственное распределение квазинамагниченности горных пород подводного вулканического массива Ратманова: 1 — линейные зоны; 2 — интерпретационный профиль. Местоположение профиля приведено на рис. 2а.

**Fig. 10.** Isolines of the anomalous magnetic field  $\Delta T_a$  (a) and the 3D diagrams (б, в) that reflect the spatial distribution of the quasi-magnetization of rocks, which compose the Ratmanov submarine volcanic massif: 1 — linear zones; 2 — interpretation profile. Line of the profile is shown in Fig. 2a.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В периферийных частях массива эти области располагаются на эффективных глубинах  $h_{эф}=1$  км, а в центральной части, которая является более намагниченной, — до  $h_{эф} > 5$  км (рис. 10б, 10в).

Центральные области 3D-диаграммы можно сопоставить с отдельными V-образными подводными каналами с крутыми углами падения. При этом эти объекты на  $h_{эф} \sim 1.5$  км объединяются в одну положительную аномальную зону, что может свидетельствовать о едином магматическом очаге для всех подводных каналов вулкана.

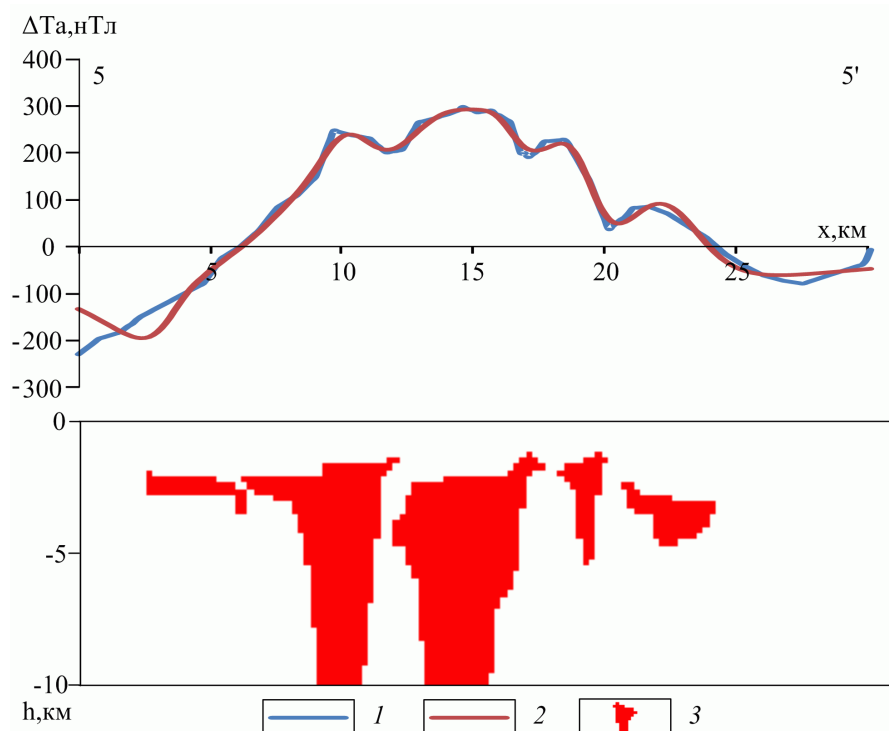
По результатам решения обратной задачи магниторазведки монтажным методом по интерпретационному профилю, расположенному на одной из линейных зон (рис. 10а) было выделено 5 магнитовозмущающих объектов со средней  $J_{эф} = 2$  А/м: два крупных центральных, с глубиной нижней кромки порядка 10 км и три меньших по поперечным и вертикальным размерам (рис. 11). Положение этих объектов хорошо совпадает с результатами применения интегрированной системы СИНГУЛЯР (рис. 8, профиль 5-5').

В пределах всего подводного вулканического массива Ратманова выявлено 15 крупных магнитовозмущающих блоков. Средняя  $J_{эф}$  блоков, которые мы связываем с застывшей магматической системой массива, изменяется в диапазоне 1–3 А/м. Форма этих блоков варьирует от практически вертикальных до наклонных, что подтверждает общую картину «веерного» строения массива Ратманова, полученную по результатам томографического анализа.

Комплексные геолого-геофизические исследования показали, что подводный вулканический массив Ратманова представляет собой древний подводный вулкан с субвертикальными подводными каналами, образовавшийся во время геомагнитных инверсий, на северо-западном склоне которого расположена молодая андезитовая постройка. На доголоценовый возраст основной части массива указывает и его плоская вершина, характерная для многих вулканов КОД (Подводный..., 1992), явившаяся результатом размыва и разрушения изначальной конусовидной постройки при голоценовом повышении уровня Охотского моря.

Химический и петрографический составы большей части драгированных пород отвечают андезитам. Различные включения представлены дациандезитами, андезибазальтами и базальтами, а их кристаллизация происходила внутри андезитового расплава, но раньше кристаллизации вмещающей основной массы породы. Основным носителем намагниченности является высокая концентрация псевдооднородных зерен титаномагнетита и титаномагнетита с низким содержанием Ti, по составу близкого к магнетиту.

В постройке подводного вулканического массива Ратманова, образованного в периоды геомагнитных инверсий выделены 15 крупных магнитовозмущающих блоков. средняя  $J_{эф}$  которых изменяется в диапазоне 1–3 А/м и субвертикальные и V-образные подводные



**Рис. 11.** Моделирование подводного вулканического массива Ратманова вдоль линейной зоны монтажным методом: 1 — наблюдаемое магнитное поле; 2 — модельное магнитное поле; 3 — магнитовозмущающий объект. Местоположение профиля приведено на рис. 2а и 10.

**Fig. 11.** Modeling of the Ratmanov submarine volcanic massif along the linear zone using the fitting method: 1 — observed magnetic field; 2 — model magnetic field; 3 — magnetically disturbing object. Profile lines are shown in Figs. 2a and 10.

каналы, а в интервалах глубин 3.8–4.6 км и 6–7.1 км — периферические магматические очаги.

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

#### Список литературы [References]

- Авдейко Г.П., Берлин Ю.М., Богданов Н.А. и др. Объяснительная записка к тектонической карте Охотоморского региона масштаба 1:2 500 000. М.: ИЛСАН, 2000. 193 с. [Avdejko G.P., Berlin Yu.M., Bogdanov N.A. et al. Ob'yasnitel'naya zapiska k tektonicheskoy karte Ohotomorskogo regiona masshtaba 1:2 500 000. M.: ILSAN, 2000. 193 p. (in Russian)].
- Аникин Л.П., Блох Ю.И., Бондаренко В.И. и др. Новые данные о строении подводных вулканов и островов Курильской островной дуги // Материалы XX региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвященной Дню вулканолога, 30–31 марта 2017 г. — Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2017а. С. 94–97 [Anikin L.P., Blokh Yu.I., Bondarenko V.I. et al. Novye dannye o stroenii podvodnykh vulkanov i ostrovov Kuril'skoj ostrovnnoj dugi // Materialy XX regional'noj nauchnoj konferencii «Vulkanizm i svyazannye s nim processy», posvyashchennoj Dnyu vulkanologa, 30–31 marta 2017 g. — Petropavlovsk-Kamchatskij: IViS DVO RAN, 2017a. P. 94–97 (in Russian)].
- Аникин Л.П., Блох Ю.И., Бондаренко В.И. и др. Комплексные исследования подводных вулканов Курильской островной дуги // Труды Шестой научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 1–7 октября 2017 г. / Отв. ред. Д.В. Чебров. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017б. С. 25–29. [http://www.emsd.ru/static/library/2017\\_conf/040.pdf](http://www.emsd.ru/static/library/2017_conf/040.pdf) [Anikin L.P., Blokh Yu.I., Bondarenko V.I. et al. Kompleksnyye issledovaniya podvodnykh vulkanov Kuril'skoj ostrovnnoj dugi // Trudy Shestoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. Petropavlovsk-Kamchatskij. 1–7 oktyabrya 2017 g. / Otв. red. D.V. Chebrov. Obninsk: FIC EGS RAN, 2017b. P. 25–29 (in Russian)].
- Антонов А.Ю. Мафические гомогенные включения в вулканитах Курильской островной дуги и проблема смешения магм // Тихоокеанская геология. 1993. № 3. С. 20–32 [Antonov A.Yu. Mafic homogenic inclusion in the volcanics of the Kurile island arc and the problem of magmas mixing // Russian Journal of Pacific Geology. 1993. № 3. P. 20–32 (in Russian)].
- Антонов А.Ю. Геохимия и петрология мезо-кайнозойских магматических образований и мантийный диапиризм. Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2008. 250 с. [Antonov A.Yu. Geokhimiya i petrologiya mezo-kajnozoijskikh magmaticheskikh obrazovanij i mantijnyj diapirizm. Novosibirsk: Akademicheskoe izdatel'stvo «Geo», 2008. 250 p. (in Russian)].
- Безруков П.Л., Зенкевич Н.Л., Канаев В.Ф., Удинцев Г.Б. Подводные горы и вулканы Курильской островной дуги // Тр. 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 ostrovnnoj gryady // Trudy Laboratorii vulkanologii. 1958. V. 13. P. 71–88 (in Russian)].
- Березкин В.М. Метод полного градиента при геофизической разведке. М: Недра, 1988. 187 с. [Berezkin V.M. Metod polnogo gradienta pri geofizicheskoy razvedke. M: Nedra, 1988. 187 p. (in Russian)].
- Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. Современные интерпретационные технологии при комплексном моделировании подводного вулкана Макарова (Курильская островная дуга) // Геоинформатика. 2012. № 4. С. 8–17 [Blokh Yu.I., Bondarenko V.I., Dolgal A.S. et al. Sovremennyye interpretacionnyye tekhnologii pri kompleksnom modelirovanii podvodnogo vulkana Makarova (Kuril'skaya ostrovnaya duga). Geoinformatika. 2012. № 4. P. 8–17 (in Russian)].
- 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 [Blokh 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 (in Russian)].
- Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др. Новые данные о строении подводных вулканических массивов Рикорда и Ратманова (Курильская островная дуга) // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: Материалы 44-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского, Москва, 23 – 27 января 2017 г. М: ИФЗ РАН, 2017а. С. 60–65 [Blokh Yu.I., Bondarenko V.I., Dolgal A.S. et al. Novye dannye o stroenii podvodnykh vulkanicheskikh massivov Rikorda i Ratmanova (Kuril'skaya ostrovnaya duga) // Voprosy teorii i praktiki geologicheskoy interpretacii geofizicheskikh polej: Materialy 44-j sessii Mezhdunarodnogo seminar im. D.G. Uspenskogo, Moskva, 23 – 27 yanvarya 2017 g. M: IFZ RAN, 2017a. P. 60–65 (in Russian)].
- Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др. Комплексные исследования подводного вулканического массива Ратманова в Курильской островной дуге // Геология морей и океанов: Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. М.: ИО РАН, 2017б. С. 33–37 [Blokh Yu.I., Bondarenko V.I., Dolgal A.S. et al. Integrated Investigations of the Ratmanov Submarine Massif, Kuril Island Arc // Geology of Seas and Ocean. Proceedings of XXII International Conference on Marine Geology. Moscow: IO RAS, 2017b. P. 33–37 (in Russian)].
- Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др. Геофизические и петролого-минералогические исследования подводных вулканов Охотоморского склона Курильской островной дуги // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей Девятые научные чтения Ю.П. Булашевича. Материалы

- конференции. Екатеринбург: ТГФ УрО РАН. 2017в. С. 73–77 [Blokhu Yu.I., Bondarenko V.I., Dolgal A.S. et al. Glubinnoe stroenie, geodinamika, teplovoe pole Zemli, interpretaciya geofizicheskikh polej Devyatye nauchnye chteniya Yu.P. Bulashevicha. Materialy konferencii. Ekaterinburg: TGF UrO RAN. 2017с. Р. 73–77 (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/10.1134/S0203030618040028> [Blokhu Yu.I., Bondarenko V.I., Dolgal A.S. 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> [Blokhu Yu.I., Bondarenko V.I., Dolgal A.S. et al. 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 исследования подводного вулкана Лисянского (Курильская островная дуга) // Материалы XXIII Региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвященной Дню вулканолога, 2020 г. / Гл. ред. А.Ю. Озеров. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2020. С. 91–94 [Blokhu Yu.I., Bondarenko V.I., Dolgal A.S. et al. Kompleksnye issledovaniya podvodnogo vulkana Lisyanskogo (Kuril'skaya ostrovnaya duga) // Materialy XXIII Regional'noj nauchnoj konferencii «Vulkanizm i svyazannye s nim processy», posvyashchennoj Dnyu vulkanologa, 2020 g. / Gl. red. A.Yu. Ozerov. Petropavlovsk-Kamchatsky: IVis DVO RAN, 2020. P. 91–94 (in Russian)].
- 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 [Blokhu Yu.I., Kaplun D.V., Konyaev O.N. Vozmozhnosti interpretacii potencial'nyh polej metodami osobyyh tochek v integrirovannoj sisteme «SINGULAR». Proceeding of higher educational establishments. Geology and Exploration. 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 [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 (in Russian)].
- Бондаренко В.И., Рашидов В.А. Строение вулканического массива Ушишир (Центральные Курилы) // Вулканология и сейсмология. 2018. № 1. С. 16–34. <https://10.7868/S0203030618010029> [Bondarenko V.I., Rashidov V.A. The Structure of the Ushishir Volcanic Massif, Central Kurils // Journal of Volcanology and Seismology. 2018. V. 12. № 1. P. 16–33. <https://doi.org/10.1134/S0742046318010025>].
- Бондаренко В.И., Рашидов В.А. Подводная вулканическая активность в пределах Охотоморского склона Курильской островной дуги // Актуальные проблемы нефти и газа. 2018. № 4(23). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2018-23.art51> [Bondarenko V.I., Rashidov V.A. UNderwater volcanic activity on the Okhotsk side of the Kuril Island Arc // Actual Problems of Oil and Gas. 2018. № 4(23) (in Russian)].
- Международный геолого-геофизический атлас Тихого океана / Ред. Г.Б. Удинцев МОК (Юнеско), РАН, ФГУП ПКО «Картография», ГУНиО, Москва – Санкт-Петербург, 2003. 192 с. [International Geological-Geophysical Atlas of the Pacific Ocean (English / Russian Bilingual Edition)/ Ed.: G.B. Udintsev. IOC (of UNESCO), Russian Ac. Sci., VSUE MPA «Kartografia», GUNiO, Moscow – Sankt-Petersburg, 2003. 192 p.].
- 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. 604 p.].
- Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги. Отв. ред. Ю.М. Пушаровский М.: Наука, 1992. 528 с. [Podvodnyj vulkanizm i zonal'nost' Kuril'skoj ostrovnoj dugi / Otv. red. Yu. M. Pushcharovsky. M.: Nauka, 1992. 528 p.].
- 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>].
- Родников А.Г., Забаринская Л.П., Рашидов В.А., Сергеева Н.А. Геодинамические модели глубинного строения регионов природных катастроф активных континентальных окраин. М.: Научный мир, 2014. 172 с. [Rodnikov A.G., Zabarinskaya L.P., Sergeeva N.A., Rashidov V.A. Geodynamic models of the deep structure beneath the natural dicaster regions oе active continental margins. Moscow: Scientific World, 2014. 172 p. (in Russian)].
- Селиверстов Н.И. Геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамГУ им. Витуса Беринга, 2009. 191 с. р. [Seliverstov N.I. Geodinamika zony sochleneniya Kurilo-Kamchatskoj i Aleutskoj ostrovnyh dug. Petropavlovsk-Kamchatskij: Izd-vo KamGU im. Vitusa Beringa, 2009. 191 p. (in Russian)].



- Страхов В.Н., Григорьева О.М., Лапина М.И. Определение особых точек двумерных потенциальных полей // Прикладная геофизика. 1977. Вып. 85. С. 96–113 [Strahov V.N., Grigor'eva O.M., Lapina M.I. Opredelenie osobykh tochek dvumernykh potencial'nykh polej // Prikladnaya geofizika. 1977. V. 85. P. 96–113 (in Russian)].
- Тектоническая карта Охотоморского региона. Масштаб: 1:2500000 / Ред. Н.А. Богданов, В.Е. Хаин. 2000 г. [Tektonicheskaya karta Ohotomorskogo regiona. Masshtab: 1:2500000 / Red. N.A. Bogdanov, V.E. Hain. 2000 g. (in Russian)].
- Трошков Г.А., Грознова А.А. Математические методы интерпретации магнитных аномалий. Л: Недра, 1981. 151 с. [Troshkov G.A., Groznova A.A. Matematicheskie metody interpretacii magnitnykh anomalij. L: Nedra, 1981. 151 p. (in Russian)].
- Юркевич М.Г. Георгий Ефимович Ратманов — океанограф-гидролог / Отв. ред. Ю.Г. Леонов. М.: Наука, 2011. 182 с. [Yurkevich M.G. Georgij Efimovich Ratmanov — okeanograf-gidrolog / Otв. red. Yu.G. Leonov. Moscow: Nauka, 2011. 182 p. (in Russian)].
- Blanco-Montenegro I., Montesinos F.G., Nicolosi I. et al. Three-Dimensional Magnetic Models of La Gomera (Canary Islands): Insights Into the Early Evolution of an Ocean Island Volcano // Geochemistry Geophysics Geosystems. 2020. V. 1. Iss. 2. e2019GC008787. <https://doi.org/10.1029/2019GC008787>.
- Paoletti V., Passaro S., Fedi M. et al. Subcircular conduits and dikes offshore the Somma-Vesuvius volcano revealed by magnetic and seismic data // Subcircular conduits and dikes offshore the Somma-Vesuvius volcano revealed by magnetic and seismic data. Geophysical Research Letters. 2016. V. 43. Iss. 18. P. 9544–9551 <http://dx.doi.org/10.1002/2016GL070271>.
- Tontini F.C., de Ronde C.E.J., Kinsey J.C. et al. Geophysical modeling of collapse-prone zones at Rumble III seamount, southern Pacific Ocean, New Zealand // Geochemistry Geophysics Geosystems. 2013. V. 14. Iss. 10. P. 4667–4680. <https://doi.org/10.1002/ggge.20278>.

## INTEGRATED GEOLOGIC-GEOPHYSICAL INVESTIGATION OF THE RATMANOV 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 Earth Physics 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 Aerogeofizika Moscow, Russia, 125373

The article presents the results of integrated geologic-geophysical investigation of the Ratmanov submarine volcanic massif, located in the Kurile Island Arc, 15 km southeast of the Chirinkotan island. There is a small submarine volcano on the northwestern slope of the massif with a relative height of 400–450 m, dredging of which raised andesites and a small number of andesite basalts. New data have been obtained on the mineral and chemical compositions and structural features of the massif rock formation. High values of the natural remnant magnetization of dredged rocks are caused by the high content of pseudo-single-domain of titanomagnetite grains. The foot of the massif is overlain by a volcanic-sedimentary sequence 400–800 m thick, and its formation most probably took place during periods of global geomagnetic disturbances. The maximum effective magnetization of the massif reaches 0.8 A / m. In the deep of the massif, supply channels, as well as peripheral magma chambers in the depth intervals of 3.8–4.6 km and 6–7.1 km, are identified.

**Keywords:** Ratmanov submarine volcanic massif, integrated geologic-geophysical study.

Поступила в редакцию 20.09.2018 г.