

Научные статьи

УДК 550.83:551.214(265.53)

ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ ПОДВОДНЫХ ВУЛКАНОВ КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММЫ ИГЛА

© 2015 Ю.И. Блох¹, В.А. Рашидов², А.А. Трусов³

¹Москва, 105215; e-mail: yuri_blokh@mail.ru;

²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006;

³ЗАО «ГНПП Аэрогеофизика», Москва, 127288

Приведены результаты изучения остаточной намагниченности вулканических построек подводных вулканов Курильской островной дуги (КОД) непосредственно по данным гидромагнитной съемки с применением программы ИГЛА. Показано, что остаточные намагниченности изученных подводных вулканов КОД не совпадают по своим направлениям с современным геомагнитным полем. Сделано предположение о том, что активизация подводного вулканизма КОД происходила как раз в периоды глобальных геомагнитных возмущений.

Ключевые слова: остаточная намагниченность, подводные вулканы, Курильская островная дуга, ИГЛА.

Одним из наиболее важных в морской магнитометрии является вопрос о естественной остаточной намагниченности пород, слагающих подводные вулканические структуры. Его активное обсуждение происходит уже многие десятилетия, причем в нескольких аспектах, затрагивающих проблемы палеомагнетизма, вулканизма, геодинамики и т.д. Тем не менее, до сих пор не потеряло актуальности совершенствование технологий максимально возможного извлечения информации об остаточной намагниченности пород непосредственно по данным магнитной съемки, на что и направлена настоящая статья.

Как известно, породы, слагающие подводные вулканические структуры, характеризуются высокой естественной остаточной намагниченностью. При этом модуль вектора остаточной намагниченности сравнительно несложно определять по драгированным образцам, тогда как его направление найти гораздо сложнее, поскольку для этого требуются ориентированные образцы. В связи с этим, долгое время на подводные вулканы по аналогии распространяли данные, полученные на ориентированных образцах, отобранных на близлежащих островах.

С 60-х гг. XX в. начали интенсивно развиваться методы, базирующиеся на решении обратных задач магниторазведки для подводных вулканов известной формы, самый распространенный из которых зачастую называют «методом подводной горы» (Ле Пишон и др., 1977, С. 138). Начало его применению положил В. Вакье (Vacquier, 1962), а широко внедряться он стал после успехов, достигнутых японскими учеными, прежде всего, С. Уедой (Uyeda, Richards, 1966; Vacquier, Uyeda, 1967). Одним из главных ограничений метода является стандартное предположение о том, что «намагниченность подводной горы стабильна и представлена исключительно остаточной составляющей» (Ле Пишон и др., 1977, С. 139). Достаточно подробный обзор зарубежной литературы по этим вопросам недавно опубликован Д. Кларком (Clark, 2014).

Устойчивость получаемых сведений о направлении вектора остаточной намагниченности обычно оценивают формально, принимая во внимание, что способ более адекватен для сравнительно небольших подводных вулканов, нежели для больших многослойных и неоднородных гайотов. В последние годы магнитораз-

ведчики в значительной степени переключили внимание как раз на такие многослойные модели (Kubota, Uchiyama, 2005; Ueda, 2007). Тем не менее, и для оценки намагниченности небольших и сравнительно однородных объектов разработки продолжают, в частности, интерактивный и полуавтоматический подбор остаточной намагниченности давно входит в функциональность австралийской системы моделирования ModelVision (Pratt et al., 2014).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На протяжении ряда лет на участках детальных гидромагнитных съемок над подводными вулканами Курильской островной дуги (КОД), выполненных в рейсах научно-исследовательского судна (НИС) «Вулканолог» (рис. 1 на 1 стр. обложки), проводится интерпретация магнитных аномалий (Блох и др., 2012а, 2012б, 2013а, 2013б, 2014а, 2014б, 2015а, 2015б), в том числе, с помощью программы ИГЛА (Блох, Трусов, 2007). Это программное средство позволяет интерактивно формировать 3D модель вулкана в виде усеченной многогранной пирамиды и определять в задаваемом интерпретатором многоугольном интерпретационном окне компоненты магнитного момента структуры с учетом регионального фона. Как известно, магнитный момент $\vec{M} = \bar{I}V$ представляет собой произведение намагниченности \bar{I} объекта на его объем V и, являясь нулевым гармоническим моментом, определяется по аномальному полю единственным образом и весьма устойчиво (Блох, 2009). Некоторые примеры применения программы на подводных вулканах КОД представлены на рис. 2 на 2 стр. обложки.

Форма вулканической структуры обычно известна по данным эхолотного промера и непрерывного сейсмоакустического профилирования, следовательно, определив ее объем, достаточно легко определить компоненты вектора намагниченности, на что и нацелена, в частности, программа ИГЛА. Даже если в процессе работы с программой форма вулкана и не моделируется исключительно точно, определение направления магнитного момента производится (при достаточно аккуратном подборе магнитного поля) все равно с хорошей точностью. Дело в том, что описанный процесс может считаться аппроксимационным определением гармонических моментов источника, основанным на том, что если хорошо совпадают аномальные поля источников, практически столь же хорошо совпадают и их гармонические моменты, особенно, нуле-

вой, то есть в данном случае магнитный момент (Блох, 2009).

Тем не менее, определенные компоненты характеризуют суммарную намагниченность, являющуюся векторной суммой индуктивной и остаточной намагниченностей. Если бы средняя магнитная восприимчивость вулканической постройки была известна, вычест из суммарной намагниченности индуктивную и получить компоненты вектора остаточной намагниченности было бы предельно просто. Однако на практике среднюю магнитную восприимчивость вулкана определить, увы, невозможно, а представительность средних значений по коллекции драгированных образцов, применительно к данной задаче, является практически ничтожной. Именно в связи с этим интерпретаторам и приходилось ранее прибегать к упомянутой гипотезе о чисто остаточном характере найденной при решении обратной задачи намагниченности подводного вулкана.

Горизонтальная компонента векторов суммарной намагниченности изученных подводных вулканов КОД широко варьирует не только по модулю, но и по направлению (рис. 3), в результате чего возникает вопрос о природе этого явления. На начальном этапе возникновения «метода подводной горы» в аналогичных ситуациях зачастую делался вывод о горизонтальном смещении либо вращении блока коры со столь отклоняющимися от направления современного геомагнитного поля намагниченностями. В данном случае подобный вывод выглядел бы странным: вряд ли столь малые и относительно близко расположенные структуры вращались так независимо друг от друга. Гораздо более вероятно, что связано это с изменениями направления геомагнитного поля во время образования подводных вулканов. Но чтобы удостовериться в этом, как раз и необходимо оценить возможный вклад индуктивной намагниченности пород.

Новые перспективы в решении этой важнейшей проблемы, по нашему мнению (Блох и др., 2015а, 2015б), открываются на основе анализа возможных направлений вектора естественной остаточной намагниченности. Дело в том, что в условиях, когда вектор суммарной намагниченности уже найден, возможные направления вектора остаточной намагниченности ограничиваются некоторым множеством, вычисляемым для набора возможных величин магнитных восприимчивостей α от 0 до некоторого значения α_{\max} . Наиболее наглядно это множество отображается на круговой диаграмме, где для единичного объекта оно представляет собой линию (траекторию), начинающуюся в точке, характеризующей суммарную намагниченность. Эта точка, очевидно, соответствует случаю $\alpha = 0$, то есть когда намагниченность является

ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ

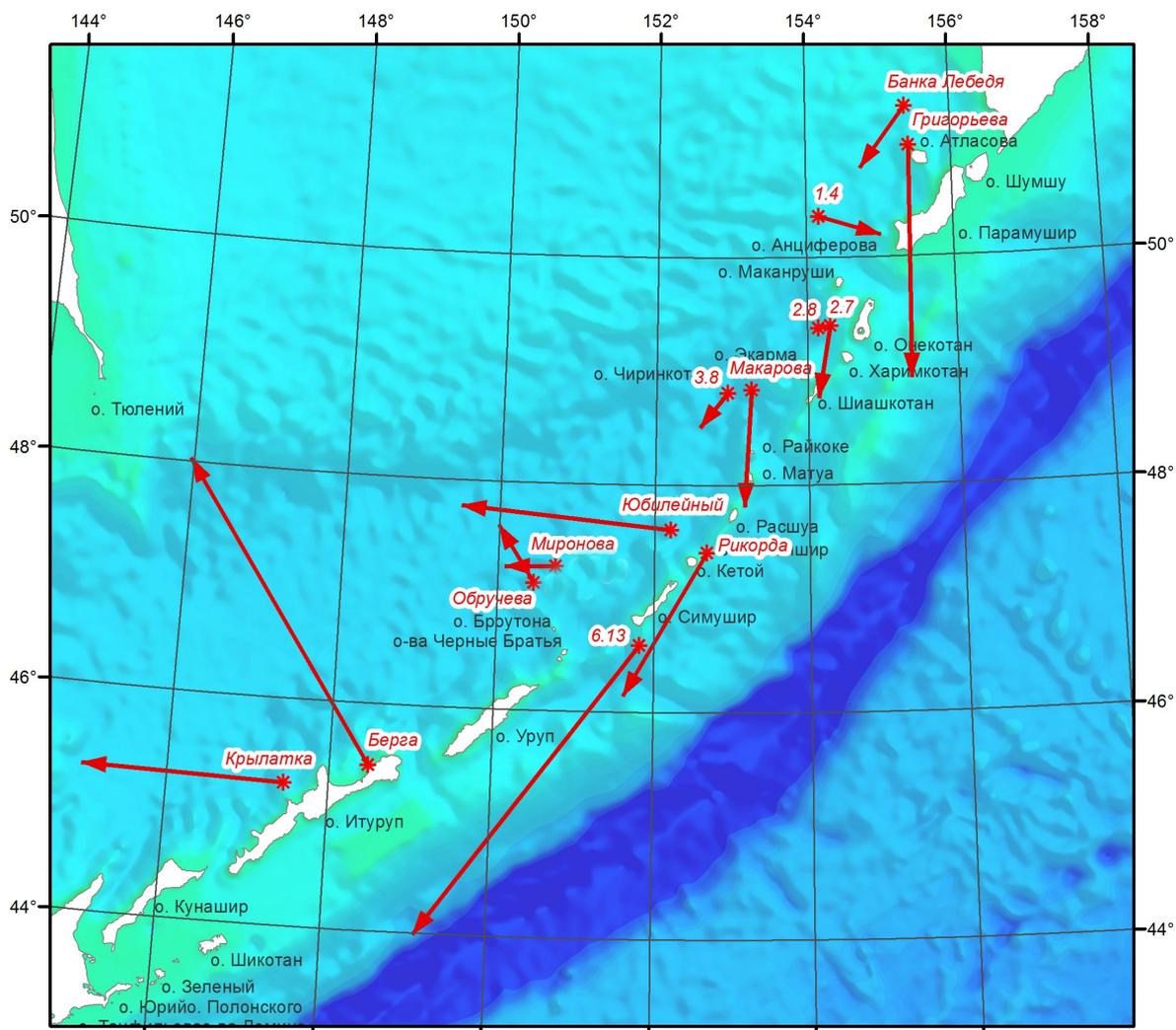


Рис. 3. Расположение изученных с помощью программы ИГЛА подводных вулканов КОД и векторы горизонтальной компоненты их намагниченности.

чисто остаточной. По мере возрастания α , траектории отдаются от той точки, которая на диаграмме отмечает направление современного магнитного поля, вычисляемого по моделям IGRF. Если модуль вектора суммарной намагниченности достаточно велик, траектория оказывается короткой, соответственно, устойчивость определения искомого направления вектора остаточной намагниченности может считаться высокой. При уменьшении модуля траектория удлиняется, а устойчивость оценки направления вектора сокращается. Понятно, что увеличение числа изучаемых структур дает возможности статистического анализа траекторий и повышает ценность их совместного анализа.

На круговой диаграмме возможных направлений векторов естественной остаточной намагниченности подводных вулканов КОД, изученных с помощью программы ИГЛА (рис. 4), в пределах изменений α от 0 до 0.05 СИ (точки на траекториях через 0.01 СИ) начало траекторий (случай $\alpha = 0$) располагается там, где подписано название вулкана. Показано, что породы

большинства изученных вулканов содержат остаточную намагниченность, направленную на запад и юго-запад, тогда как современное поле ориентировано почти на север. Траектория для слабомагнитного вулкана Миронова настолько длинна, что переходит в верхнюю полусферу, где показана пунктиром. Таким образом, не остается сомнений, что векторы естественной остаточной намагниченности изученных подводных вулканов КОД не совпадают по своим направлениям с современным геомагнитным полем.

Определенные данным способом направления на виртуальные геомагнитные полюса (ВГП) позволяют сделать два важных вывода:

- извержения, в процессе которых породы этих вулканов приобрели высокую остаточную намагниченность, происходили, когда вблизи КОД располагался северный полюс главного геомагнитного поля;

- северный магнитный полюс за время существования КОД как бы вращался вокруг нее.

Эти выводы побуждают обратиться к имеющимся данным об абсолютном возрасте пород ре-

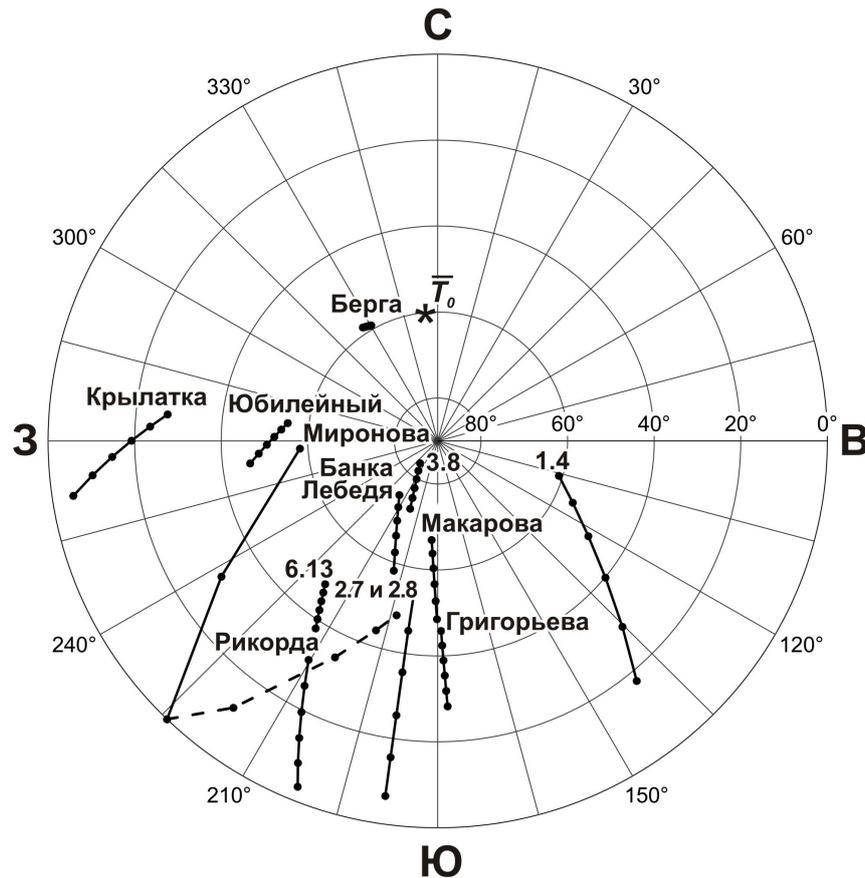


Рис. 4. Круговая диаграмма возможных направлений векторов естественной остаточной намагниченности подводных вулканов КОД.

гиона, полученных радиоизотопным (Леликов, Емельянова, 2007; Emel'yanova et al., 2006) и К-Аг методами (Ishizuka et al., 2011). В соответствии с ними, самыми древними (до 8.36 млн. лет) являются породы Южных и Северных Курил, тогда как породы Центральных Курил более молодые и имеют возраст от 620 тысяч примерно до 1.5 млн. лет. Соответственно, за время существования КОД происходило несколько инверсий геомагнитного поля и довольно большое количество магнитных экскурсов, причем время образования вулканов Центральных Курил практически совпадает со временем последней инверсии Матуяма-Брюнес. На рис. 5 воспроизведена иллюстрация из работы «Энциклопедия геомагнетизма и палеомагнетизма» (Encyclopedia ..., 2007), на которой показана траектория движения ВГП во время этой инверсии, построенная Дж. Ченнелом и Б. Леманом (Channell, Lehman, 1997) на основании изучения глубоководных осадков северной Атлантики. На этом рисунке можно различить все те положения ВГП, направления на которые выявляются на подводных вулканах КОД с помощью программы ИГЛА. Вообще же, судя по всему, активизация подводного вулканизма КОД происходила как раз в периоды глобальных геомагнитных возмущений.

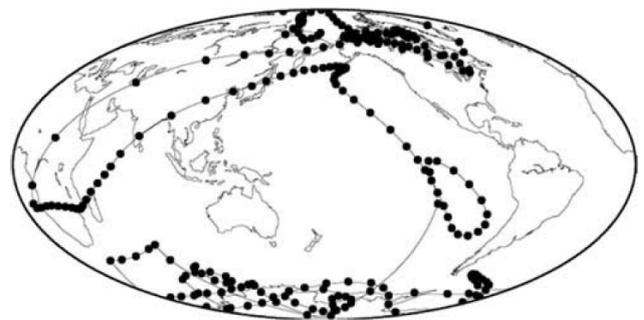


Рис. 5. Траектория движения виртуального геомагнитного полюса во время инверсии Матуяма-Брюнес по (Encyclopedia ..., 2007).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали высокую эффективность применения программы ИГЛА для оценки остаточной намагниченности вулканических построек КОД непосредственно по данным гидромагнитной съемки, выполненной в рейсах НИС «Вулканолог».

Установлено, что векторы естественной остаточной намагниченности изученных подводных вулканов КОД не совпадают по своим направлениям с современным геомагнитным полем. Образование подводных вулканических

построек КОД происходило в периоды глобальных геомагнитных возмущений.

Естественно, что для получения более детальных выводов интерпретацию магнитных аномалий, зафиксированных над подводными вулканами с помощью программы ИГЛА, целесообразно продолжать.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ (проект 15-05-02955-а).

Список литературы

- Блох Ю.И.* Интерпретация гравитационных и магнитных аномалий. Учебное пособие. М: 2009. <http://sigma3d.com/content/view/24/2/>.
- Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др.* Комплексные геофизические исследования подводного вулкана 6.1, Курильская островная дуга // Геофизика. 2012а. № 2. С. 58-66.
- Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др.* Современные интерпретационные технологии при комплексном моделировании подводного вулкана Макарова (Курильская островная дуга) // Геоинформатика. 2012б. № 4. С. 8-17.
- Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др.* Комплексное моделирование подводных вулканов 2.7 и 2.8 (Курильская островная дуга) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2013а. № 1. Вып. 21. С. 77-85.
- Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др.* Комплексные геофизические исследования массива Рикорда (Курильская островная дуга) // Материалы региональной конференции, «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвященной Дню вулканолога, 29 - 30 марта 2013 г. / Отв. ред. академик РАН Е.И. Гордеев. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2013б. С. 167-173.
- Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С. и др.* Геофизические исследования подводного вулканического центра вблизи юго-западной оконечности о. Симушир (Курильская островная дуга) // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 41-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского, 27 января-31 января 2014 г. Екатеринбург: Институт геофизики УрО РАН, 2014а. С. 44-46.
- 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. 2014б. № 2. Вып. 24. С. 27-40.
- Блох Ю.И., Рашидов В.А., Трусов А.А.* Новые информационные технологии геофизического изучения подводных вулканов Курильской островной дуги // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: материалы 42-й сессии Международного научного семинара им. Д.Г. Успенского (г. Пермь, 26-30 января 2015 г.). Горный ин-т УрО РАН, Пермский государственный национальный исследовательский университет ун-т. Пермь, 2015а. С. 18-21.
- Блох Ю.И., Рашидов В.А., Трусов А.А.* Применение новых информационных технологий для геофизического исследования подводных вулканов Охотоморского склона Курильской островной дуги // Сборник материалов III Школы-конференции «Гординские чтения». М.: ИФЗ РАН, 2015б. С. 73-77.
- 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.
- Ле Пишон К., Франтшо Ж., Боннин Ж.* Тектоника плит. М: Мир. 1977. 288 с.
- Леликов Е.П., Емельянова Т.А.* Вулканогенные комплексы Охотского и Японского морей (сравнительный анализ) // Океанология. 2007. Т. 47. № 2. С. 294-303.
- Channell J.E.T., Lehman B.* The last two geomagnetic polarity reversals recorded in high-deposition-rate sediment drifts // Nature. 1997. № 389. P. 712-715.
- Clark D.A.* Methods for determining remanent and total magnetisations of magnetic sources – a review // Exploration Geophysics. 2014. V. 45. Iss. 4. P. 271-304.
- Emel'yanova T.A., Lelikov E.P., S'edin V.T.* Geochemical features of the Okhotsk Sea Cenozoic volcanism // J. Geomarine Letters. 2006. V. 26. № 5. P. 275-286.
- Encyclopedia of geomagnetism and paleomagnetism. Springer. 2007. 1054 p.
- Ishizuka Y., Nakagawa M., Baba A. et al.* Along-arc variations of K-Ar ages for the submarine volcanic rocks in the Kurile Islands // Abstracts of the 7th Biennial Workshop on Japan-Kamchatka-Alaska Subduction Processes (JKSP-2011). Petropavlovsk-Kamchatskiy, Russia, august 25-30, 2011. P. 279.
- Kubota R., Uchiyama A.* Three-dimensional magnetization vector inversion of a seamount // Earth Planets Space. 2005. V. 57. P. 691-699.
- Pratt D.A., McKenzie K.B., White T.S.* Remote remanence estimation (RRE) // Exploration Geophysics. 2014. V. 45. Iss. 4. P. 314-323.
- Ueda Y.* Magnetizations of the seamounts in the Izu-

- Ogasawara arc with special reference to the origin of their normal polarity biases // *Earth Planets Space*. 2007. V. 59. P. 897-909.
- Uyeda S., Richards M.* Magnetization of four Pacific seamounts near the Japanese Islands // *Bull. Earthquake Res. Inst.* 1966. V. 44. P. 179-213.
- Vacquier V.* A machine method for computing the magnitude and the direction of magnetization of a uniformly magnetized body from its shape and a magnetic survey / Nagata T., ed., *Benedum Earth Magnetism Symposium*. Univ. Pittsburgh Press. 1962. P. 123-137.
- Vacquier V., Uyeda S.* Paleomagnetism of nine seamounts in the western Pacific and of three volcanoes in Japan // *Bull. Earthquake Res. Inst.* 1967. V. 45. P. 8.

ESTIMATION OF REMNANT MAGNITIZATION OF THE KURIL ISLAND ARC SUBMARINE VOLCANOES USING SOFTWARE IGLA

Yu.I. Blokh¹, V.A. Rashidov², A.A. Trusov³

¹Moscow;

²*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006;*

³*CJSC «GNPP Aeroeofizika», Moscow, 127288*

The paper presents the results from investigation of remnant magnetization of submarine volcanic edifices within the Kuril island arc (KIA) based on data on hydromagnetic survey using software IGLA. Magnetic orientations of remnant magnetization of the studied submarine volcanoes within KIA differ from those of the modern geomagnetic field. The authors suggest that submarine volcanic activity coincided with the periods of worldwide geomagnetic disturbance.

Keywords: remanent magnetization, submarine volcanoes, The Kurile island arc, IGLA.