

УДК 551.21

© 1997 г. МЕЛЕКЕСЦЕВ И.В., ВОЛЫНЕЦ О.Н., АНТОНОВ А.Ю.

**КАЛЬДЕРА НЕМО III (о-в ОНЕКОТАН, СЕВЕРНЫЕ КУРИЛЫ):
СТРОЕНИЕ, ¹⁴C-ВОЗРАСТ, ДИНАМИКА
КАЛЬДЕРООБРАЗУЮЩЕГО ИЗВЕРЖЕНИЯ,
ЭВОЛЮЦИЯ ЮВЕНИЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ**

Изучено строение кальдеры Немо III, возникшей 24,5-25 тыс. л.н. на севере о-ва Онекотан (Северные Курилы). Описана пирокластика кальдерообразующей серии извержений, оценен ее объем (9-11 км³) и вес ((12...14) • 10⁹т). Выявлен антидромный характер изменения состава ювенильных продуктов в ходе извержений (от дацитов до андезитобазальтов). Докальдерные породы и пирокластика кальдерообразующего извержения относятся к толеитовой, посткальдерные – к известково-щелочной серии. В пемзах заключительного извержения установлены признаки смешения магм дацитового и андезитобазальтового (базальтового?) состава. Предполагается, что кальдерообразующая серия извержений вызвана инъекцией "свежей" магмы основного состава в ранее существовавший магматический очаг кислого состава, сформированный при фракционировании магмы, которая питала докальдерные вулканические аппараты.

NEMO III CALDERA, ONEKOTAN I., NORTHERN KURILS: STRUCTURE. ¹⁴C DATING, TIME HISTORY OF THE CALDERA-GENERATING ERUPTION AND THE EVOLUTION OF JUVENILE PRODUCTS, by Melkestsev I.V*, Volynets O.N. and Antonov A.Yu**. This study is concerned with the structure of Nemo III caldera which came into being 24.500-25.000 B.P. in the north of Onekotan Island, Northern Kurils. We describe the pyroclastics of the caldera-generating eruption sequence, and estimate its volume (9–11 km³) and weight (12–14) • 10⁹ t. The composition of juvenile products was found to vary in an antidromous manner during the eruptions from dacytes to basaltic andesites. The pre-caldera rocks and the pyroclastics of the caldera-generating eruption belong to the tholeiitic series, while the post-caldera rocks to the calc-alkalic. Evidence was found in the pumice discharged by the terminal eruption to indicate mixed magmas of dacyte and basaltic andesite (basaltic?) composition. The caldera-generating eruption sequence is supposed to have been caused by a "fresh" basic magma injected into a pre-existing acid magma chamber produced by fractionation of the magma which had been supplied to the pre-caldera volcanic structures.

(Received October 26, 1995)

* *Institute of Volcanic Geology and Geochemistry, Far East Division, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, Russia*

***Institute of Geochemistry, Siberian Division, Russian Academy of Sciences, Irkutsk, 664033, Russia*

Кальдера Немо III – самая молодая форма наиболее крупного и сложно построенного на Курильских островах кальдерного комплекса Немо в северной части о-ва Онекотан (рис. 1). В отечественной литературе этот комплекс впервые выделен Г.С. Горшковым [4, 5]. Показано [5], что он включает две древние доледниковые кальдеры, частично перекрывающие друг друга, и вложенную в них центральную кальдеру с вулканом Пик Немо (49°34' с.ш., 154°48,5' в.д., высота над уровнем моря 1019 м) и озером Черное внутри. Позднее [6] И.В. Мелекесцев назвал перечисленные формы кальдерами Немо I, Немо II и Немо III в соответствии с их относительным возрастом: от более старых к молодым.

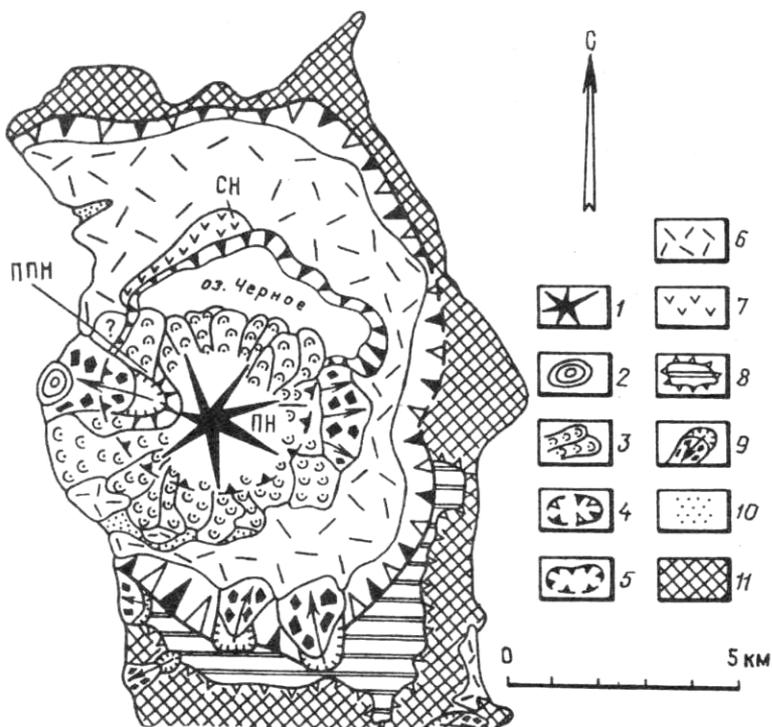


Рис. 1. Геолого-геоморфологическая схема северной части о-ва Онекотан: 1 - голоценовые и позднплейстоценовые стратовулканы; 2 - экструзивные куполы; 3 - голоценовые и позднплейстоценовые лавовые потоки; 4, 5 - позднплейстоценовые кальдеры комплекса Немо (4 - Немо I + II, 5 - Немо III); 6 - пемзово-игнимбритовый покров Немо III; 7 - сохранившийся фрагмент вулкана Старый Немо (СН); 8 - фрагменты лавовых плато (гора Платформа и др.); 9 - сеймотектонические обвалы; 10 - голоценовые аккумулятивные равнины разного генезиса; 11 - породы докальдерного комплекса ($N_2^2 - Q_1$); ПН - вулкан Пик Немо; ППН - вулкан Пра-Пик Немо

Кальдерная депрессия из двух ранних форм имеет размер 13,5x11 км и суммарную площадь по бровке уступа > 100 км². Она ограничена с севера, востока и юга крутым уступом высотой до 400-500 м, а на западе открыта в сторону Охотского моря. Над дном кальдеры Немо I поднимается серповидный в плане фрагмент крупного вулкана центрального типа – Старый Немо (назван авторами), большая часть которого уничтожена при формировании кальдер Немо II и III. Последняя отличается сложной конфигурацией и приурочена к центру кальдерной депрессии, к месту наложения друг на друга кальдер Немо I и II. В северной половине кальдеры Немо III располагается бессточное озеро Черное площадью 5,7 км², а остальная ее часть занята слившимися между собой потухшим вулканом Пра-Пик Немо и действующим – Пик Немо.

В разрезах докальдерных образований преобладают вулканогенные породы, имеющие состав от базальтов до дацитов. Однако встречаются и пачки вулканогенно-осадочных отложений, часто включающие большое количество пемзового материала. Характерно субгоризонтальное и пологонаклонное залегание докальдерных толщ, слагающих фрагменты сильно разрушенных и уже не выраженных в рельефе вулканических построек. Аккумуляция вулканогенных и вулканогенно-осадочных толщ происходила в прибрежной зоне неглубокого моря и в субаэральных условиях. В основании мощного (до 200 м) лавового покрова горы Платформа имеются лавы с типично шаровой отдельностью, указывающие на то, что эти порции лав изливались прямо в воду.

Породы верхних частей разреза докальдерного комплекса имеют обратную намагниченность, что позволило В.А. Бернштейну в 1965 г. [6] отнести их к верхнему плиоцену – нижнему плейстоцену. На такой возраст указывают и другие признаки, отличающие эти образования как от более древних, миоцен-нижнеплиоценовых, так и от более молодых, среднеплейстоцен-голоценовых толщ. Они не дислоцированы подобно миоцен-нижнеплиоценовым породам, а сохраняют преимущественно первичные углы наклона слоев, за исключением зон, непосредственно примыкающих к разрывным тектоническим нарушениям. В отличие же от среднеплейстоцен-голоценовых пород, которые на о-ве Онекотан участвуют в строении хорошо выраженных в рельефе вулканов, вулканические постройки, сложенные верхнеплиоцен-нижнеплейстоценовыми толщами, настолько сильно преобразованы процессами денудации, что не поддаются реконструкции обычными геоморфологическими методами.

Породы кальдерообразующих извержений Немо I, Немо II, Немо III и внутрикальдерных построек резко моложе толщ докальдерного комплекса. Все они имеют возраст не старше верхнего плейстоцена – предполагаемого времени образования кальдер Немо I и Немо II [6]. Кальдера Немо I, судя по ее соотношению с морской 90–100-метровой террасой (Q_3^1), возникла в середине верхнего плейстоцена 45–50 тыс. л.н. Остальные формы еще моложе, вплоть до голоцена. Так, по данным проведенных в 1987–1988 гг. О.А. Брайцевой, И.В. Мелекесцевым и В.Ю. Кирьяновым исследований, вулкан Пик Немо начал формироваться не ранее 9–10 тыс. л.н., а его извержения были еще в начале XVIII в. и в 1906 г. [4].

Подобный возрастной разрыв между породами докальдерного ($N_2^2-Q_1$) и кальдерно-посткальдерного ($O_3^{2-4}-O_4$) комплексов, измеряемый многими сотнями тысяч лет, свидетельствует об отсутствии здесь значительной вулканической деятельности в указанный промежуток времени. Таким образом, кальдерообразующие извержения Немо I—III открыли, по сути дела, новый этап вулканической активности, непосредственно не связанный с предшествующими периодами проявления вулканизма на севере о-ва Онекотан.

Эволюция кальдерного комплекса Немо, ^{14}C -возраст, динамика и особенности пироклаستيку кальдерообразующего извержения Немо III. Несмотря на то что все три кальдеры Немо возникли практически рядом, они отличаются друг от друга не только размерами и возрастом, но также своей предысторией и посткальдерной вулканической деятельностью.

Самая старая и крупная кальдера Немо I размером 9x10 км и площадью 70–75 км² (здесь и далее по реконструкции авторов) возникла после весьма длительного (см. выше) периода прекращения вулканической деятельности в этой части о-ва Онекотан. Максимальная глубина кальдеры, судя по аналогии с изученными геологическими и геофизическими методами подобными формами такого размера, должна была превышать 1 км, а первичный объем полости, вероятно, достигал ~ 50 км³. Поскольку кальдера была открыта на запад в сторону Охотского моря, она, по-видимому, сразу же была залита водой, превратившись в глубокий морской залив, подобно голоценовой кальдере Львиная Пасть на о-ве Итуруп (Южные Курилы).

В ближайших окрестностях кальдеры Немо I, где проводились исследования, условия для сохранения пироклаستيку кальдерообразующего извержения оказались крайне неблагоприятными, поэтому тefра и отложения пирокластических потоков авторами не обнаружены. Не исключено, что формирования в сколько-нибудь значительном масштабе пирокластических потоков в ходе этого извержения из-за малой площади и сильной расчлененности островной суши вообще не происходило, а главная масса всего пирокластического материала выпала в море.

После образования кальдеры Немо I на ее дне вырос крупный (поперечник основания 5–6 км) стратовулкан Старый Немо. Однако при формировании кальдер Немо II и Немо III большая часть этого вулкана оказалась уничтоженной. В настоящее время от него сохранился лишь незначительный фрагмент нижней части конуса,

породы которого вскрыты на северном берегу озера Черное. Они представлены здесь андезитовыми (табл. 1, обр. № 8 и 9) лавовыми потоками.

Возникшая позже кальдера Немо II была меньше (диаметр ~ 6 км, площадь ~ 30 км², первичный объем полости 10–15 км³), чем кальдера Немо I, на которую она частично наложилась своим северным краем (рис. 1). По тем же причинам, что и в ранее рассмотренном случае, пирокластические отложения кальдеры Немо II тоже не изучены.

Последняя в комплексе – кальдера Немо III – самая молодая из трех позднеплейстоценовых кальдер Курильских островов, датированных ¹⁴C-методом [6]. Материалом для датирования послужил тонкий (1–2 мм) слой обугленного растительного (трава) детрита из кровли погребенной почвы под пемзовой толщей пирокластического потока финальной фазы серии кальдерообразующих извержений Немо III, отобранный И.В. Мелекесцевым и Л.Д. Сулержицким [1]. Следовательно, полученную дату (24500±740, индекс КСМ-443) можно принять в качестве близкой к верхней возрастной границе этой серии кальдерообразующих извержений. Нижняя ее граница точно не установлена. Однако малая мощность погребенной почвы, где взят материал для датирования, а также отсутствие (рис. 2) погребенных почв между порциями пирокластиков предшествующих извержений позволяют предполагать, что длительность всей серии извержений Немо III не превышала нескольких сот лет, поэтому допускается, что возраст кальдеры 24,5 – 25 тыс. лет.

Кальдера Немо III наложена на место частичного перекрытия ранее возникших кальдер Немо I и Немо II и по сравнению с ними оказалась более сложной по конфигурации (рис. 1). Ее размер ~ 5,5х4,5 км, площадь 17 км², первичный объем полости 5–6 км³. При формировании кальдеры Немо III произошло дальнейшее разрушение вулкана Старый Немо, начатое в предыдущих этапах кальдерообразования. Какова была вулканическая деятельность в промежутке между этапами образования кальдер Немо II и Немо III, неизвестно, так как никаких построек этого времени не сохранилось.

Пирокластика серии кальдерообразующих извержений Немо III перекрывает фактически все дно кальдер Немо I и II. Она изучена и опробована в большом количестве разрезов. Вскрытая мощность пирокластической толщи достигает 60–70 м, причем сама толща достаточно сложно устроена и в разных местах имеет разный набор фаций. Ее мощность тоже сильно варьирует (рис. 2).

Перед началом первого эпизода вулканических проявлений наиболее низкие части дна кальдер Немо I и Немо II еще были затоплены морем, поэтому ранние порции пирокластиков, представленной преимущественно пемзовым материалом, частично отлагались здесь в воде. Об этом свидетельствует, в частности, правильная субгоризонтальная стратификация пирокластической толщи. В настоящее время кровля слабо сцементированных слоистых пемзовых туфов, отложенных в воде, находится на высоте 10–12 м над уровнем моря (рис. 2, разрезы 87073 и 87089). Подошва туфов не обнажена, поскольку она скрыта под водой, в связи с чем их истинная мощность неизвестна.

По завершении первого эпизода извержений наступил перерыв, в течение которого кровля толщи туфов испытала небольшой размыв, а часть пирокластиков была переотложена. Так, в разрезе 53–58 (бухта Немо) слой 2 представлен пачкой уплотненных слоистых отложений, внизу кирпично-красного, сверху темно-серого цвета, преобладают песчаные разности, имеется большая примесь резургентного материала. Это либо пролювий периферической части конуса выноса, либо отложения небольшого временного озера.

Следующая порция изверженных продуктов – главным образом игнимбриты разной степени спекания. Преобладают разности с хорошо выраженными фьямме. Их цвет серый, темно-серый до черного, розовато-серый. В некоторых разрезах (52–68 и др.) игнимбриты чередуются с желтовато-серыми пемзовыми туфами. При формировании толщи пирокластиков этого эпизода выбросы ювенильной пирокластиков сопровож-

Таблица 1

Химический состав вулканических пород кальдеры Немо

Компонента	Разрез (номер образца)									
	5920 (1)	8309 (2)	5918 (3)	8307 (4)	8303/1 (5)	5916 (6)	5917 (7)	1578 (8)	5912/1 (9)	5913/2 (10)
SiO ₂	48,85	50,27	51,06	51,40	51,78	53,62	53,86	48,14	56,42	51,76
TiO ₂	1,1	0,82	0,91	0,88	0,92	0,77	0,93	1,14	0,97	0,80
Al ₂ O ₃	18,44	17,87	18,07	18,41	16,37	17,31	16,84	16,78	16,38	16,89
Fe ₂ O ₃	5,72	3,24	5,56	4,60	4,96	2,37	3,80	2,52	3,02	3,38
FeO	5,17	6,68	5,85	7,04	6,29	8,08	6,66	6,26	7,73	7,15
MnO	0,17	0,22	0,23	0,16	0,21	0,18	0,32	0,19	0,20	0,19
MgO	5,09	5,84	4,58	4,90	4,95	3,60	4,57	2,89	3,81	5,13
CaO	11,27	12,38	9,92	9,49	9,55	9,56	9,49	6,60	6,48	8,76
N ₂ O	2,12	2,55	2,84	2,47	2,53	3,00	3,05	3,72	3,10	2,48
K ₂ O	0,19	0,36	0,42	0,57	0,53	0,79	0,58	1,02	0,84	0,75
P ₂ O ₅	0,14	0,05	0,08	0,15	0,14	0,10	0,06	–	0,16	0,04
П.п.п.	1,71	–	0,27	0,40	1,42	0,46	–	1,09	0,52	2,22
Сумма	99,98	100,28	99,79	100,47	99,65	99,84	100,16	100,35	99,63	99,55
FeO*/MgO	2,02	1,64	2,37	2,28	2,17	2,84	2,21	2,95	2,74	1,99
Rb	1,6	3	3,3	13	5	11,7	4	–	14	16
Li	4	3,5	4,6	4	1	17	5,8	–	7	7
Ba	81	–	90	140	270	199	140	–	240	200
Sr	349	330	360	390	360	308	390	–	300	300
Be	0,35	0,40	0,35	0,50	0,55	0,25	–	–	0,35	0,35
F	160	580	180	450	360	250	–	–	420	320
Y	16,2	–	19	–	–	23,9	–	–	–	–
Zr	25	–	43	–	–	67	–	–	–	–
Nb	0,6	–	1,0	–	–	0,9	–	–	–	–
Sc	45	–	–	–	–	34	–	–	–	–
V	402	–	400	527	–	288	–	–	450	415
Cr	74	–	13	36	–	65	27	–	22	88
Co	21	–	20	46	–	25	28	–	27	19
Ni	15	–	13	10	–	11	21	–	6	74

Таблица 1 (продолжение)

Компонента	Разрез (номер образца)									
	5913/1 (11)	5913 (12)	5915/1 (13)	5911/2 (14)	5924 (15)	5911 (16)	5915 (17)	8302/2 (18)	8303/2 (19)	5914 (20)
SiO ₂	54,64	57,56	62,04	62,13	62,26	62,76	63,63	65,71	66,03	66,18
TiO ₂	0,50	0,62	0,70	0,85	0,79	0,80	0,93	0,67	0,67	0,62
Al ₂ O ₃	18,06	16,72	15,54	15,20	15,37	15,33	15,08	14,30	14,78	14,68
Fe ₂ O ₃	3,15	2,27	3,07	2,36	3,17	4,21	3,07	3,71	2,83	2,83
FeO	5,48	5,92	4,41	6,20	4,67	3,44	3,81	3,14	3,56	3,92
MnO	0,14	0,14	0,18	0,22	0,25	0,23	0,15	0,19	0,18	0,22
MgO	4,64	3,10	2,14	2,11	1,82	1,40	2,02	1,49	1,36	1,19
CaO	7,01	6,78	5,16	5,58	5,77	5,48	5,37	4,08	4,08	4,47
N ₂ O	2,74	2,96	3,96	4,11	3,90	4,30	4,24	4,16	4,55	4,23
K ₂ O	0,81	1,02	1,06	1,00	1,06	1,14	0,87	1,26	1,18	1,27
P ₂ O ₅	0,04	0,13	0,15	0,13	0,12	0,11	0,18	0,14	0,14	0,07
П.п.п.	2,42	2,37	1,15	0,25	0,82	0,57	0,78	0,91	0,41	0,50
Сумма	100,20	99,56	99,51	100,14	100,00	99,77	100,13	99,76	99,77	100,18
FeO*/MgO	1,79	2,57	3,35	3,95	4,13	5,16	3,25	4,34	4,49	5,43
Rb	11	11,1	11	14,4	11	11,7	12	17	10	15,6
Li	14	10	24,5	10	9,5	7,7	9	12	7	8,5
Ba	225	208	310	287	320	330	–	380	380	342
Sr	230	241	340	283	320	320	–	235	260	262
Be	–	–	0,30	0,40	0,25	0,45	–	0,60	0,75	0,50
F	–	–	260	460	350	410	–	330	260	250
Y	–	19,7	–	35,1	–	–	–	–	–	30
Zr	–	59	–	85	–	–	–	–	–	95
Nb	–	1,0	–	1,5	–	–	–	–	–	1,5
Sc	–	39	–	38	–	–	–	–	–	26
V	–	292	–	101	110	80	–	–	–	70
Cr	–	89	–	13	23	23	–	–	–	9
Co	–	21	–	10	11	13	–	–	–	9
Ni	–	33	–	6	9	10	–	–	–	4

Таблица 1 (окончание)

Компонента	Разрез (номер образца)									
	5912 (21)	8302/5 (22)	8302/4 (23)	5913/4 (24)	5913/5 (25)	Н-1 (26)	8301 (27)	8304 (28)	8304 (29)	Н-3 (30)
SiO ₂	66,20	66,47	67,30	68,38	70,20	55,18	55,67	56,36	56,93	60,45
TiO ₂	0,76	0,58	0,60	0,63	0,45	0,68	0,72	0,63	0,66	0,89
Al ₂ O ₃	14,25	14,40	14,35	14,73	14,20	16,55	16,10	16,26	16,53	15,29
Fe ₂ O ₃	4,54	2,97	2,84	1,44	0,77	2,29	4,49	1,48	3,07	3,21
FeO	2,19	3,66	2,90	3,38	3,50	6,37	3,85	6,73	5,21	5,69
MnO	0,19	0,23	0,30	0,13	0,14	0,21	0,17	0,15	0,17	0,22
MgO	1,20	1,38	0,93	1,06	1,11	5,34	4,70	4,78	4,86	3,24
CaO	4,12	4,13	3,93	4,14	3,48	9,25	8,70	7,00	8,27	6,28
Na ₂ O	4,26	4,16	3,96	4,19	3,86	2,87	3,10	3,16	3,12	3,77
K ₂ O	1,30	1,28	1,47	1,53	1,43	0,98	1,09	0,94	0,96	1,14
P ₂ O ₅	0,17	0,06	0,13	0,09	0,05	0,02	0,09	0,02	0,08	0,08
П.п.п.	0,70	–	1,05	0,26	0,55	–	0,47	0,60	0,10	0,39
Сумма	99,88	99,32	99,76	99,99	99,74	99,72	99,65	99,11	99,96	99,65
FeO*/MgO	5,23	4,59	5,87	4,41	3,78	1,58	1,68	1,69	1,64	2,64
Rb	14	14,4	17	23	26,8	13	14,3	14,5	14	11,1
Li	14,5	11	11	14	16	7	8,5	8,8	11	5,5
Ba	240	370	390	340	397	290	278	281	255	200
Sr	290	230	230	290	208	410	294	291	365	330

Таблица 1 (окончание)

Be	0,50	–	0,85	0,30	0,25	0,40	0,53	0,60	0,60	0,50
F	560	–	180	440	380	310	240	310	340	200
Y	32	–	–	–	35,6	–	22,9	21,6	–	53
Zr	125	–	–	170	116	–	71	67	–	150
Nb	2,0	–	–	1,7	1,3	–	1,3	0,6	–	1,4
Sc	–	–	–	–	17	–	27	26	–	–
V	38	65	65	65	52	380	294	291	365	280
Cr	–	93	16	89	11	119	84	105	–	–
Co	9,4	9	6	14	6	23	21	22	–	14
Ni	3,4	28	5	10	5	95	25	69	–	74

Примечание. Концентрации породообразующих окислов - мас.%, редких элементов - г/т. Докальдерный комплекс: образец № 1 - обломок в туфах, СВ-борт внешней кальдеры; № 2 - поток, ЮЗ-борт внешней кальдеры, район горы Платформа; № 3 - поток, СВ-борт внешней кальдеры, 700 м севернее горы Пограничной; № 4 - поток, ЮЗ-борт внешней кальдеры, район горы Платформа; № 5 - поток, ЮЗ-борт внешней кальдеры, близ устья р. Озерной; № 6 - поток, восточный гребень внешней кальдеры, 1,3 км западнее горы Пограничной; № 7 - поток, восточный гребень кальдеры, гора Пограничная. 8,9 - Старый Немо (№ 8 - поток, СЗ-берег оз. Черного [5]; № 9 - поток, северный берег оз. Черного, 1 км от отметки 241,7 м, разрез внутренней кальдеры); № 10-25 - комплекс, связанный с формированием кальдеры: № 10-12 - пемзы пемзово-пирокластической толщи, восточный борт внутренней кальдеры, отм. 241,7 м (№ 10, 11 - прослой в андезитовых (№ 12) пемзах); № 13-25 - спекшиеся туфы и игнимбриты (№ 13, 17 - южный берег оз. Дальнего, 500 м ЮВ отм. 79,7 м; № 14, 16, 21 - северный берег оз. Черного, 1 км от отм. 241,7 м (№ 14-16 - верхняя часть разреза остывшей единицы, № 21 - нижняя часть); № 15 - восточный берег оз. Черного, у отметки 10 м; № 18, 19, 22 - вблизи устья р. Озерной, ЮЗ-борт кальдеры; № 25 - северный берег оз. Дальнего, 200 м к западу - обломки в андезитовых пемзах (см. обр. № 12); № 26-30 - посткальдерный комплекс (лавовые потоки): № 26, 30 - СВ-склон Пика Немо; № 27 - ЮЗ-отроги Пика Немо; № 28, 29 - западные отроги Пика Немо. Образцы № 2, 4, 5, 18, 19, 22, 23, 27, 28, 29 из коллекции А.В. Колоскова, остальные - из коллекции О.Н. Волинца.

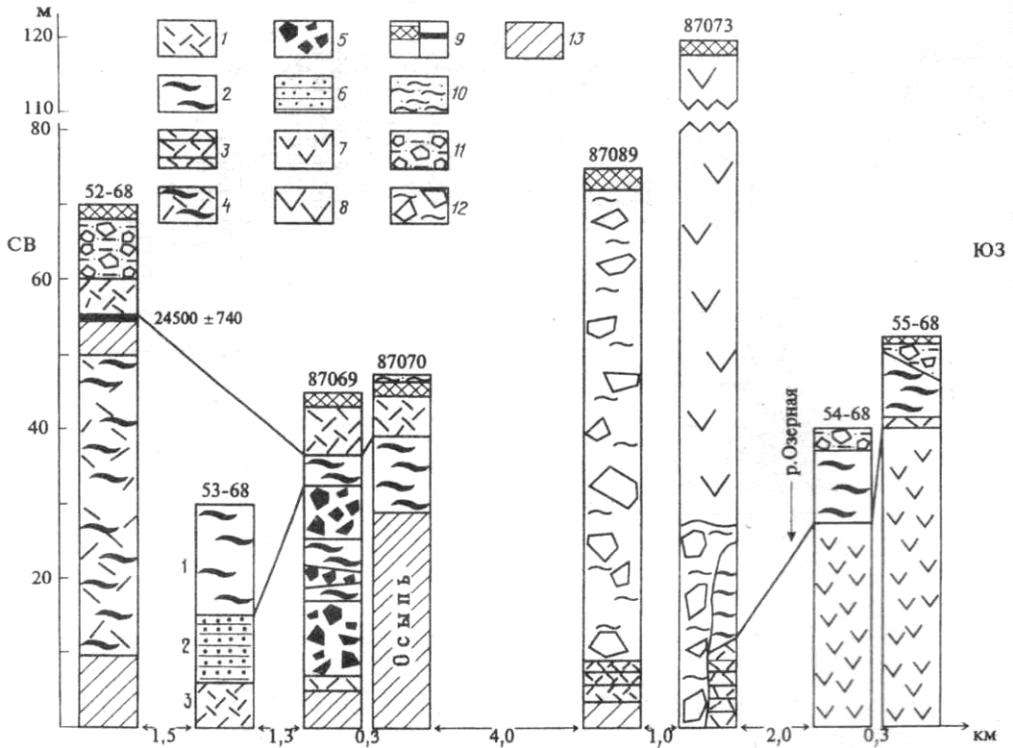


Рис. 2. Характерные разрезы пирокластических отложений кальдерообразующего извержения Немó III: 1 – пемзы; 2 – игнимбриты; 3 – переотложенные стратифицированные пемзы; 4 – неразделенные пемзы и игнимбриты; 5 – грубообломочные взрывные отложения; 6 – слоистые преимущественно песчаные отложения; 7, 8 – лавы соответственно докальдерные и посткальдерные; 9 – почвенно-пирокластические чехлы (а – голоценовый, б – позднплейстоценовый, погребенный); 10 – золовые пески; 11 – делювий; 12 – обвальные отложения; 13 – осыпи. Над колонками – номера разрезов в тексте, справа от колонки 52–68 указан ^{14}C -возраст ($24\,500 \pm 740$ л.н.) погребенной почвы

дались сильными взрывами, отложившими несколько горизонтов грубообломочного материала. Мощность отдельных горизонтов взрывных отложений колеблется от 1 до 15 м (разрез 87069), максимальный размер глыб в них достигает 1–2 м. Главная компонента взрывных отложений – остроугольные и обитые обломки различных по составу и цвету эффузивов, туфов, осадочных пород. Из-за значительного количества обломков измененных пород общий цвет взрывных отложений, как правило, бурый или желто-бурый.

Перед заключительной фазой извержений тоже был перерыв вулканической активности. На некоторых участках ранее отложенной пирокластики даже успел сформироваться маломощный почвенный горизонт (разрез 52–68), покрытый травянистой растительностью. Судя по скорости формирования голоценового почвенно-пирокластического чехла на о-ве Онекотан, слой почвы такой мощности мог возникнуть здесь всего за несколько сот лет.

Последняя порция пирокластики представлена только пемзовым материалом – отложениями пирокластических потоков мощностью в изученных разрезах от 5 до 20 м и грубой (разноразмерный гравий с лапилли и бомбами до 15–20 см в поперечнике) тэфрой.

Суммарная площадь непогребенной пирокластики серии Немó III кальдерообразующих извержений на дне кальдер Немó I и II около 23 км^2 . При средней мощности пирокластической толщи 30–40 м ее объем здесь $0,7\text{--}0,9 \text{ км}^3$. На остальной площади

($\sim 25 \text{ км}^2$) дна кальдер пирокластический покров частично уничтожен при формировании кальдеры Немо III, а частично погребен породами более молодых построек вулканов Пра-Немо и Пик Немо. Из-за близости к эруптивному центру средняя мощность пирокластики на этом участке была, вероятно, не менее 40–50 м, а ее объем мог составлять 1–1,25 км³. Следовательно, при таких оценках суммарный объем пирокластики на дне кальдерного комплекса был близок, по-видимому, к 2 км³ ($\sim 1,7 \text{ км}^3$, в пересчете на плотную породу с $\rho = 2,3\text{--}2,4 \text{ г/см}^3$). Однако это, несомненно, только меньшая часть изверженного материала, так как объем полости кальдеры Немо III, являющейся по всем своим признакам типичной кальдерой обрушения, намного больше (5–6 км³). Соответствующим должен быть и объем магмы в пересчете на плотную породу.

Исходя из такого объема полости кальдеры, суммарный объем пирокластики серии кальдерообразующих извержений Немо III, отложенной внутри и за пределами кальдерного комплекса Немо, в том числе и выпавшей в море, с учетом ее разуплотнения по отношению к магме мог быть в интервале 9–11 км³, а вес – (12...14) $\cdot 10^9$ т. Для сравнения: объем пирокластики знаменитого кальдерообразующего извержения Кракатау в 1883 г. Составил 20–21 км³, т.е. был в ~ 2 раза больше.

Состав ювенильных продуктов рассмотренной серии извержений варьирует от риодацитов до базальтов.

Интенсивно проявившаяся внутри кальдеры посткальдерная вулканическая деятельность привела к образованию здесь компактного хребта общего северо-западного простирания с длиной основания ~ 7 км, который включает три вулканических аппарата, хорошо выраженных в рельефе, различных по возрасту, типу и размерам. Это экструзивный купол андезитового состава на северо-западе (он самый старый) и два стратовулкана – Пра-Пик Немо, прекративший деятельность, и активный Пик Немо. Породы вулканов Пра-Пик Немо – андезиты, Пик Немо – андезиты и андезитобазальты.

Суммарный объем посткальдерных построек $\sim 8,6 \text{ км}^3$: экструзивный купол – 0,1 км³ (первоначальный объем); Пра-Пик Немо – 4,5 км³; Пик Немо – 4 км³. С учетом туфры, выпавшей за пределами построек, суммарный объем посткальдерных изверженных продуктов достигал, по-видимому, 9,5–10 км³, вес – $\sim 20 \cdot 10^9$ т.

Особенности вещественного состава вулканических пород. Состав разновозрастных пород района кальдеры Немо III, включая посткальдерные вулканы, изменяется в целом от базальтов до риодацитов, однако для каждого этапа характерен свой достаточно ограниченный по кремнекислотности набор пород. Лавы и туфы докальдерного этапа (N_2^2 - Q_1) представлены преимущественно базальтами и андезитобазальтами: игнимбриды и туфы, связанные с формированием кальдеры Немо III, – андезитодацитами и дацитами, а пемзы – андезитами; лавы посткальдерного вулкана Пик Немо – андезитобазальтами и андезитами (табл. 1). Наиболее кислые разновидности пород (риодациты) встречены в виде стекловатых обломков в андезитовых пемзах завершающего этапа кальдерообразующих извержений. Здесь же обнаружены многочисленные полнокристаллические оливин-анортитовые, оливин-пироксен-анортитовые включения, столь характерные для вулканов фронтальной зоны Курил, Южной и Восточной Камчатки.

К сожалению, у авторов нет достаточных данных для анализа характера эволюции вещественного состава пород каждого этапа деятельности вулкана. Однако для вулканических продуктов, связанных с формированием кальдеры Немо III, удастся установить антидромную направленность смены составов. Так, в разрезе на северном берегу озера Черное в 1 км СЗ отметки 241,7 м состав игнимбридов и туфов изменяется от дацитового (SiO_2 66,2%, обр. № 21; табл. 1) в основании разреза непосредственно над потоком андезитобазальтовых лав вулкана Старый Немо к андезитодацитовому (SiO_2 62,8%, обр. № 16 и SiO_2 62,12%, обр. № 14; табл. 1) в верхней части разреза. Пемзы, залегающие на игнимбридах в районе отметки 241,7 м (отложение которых, как ранее отмечено, завершало серию кальдерообразующих

Таблица 2

Состав минералов вулканических пород кальдеры Немо

Минерал	Фаза	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Сумма	f(Ап), мол. %	n
Базальт (обр. 5918)															
Пл	В	45,29	0,00	34,88	0,00	–	0,59	0,00	0,05	17,08	0,88	0,00	98,77	(91,5)	1
Ол	В	38,84	0,00	0,18	0,06	–	23,33	0,48	35,84	0,21	0,00	0,00	98,94	27,2	6
Мг	В	0,32	7,68	4,56	0,11	47,39	35,00	0,38	1,69	0,11	0,00	0,00	97,24	91,0	2
Андезитобазальт (обр. 8301)															
Пл	В	44,69	0,00	36,49	0,00	–	0,36	0,00	0,10	15,59	1,00	0,00	98,23	(89,6)	1
Ол	В	40,34	0,00	0,00	0,00	–	15,80	0,28	42,70	0,14	0,00	0,00	99,26	17,7	2
Кпр	В	53,38	0,30	2,20	0,00	–	7,17	0,34	16,90	19,09	0,18	0,00	99,56	19,9	3
Опр	В	53,68	0,17	0,76	0,00	–	20,26	0,90	23,13	1,20	0,00	0,00	100,10	33,9	3
Мг	В	0,34	9,59	2,19	0,00	45,94	35,98	0,28	1,79	0,04	0,00	0,00	96,15	91,9	1
Андезит (обр. Н-3)															
Пл	В	50,87	0,00	30,50	0,00	–	0,80	0,00	0,10	14,38	4,39	0,00	101,04	(64,4)	1
Кпр	В	51,71	0,42	1,54	0,00	–	11,60	0,50	14,60	18,26	0,32	0,00	98,95	31,8	3
Опр	В	53,68	0,32	1,40	0,00	–	19,21	0,68	22,30	2,20	0,00	0,00	99,79	33,4	1
Мг	В	0,64	9,69	3,59	0,00	45,07	36,25	0,40	2,01	0,10	0,00	0,00	97,75	91,1	1
Дациит(обр. 5912)															
Кпр	В	52,09	0,45	1,53	0,02	–	13,77	0,72	12,83	16,94	0,32	0,00	98,67	38,8	2
Опр	В	51,91	0,23	0,90	0,00	–	24,73	1,16	18,46	1,73	0,05	0,00	99,17	44,0	4

Таблица 2 (окончание)

Минерал	Фаза	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Сумма	<i>f</i> (An), мол.%	<i>n</i>
Дациг (обр. 5913/4)															
Пл	ВЯ	56,76	0,00	28,19	0,02	—	0,39	0,03	0,03	10,13	5,30	0,14	100,99	(51,0)	6
Пл	ВКр	56,62	0,00	28,02	0,06	—	0,43	0,04	0,07	9,99	5,44	0,15	100,82	(50,0)	3
Кпр	ВЯ	53,39	0,21	1,00	0,00	—	12,21	0,68	12,70	20,42	0,17	0,00	100,78	36,3	5
Кпр	ВКр	52,71	0,21	1,08	0,02	—	13,15	0,81	12,42	19,46	0,20	0,00	100,06	38,6	4
Опр	ВЯ	53,20	0,12	0,46	0,01	—	26,17	1,33	18,40	1,40	0,11	0,00	101,20	45,6	4
Опр	ВКр	53,20	0,13	0,54	0,01	—	26,15	1,37	18,31	1,34	0,04	0,00	101,09	45,8	2
Опр	М	52,65	0,12	0,49	0,06	—	26,16	1,28	18,53	1,44	0,08	0,00	100,81	45,4	5
Мг	Вкл	0,10	10,65	1,81	0,04	48,26	39,29	0,71	1,20	0,04	0,05	0,00	102,15	94,9	5
Мг	М	0,24	9,79	1,89	0,00	49,75	38,55	0,82	1,09	0,04	0,00	0,00	102,17	95,4	1
Ил	В + Вкл	0,06	45,75	0,16	0,03	15,07	36,81	0,95	1,96	0,19	0,04	0,00	101,02	91,5	4
Ил	М	1,30	44,17	0,42	0,08	15,39	35,40	1,09	1,99	0,08	0,00	0,00	99,92	91,1	1
Ст	ОМ	78,58	0,28	12,31	0,01	—	2,09	0,09	0,19	1,69	2,64	2,11	99,99	86,6	4

Примечание. Обозначение минералов: Ол - оливин, Кпр - клинопироксен, Опр - ортопироксен, Пл - плагиоклаз, Мг - титаномагнетит, Ил - ильменит, Ст - вулканическое стекло. Обозначение фаз: В - вкрапленники (среднее), ВЯ - ядра вкрапленников, ВКр - края вкрапленников, Вкл - включения во вкрапленниках. М - миролит, ОМ - основная масса; *f* - железистость темноцветных минералов, An - мольная доля анортита в плагиоклазах, *n* - количество анализов для подсчета среднего.

извержений Немо III и произошло после лишь небольшого интервала времени вслед за формированием игнимбритовых покровов), имеют уже андезитовый состав (SiO_2 59,5%, в пересчете на безводный остаток, обр. № 12; табл. 1). В них отмечаются также тонкие прослои андезитобазальтовых шлаков (SiO_2 53,1%, обр. № 10; SiO_2 55,9%, обр. № 11; в пересчете на безводный остаток; табл. 1).

Таким образом, извержения кальдерообразующего этапа Немо III, по-видимому, происходили из хорошо раздифференцированного магматического очага, в котором самые кислые расплавы занимали более высокое положение. По крайней мере последние извержения сопровождались (провоцировались?) внедрением с глубины новой порции слабодифференцированного андезитобазальтового (базальтового?) материала в промежуточный очаг и смешением расплавов.

Минеральный состав вулканических пород. Все породы кальдеры характеризуются титаномагнетит-пироксен-плагиоклазовыми ассоциациями вкрапленников. В базальтах и некоторых андезитобазальтах к указанным минералам присоединяется оливин. Для андезитов и дацитов обычны титаномагнетит-пироксен-плагиоклазовые сростки. Содержание вкрапленников колеблется от 5–10 до 20–30%; минимальные значения характерны для некоторых стекловатых разностей игнимбритов. В игнимбритах и спекшихся туфах обычны мелкие обломочки базальтов, андезитобазальтов, а также кристаллов плагиоклаза, реже оливина, пироксена. Стекло в игнимбритах как светлое, так и бурое, непрозрачное, обломки его часто имеют флюидальную текстуру.

Состав минералов-вкрапленников в разных по кремнекислотности породах (от базальтов до дацитов) определяли на микроанализаторе «Самеса» в ИГЕМ АН СССР (аналитики Г.Н. Муравицкая, М.В. Цветкова). Более детально анализировали минералы из стекловатого обломка дацита в пемзе (микроанализатор «Самебах», аналитик Г.П. Пономарев); четыре анализа мономинеральных проб плагиоклаза из базальтов и андезитобазальтов выполнены в ГЕОХИ СО АН СССР (табл. 2).

По данным микронзондового анализа, ядра вкрапленников плагиоклаза в базальтах и андезитобазальтах отвечают битовнит-анортиту An_{89-92} , а валовый состав в базальтах – битовниту An_{83-86} , в андезитобазальтах – лабрадору An_{61-64} . Ядра вкрапленников плагиоклаза в андезитах – лабрадоры, а в дацитах – андезин-лабрадоры An_{45-56} . Оливины базальтов и андезитобазальтов – преимущественно железистые хризолиты Fo_{72-76} . Клинопироксены во всех типах пород – авгиты, причем железистость ядер вкрапленников постепенно возрастает от базальтов и андезитобазальтов ($f = 16...22\%$) через андезиты ($f = 31...32\%$) к дацитам ($f = 36...38\%$). Наиболее железистыми являются краевые зоны вкрапленников в дацитах (f до 40–42%). Ортопироксены из всех типов пород – гиперстены, хотя в дацитах они заметно более железистые ($f = 44...46$), чем в андезитобазальтах и андезитах ($f = 31...35$). С ростом железистости пироксенов в них в целом убывает содержание глинозема. Железистость титаномагнетитов увеличивается от базальтов и андезитобазальтов к дацитам от 91–93 до 93–95%, в том же направлении в них возрастает содержание TiO_2 (от 7–9,5 до 10–11%). В дацитах в составе рудной фазы наряду с титаномагнетитами установлены ильмениты. Стекла из дацитов – риолиты с низким (~5%) содержанием щелочей и высоким (0,7–0,9) отношением $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$.

Температуры кристаллизации вкрапленников по двупироксеновому геотермометру Вуда и Банно постепенно уменьшаются от андезитобазальтов к дацитам: 1110° С – андезитобазальт, 1085° С – андезит, 960–975° С – дацит. Температуры кристаллизации магнетит-ильменитовых пар из включений во вкрапленниках клинопироксена в дацитах 890–910° С ($-\lg(fO_2) = 11,1...0,7$), микролитов из того же образца 865° С ($-\lg(fO_2) = 11,6$), летучесть кислорода приблизительно на порядок выше буфера NiO . Примерно такие же температуры кристаллизации и фугитивность кислорода характерны для пироксеновых лав низко- и умеренно калиевых серий Камчатки [3].

Химический и редкоэлементный состав вулканических пород. По собранному авторами материалу в ИВ ДВО АН СССР и ГЕОХИ СО АН СССР выполнены 29 си-

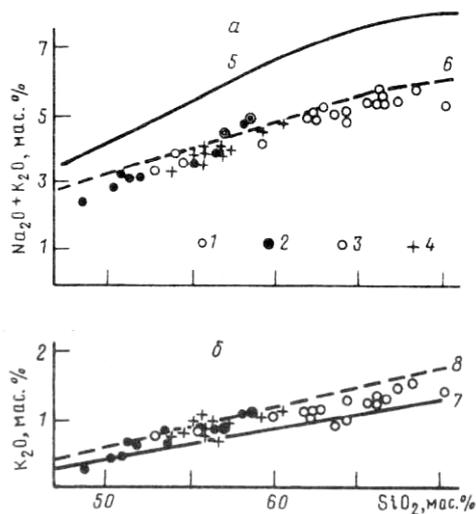


Рис. 3

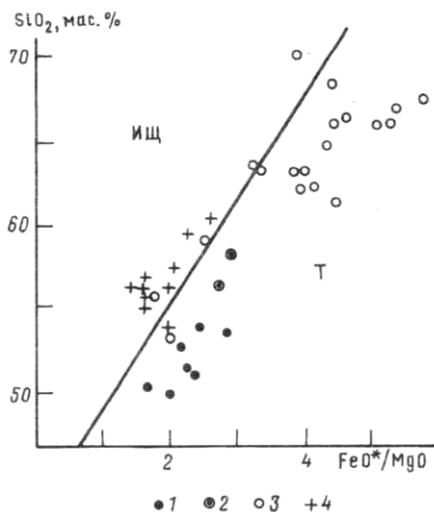


Рис. 4

Рис. 3. Классификационные диаграммы кремнезем - щелочи для вулканических пород кальдеры Немо. Здесь и далее вулканические породы разных этапов развития кальдеры Немо: 1 - докальдерный комплекс; 2 - вулкан Старый Немо; 3 - кальдерообразующее извержение Немо III; 4 - посткальдерный комплекс (Пик Немо), 5 - нижняя граница поля субщелочных пород по классификации Петрографического комитета СССР [7]; 6 - верхняя граница поля низкощелочных пород Камчатки [3]; 7,8- верхняя граница поля низкокальевых пород по данным работ [10] и [9] соответственно

Рис. 4. Классификационная диаграмма $\text{SiO}_2\text{-FeO}^*/\text{MgO}$ для вулканических пород кальдеры Немо. Граница полей пород известково-щелочной (ИЩ) и толеитовой (Т) серий по данным работы [10]

ликатных химических анализов вулканических пород (табл. 1); использовано девять анализов из работы [6]. Для большинства анализированных образцов в ГЕОХИ СО АН СССР получены также данные по концентрациям Rb, Li (методом фотометрии пламени), Ba, Sr (рентгеноспектральным методом), а для четырех образцов определены также концентрации редкоземельных элементов Y, Zr и Nb – химико-спектральным методом [2]. Кроме того, в восьми образцах содержания Rb, Ba, Sr, Y, Zr, Nb, Sc, V, Cr, Co и Ni определены рентгено-флуоресцентным методом в Копенгагенском университете (Дания).

По уровню содержания K_2O вулканические породы района кальдеры Немо III отвечают в целом умеренно калиевой серии [10], хотя часть базальтов попадает в поле низкокальевой серии, а по суммарному содержанию щелочей – к классу пород нормальной щелочности, по классификации Петрографического комитета СССР [7]. В рамках системы, принятой при классификации вулканических пород Камчатки [3, 9], вулканиды кальдеры Немо III следует относить к низкокальевой серии класса пород пониженной щелочности (рис. 3).

По отношению величины FeO^*/MgO к SiO_2 породы докальдерной постройки и игнимбриды кальдерного этапа попадают в класс толеитов, тогда как лавы посткальдерной постройки – преимущественно в класс известково-щелочных пород (рис. 4). Если справедливо представление, что характер эволюции пород с накоплением (толеиты) или без накопления железа (известково-щелочные породы) обуславливается в основном режимом fO_2 [3], то следует признать, что в посткальдерный этап развития вулкана произошло изменение fO_2 кристаллизующихся расплавов. Возможно, это могло быть связано с обводнением расплавов. Проникновению воды в область промежуточного очага могла способствовать раздробленность фундамента вулкана, связанная с кальдерообразующими извержениями, тем более что днище кальдеры было сразу после образования ее залито морем.

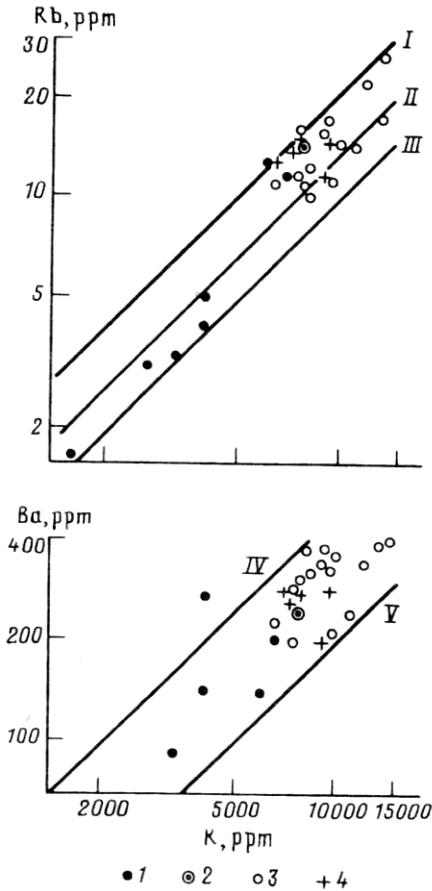


Рис. 5

Рис. 5. Соотношение Rb и Ba с калием в вулканических породах кальдеры Немо. I—III - $K/Rb = 500, 750$ и 1000 соответственно; IV, V - $K/Ba = 20$ и 50 соответственно

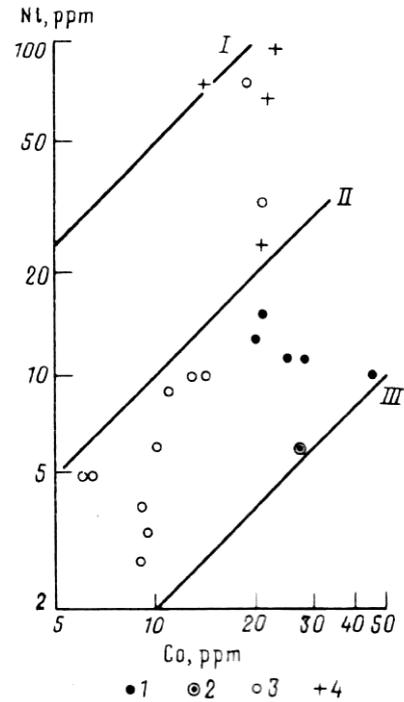


Рис. 6

Рис. 6. Соотношение Ni и Co в вулканических породах кальдеры Немо: $Ni/Co = 5,1$ и $0,2$ (I—III соответственно)

Обращает на себя внимание, что андезитобазальтовые прослои пирокластики в пемзах кальдерообразующего извержения (обр. 5913/1) имеют низкое значение отношения FeO^*/MgO , сходное с наблюдаемым в андезитобазальтах молодого конуса. Возможно, что они представляют собой первые порции той магмы, за счет которой начала формироваться посткальдерная вулканическая постройка (см. выше о смешении расплавов).

По уровню содержания литофильных редких элементов – Rb, Ba, Be, Zr, Ne, La и др. (табл. 1) – вулканические породы кальдеры Немо III в целом соответствуют лавам низкокальевой серии Камчатки [9]. При этом величина отношения K/Ba для всех типов вулканических пород, независимо от их кремнекислотности, колеблется в одинаковых пределах (20–50), а величины отношений K/Rb , Rb/Sr и Ba/Sr возрастают от базальтов к более кислым породам: K/Rb от 800–1000 до 500–800; Rb/Sr – от 0,005–0,03 до 0,04–0,08; Ba/Sr – от 0,25–0,75 до 1,2–1,7 (рис. 5). Значения отношений Zr/Nb в вулканических породах высокие (40–110), что типично для производных островодужных магм [11, 12], и в частности для островодужных вулкаников Камчатки [3], а значения отношений Zr/Y низкие (1,5–3,9), характерные для океанических островных дуг [13].

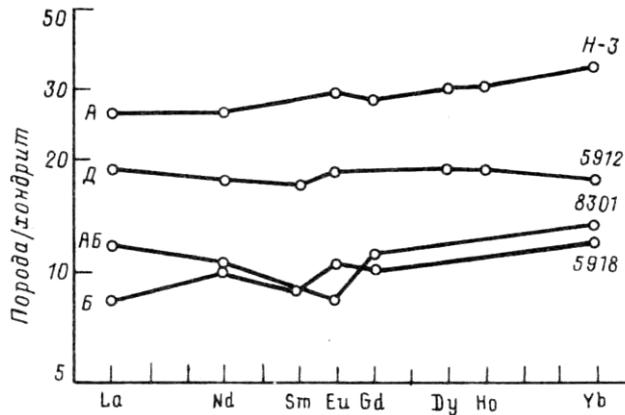


Рис. 7. Распределение редкоземельных элементов в вулканических породах кальдеры Немо. Нормировано по хондриту leedy. Анализы из работы [2]. Б - базальт, АБ - андезитобазальт, А - андезит. Д - дацит; номера химических анализов пород из табл. 1

По содержанию элементов группы железа (Ni, Co, Cr, V) вулканические породы кальдеры Немо III также типичны для островодужных ассоциаций. Они характеризуются в общем низкими концентрациями Ni и Cr при низких отношениях Cr/V и высоких V/Ni. Вместе с тем андезитобазальты и андезиты посткальдерного комплекса заметно обогащены Ni и имеют более высокие отношения Ni/Co по сравнению с базальтами и андезитобазальтами докальдерного комплекса, а также андезитами и дацитами кальдерообразующих извержений (рис. 6). Повышенные концентрации Ni и Cr характерны также для андезитобазальтовых шлаков из прослоев в андезитовых пемзах (рис. 6; обр. № 10, табл. 1), связанных с завершающими этапами формирования кальдеры. Это еще раз подтверждает высказанное предположение о родственности андезитобазальтового материала пемзово-пирокластических отложений и пород молодого конуса.

Концентрации редкоземельных элементов в вулканиках кальдеры Немо III низкие до умеренных. Минимальные концентрации (на уровне 9–11 хондритовых) характерны для базальтов и вдвое повышаются в дацитах (до 20–23 хондритовых). Однако максимальные концентрации РЗЭ отмечены не в дацитах, а в посткальдерных андезитах Пика Немо (30–45 хондритовых). Величина отношения La/Yb в разных по кремнекислотности породах низкая, хотя и повышается от базальтов (1,0) к дацитам (1,6). Нормированные по хондриту кривые распределения редкоземельных элементов для всех типов пород субгоризонтальные (рис. 7), что характерно для лав толеитовой низкокальевой серии Камчатки [3].

На многих вариационных диаграммах фигуративные точки вулканических пород кальдеры Немо III образуют единые поля (см. рис. 3 и 5), что не противоречит представлению об их родственности и возможности происхождения за счет фракционирования единого исходного расплава. Предпринятые ранее [8] расчеты по петрогенным окислам показали, что все разновидности этих пород могут быть получены за счет последовательных этапов фракционирования низкокальевого высокоглиноземистого базальта. На ранних этапах фракционирования (базальт – андезитобазальт – андезит) в число удаляемых фаз входят плагиоклаз, клинопироксен, оливин, магнетит, а на поздних (андезит – дацит – риодацит) место оливина занимает ортопироксен. Доля фракционируемых фаз вплоть до дацитов остается близкой и не очень высокой (25–30%), а при переходе от дацита к риодациту резко уменьшается (до 4%). Доля остаточных дацитовых расплавов достигает 38%.

Сходимость расчетных и природных данных по микроэлементам низкая, за исключением некоторых элементов для отдельных шагов фракционирования (например, РЗЭ при переходе базальт – андезитобазальт). Плохая сходимость результатов может быть в существенной мере связана с использованием коэффициентов распределения, заимствованных из литературы (а не полученных экспериментальным путем для курильских лав), а также с точностью аналитических методов определения редких элементов. Вместе с тем такая причина вряд ли справедлива для посткальдерных лав Пика Немо, которые резко отличаются от вулканических пород кальдеры Немо III в систематике $\text{SiO}_2 - \text{FeO}^*/\text{MgO}$ и $\text{Ni} - \text{Co}$ (см. рис. 4 и 6). Возможно, они представляют собой производные новой порции магмы, отличающейся по своим геохимическим особенностям от порции магмы, продуктами извержений которой являются вулканические породы докальдерного комплекса и кальдерообразующих извержений.

Кальдерообразующее извержение и кальдера Немо III как отражение эволюции магматического очага в плейстоцене. Выше указано, что формирование кальдерного комплекса Немо началось в середине верхнего плейстоцена с возникновения кальдеры Немо I примерно 40–50 тыс. л.н. после весьма длительного (~650 тыс. лет) перерыва вулканической активности на севере о-ва Онекотан. К сожалению, прямых данных о составе продуктов этого первого кальдерообразующего извержения (извержений?) собрать не удалось. Можно только предполагать, по аналогии с другими позднеплейстоценовыми событиями того же типа и масштаба на Курильских о-вах, что он был дацитовым или андезиодацитовым, а его объем в пересчете на магму соответствовал в очень грубом приближении объему полости названной кальдеры обрушения (т.е. $\sim 50 \text{ км}^3$), а вес составлял $(110...120) \cdot 10^9$ т.

Возникший в кальдере Немо I вулкан Старый Немо был андезитовым с объемом постройки, по-видимому, не менее 10 км^3 . Вместе с унесенной за пределы постройки тефрой общий объем пород, изверженных при формировании вулкана, мог достигать $10,5\text{--}11 \text{ км}^3$, а вес – $25 \cdot 10^9$ т. Поскольку постройка вулкана Старый Немо почти целиком уничтожена в результате последующей вулканической деятельности, его объем и вес оценены по аналогии с хорошо сохранившимися, одинаковыми по типу, размерам и составу изверженных продуктов внутрикальдерными вулканами. Ближайшим таким вулканом является, в частности, расположенный на о-ве Онекотан вулкан Пик Креницина в кальдере Тао-Русыр.

Пирокластика кальдерообразующего извержения (извержений?) Немо II тоже не обнаружена, поэтому, как и в случае с предшествующим извержением Немо I, ее объем ($10\text{--}15 \text{ км}^3$ в пересчете на твердую породу-магму) и вес $((25...35) \cdot 10^9 \text{ т})$ оценены ориентировочно, на основании лишь объема полости кальдеры Немо II (см. выше). Предполагается, что состав ювенильной пирокластики этого извержения существенно не отличался от такового при образовании кальдеры Немо I.

С учетом приведенных выше данных по кальдерообразующему извержению Немо III и посткальдерной вулканической деятельности можно полагать, что в течение последних 40–50 тыс. лет здесь извергнуто $\sim 200 \cdot 10^9$ т пирокластики и лав, имевших состав от риодацитов до андезитобазальтов. Самой продуктивной оказалась первая половина рассмотренного этапа, когда за 20–25 тыс. лет произошли все три кальдерообразующих извержения (три серии извержений?) и вынесено $\sim 180 \cdot 10^9$ т материала преимущественно кислой пирокластики, тогда как за следующие 24,5 тыс. лет извергнуто всего $\sim 20 \cdot 10^9$ т пород андезитового и андезитобазальтового состава. Если это так, то на долю риодацитов-дацитов приходится $\sim 80\%$ общего веса изверженных ювенильных продуктов, андезитов – 16%, андезитобазальтов – 4%.

В истории эруптивной активности, приведшей к возникновению на о-ве Онекотан рассмотренного комплекса позднеплейстоцен-голоценовых образований, обращает на себя внимание несколько выявленных тенденций.

1) Четкое разделение ее на два примерно одинаковых по длительности этапа, резко различных по преобладающему характеру вулканических проявлений, типу возникших форм и продуктивности. Ранний из них можно назвать «кальдерным», поздний –

«стратовулканическим». Особенность динамики «кальдерного» комплекса Немо – последовательное уменьшение во времени размеров кальдер, объемов и массы ассоциировавшегося с ними пирокластического материала. Для позднплейстоцен-голоценовых посткальдерных вулканов характерна скачкообразная миграция их эруптивных центров по мере омоложения построек с северо-запада на юго-восток. Так, эруптивные центры экструзивного купола и стратовулкана Пра-Пик Немо отстоят друг от друга на расстоянии 2,2 км, стратовулканов Пра-Пик Немо и Пик Немо – на 1,8 км (см. рис. 1). Продуктивность вулканической деятельности раннего этапа в ~10 раз превышает таковую позднего этапа, равняясь соответственно $8 \cdot 10^6$ и $\sim 0,8 \cdot 10^6$ т/год.

2) Наличие отчетливой антидромной смены составов ювенильных пород практически для любого масштаба вулканических событий, особенно начиная с момента формирования кальдеры Немо III: пары кальдерообразующее извержение (серия извержений) – посткальдерная деятельность; начало и конец единой серии кальдерообразующих извержений (от более кислых игнимбритов к более основным по составу пемзам); начало и конец даже единого извержения. Исходя из общих особенностей вероятного проявления вулканической активности на раннем этапе формирования кальдерного комплекса Немо и единичных данных о составе постройки Старый Немо, можно предполагать антидромный характер эволюции вещества и для пары Немо II – Старый Немо, а также в целом для первого и второго этапов позднплейстоцен-голоценового вулканизма этого участка.

3) Нельзя не отметить прогрессирующее возрастание роли продуктов андезитобазальтового состава по крайней мере с заключительной фазы серии кальдерообразующих извержений Немо III 25–24,5 тыс. л.н. к периоду формирования вулкана Пик Немо в голоцене.

Как объяснить происходившие здесь события и особенности проявления вулканической деятельности? Наиболее логичной и аргументированной для решения этой задачи авторам представляется концепция, основанная на закономерном сочетании процессов дифференциации и смешения магматического вещества в очаге, который обеспечивал питание вулканических аппаратов на различных стадиях формирования кальдерного комплекса Немо. Для построения модели такого процесса в целом могут служить данные, полученные при изучении комплекса пород кальдеры Немо III и посткальдерных вулканических построек, самой молодой из которых является голоценовый действующий вулкан Пик Немо. Особенность этого кальдерообразующего этапа и составляющих его трех извержений – явный антидромный прогрессирующий по времени характер изменения состава изверженных ювенильных продуктов. У начальных извержений это выражалось в заметном поосновнении последних порций пирокластики по сравнению с более ранними: от 66,5 до 62% SiO_2 . У заключительного извержения – не только в этом, но и в появлении горизонтов ювенильных шлаков (обр. 5913/1, 5913/2) в пачке андезитовой пемзы.

В еще более масштабной форме подобная тенденция проявилась в изменении состава продуктов кальдерообразующего извержения в целом и посткальдерных извержений, поскольку все посткальдерные постройки сложены породами андезитового и андезитобазальтового состава (см. табл. 1).

Выше отмечено, что докальдерный активный вулканизм, по данным палеомагнитных исследований, завершился еще до начала палеомагнитной эпохи Брюнес, т.е. до 690 тыс. л.н., а кальдерный стартовал после весьма продолжительного перерыва не ранее 40–50 тыс. л.н. После формирования докальдерных построек большая часть магмы должна была, как это предполагается для всех островных дуг [3], остаться на глубине и могла, следовательно, подвергаться процессу дифференциации в течение ~650 тыс. лет, поэтому к середине верхнего плейстоцена, к моменту регионального внедрения в пределах Курило-Камчатской области «свежей» базальтовой магмы [6], «старое», докальдерное магматическое вещество здесь было хорошо раздифференцированным, но из-за большой длительности периода покоя после

прекращения в нижнем плейстоцене предшествующего периода вулканизма уже неспособным, вероятно, к самостоятельному извержению без постороннего «гальванизирующего» воздействия на него.

В этой связи предполагается, что именно инъекция высокотемпературной (> 1110° С) базальтовой (андезитобазальтовой?) магмы в менее нагретый (865–975° С) промежуточный магматический очаг риодацитового – дацитового состава привела к двум важным последствиям. Вначале – к вскипанию содержащей конституционную воду «старой» кислой магмы и резкому увеличению объема последней в несколько раз. Результат – массовый выброс пирокластики и формирование обширной кальдеры обрушения Немо I как реакции на этот выброс. Затем – взаимодействие (включая смешение) оставшейся на глубине частично дегазированной кислой магмы с заместившей изверженное вещество «свежей» магмой основного состава. В итоге такого взаимодействия – появление андезитовой магмы, при извержении которой в кальдере Немо I вырос вулкан Старый Немо. Не исключено, что в дальнейшем в общих чертах подобный, но меньшего масштаба процесс повторялся при внедрении основной магмы в соседнюю часть старого магматического очага с образованием кальдер Немо II и Немо III.

Поступившая в промежуточный магматический очаг «свежая» порция базальт-андезитобазальтового вещества продолжала и в дальнейшем взаимодействовать с остаточной кислой магмой, а смешанные лавы андезитового и андезитобазальтового составов поступали на поверхность вместе с новым ювенильным материалом, формируя посткальдерный вулканический хребет.

Выводы. 1. В истории формирования кальдерного комплекса Немо на о-ве Онекотан (Курильские острова) выделяется три этапа вулканической активности, первый из которых сильно оторван во времени от двух последующих: 1) докальдерный верхнеплиоцен-нижнеплейстоценовый (до 690 тыс. л.н.); 2) кальдерный (от 45–50 до 24,5–25 тыс. л.н.); 3) посткальдерный, стратовулканический (от 24,5–25 тыс л.н. до современного).

2. От кальдерного этапа активности к стратовулканическому уменьшается продуктивность вулканической деятельности и возрастает основность ювенильных продуктов. Антидромный характер изменения составов пород свойствен и для пород кальдерообразующих извержений Немо III.

3. Вулканические породы докальдерного комплекса, вулкана Старый Немо и кальдерообразующих извержений относятся к толеитовой серии, а лавы посткальдерного стратовулканического комплекса – к известково-щелочной. Толеитовые и известково-щелочные породы различаются также по содержанию Ni и величинам отношений Ni/Co.

4. В пемзах заключительного этапа кальдерообразующего извержения Немо III установлены признаки смешения магматических расплавов, выражающиеся в появлении прослоев андезитобазальтовых шлаков среди преобладающих андезитовых пемз. Состав шлаков по петрогеохимическим признакам близок к составу лав посткальдерного комплекса.

5. Предполагается, что кальдерообразующие извержения и возникновение кальдер Немо III (вероятно, как и кальдер Немо I и II) связаны с инъекцией высокотемпературного андезитобазальтового (базальтового) материала в приповерхностный ранее существовавший магматический очаг кислого состава, сформированный при фракционировании магмы, которая питала докальдерные вулканические аппараты.

Авторы благодарны А.В. Колоскову (ИВГиГ ДВО РАН) за предоставленные для анализа образцы и конструктивную критику, а также Дж. Бейли (Копенгагенский университет, Дания) – за анализ редкоэлементного состава ряда проб и А.А. Цветкову (ИГЕМ РАН) – за микронзондовые данные ряда образцов.

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев В.А., Лаврухина А.К., Мелекесцев И.В., Сулержицкий Л.Д.* Абсолютный возраст и особенности позднечетвертичных вулканических проявлений острова Онекотан (Курильская вулканическая дуга) // Радиоуглерод (Материалы Всесоюз. совещ. по проблеме «Вариации содержания радиоуглерода в атмосфере Земли и радиоуглеродное датирование», 22-24 ноября 1971 года). Вильнюс, 1971. С. 215-218.
2. *Антонов А.Ю., Вольнец О.Н., Авдейко Г.П. и др.* Редкоземельные элементы в четвертичных вулканических образованиях Курильской островной дуги в связи с проблемой генезиса островодужных магм // Геохимия магматических пород современных и древних активных зон. Новосибирск: Наука, 1987. С. 36-55.
3. *Вольнец О.Н., Флеров Г.Б., Шанцер А.Е., Мелекесцев И.В.* Курило-Камчатская островная дуга: Камчатский сегмент // Петрология и геохимия островных дуг и окраинных морей. М.: Наука, 1987. С. 56-85.
4. *Горшков Г.С.* Каталог действующих вулканов Курильских островов // Бюл. вулканол. станций. 1957. № 25. С. 96-178.
5. *Горшков Г.С.* Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967. 288 с.
6. Камчатка, Курильские и Командорские острова. М.: Наука, 1974. 440 с.
7. Классификация и номенклатура магматических горных пород. М.: Недра, 1981. 160 с.
8. Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги / Под ред. Пущаровского Ю.М. М.: Наука, 1992. 528 с.
9. *Пополитов Э.И., Вольнец О.Н.* Геохимические особенности четвертичного вулканизма Курило-Камчатской островной дуги и некоторые вопросы петрогенезиса. Новосибирск: Наука, 1981. 182 с.
10. *Gill J. B.* Orogenic andesites and plate tectonics. Berlin: Springer-Verlag, 1981. 390 p.
11. *Gill J. B.* Sr-Pb-Nd isotopic evidence that both MORB and OIB sources contribute to oceanic island arc magmas in Fiji // Earth and Planet Sci. Lett. 1984. V. 68. № 3.
12. *Onima N., Hirano M., Isshiki N.* Genesis of basalt magmas and their derivatives under the Izu Islands, Japan, inferred SR/Ce–Ba/Ca systematics // J. Volcanol. and Geotherm. Res. 1983. V. 18. P. 511-529.
13. *Pearce J. A.* Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins // Continental basalts and Mantle xenoliths / Eds Hawkesworth C.J., Norry M.J. Amsterdam: Shiva Publ. 1983. P. 230-272.

Институт вулканической геологии и геохимии
ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский
Институт геохимии СО РАН,
Иркутск

Поступила в редакцию
26.10.1995