

## Кора — мантия — ядро

Crust — Mantle — Core / Krusten — Mantel — Kern

УДК 552.323.5

**Сывороткин В.Л.\*,  
Сазонова Л.В.\*\*,  
Подгорнова С.Т.\*\*\***



В.Л. Сывороткин



Л.В. Сазонова



С.Т. Подгорнова

## О строении вулкана Менделеева (Курильские острова) и генезисе его пород

\*Сывороткин Владимир Леонидович, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник кафедры петрологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: hlozon@mail.ru

\*\*Сазонова Людмила Вячеславовна, кандидат биологических наук, доцент кафедры петрологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: sazonovalv52@mail.ru

\*\*\*Подгорнова Светлана Теодоровна, ведущий инженер кафедры петрологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: fedik@geol.msu.ru

Базальты, заполнившие периферический очаг в. Менделеева, эволюционировали за счет кристаллизационной дифференциации до андезитов-дацитов. Накопление флюидов в очаге привело к ликвационному расслоению остаточной магмы на дацитовые и андезитовые составы. Выброшенные финальным взрывом на поверхность, они дали пачку контрастных пород — белых дацитовых пемз и черных андезитовых шлаков. Остатки магм контрастных составов, потеряв флюиды, выдавливаются в виде экструзии андезитов-дацитов, включающих аномальные парагенезисы вкрапленников.

**Ключевые слова:** экструзивный купол, кальдерный вал, базальт, дацит, пемза, шлак, кварц, оливин, плагиоклаз, ликвация, смешение магм.

Вулкан Менделеева расположен в центральной части о. Кунашир на южном фланге Курильской дуги в нескольких километрах к юго-западу от г. Южно-Курильска. Этот самый посещаемый вулкан Курильских островов в геологическом отношении изучен слабо, что объясняется плохой его обнаженностью. В нижней части склоны покрыты непроходимой тайгой, которая выше сменяется бамбуковыми зарослями и затем кедровым стлаником, покрывающим вершины.



Вулкан Менделеева. Фото с сайта plate-tectonic.narod.ru

Сывороткин В.Л., Сазонова Л.В., Подгорнова С.Т. О СТРОЕНИИ ВУЛКАНА МЕНДЕЛЕЕВА (КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА) И ГЕНЕЗИСЕ ЕГО ПОРОД

Посещению по туристской тропе доступна только г. Менделеева — экструзивный купол, завершивший развитие вулкана. Сложен он очень интересными породами, по составу отвечающими андезито-дацитам и дацитам, содержащими аномальные парагенезисы вкрапленников. Здесь совместно встречаются кварц и оливин, кислые и основные плагиоклазы.



Плагиоклаз. Влк. Менделеева. Геологический музей им. В.В. Ершова (МГГУ). Фрагмент фото с сайта [http://geo.web.ru/druza/33\\_11.htm](http://geo.web.ru/druza/33_11.htm)

Эта особенность пород экструзии влк. Менделеева привлекает внимание исследователей. Обычное объяснение аномальных парагенезисов — смешение магм [Биндеман 1990]. Влк. Менделеева имеет малоглубинный периферический очаг и относится нами к типу «К» (коровый) [Сывороткин 1996]. По данным предыдущих исследователей [Горшков 1967; Мархинин 1959; Структура гидротермальной системы 1993], он представляет телескопированную кальдеру, состоящую из двух валов, центрального конуса и вышеупомянутой финальной экструзии. Однако разрезы, характеризующие строение этих морфологических элементов, в литературе отсутствуют. Проведенные в 1991 г. полевые исследования позволили нам составить более простую схему строения влк. Менделеева (рис. 1).

Мы выделяем лишь один кальдерный вал, остатки которого сохранились в юго-западном секторе вулкана. Высшая его точка — г. Мечникова. Другим структурным элементом является экструзия г. Менделеева. Лавовые потоки, вскрытые в русле руч. Четверикова вблизи океанского побережья и относимые ранее [Структура гидротермальной системы 1993] к влк. Менделеева, принадлежат формации платоэффузивов верхнеплиоценового возраста [Сывороткин, Русинова 1989б; Сывороткин 2008]. Так называемый Центральный конус оказался лавово-экструзивным куполом, сложенным однородными плагиопорфировыми андезитами. Родственно ли это лавово-экструзивное тело влк. Менделеева или это более древнее инородное образование, оказавшееся над очагом вулкана — вопрос, требующий дополнительных исследований. Предварительно мы склоняемся ко второму варианту [Сывороткин и др. 1997]. На рис. 1 хорошо видно, что фумарольные поля вулкана и финальная экструзия

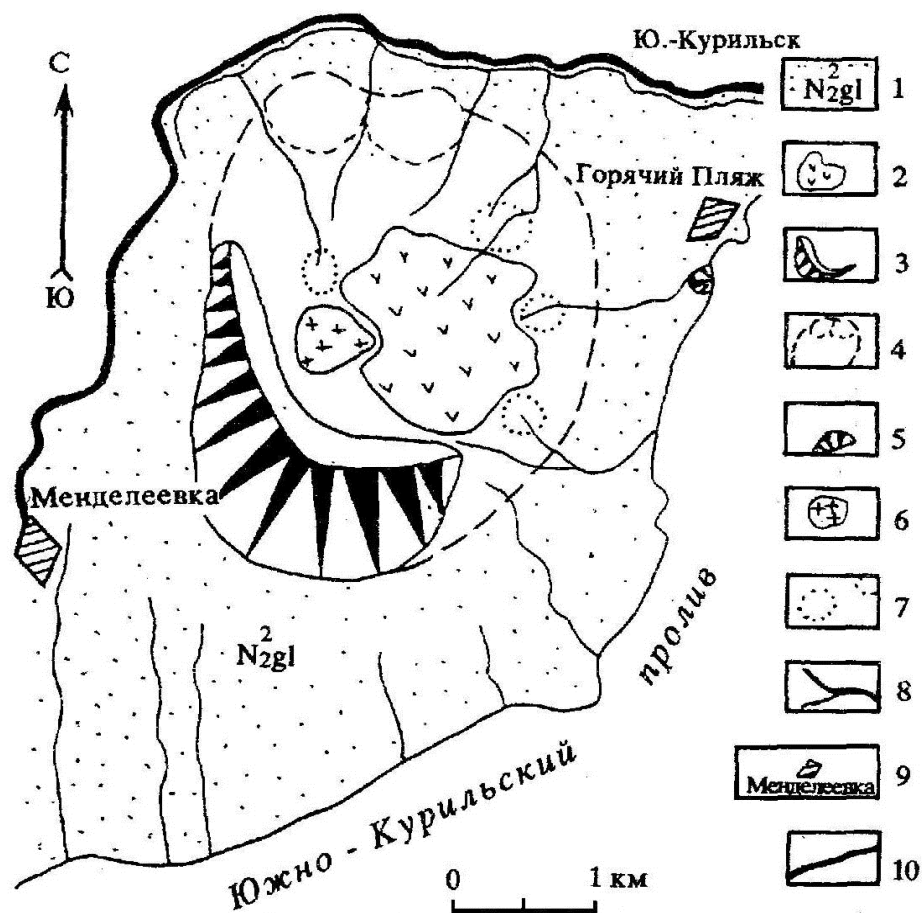


Рис. 1. Схема строения влк. Менделеева:

1 — головнинская свита (свита горы Фрегат —  $N_2^{fr}$ )<sup>1</sup>; 2 — древний «доменделеевский» лавово-экструзивный купол; 3 — кальдерный вал г. Мечникова; 4 — контур размытой части кальдерного вала; 5 — селевое тело с фрагментами кальдерного вала; 6 — экструзия г. Менделеева; 7 — фумарольные поля; 8 — ручьи; 9 — поселки; 10 — дорога.

<sup>1</sup> В работе [Сывороткин, Русинова 1989а] нами было показано, что платоэффузивы о. Кунашир фациально переходят в вулканогенно-осадочные слои головнинской свиты, фаунистически датированной поздним плиоценом. Датировки абсолютного возраста лав г. Фрегат, впервые приведенные нами в той же работе, подтвердили этот возраст. Объединение головнинской свиты и формации платоэффузивов, считавшихся до наших исследований раннеплейстоценовыми, потребовало введения нового названия. Объединенный комплекс вулканогенно-осадочных и эффузивных пород позднего плиоцена о. Кунашир назван нами свитой г. Фрегат, по местоположению стратотипического разреза [Сывороткин 2008].

окаймляют это тело, как бы перфорируя его подножие. На фумарольных полях — истоки ручьев, сбегаящих к подножию вулкана. Похоже, что эндогенное вещество и эманации из очага пробиваются из-под этого купола как из-под пробки, закупорившей выводящий канал. Нечто подобное мы видели на влк. Камбальный на Камчатке, где голоценовое базальтовое извер-

**СЫВОРОТКИН В.Л., САЗОНОВА Л.В., ПОДГОРНОВА С.Т. О СТРОЕНИИ ВУЛКАНА МЕНДЕЛЕЕВА (КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА) И ГЕНЕЗИСЕ ЕГО ПОРОД**

жение выдавило на поверхность кислую экструзию среднеплейстоценового возраста [Сывороткин и др. 1996, Syvorotkin 1991].

Приуроченность магматических проявлений к одним и тем же центрам на протяжении длительного времени — это, скорее, правило, чем исключение. У вышеописанного экструзивного тела на влк. Менделеева на о. Кунашир есть аналог — лавово-экструзивный купол г. Руруй [Сывороткин и др. 1997].

В 1984 г. на г. Мечникова, была проведена дорога, при прокладке которой был вскрыт внутренний (северный) склон кальдерного вала. Здесь в 1991 г. в высыпках дорожной выемки нами был описан и опробован восходящий разрез, представляющий протяженную по кремнекислотности гомодромную серию (таблица 1).

**Таблица 1**

**Химический состав (% мас.) пород влк. Менделеева**

(Привязка анализов дана в тексте при описании разреза г. Мечникова)

№ анализа \ Окислы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO <sub>2</sub>	52,29	53,30	54,52	55,01	57,90	58,04	61,33	61,95	63,94	67,19	59,07
TiO <sub>2</sub>	0,78	0,77	0,80	0,80	0,74	0,74	0,69	0,67	0,57	0,45	0,75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,34	18,99	17,34	17,54	17,58	17,23	16,54	16,63	15,07	13,74	17,06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,91	3,54	4,02	4,30	2,43	3,46	3,74	3,16	2,00	1,57	2,65
FeO	6,61	5,92	5,89	6,32	6,18	7,33	4,38	4,67	5,27	5,24	5,32
MnO	0,20	0,19	0,17	0,18	0,16	0,16	0,14	0,15	0,15	0,13	0,17
MgO	5,67	4,51	4,51	4,56	2,71	2,86	2,66	2,76	2,14	1,52	3,06
CaO	10,81	8,86	8,72	8,65	6,70	7,18	6,07	6,00	5,10	3,84	7,00
Na <sub>2</sub> O	2,16	2,70	2,57	2,50	2,84	2,84	2,97	3,04	3,66	3,88	3,34
K <sub>2</sub> O	0,30	0,30	0,30	0,30	0,36	0,42	0,54	0,55	0,82	1,03	0,51
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,10	0,12	0,12	0,08	0,14	0,13	0,14	0,12	0,10	0,09	0,11
П.п.п.*	—	1,08	0,30	—	1,08	—	—	—	—	1,45	1,00
Сумма	100,17	100,62	99,32	100,24	99,32	100,85	99,28	99,51	—	100,13	100,10

\* Потери при прокаливании

Разрез начинается темно-серыми массивными и плотными базальтами, среди которых изредка встречаются горизонты черных пористых бомб базальтового же состава (анализ 1 таблицы). В середине склона количество пористых разностей, представленных черными и темно-серыми шлаками и шлаковыми бомбами и массивных плотных серых лав андезитобазальтового состава (анализ 2, 3) примерно одинаковое.

В верхней части кальдерного вала и на его гребне преобладают обломки светло-серых шлаков андезитового состава (анализы 5 и 6). Наиболее кислыми разностями оказываются черные шлаки с крупными вкрапленниками кварца (анализ 7). В них встречены обломки, сложенные массивными сливными обсидиановидными породами, также содержащими кварц (анализ 8).

Базальты и андезитобазальты содержат соответственно 20—30% и 30—50% вкрапленников плагиоклаза трех генераций. Среди темноцветных минералов — клино- и ортопироксены (0—5% каждого) и оливин (до 1%); из рудных во вкрапленниках присутствует магнетит (до 2%). Основная масса гиалопилитовая с микролитами тех же минералов в кислом стекле (10—50%).

Андезиты и андезитодациты также плагиопорфировые и двупироксеновые с преобладанием клинопироксена, в самых кислых разностях появляется кварц.

Общая мощность описанного разреза 160 м. Толщина отдельных слоев и потоков варьирует в пределах первых метров.

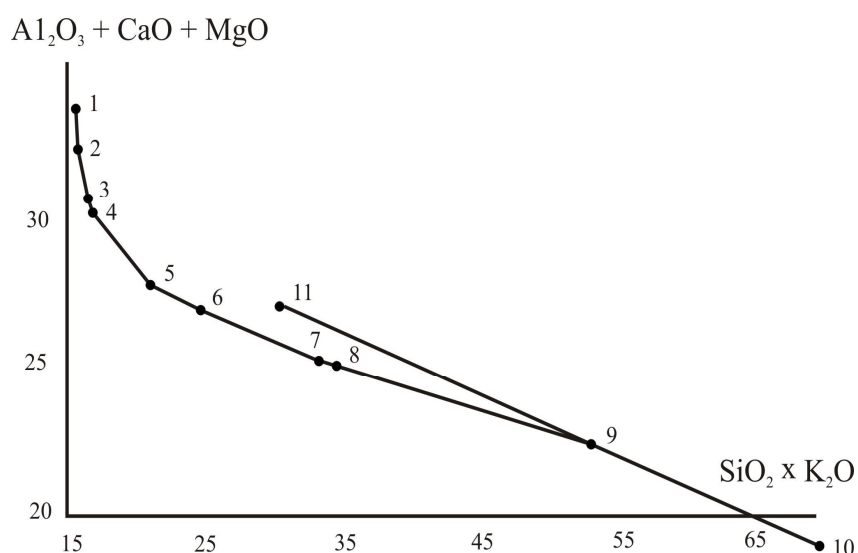
Сама же вершина г. Мечникова — это субвулканическое тело, шток или дайка, сложенное долеритами, относящимися, скорее всего, к формации платоэффузивов плиоценового возраста [Сывороткин, Русинова 19896]. Наличие этого тела и позволило сохраниться от размыва фрагменту кальдерного вала в районе г. Мечникова.

Заканчивается серия влк. Менделеева очень интересной контрастной пачкой, состоящей из двух слоев: белых пемз дацитового состава (анализ 10) и черных андезитовых шлаков (анализ 11). Эта пачка развита повсеместно в пределах влк. Менделеева, встречена и на вершине лавово-экструзивного купола и в верховьях ручьев Кислого, Лечебного, Четверикова, но лучше всего видна в глубоких промоинах вдоль новой дороги между горами Мечникова и Менделеева.

Белые пемзы залегают внизу, толщина слоя 1,5 м, черные шлаки — сверху (1 м). Эта контрастная пачка, облекающая все формы рельефа — продукт финального высокоэксплозивного извержения, разрушившего конус вулкана и образовавшего кальдеру. Средний состав пород контрастной пачки, рассчитанный нами исходя из реального соотношения мощности пемз и шлаков (1,5:1), равен 63,94% по SiO<sub>2</sub> (анализ 9).

СЫВОРОТКИН В.Л., САЗОНОВА Л.В., ПОДГОРНОВА С.Т. О СТРОЕНИИ ВУЛКАНА МЕНДЕЛЕЕВА (КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА) И ГЕНЕЗИСЕ ЕГО ПОРОД

На **рис. 2** отражен сериальный тренд влк. Менделеева.



**Рис. 2.** Диаграмма  $Al_2O_3 + CaO + MgO - SiO_2 \times K_2O$  для пород влк. Менделеева. Точки и цифры на графике соответствуют составам таблицы.

График построен по реальным составам (**таблица 1**). В качестве координат взяты элементы, по которым наблюдается максимальное различие между породами контрастной пачки. С одной стороны, это Al, Ca и Mg, с другой — Si и K. Чтобы сбалансировать большую разницу в содержании двух последних элементов и, учитывая очень низкие содержания K (меньше 1%), в качестве одной из координат нами взято их произведение. Процессы, отраженные на графике, очевидны. Точки 1—9 обозначают тренд кристаллизационной дифференциации, в точке 9 (расчетный состав), произошло ликвационное расщепление на контрастные составы 10 и 11. Отметим, что состав 9, рассчитанный по соотношению мощностей черных и белых пемз в разрезе, абсолютно точно попал в створ отвечающих им точек на графике.

$63 \pm 1\%$   $SiO_2$  — уровень кремнекислотности, до которого эволюционирует базальтовый расплав в периферическом очаге К-вулканов за счет кристаллизационной дифференциации. Дальнейшая судьба этого расплава в разных влк.ах различна и зависит от конкретных условий. Однако всегда это — финальные извержения с образованием уникальных, необычных для нижележащих частей разреза пород, контрастных, расслоенных, флюидизированных, аномально текучих, объяснить особенности и происхождение которых проще всего процессами ликвации. Кислые продукты финальной ликвации одновременно являются максимально кислыми продуктами всей серии К-вулканов.

Рассмотрим породы финальной контрастной пачки влк. Менделеева подробнее. Обе разновидности расслоены, среди черных шлаков наблюдаются прослойки, линзочки толщиной от долей миллиметров до первых сантиметров белых пемз. В светлых породах картина обратная. Белые пемзы содержат до 20—40% вкрапленников, из них плагиоклаза до 50%, кварца 20—40, ортопироксена до 10, клинопироксена и магнетита до 2%.

В черных шлаках вкрапленников значительно меньше (5—10%), но соотношения их примерно те же, изредка здесь встречается оливин! Резко различаются составы стекол, в белых пемзах они на несколько процентов кислее.

Плагиоклазы ранних генераций и в пемзах, и в шлаках имеют одинаковую основность (N 45—47) в центральных частях кристаллов. Это реликты общих вкрапленников, существовавших в материнском расплаве до ликвации. В черных шлаках встречаются плагиоклазы, сложенные в центральной части анортитом. Здесь же присутствует и оливин. В совокупности ансамбль вкрапленников контрастной пачки идентичен аномальному парагенезису минералов в породах экстрезивного купола влк. Менделеева. Здесь содержатся кварц, оливин, основные и кислые плагиоклазы.

Изучение разреза кальдерного вала г. Мечникова позволило нам предложить следующее объяснение генезиса экстрезии г. Менделеева. После финального взрыва часть расслоенного расплава, образовавшего на поверхности контрастную пачку, осталась в очаге и (или) в магмовыводящем канале. Из-за потери летучих система утратила равновесие, и произошло некоторое взаимодействие, выравнивание контрастных составов. Вязкая, из-за потери летучих, магма осредненного состава выдавилась из канала в виде экстрезии г. Менделеева. Слагающие ее породы имеют брекчиевидное строение и объединенный набор вкрапленников. Разброс в содержании кремнезема в различных участках этих лавобрекчий примерно такой же, что и в контрастной пачке — от кислых андезитов до дацитов.

В районе влк. Менделеева есть еще одно место, где можно познакомиться практически со всеми типами пород, слагающими кальдерный вал. Это участок океанского побережья протяженностью примерно 1 км к югу от устья руч. Лечебного. Здесь на пляже находятся валунно-глыбовые развалы массивных базальтов, андезито-базальтов и андезитов, аналогичных плотным разностям пород из разреза г. Мечникова. Они сюда попали в селевом выносе по долине руч. Лечебного, который берет начало в пределах продолжения кальдерного вала, в настоящее время размытого в этой части. Селевое тело слагает участок океанского берега к югу от устья руч. Лечебного. Вглубь берега оно протягивается на первые сотни метров, размывается с тыльной стороны паводковыми водами руч. Лечебного, а с фронтальной — океанским прибоем, который оставляет на пляже только твердые разности пород. Но в обрывах берега в разрезе селевого конуса наряду с последними мы видим и рыхлые породы — пемзы и шлаки, — которые иногда представлены слоистыми фрагментами протяженностью в первые метры, что и указывает на селевой генезис этого образования. Любой другой транспортный механизм разрушил бы некрепкие блоки рыхлых вулканических пород.

СЫВОРОТКИН В.Л., САЗОНОВА Л.В., ПОДГОРНОВА С.Т. О СТРОЕНИИ ВУЛКАНА МЕНДЕЛЕЕВА (КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА) И ГЕНЕЗИСЕ ЕГО ПОРОД

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Биндеман И.Н. Смещение магм как механизм генезиса экструзивных дацитов влк. Менделеева // Тихоокеанская геология. 1990. № 1. С. 11—19.
2. Горшков Г.С. Вулканизм Курильской островной дуги. Монография. М.: Наука, 1967. 287 с.
3. Мархинин Е.К. Вулканы о. Кунашир // Тр. лаборатории вулканологии АН СССР. 1959. Т. 17. С. 64—156.
4. Структура гидротермальной системы. Монография / С.Н. Рычагов, Н.С. Жатнуев, В.Л. Сывороткин и др. М.: Наука, 1993. 298 с.
5. Сывороткин В.Л. Коровые вулканы Курило-Камчатской дуги. Монография. М.: АОЗТ «Геоинформмарк», 1996. 52 с.
6. Сывороткин В.Л. Ликвационная природа алливалитовых нодулей в дацитовых пемзах влк. Заварицкого на Курилах // Изв. АН СССР. Сер. Геол. 1991. № 3. С. 142—146.
7. Сывороткин В.Л. Плиоценовые отложения о. Кунашир (Курильские острова) // Палеострат 2008: годичное собрание секции палеонтологии МОИП и Московского отделения палеонтологического общества. Москва, 28—29 января 2008 г. Программа и тезисы докладов под ред. А.С. Алексеева. М., 2008. С. 53—54.
8. Сывороткин В.Л., Русинова С.В. Есть ли лавовые плато на о. Кунашир? // Тихоокеанская геология. 1989а. № 4. С. 103—107.
9. Сывороткин В.Л., Русинова С.В. Платоэффузивы о. Кунашир — рифтовая формация на островной дуге // Магматизм рифтов (петрология, эволюция, геодинамика). М.: Наука, 1989б. С. 180—188.
10. Сывороткин В.Л., Русинова С.В., Дрил' С.И. Роль геодинамического режима в формировании четвертичных вулканов Курильской дуги // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 1990. № 1. С. 91—96.
11. Сывороткин В.Л., Сазонова Л.В., Дворкина Н.Е., Подгорнова С.Т. Вулкан Руруй на о. Кунашир (Курильские острова) // Проблемы магматической и метаморфической петрологии. Тез. докл. научн. чтений памяти проф. И.Ф. Трусовой. М.: МГГА, 1997. С. 54.
12. Сывороткин В.Л., Сазонова Л.В., Подгорнова С.Т. Строение и эволюция влк. Менделеева (о. Кунашир) // Проблемы магматической и метаморфической петрологии. Тез. докл. научн. чтений памяти проф. И.Ф. Трусовой. М.: МГГА, 1996. С. 25.
13. Syvorotkin V. Kambalny volcano in the south Kamchatka. International Conference on Active volcanoes and Risk Mitigation. Abstract. Napoli, Italy. 1991.
1. Bindeman I.N. (1990). Smeshenie magm kak mekhanizm genezisa ekstruzivnykh datsitov vlk. Mendeleeva. Tikhookeanskaya geologiya. N 1. Pp. 11—19.
2. Gorshkov G.S. (1967). Vulkanizm Kuril'skoi ostrovnoi dugi. Monografiya. Nauka, Moskva. 287 p.
3. Markhinin E.K. (1959). Vulkany o. Kunashir. Tr. laboratorii vulkanologii AN SSSR. T. 17. Pp. 64—156.
4. Struktura gidrotermal'noi sistemy. Monografiya. S.N. Rychagov, N.S. Zhatnuev, V.L. Syvorotkin i dr. Nauka, Moskva. 1993. 298 p.
5. Syvorotkin V.L. (1996). Korovye vulkany Kurilo-Kamchatskoi dugi. Monografiya. AOZT «Geoinformmark», Moskva. 52 p.
6. Syvorotkin V.L. (1991). Likvatsionnaya priroda allivalitovykh nodulei v datsitovykh pemzakh vlk. Zavaritskogo na Kurilakh. Izv. AN SSSR. Ser. Geol. N 3. Pp. 142—146.
7. Syvorotkin V.L. (2008). Pliotsenovyie otlozheniya o. Kunashir (Kuril'skie ostrova). Paleostrat 2008: godichnoe sobranie seksii paleontologii MOIP i Moskovskogo otdeleniya paleontologicheskogo obshchestva. Moskva, 28—29 yanvarya 2008 g. Programma i tezisyy dokladov pod red. A.S. Alekseeva. Pp. 53—54.
8. Syvorotkin V.L., Rusinova S.V. (1989a). Est' li lavovye plato na o. Kunashir? Tikhookeanskaya geologiya. N 4. Pp. 103—107.
9. Syvorotkin V.L., Rusinova S.V. (1989b). Platoeffuzivy o. Kunashir — riftovaya formatsiya na ostrovnoi duge. Magmatizm riftov (petrologiya, evolyutsiya, geodinamika). Nauka, Moskva. Pp. 180—188.
10. Syvorotkin V.L., Rusinova S.V., Dril' S.I. (1990). Rol' geodinamicheskogo rezhima v formirovanii chetvertichnykh vulkanov Kuril'skoi dugi. Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 4. Geologiya. N 1. Pp. 91—96.
11. Syvorotkin V.L., Sazonova L.V., Dvorkina N.E., Podgornova S.T. (1997). Vulkan Rurui na o. Kunashir (Kuril'skie ostrova). Problemy magmaticheskoi i metamorficheskoi petrologii. Tez. dokl. nauchn. chtenii pamyati prof. I.F. Trusovoi. MGGA, Moskva. P. 54.
12. Syvorotkin V.L., Sazonova L.V., Podgornova S.T. (1996). Stroenie i evolyutsiya vlk. Mendeleeva (o. Kunashir). Problemy magmaticheskoi i metamorficheskoi petrologii. Tez. dokl. nauchn. chtenii pamyati prof. I.F. Trusovoi. MGGA, Moskva. P. 25.

## ON STRUCTURE OF MENDELEEV VOLCANO (KURILIES) AND ITS ROCKS GENESIS

\*Vladimir L. Syvorotkin, Doctor of Geology and Mineralogy, Senior Researcher at Petrology Chair of Geological Faculty, Lomonosov Moscow State University

E-mail: hlozon@mail.ru

\*\*Lyudmila V. Sazonova, PhD (Geology and Mineralogy), Associate Professor at Petrology Chair of Geological Faculty, Lomonosov Moscow State University

E-mail: sazonovalv52@mail.ru

\*\*\*Svetlana T. Podgornova, Chief Engineer at Petrology Chair of Geological Faculty, Lomonosov Moscow State University

E-mail: fedik@geol.msu.ru

The peculiarity of extrusive rocks of Mendeleev Volcano draws attention of researchers. According to previous research, the Mendeleev Volcano is telescoping caldera, composed of two shafts, the central cone and final extrusion. However, there are no any cuts that characterize the morphological structure of these elements, in the literature. Conducted in 1991, field studies have allowed us to design a more simple circuit of Mendeleev Volcano structure, as well as the study of the cut of Mechnikov Mountain's caldera shaft enabled us to offer the following explanation of the genesis of the extrusion of the Mendeleev Mountain.

Basalts that filled the peripheral focus of Mendeleev Volcano evolved till andesite-dacite by fractional crystallization. Fluid accumulation in the chamber has led to liquid immiscibility of residual magma to dacitic and andesitic compositions. Being thrown out with final explosion they formed a patch of contrast rocks: white dacitic pumices and black andesitic slags. Magma remnants of contrast compositions, losing fluids, were pressed out as andesite-dacite extrusions containing anomalous phenocrysts parageneses.

**Keywords:** extrusion dome, caldera shaft, basalt, dacite, pumice, slag, quartz, olivine, plagioclase, liquid immiscibility, magmatic digestion.