

ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ НАУК О ЗЕМЛЕ

МАТЕРИАЛЫ

XIII РЕГИОНАЛЬНОЙ МОЛОДЕЖНОЙ
НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

10 декабря 2015 г.



Петропавловск-Камчатский

2015 г.

КАМЧАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В. БЕРИНГА
КАФЕДРА ГЕОГРАФИИ, ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ
ИНСТИТУТ ВУЛКАНОЛОГИИ И СЕЙСМОЛОГИИ ДВО РАН

**Материалы XIII региональной
молодежной научной конференции**

**Исследования в области наук о
Земле**

10 декабря 2015 г.

ISBN

978-5-902424-21-5

Исследования в области наук о Земле //
Материалы XIII
Региональной молодежной научной
конференции «Исследования в области наук
о Земле». 10 декабря 2015 г. Петропавловск-
Камчатский: Институт вулканологии и
сейсмологии ДВО РАН. 2015. 70 с.
В сборнике содержатся материалы,
представленные в виде устных докладов на
XIII Региональной молодежной научной
конференции «Исследования в области наук
о Земле», проходившей 10 декабря 2015 г. в
Институте вулканологии и сейсмологии ДВО
РАН (г. Петропавловск-
Камчатский). В сборник включены
материалы 5 из 6 представленных на
конференции и прошедших отбор докладов.

СОДЕРЖАНИЕ

стр.

Буханова Д.С.

МАЛЫМЫЖСКОЕ Au-Cu-ПОРФИРОВОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ
(ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ): УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ
ЦЕНТРАЛЬНОГО УЧАСТКА ПО ДАННЫМ ИССЛЕДОВАНИЯ
ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ..... 4

Зобенько О.А., Кудаева Ш.С., Плутахина Е.Ю.

КРЫМСКИЙ ПОЛИГОН ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ ИМ.
М.В. ЛОМОНОСОВА ЛЕТО 2015 ГОДА..... 17

Бергаль-Кувикас О.В.

СВЯЗЬ ТЕКТОНИЧЕСКОГО ПОЛОЖЕНИЯ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОРОД ЧЕТВЕРТИЧНОГО
ВОЗРАСТА КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ..... 32

Назарова М.А., Тарасов К.В.

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВА
СТАЛАКТИТОПОДОБНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ИЗ ЛАВОВЫХ ПЕЩЕР
ТТИ 2012-2013 ГГ..... 50

Плутахина Е.Ю., Малик Н.А., Назарова М.А.

САМОРОДНАЯ СЕРА ФУМАРОЛЬНЫХ ПОЛЕЙ ВУЛКАНОВ
ВОСТОЧНОЙ КАМЧАТКИ..... 59

УДК 550.4.02 : 553.21/.24

МАЛМЫЖСКОЕ Au-Cu-ПОРФИРОВОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ
(ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ): УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ
ЦЕНТРАЛЬНОГО УЧАСТКА ПО ДАННЫМ ИССЛЕДОВАНИЯ
ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ.

Буханова Д.С.

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский*

В работе представлены результаты исследований методами термобарогеохимии и рамановской спектроскопии флюидных включений в кварце из различных зон Центрального участка золото-меднопорфирового месторождения Малмыжское, расположенного в северо-восточной части Средне-Амурской депрессии в 80 км от г. Комсомольск на Амуре. Результаты исследования показывают что сингенетичные основной стадии формирования руд включения, вероятно, представляют собой смешение флюида дегазирующего глубинного и близповерхностного магматических источников.

Ключевые слова: Малмыжское месторождение, флюидные включения, генезис порфировых месторождений.

ВВЕДЕНИЕ

Медно-порфировые месторождения являются важнейшим источником меди, молибдена и золота на мировом рынке. Они составляют основу добывающей промышленности США, Канады, Чили, Аргентины и Перу [37]. Большие запасы меди и попутных элементов, экономически выгодные для эксплуатации, позволяют создать на базе медно-порфировых месторождений долго действующие горнорудные предприятия. Такие месторождения всегда были в центре внимания, и интерес к ним растет пропорционально росту цен на медь и золото. Установлена тесная ассоциация таких месторождений с магмами преимущественно среднего и кислого составов [19], внедрение которых сопровождалось интенсивным отделением рудоносных флюидов. Однако, формирование порфировых руд включает разнообразные процессы, в понимании которых и сейчас остаются значительные пробелы [20, 38].

Одна из наиболее важных фундаментальных проблем при поиске и разведке месторождений – выявление наиболее благоприятных факторов для локализации порфировых руд в магматических комплексах. И только экспериментальные исследования, такие как изучение флюидных включений методами термобарогеохимии, позволяют вскрыть генетический механизм геологических процессов, который невозможно определить путем изучения их конечных продуктов [1].

Для понимания условий рудообразования порфировых систем большое значение имеет изучение флюидных включений. Некоторые исследователи [8, 9, 10, 15, 16, 17, 25, 26, 27, 28, 31, 41] в своих работах демонстрируют широкую распространенность высокотемпературных (от 400 до 800°C) и высокосолёных (от 35 до >60% NaCl_{экв}) включений. Кроме того, составы расплавных и флюидных включений, богатых летучими фазами, с силикатными расплавами несут очень полезную информацию о поведении природных систем [2, 24, 33, 34, 40]. Но в настоящее время данных о процессах, происходящих с магмой во время и после затвердевания вплоть до формирования рудной минерализации еще не достаточно, и этот вопрос требует дальнейшего изучения.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Медно-порфировое месторождение Малмыжское расположено в северо-восточной части Средне-Амурской депрессии на горных грядках, вытянутых в северо-восточном направлении на 25 км вдоль р. Амур. Малмыжские высоты и месторождение располагаются на площади Журавлевского террейна – раннемелового синсдвигового турбидитового бассейна в северо-западном крыле складки западнее Центрального Сихотэ-Алинского разлома (рис. 1). В геологическом строении Малмыжской останцовой гряды принимают участие осадочные терригенные отложения нижне- и верхнемелового возраста, прорванные верхнемеловыми интрузиями и дайками диорит-гранодиоритового состава, которые перекрыты четвертичными

рыхлыми образованиями преимущественно аллювиального, озерно-аллювиального и пролювиального генезиса [5].

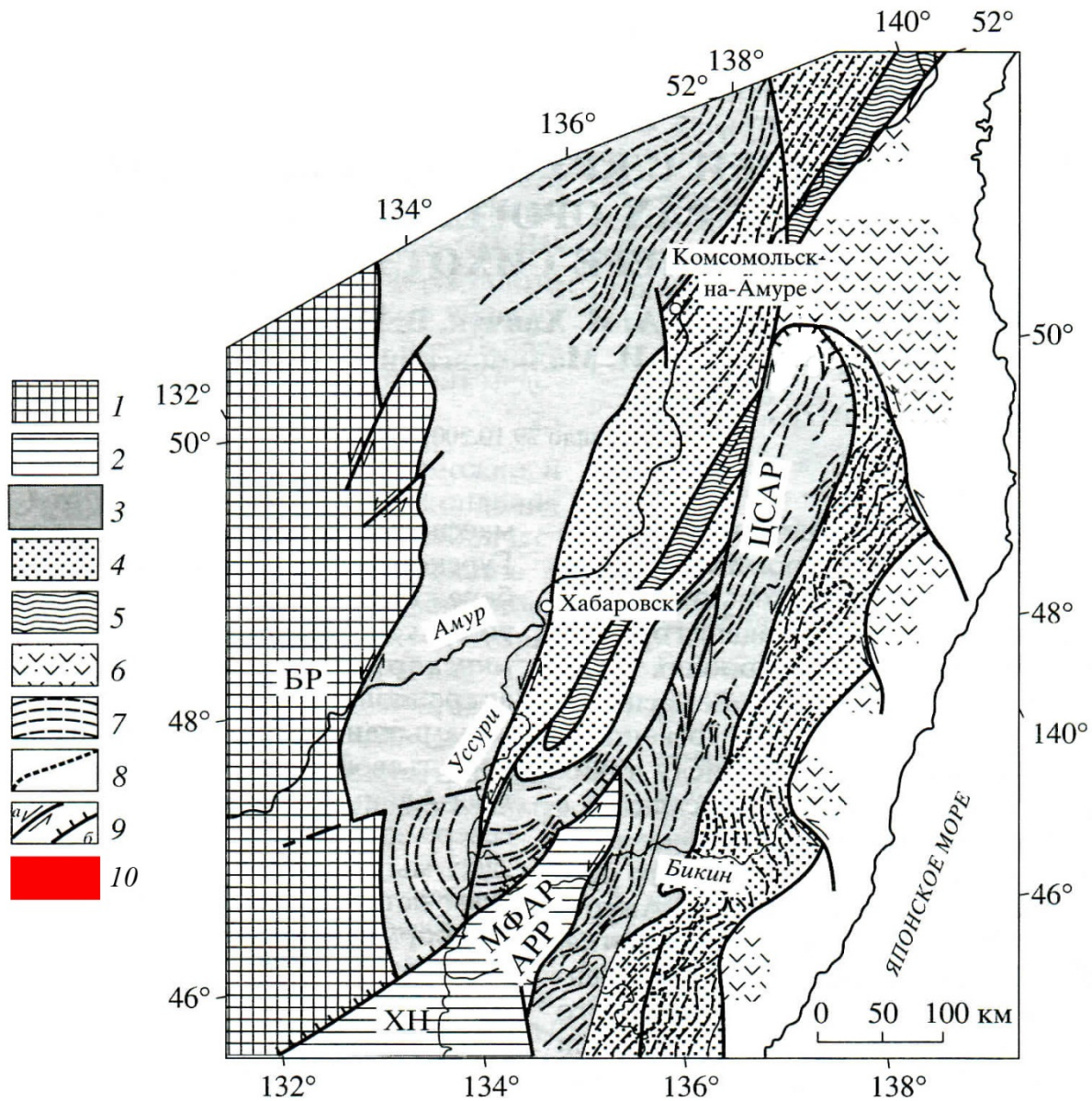


Рис. 1. Схема расположения Малмыжских высот (10) на региональной карте по Ханчук и др.[4]. Левые сдвиги и сопряженные с ними гигантские складки в Северном Сихотэ-Алине: 1,2 – домезозойские массивы; 3 – Самаркинский террейн и фрагменты аккреционной призмы (J); 4 – синсдвиговый турбидитовый бассейн (K_1), 5 – аккреционная призма (K_1); 6 – островодужная система (K_1); 7 – крылья и складки; 8 – граница отложений; 9 – разломы: а – левые сдвиги, б – взбросы и надвиги. Разломы: МФАР – Мишань-Фушунский, АРР – Арсеньевский, ЦСАР – Центральный Сихотэ-Алинский.

Малмыжская порфировая система является частью Нижне-Амурского рудного кластера, обладающего потенциалом обнаружения крупных и гигантских месторождений, и приурочена к узлу пересечения региональных

зон тектонической проницаемости. Общие прогнозные ресурсы (категории P_1+P_2) на основании опубликованных данных составляют 4.9 миллиона тонн меди и 266 т золота при средних содержаниях меди 0.3-0.4% и золота 0.1-0.3 г/т [6]. Это первое открытие крупного месторождения золото-меднопорфирового типа в регионе. Ранее северная часть складчатой системы Сихотэ-Алиня считалась малоперспективной на выявление подобных объектов.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Микротермометрически в лаборатории кафедры петрологии геологического факультета МГУ на установках Linkam THMS 600 и Linkam THMSG 1500 были исследованы и проанализированы около 100 газовой-жидких включений. Образцы были отобраны из керна скважин с глубин от первых до 630 м, что позволяет проследить за порфировой системой на всех уровнях. Для того чтобы определить минералы узники и летучие вещества в газовой-жидких включениях, образцы анализировались с использованием автоматического рамановского спектрометра XPIoRA (Horiba Scientific) с аргоновым лазером с длиной волны 532 нм. Для определения элементарного состава многофазных включений использовался электронный микронзонд JEOL JXA-8530F, оснащенный пятью WDS спектрометрами (метод дисперсионной рентгеновской спектроскопии по длине волны) и системой Thermo System 7 SDD-EDS, в Университете Аляски Фэрбенкс (UAF). Соленость флюидных включений, содержащих галит определена по уравнению Стернера [39], а для многофазных включений, содержащих галит и сильвин – $H_2O-NaCl-KCl$, использовались диаграммы Реддера [32]. Давления (бар) рассчитаны на основе системы $H_2O-NaCl$ [14].

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В жильном кварце золото-меднопорфирового месторождения Малмыжское выявлено пять типов включений (в соответствии с классификацией газовой-жидких включений по Кампосу [10]): М (магматические, рас-

плавные), MS (многофазные преимущественно состоящие из минеральных агрегатов и небольшого количества флюида), В (рассолы), G (преимущественно газовые) и W (преимущественно водные). Поскольку расплавные включения М типа не могут дать информацию об эволюции флюида, формировавшего месторождение, более подробно они не рассматриваются.

Среди представленных выше типов включений были выделены подтипы преимущественно по температурам гомогенизации. Среди включений типа MS выделяется два подтипа. Подтип MS₁ характеризуется относительно небольшими размерами и температурой гомогенизации 670-730°C. Для включений подтипа MS₂ более характерны размеры около 15-30 мкм, а измеренные температуры гомогенизации достигают 850-1000°C. Исходя из температур растворения галита и сильвина, можно предполагать, что соленость находится в пределах 58-80 мас.% NaCl экв. (рис. 2), что соответствует рассолам-расплавам. Рассчитанные давления для включений подтипа MS₂ находятся в интервале 680-830 бар, а для включений подтипа MS₁ 550-710 бар.

Включения типа В разделены на три подтипа, выделенных по температурам гомогенизации, которые составляют для подтипа В₁ от 331 до 409°C, В₂ от 405 до 503°C и В₃ от 542 до 580°C. Для оценки концентрации солей использовалась система NaCl-KCl-H₂O [32]. Для включений подтипа В₁ принята соленость в пределах 27-37 мас.% NaCl экв., для В₂ 35-58 мас.% NaCl экв., а для подтипа В₃ 53-60 мас.% NaCl экв. (что в действительности соответствует NaCl-KCl-FeCl-эквивалент). Рассчитанные давления для включений подтипа В₁ находятся в интервале 100-210 бар, 200-400 бар для включений подтипа В₂, а для включений подтипа В₃ 460-550 бар.

Включения типа G сложены газовой фазой – более 80% от объема вакуоли. Температуры плавления льда для нескольких включений были измерены (около -2.5°C и менее) и соответствуют < 4 мас.% NaCl экв. Измеренные температуры гомогенизации G включений – 431-466°C, рассчитанные давления находятся в интервале 100-210 бар.

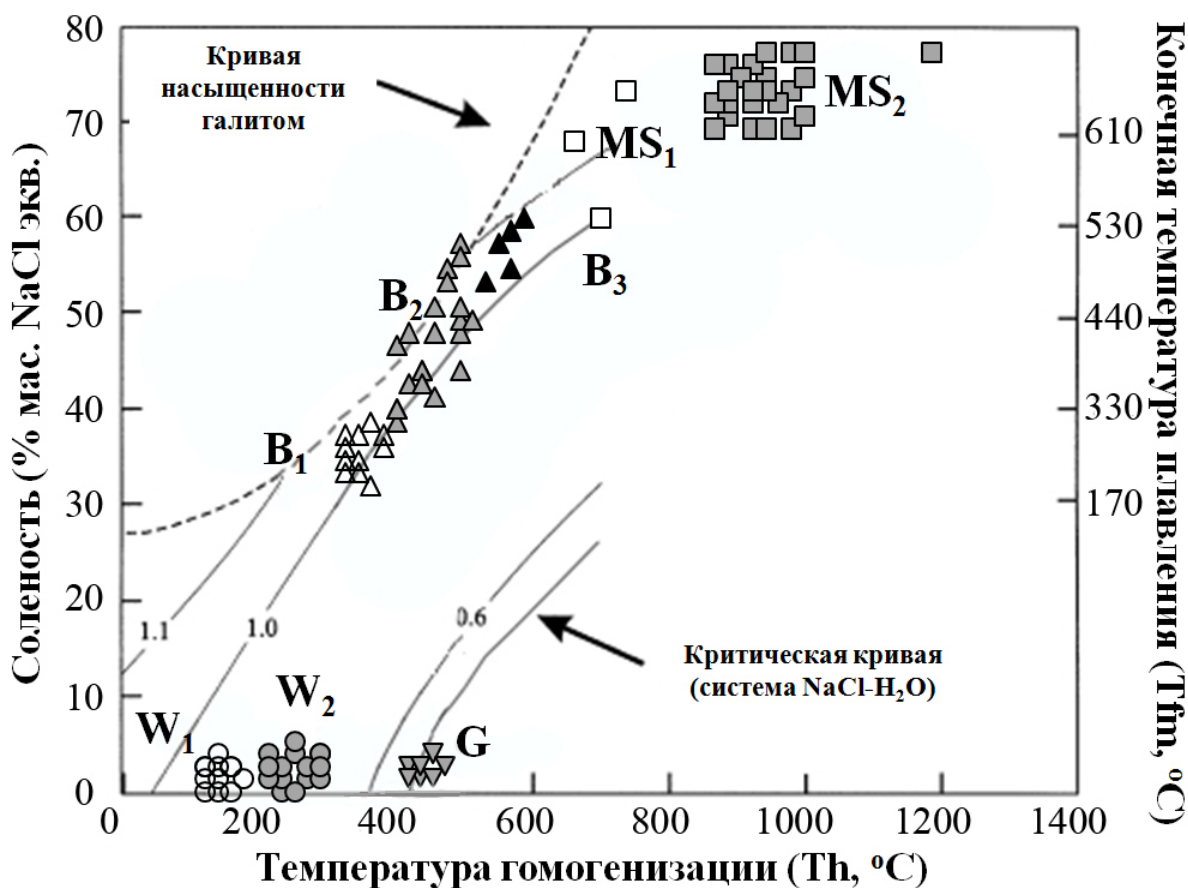


Рис. 2. Эволюция температуры гомогенизации включений и концентрации солей.

Но так как при нагревании даже до температур около 1100°C в большинстве подобных включений декапитация не наблюдалась, предполагается существование и более высокотемпературной разновидности преимущественно газовых включений.

Включения типа *W* всегда гомогенизируются в жидкость при более низкой температуре, чем включения типа *B*, от 220 до 305°C для включений подтипа *W*₂ и между 100 и 196°C для включений подтипа *W*₁. Концентрация солей во включениях подтипа *W*₂ не превышает 6 мас.% NaCl экв. и 4 мас.% NaCl экв. для подтипа *W*₁. Рассчитанные давления для включений подтипа *W*₂ находятся в интервале 50 - 180 бар, а для включений подтипа *W*₁ не превышают 50 бар.

Методами рамановской спектроскопии во включениях рассолов установлено присутствие кристаллогидратных соединений железа, для которых

характерно переменное количество молекулярно-связанной воды (рис. 3). В процессе первичного нагрева кристаллогидраты растворяются, а при быстром охлаждении кристаллизуются, но с меньшим содержанием воды. В изохорических условиях увеличение количества флюида и уменьшение объема кристаллических фаз приводит к значительному повышению температуры гомогенизации включений, причем разница в значениях температур гомогенизации во включениях, содержащих кристаллогидраты, может достигать 100-250°C [3].

На рис. 4 для включений подтипа MS₂ приняты температуры гомогенизации около 700-850°C с учетом поправки принятой из-за содержащихся кристаллогидратов. При таких условиях давления находятся в интервале 600-750 бар [14], что соответствует глубине около 2.5 км [20, 30].

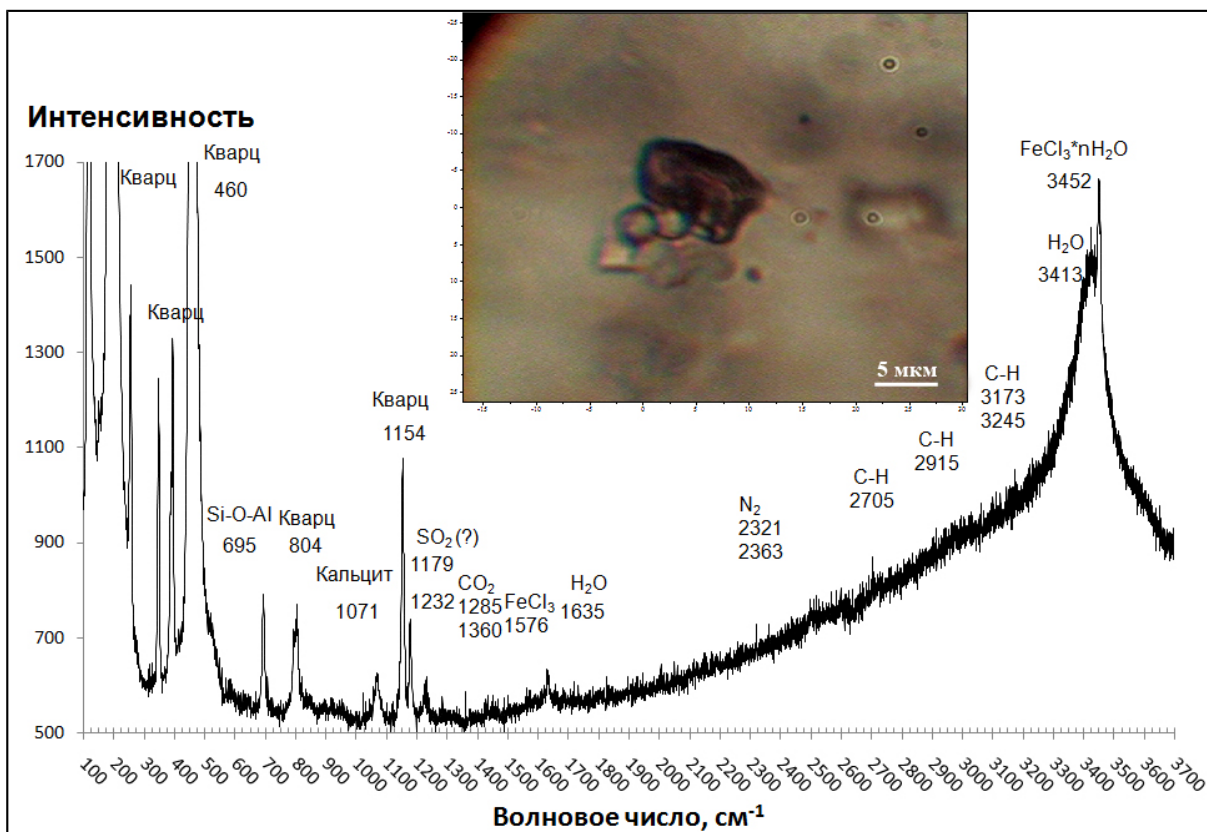


Рис. 3. Рамановский спектр содержащего кристаллогидратные соединения железа включения типа MS₂.

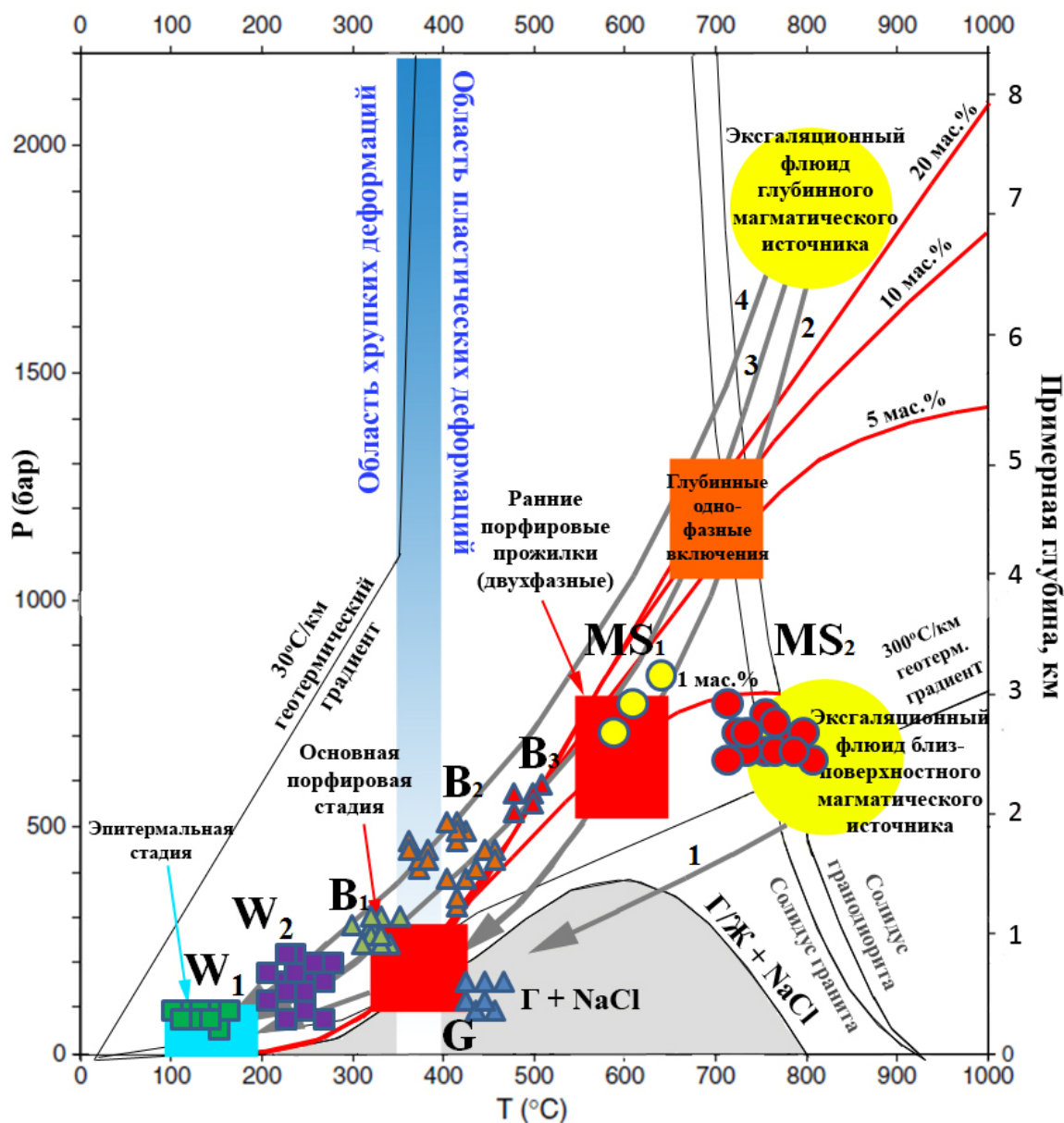


Рис. 4. Флюидные включения Малмыжского месторождения на фазовой диаграмме $H_2O-NaCl$ с давлениями (глубинами) и температурами (по Ричардсу [30]; мас.% $NaCl_{эkv}$. [14]; геотермальные градиенты [7, 18, 29]). Пути движения флюида: 1. дегазация близповерхностного высокотемпературного магматического источника ($G+NaCl$); 2. типичные для порфировой минерализации; 3. сокращенный с незначительными конденсациями рассола [21]; 4. глубокий сокращенный путь [20].

При дегазации близповерхностного магматического источника отделяется флюид в условиях давлений и температур, характерных для формирования несмешиваемых преимущественно газовых включений и включений с очень высокими концентрациями солей [30], такими как подтип MS_2 (рис. 4, путь 1).

Большинство порфировых месторождений и их глубинных магматических источников заложены на глубине от 1 до 6 км [35]. Дегазация магмы на таких глубинах, как правило, формирует несмешивающиеся рассолы и отдельную газовую составляющую [22, 27]. Тем не менее, вероятно, источник основной части флюида и металлов порфировых месторождений – магмы батолитовых комплексов больших объемов в средних и верхних частях коры на более глубоких уровнях [11, 12, 13, 23, 30, 36]. В таких условиях на глубинах около 5-10 км флюиды отделяются в сверхкритическом состоянии и поднимаются в близповерхностные зоны – купольные структуры над гипотетическим основным батолитом (рис. 4).

Хейнрич предложили краткий путь пересечения линии на диаграмме фазового равновесия, отделяющей область устойчивого состояния твердого раствора от области его распада (сольвус) при высоких давлениях и температурах (рис. 4, путь 3). Это один из важнейших путей, позволяющий отделить хлорид в комплекс компонентов (таких как железо) от газов в рассоле конденсата, оставив бисульфидные лиганды с медью и золотом в остаточной газовой фазе и транспортировать их в близповерхностные уровни. Хейнрич с соавторами [21] утверждают, что этап конденсации железа в рассолах является существенным для удержания золота и меди в газовой фазе, так как иначе железо будет иметь тенденцию выпадать в осадок в виде Cu-Fe-сульфидных минералов, вызывая совместное осаждение с золотом на большей глубине. Такой механизм, вероятно, описывает формирование золото-меднопорфировых месторождений (рис. 4, путь 3).

Вероятно, включения подтипа MS₁ соответствуют флюиду глубинного магматического источника и попадают в поле, характерное для ранних порфировых прожилков [30]. Включения типа В и G, сингенетичные основной стадии формирования руд месторождения, а также поздние разбавленные включения типа W, вероятно, представляют собой смешение флюида дегазирующего глубинного и близповерхностного магматических источников.

ВЫВОДЫ

Результаты исследования показывают что сингенетичные основной стадии формирования руд включения типов В и G с температурами гомогенизации от 331 до 580°C, вероятно, представляют собой смешение флюида дегазирующего глубинного и близповерхностного магматических источников. Тогда как начальные этапы формирования месторождения происходили при более высоких температурах (до 850°C) за счет дегазации близповерхностного магматического источника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Жариков В.А.* Экспериментальное изучение процессов образования горных пород и руд // Вестник АН СССР.1988. №8. С.29-41.
2. *Коваль П.В., Прокофьев В.Ю.* Т-Р условия кристаллизации гранитоидов Монголо-Охотской зоны по данным исследования расплавных и флюидных включений // Петрология. 1998. Т.6. №5. С.497-511.
3. *Перетяжко И.С., Савина Е.А.* Флюидно-магматические процессы при образовании пород массива онгонитов Ары-булак (Восточное Забайкалье) // Геология и геофизика. 2010. Т.51. №10. С.1423-1442.
4. *Ханчук А.И., Голозубов В.В., Симаненко В.П., Малиновский А.И.* Гигантские складки с крутопадающими шарнирами в структурах орогенных поясов (на примере Сихотэ-Алиня) // Доклады Академии наук, 2004, Т.394, №6, С.791-795.
5. *Читалин А.Ф., Ефимов А.А., Воскресенский К.И. и др.* Малмыж - новая крупная золотомедно-порфировая система мирового класса на Сихотэ-Алине // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2013. №3. С.65-69.
6. *Barbier E.* Geothermal energy technology and current status: an overview // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2002. V.6. №1. P.3-65.
7. *Bodnar R.J.* Use of fluid inclusions in mineral exploration: comparison of observed features with theoretical and experimental data on ore genesis // Geological Survey Abstracts. 1981. V.13. №5. 412 p.
8. *Bodnar R.J., Bean R.E.* Temporal and spatial variations in hydrothermal fluid characteristics during vein filling in preore cover overlying deeply buried Porphyry Copper-type mineralization at Red Mountain Arizona // Economic Geology. 1980. V.75. №6. P.876-893.
9. *Campos E., Touret J.L.R., Nikogosian I. et al.* Overheated, Cu-bearing magmas in the Zaldívar porphyry-Cu deposit, Northern Chile. Geodynamic consequences // Tectonophysics. 2002. V.345. №1. P.229-251.

10. *Candela P.A., Piccoli P.M.* Model ore-metal partitioning from melts into vapor and vapor /brine mixtures // *Magmas, Fluids, and Ore Deposits*. 1995. V.23. P.101-127.
11. *Cloos M.* Bubbling magma chambers, cupolas, and porphyry copper deposits // *International Geology Review*. 2001. V.43. №4. P.285–311.
12. *Damon P.E.* Batholith-volcano coupling in the metallogeny of porphyry copper deposits // *Geology and metallogeny of copper deposits*. Springer Berlin Heidelberg. 1986. P.216-234.
13. *Driesner T., Heinrich C.A.* The System H₂O-NaCl. I. Correlations for molar volume, enthalpy, and isobaric heat capacity from 0 to 1000 degrees C, 1 to 5000 bar, and 0 to 1 X-NaCl // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2007. V.71. № 20. P.4902-4919.
14. *Eastoe C.J.* A fluid inclusion study of the Panguna porphyry copper deposit, Bougainville, Papua New Guinea // *Economic Geology*. 1978. V.73. №5. P.721-748.
15. *Eastoe C.J.* The physics and chemistry of the hydrothermal system in the Panguna porphyry copper deposit, Bougainville, Papua New Guinea // *Economic Geology*. 1982. V.77. №1. P.127-153.
16. *Eastoe C.J., Eadington P.J.* High-temperature fluid inclusions and the role of the biotite granodiorite in mineralization at the Panguna porphyry copper deposit, Bougainville, Papua New Guinea // *Economic Geology*. 1986. V.81. №2. P.478-483.
17. *Goff S.J., Goff F., Janik C.J.* Tecuamburro Volcano, Guatemala: exploration geothermal gradient drilling and results // *Geothermics*. 1992. V. 21. №.4. P.483-502.
18. *Gustafson L.B.* Porphyry copper deposits and calcalkaline volcanism // *The Earth: Its origin, structure and evolution*. Edited by Mc Elhinny M.W. Academic Press. 597 p. 1979. P.427-468.
19. *Hedenquist J.W., Richards J.P.* The influence of geochemical techniques on the development of genetic models for porphyry copper deposits // *Reviews in Economic Geology*. 1998. V.10. P.235-256.
20. *Heinrich C.A., Driesner T., Steffánson A., Seward T.M.* Magmatic vapor contraction and the transport of gold from the porphyry environment to epithermal ore deposits // *Geology*. 2004. V.32. №.9. P.761-764.
21. *Henley R.W., McNabb A.* Magmatic vapor plumes and ground-water interaction in porphyry copper emplacement // *Economic Geology*. 1978. V.73. №1. P.1-20.
22. *John D.A.* Evolution of hydrothermal fluids in the Alta Stock, Central Wasatch Mountains, Utah. U.S. Geological Survey, Bulletin. 1991. №.1977. 51 pp.
23. *Kamenetsky V.S., Wolfe R.C., Eggins S.M. et al.* Volatile exsolution at the Dinkidi Cu-Au porphyry deposit, Philippines: A melt-inclusion record of the initial ore-forming process // *Geology*. 1999. V.27. №8. P.691-694.

24. *Li J.X., Li G.M., Qin K.Z. et al.* High-temperature magmatic fluid exsolved from magma at the Duobuza porphyry copper-gold deposit, Northern Tibet // *Geofluids*. 2011. V.11. №2. P.134-143.
25. *Moore W.J., Nash J.T.* Alteration and fluid inclusion studies of the Porphyry Copper ore body at Bingham, Utah // *Economic Geology*. 1974. V.69. №5. P.631-645.
26. *Nash J.T., Cunningham C.G.* Fluid inclusions studies of the porphyry copper deposit at Bagdad, Arizona // *U.S. Geological Survey Journal of Research*. 1974. V.2. P.31-34.
27. *Nash J.T., Theodore T.G.* Ore fluids in the porphyry copper deposit at Copper Canyon, Nevada // *Economic Geology*. 1971. V.66. №3. P.385-399.
28. *Noorollahi Y., Itoi R., Fujii H., Tanaka T.* GIS model for geothermal resource exploration in Akita and Iwate prefectures, northern Japan. *Computers and Geosciences*. V.33. №8. P.1008–1021.
29. *Richards J.P.* Magmatic to hydrothermal metal fluxes in convergent and collided margins // *Ore Geology Reviews*. 2011. V.40. №1. P.1-26.
30. *Roedder E.* Fluid inclusion studies on the Porphyry-type ore deposits at Bingham, Utah, Butte, Montana and Climax, Colorado // *Economic Geology*. 1971. V.66. №1. P.98-118.
31. *Roedder E.* Fluid inclusions // *Reviews in Mineralogy*. Washington, DC: Mineralogical Society of America. Edited by Ribbe P.H. 644 pp. 1984. V.12. P.79-108.
32. *Roedder E.* Fluid inclusion evidence for immiscibility in magmatic differentiation // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1992. V.56. №1. P.5-20.
33. *Roedder E., Coombs D.S.* Immiscibility in granitic melts, indicated by fluid inclusions in ejected granitic blocks from Ascension Island // *Journal of Petrology*. 1967. V.8. №3. P.417-451.
34. *Seedorff E., Dilles J.H., Proffett Jr. J.M., Einaudi M.T., Zurcher L., Stavast W.J.A., Johnson D.A., Barton M.D.* Porphyry deposits: characteristics and origin of hypogene features. // *Economic Geology 100th Anniversary Volume*. 2005. V.29. P.251-298.
35. *Shinohara H., Hedenquist J.W.* Constraints on magma degassing beneath the Far Southeast porphyry Cu-Au deposit, Philippines // *Journal of Petrology*. 1997. V.38. №12. P.1741-1752.
36. *Sillitoe R.H.* Porphyry copper systems // *Economic Geology*. 2010. T.105. №1. P.3-41.
37. *Sillitoe R.H.* Copper Provinces // *SEG Special Publication 16*; Hedenquist, J.W., Harris, M., Camus, F. (Eds.). 2012. P.1-18.
38. *Sterner S.M., Hall D.L., Bodnar R.J.* Synthetic fluid inclusions: V. Solubility relations in the system NaCl-KCl-H₂O under vapor-saturated conditions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1988. V.52. №5. P.989-1005.

39. *Thomas R., Webster J.D., Heinrich W.* Melt inclusions in pegmatite quartz: Complete miscibility between silicate melts and hydrous fluids at low pressure // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 2000. V.139. №4. P.394-401.
40. *Ulrich T., Gunther D., Heinrich C.A.* The evolution of a porphyry Cu-Au deposit, based on LA-ICP-MS analysis of fluid inclusions: Bajo de la Alumbrera, Argentina. *Economic Geology*. 2002. V.97. №8. P.1888-1920.

**MALMYZHSKOE AU-CU-PORPHYRY DEPOSIT
(KHABAROVSKY KRAI): THE GENESIS OF THE CENTRAL
DISTRICT BY THE FLUID INCLUSIONS STUDY.**

Bukhanova D.S.

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

Paper presents the results of Raman spectroscopy and microthermometric fluid inclusions study of quartz from Malmyzhskoe gold-copper porphyry deposit Central district, which located in the north-eastern part of the Middle Amur depression in 80 km from Komsomolsk-on-Amur city. The results show that the fluid inclusions syngenetic to the main stage of ores formation probably represent a mixture of deep and shallow magmatic fluid exsolution.

Keywords: Malmyzhskoe deposit, fluid inclusions, porphyry deposit genesis.

УДК 55:001.32;55:005.745

КРЫМСКИЙ ПОЛИГОН ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА
МГУ ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА
ЛЕТО 2015 ГОДА

Зобенько О.А.^{1,2}, Кудаева Ш.С.^{1,2}, Плутахина Е.Ю.^{1,2}

¹*Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга*

²*Институт Вулканологии и Сейсмологии ДВО РАН*

г. Петропавловск-Камчатский

Научный руководитель к.г.-м.н. Округин В.М.

Сообщение посвящено учебной геологической практике, проводимой на Крымской научно-учебной базе геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, в которой летом 2015 года приняли участие студенты 3 курса кафедры географии, геологии и геофизики КамГУ им. Витуса Беринга. База расположена в уникальном среднегорном районе Крымского полуострова. На сравнительно небольшой площади полигона сосредоточено большое количество разнообразных геологических объектов, отличающихся хорошей обнаженностью и доступностью. Студенты имеют возможность изучить практически все генетические типы горных пород при всем разнообразии условий их залегания, обилии фауны, литолого-фациальной расчлененности стратиграфического разреза. В процессе прохождения геологической учебной практики студенты приобрели навыки: проведения геологической съемки масштаба 1:25000, осуществляемой методом полевых геологических маршрутов с предварительным дешифрированием аэрокосмических снимков, последующим отбором необходимого каменного материала; камеральной обработки полевых данных; сбора, изучения и систематизации литературных сведений, на основании которых составлялся геологический отчет с необходимыми картографическими материалами.

Ключевые слова: геологическая практика, полигон МГУ, Крым

ВВЕДЕНИЕ

С 8 июня по 20 июля 2015 года на Крымской научно-учебном полигоне им. А.А. Богданова геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (рис. 1) проводилась учебная геологическая практика, участие в которой приняли мы - трое студентов кафедры географии, геологии и геофизики КамГУ им. В. Беринга. Практика проходила в составе группы студентов второго курса кафедры геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых геологического факультета МГУ. Одновременно на базе осваивали навыки полевых методов геологических

исследований студенты I и II курсов семнадцати кафедр геологического факультета, общей численностью около 400 человек. Кроме МГУ на полигоне ежегодно проводят учебные практики до восьми российских и иностранных вузов [5].



Рис. 1. Крымский научно-учебный полигон им. А.А. Богданова геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О РАЙОНЕ ПРАКТИКИ И ПОЛИГОНЕ

Полуостров Крым находится в северной части Черного моря, северо-восточная его часть омывается Азовским морем. Площадь Крыма 27 тыс. кв. км, население 2 294 888 человек, административным центром служит г. Симферополь.

Территория Крыма расположена на территории сочленения центральной части Скифской плиты с зоной Альпийской геосинклинальной складчатой области. В её геологическом строении выделяется несколько крупных районов. Северная часть полуострова приурочена к Причерноморской платформенной впадине. (Сивашско-Каркинитский прогиб). К югу от нее находится складчатый фундамент Скифской плиты (Крымско-Азовская центральная часть плиты эпи-

герцинского возраста), занимающий центральную часть полуострова. Южную часть Крыма занимает Горно-Крымская складчатая область, горы которой протягиваются тремя параллельными разновысотными грядами.

Самая высокая Главная или Первая гряда, протягивающаяся с запада от Балаклавы до востока у Феодосии со сменой высот от 300 до 1500 м. Центральная её часть представлена рядом высоких платообразных нагорий, так называемых Крымских Яйл: Ай-Петринской (1234 м), Ялтинской (1529,5 м), Чатырдагской (1525 м) и др. Наивысшая точка гряды - гора Роман-Кош 1545 м (рис. 2а).

Вторая гряда состоит из ряда менее высоких (до 650 м) плосковершинных гор, так называемых, квест. У них северный склон пологий, совпадающий с падением стойких бронирующих пластов, а южный - более крутой, обрывистый срезает пласты поперек простирания [1]. Это сочетание почти вертикальных выходов на поверхность моноклиналиных полого падающих слоёв горных пород относительно высокой твёрдости денудации (рис. 2б).

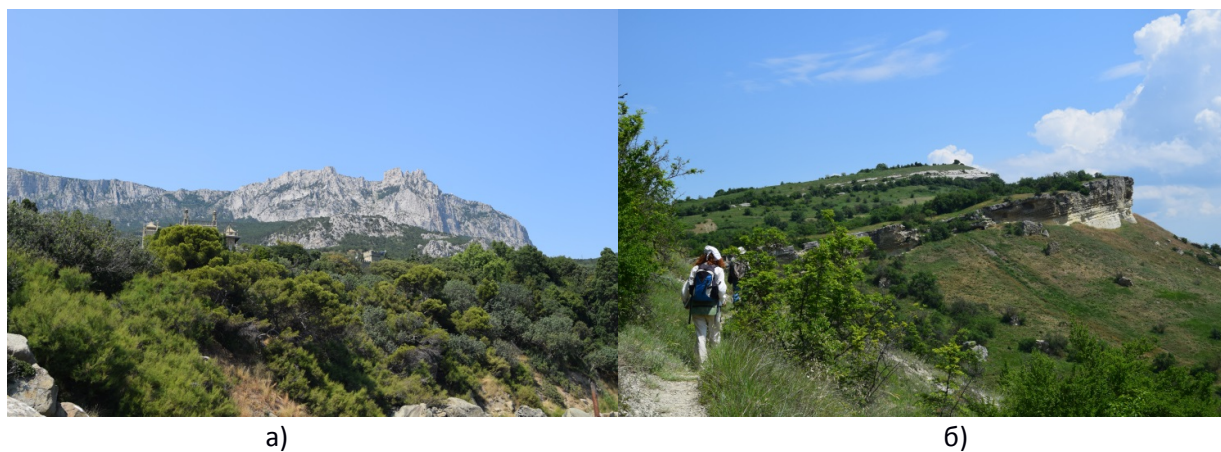


Рис. 2. а – Первая (Главная) гряда Крымских гор, г. Ай-Петри (1234 м); б – Вторая гряда Крымских гор, квестовый рельеф, г. Бакла (470 м).

Третья гряда или Внешняя самая низкая протягивается от мыса Фиолент, достигает максимальных высот 350 м в районе Симферополя и затем к востоку нивелируется.

Территория практики расположена в междуречье Качи и Бодрака. В административном отношении полигон относится к Бахчисарайскому району. В

нескольких километрах от него находятся такие населенные пункты, как селения Прохладное, Скалистое, Трудолюбовка и пос. Научный со своей знаменитой обсерваторией.

В мае 1954 года вышло постановление Совета Министров СССР о строительстве стационарной базы лагерного типа для студентов МГУ в долине р. Бодрак. На следующий год началось строительство на северном склоне г. Сель-Бухра (668,2 м) и в июне 1957 года база была торжественно открыта. С 58-го года началось проведение практик и параллельно с этим шло благоустройство полигона (в 60-е годы склон Сель-Бухры был почти голым, все, кто приезжал на практику, участвовали в ее озеленении, рис. 3 б,в). В 1974 г. по случаю двадцатилетнего юбилея полигону присвоено имя главного инициатора ее создания – профессора Алексея Алексеевича Богданова. Палатки в студенческом городке постепенно были заменены на шиферные домики [4]. А в 2000-х годах часть домиков реконструировали за счет средств спонсоров и различных фондов (рис. 3б).



Рис. 3. а – вид на северный склон г. Сель-Бухра и полигон (2015 г.); б – ряды реконструированных студенческих домиков (2015 г.); в – вид северный склон г. Сель-Бухра и палаточный студенческий городок (1960-е гг.)

Полигон оснащен всем необходимым для проведения практик – прекрасными условиями для проживания преподавателей, студентов и персонала, име-

ется оборудованная буровыми установками площадка, богатый библиотекой, аэрофотоснимками, образцами ископаемой фауны музейный корпус. Всё это в совокупности с апробированными в течение многих лет программами обучения и высококвалифицированным преподавательским составом позволяет на достойном уровне проводить подготовку будущих специалистов.

УЧЕБНАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПРАКТИКА

Цель учебной геологической практики – это приобретение навыков геологического картирования территории полигона М 1:25000, освоение принципов дешифрирования аэрофотоснимков, отбор необходимого каменного материала и образцов ископаемой фауны и как результат составление геологического отчета и геологической графики.

Программа практики базируется на материалах тех предметов, знания по которым, студенты получили на лекционных занятиях в процессе обучения, а именно - знания по общей геологии, структурной геологии и геологическому картированию, исторической геологии, палеонтологии, минералогии, геодезии и основам космосъемки. Особое внимание уделяется изучению литературных данных по геологии непосредственно района практики («Очерки геологии Крыма», «Геология Крыма», «Фауна меловых отложений горного Крыма» и другие).

Геологическую учебную практику в летний период на полигоне проходят студенты I и II курсов семнадцати кафедр геологического факультета МГУ.

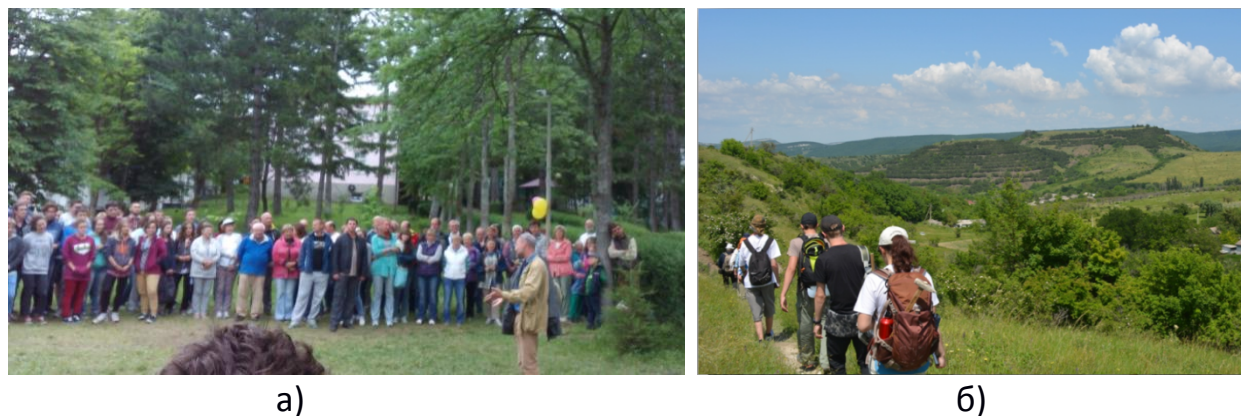


Рис. 4. а – утренняя линейка студентов II курса перед маршрутом; б – начало маршрута (на заднем плане г. Шелудивая и г. Длинная).

Студенты каждой из кафедр распределены на маршрутные бригады по пять человек в каждой.

В ходе прохождения практики были пройдены как общие маршруты с преподавателем, так и самостоятельные маршруты группами по 3-4 человека. Каждый студент имел полевой дневник и личную маршрутную карту – топографическую основу М 1:25000, на основе которой по мере прохождения маршрутов и изучения геологического строения района составлялась геологическая карта. Каждая бригада перед маршрутом вооружалась лопатами, измерительными рулетками, геологическими молотками, аэрофотоснимками, горными компасами. Некоторые группы пользовались GPS-навигаторами для более точного определения координат точек наблюдения.

В ходе маршрутов студенты изучали и описывали геологические обнажения, устанавливали контакты между породами разных свит, изучали распространение и взаимоотношение разновозрастных и разного генезиса образований, проводили необходимый отбор литологическообразованных и фаунистических образцов (рис. 5).



Рис. 5. а – изучение и описание обнажения песчаников мелового возраста; б – работа в маршруте с картой и полевым дневником.

Наиболее древние породы на территории полигона практики представлены толщей терригенного флиша, который сложен песчаниками и аргиллитами триасово-юрского возраста (верхнетаврическая свита). Более молодые отложения

мела, палеогена, неогена образованы различными осадочными породами (песчаниками, мергелями, известняками и глинами). Завершается разрез породами четвертичного возраста. На территории практики наблюдаются проявления древнего – среднеюрского магматизма в виде небольших интрузивных тел, туфов и лавовых потоков (бодракский субвулканический комплекс, первомайский интрузивный комплекс) [3,4].

Во время камеральных работ для студентов проводились лекции по геологии, стратиграфии и тектонике; обсуждались пройденные маршруты; подводились их итоги; заполнялись журналы маршрутов, образцов, точек наблюдений. По мере изучения геологии района практики составлялись главы итогового отчета и геологическая графика. После завершения всех общих учебных маршрутов с преподавателем начались самостоятельные маршруты студентов группами по 3-4 человека. Каждый вечер преподаватель определял задание и маршрут для каждой группы. На следующий день после маршрута в камеральный этап работ проводилась сдача материалов по его результатам (рис. 6).



Рис. 6. Камеральные работы: а – составление геологической графики; б – работа преподавателя со студентами.

Контроль знаний студентов осуществлялся в виде различных контрольных, тестов и самостоятельных работ. Проводились промежуточные коллоквиумы, в ходе которых проверялась индивидуальная работа каждого студента (ведение личной полевой документации – дневник, карта), так и бригад в целом (оцени-

валось качество ведения бригадной документации, составление бригадной геологической карты).

К концу практики каждая бригада должна была подготовить и защитить геологический отчет в котором, охарактеризованы стратиграфия, тектоника, геоморфология С-З части Качинского поднятия, описаны интрузивные образования и полезные ископаемые этого района, составлены геологическая, тектоническая, геоморфологическая карты, карта полезных ископаемых и карта фактического материала. Защита отчета каждой бригады оценивалась дифференцированным зачетом. Все студенты группы, включая нашу бригаду, получили положительные оценки.

УЧЕБНАЯ БУРОВАЯ ПРАКТИКА

В программу учебной практики включен также краткий курс буровой практики, программа которой базируется на знаниях, полученных студентами в курсе лекций «Геологоразведочные работы». Эта практика обеспечивается преподавателями кафедры геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых. Практика начинается с лекционной части по основным способам бурения, типам и моделям буровых установок и буровых станков. В обязательном порядке посещение небольшого «музея» буровых станков. Практическая часть – это применение ручного, колонкового и шнекового способов бурения.

Ручное бурение осуществлялось с помощью стандартной треножной установки. В качестве породоразрушающего инструмента применялся спиралевидный бур (рис. 7а). Колонковое бурение проводилось буровой установкой ЗИФ 650А, предназначенной для бурения вертикальных и наклонных геологоразведочных скважин на твердые полезные ископаемые (рис. 7б). Шнековое бурение выполнялось установкой поискового бурения, позволяющей проходку скважин до глубины 25 м (УПБ-25). Она состоит из рамы с направляющими стойками, подвижного вращателя, двигателя «Дружба-4», лебедки и шнека (рис. 7в). УПБ-

25 предназначена для бурения скважин при поисково-картировочных работах, геологической съемке, инженерно-геологических изысканиях и т. д.



а)



б)



в)

Рис. 7. Учебная буровая практика: а – ручное бурение; б – колонковое бурение (буровая установка ЗИФ-650А); в – шнековое бурение (УПБ - 25).

КАРТИРОВАНИЕ КАРЬЕРОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В программу полевого этапа учебной практики включено картирование карьеров месторождений нерудных полезных ископаемых. Студенты смогли посетить отработанный карьер киловых глин в районе с. Кудрино, ознакомились с геологическим строением его окрестностей. Были взяты представительные образцы этих глин для проведения минералогических исследований и некоторых натуральных экспериментов. Несколько маршрутов было по территории находящегося в эксплуатации Первомайского карьера, расположенного у села Трудолюбовка. На карьере ведется добыча диорита, из которого получают щебень, столь необходимый для строительства запущенных дорог Крыма.

В районе села Скалистое находится большой карьер по добыче нуммулитовых известняков, которые нашли широкое применение в стройиндустрии. Карьерное хозяйство имеет многолетнюю историю и объединяет три участка. В настоящее время работы ведутся только на участке Скалистое-2. Участок Скалистое-1 отработан. А Скалистое-3 года заполнен водой. В 1992 году при интенсивной добыче белого камня в отсутствие должного геологического сопровождения был подсечен водоносный горизонт, воды которого превратили карьер в экзотический бассейн (рис. 8).

Третий объект практики - эксплуатируемый карьер Мраморный, который расположен в пригороде республиканского центра г. Симферополь. На этом карьере ведется добыча мраморизованных известняков для производства декоративного камня, песка, а также бутового камня и отсева.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Цель учебной практики – не только получить определенные навыки и знания, но и конечно собрать и привезти представительную коллекцию образцов для работы.

Во время учебной практики на одном из карьеров (Скалистое-2, рис. 8а) был отобран представительный каменный материал (рис. 8 б,в) – пирит из

осадочных отложений (нуммулитовых известняков) эоценового возраста для дальнейших исследований его типоморфных особенностей (габитус кристаллов; химический состав; содержание изоморфных элементов-примесей; минеральные ассоциации и др.).

В районе мыса Фиолент недалеко от г. Балаклава (юго-западная часть п-ова Крым) известно эпитермальное золото-полиметаллическое рудопроявление (рис. 9). Здесь в верхнемеловых лавобрекчиях андезибазальтов рассредоточены кварцевые жилы и штокверки. Для дальнейшего изучения была отобрана сульфидная сыпучка из кварц-гидрослюдистых метасоматитов по лавобрекчиям и жильный кварц.



а)



б)



в)

Рис. 8. а – карьер по добыче нуммулитовых известняков Скалистое; б, в– образцы пирита.

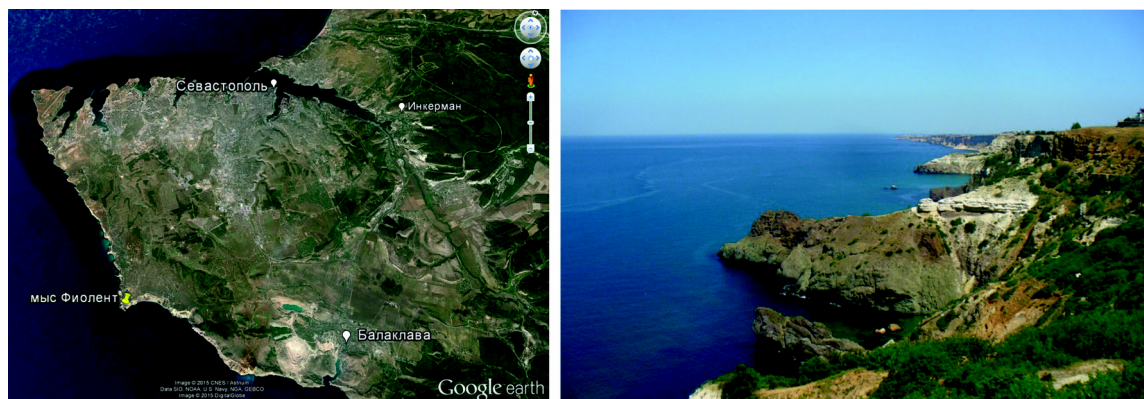


Рис. 9. Местоположение мыса Фиолент (южное побережье Крыма).

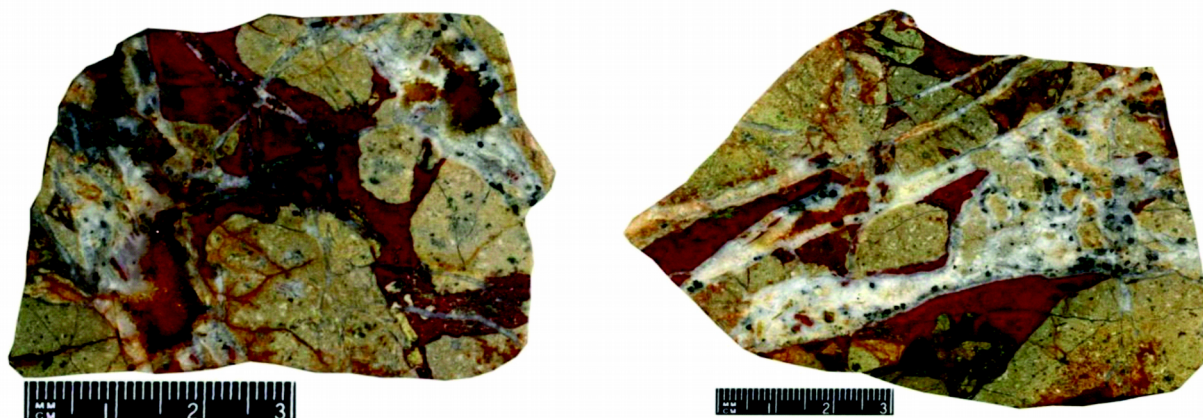


Рис. 10. Брекчиевая структура метасоматитов рудопроявления Фиолент.

Минеральный состав и структурно-текстурные особенности руд проявления Фиолент схожи с рудами, обнажающимися в левом борту р. Быстрая в районе Вилучинского рудопроявления (Южная Камчатка). Поэтому пирит рудопроявления Фиолент представляет интерес в качестве объекта исследования для изучения его типоморфных особенностей и сравнения с пиритом месторождений и рудопроявлений Камчатки.

ВЫВОДЫ

Студенты в рамках проведения учебной геологической практики обрели основы геологического картирования М 1:25 000. Они научились составлять геологические отчеты, карты района практики и пояснительные записки к ним. Приобретены знания по дешифрированию аэрофотоснимков, получены знания

по основам бурения, организации и проведения эксплуатационных работ открытым способом на месторождениях нерудных полезных ископаемых.

Самое главное – мы студенты кафедры географии, геологии и геофизики КамГУ им. Витуса Беринга смогли познакомиться с иной - совершенно другой геологией, формами рельефа, разнообразием ископаемой фауны и геологических процессов, непривычными для Камчатского края горными породами. Нам удалось познакомиться со сверстниками, учебно-педагогической работой больших коллективов, собрать представительные коллекции, увидеть Мир другими глазами, приобрели бесценные навыки! У нас есть каменный материал для проведения сравнительных минералого-геохимических исследований. Трудно переоценить и познавательное значение этой практики, организаторы которой делал все возможное для знакомства с удивительной историей, культурным достоянием и современным экономическим положением Крыма - южной жемчужины нашей России.

Авторы выражают огромную благодарность ректору МГУ им. М.В. Ломоносова В.А. академику Садовничему, декану геологического факультета академику Д.Ю. Пушаровскому, зав. кафедрой геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых В.И. Старостину, начальнику Крымского полигона С.В. Филимонову, научному руководителю практик А.М. Никишину, преподавателю маршрутной группы Тевелеву А.В.

Мы искренне признательны ректору КамГУ им. В. Беринга проф. Н.Г. Ильинской, декану физико-математического факультета Р.И. Паровику, сотрудникам научно-организационного отдела за предоставленную возможность участия в такой великолепной геологической практике за семь тысяч километров от родного университета.

Особая благодарность научному руководителю В.М. Округину – инициатору проведения практики, осуществлявшему ее техническое обеспечение.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Большая советская энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия. 1969–1978.
2. Геология Крыма / Ученые записки кафедры исторической геологии. Вып. 2. (ред. В.В. Аркадьев). СПб: НИИЗК СПбГУ, 2002. 168 с.
3. Очерки геологии Крыма. / Труды Крымского геологического научно-учебного центра им. проф. А.А. Богданова. Вып. 1. М.: Изд-во геол. фак-та МГУ, 1997. 265 с.
4. Программа реконструкции и развития крымской научно-учебной базы им. профессора А.А.Богданова "Крымской базе - 50", Москва, 2003.
5. <http://www.geol.msu.ru/>

THE CRIMEAN POLYGON GEOLOGICAL FACULTY OF
MSU NAMED AFTER M.V. LOMONOSOV
SUMMER 2015

Zoben'ko O.A.^{1,2}, Kudaeva Sh.S.^{1,2}, Plutahina E.Yu.^{1,2}

¹*Vitus Bering Kamchatka State University*

²*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS*

The report is dedicated to geological training practice carried out at the Crimean scientific and educational base of the geological department of Lomonosov MSU, which was attended by 3rd year students of the department of Geography, Geology and Geophysics Vitus Bering KamGU. The base is located in a unique mid-mountain area of the Crimean Peninsula. On a relatively small area of the polygon contains a large number of different geological objects, easily accessible for study. Students have the opportunity to explore almost all genetic types of rocks at the diversity of the conditions of their occurrence, abundance of fauna, lithofacies dissection stratigraphic section. In the course of geological training practice, students have acquired skills geological charting of scale 1:25000, geological survey carried out by the method of field geological routes, with preliminary decoding of aerospace images, geological survey, followed by selection of the required stone material; office processing of field data; collection, study and systematization of literature data on the basis of which was prepared the geological report with the necessary cartographic materials.

Key words: geological practice, the polygon of MSU, Crimea

УДК 551.2.03: 551.24

СВЯЗЬ ТЕКТОНИЧЕСКОГО ПОЛОЖЕНИЯ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОРОД ЧЕТВЕРТИЧНОГО ВОЗРАСТА КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ

Бергаль-Кувикас О.В.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН

Научный руководитель: д. г.-м. н., проф. Г.П. Авдейко

С целью изучения пространственного проявления вулканизма в пределах Курильской островной дуги (КОД) был проведен детальный подсчет объемов всех наземных четвертичных и подводных вулканов. Так же для выявления особенностей генезиса магм был выполнен анализ геохимических показателей вулканитов вдоль и вкрест дуги. Сопоставление полученных результатов с опубликованными данными геофизических и геохимических исследований позволили выделить факторы, влияющие на особенности магмогенезиса в пределах дуги.

Ключевые слова: Курильская островная дуга, магматизм, субдукционное окно

ВВЕДЕНИЕ

Курильская островная дуга (КОД) является одним из звеньев Курило-Камчатской островодужной системы и входит в Тихоокеанское Огненное Кольцо (рис. 1). Несмотря на многочисленные исследования данного региона, особенности магмогенезиса и пространственного проявления вулканизма данной дуги остаются ещё мало изученными. Цель настоящей работы заключается в систематизации всех имеющихся геохимических результатов исследований и данных по пространственно-тектоническим характеристикам разных геохимических типов вулканитов. Важно отметить, что полученные результаты исследований будут важны для дальнейшего понимания природы и особенностей проявления магматизма в активной континентальной окраине.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ литературных источников [4, 8, 9] позволил изучить пространственно-временную активность вулканических центров в изучаемом районе. Данные по объемам подводных вулканов были приведены на сайте

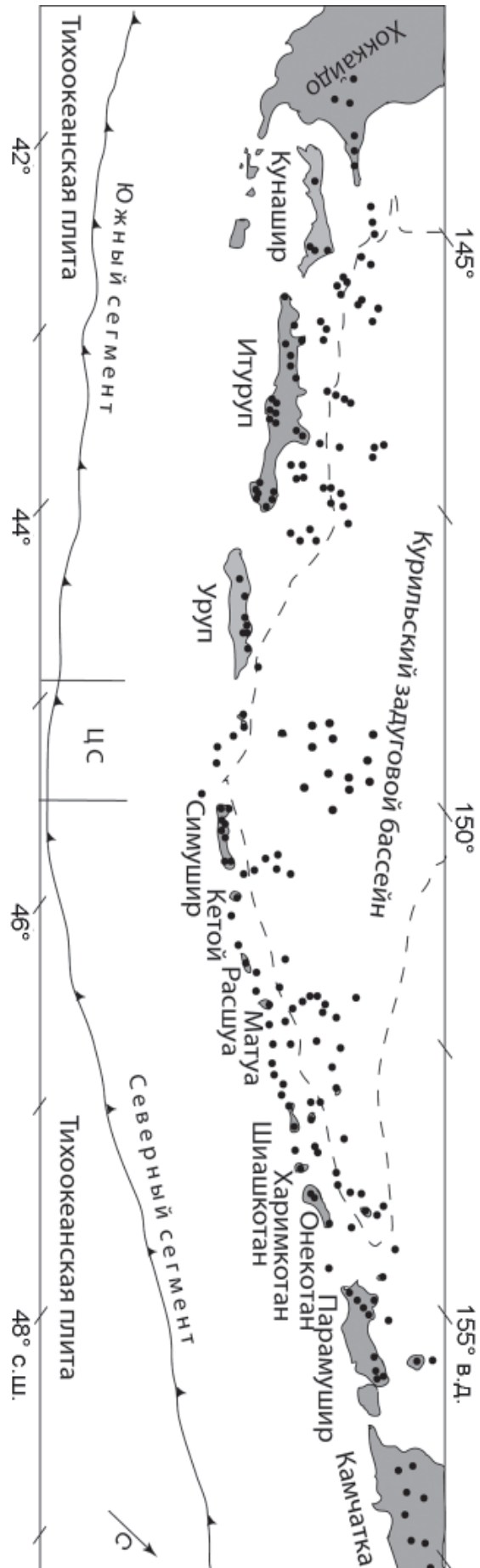


Рис. 1. Обзорная схема структурного положения вулканов КОД. Точками показаны четвертичные вулканы.

данных лаборатории подводного вулканизма ИВиС ДВО РАН [18]. В работе Мелекесцева и Пономаревой [8] опубликованы объемы современных, активных вулканов и продуктов голоценовых извержений. В программе Excel были построены графики распределения объемов вулканизма в зависимости от нахождения относительно желоба и вариации объемов вдоль КОД. Основная техническая часть работы в виде сбора информации о геохимическом составе вулканитов КОД была выполнена в программе Excel. Для построения графиков использовалась программа KaleidaGraph. Доработка иллюстрации производилась в программе Adobe Illustrator.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Особенности пространственного проявления вулканизма

На основе опубликованных материалов геохимических и геофизических исследований и результатах, полученных непосредственно автором исследования, была составлена база данных, включающая в себя сведения об объемах вулканитов всех надводных и подводных вулканов исследуемого района [3]. Были определены численные значения ширины вулканического пояса и вулканических зон вкrest дуги для всех трех сегментов КОД. Полученные данные коррелируются с сейсмическими данными о различных углах наклона погружающейся плиты [14, 15].

Традиционно КОД разделяют на три сегмента: Южный, Центральный и Северный (рис. 1). Выделенные блоки различаются по мощности коры, расстоянию до сейсмофокальной зоны и по ряду геохимических признаков [1, 10, 14, 15]. Границы между выделенными сегментами весьма условны. Северный сегмент (СС) включает в себя вулканы, расположенные приблизительно с 51° с.ш. по 46.83° с.ш.. К данному сегменту относятся Парамуширская группа вулканов, поперечная зона Маканруши, Чиринкотанская группа вулканов, Расшуа и Кетой, вулканы острова Симушир. Группы вулканов согласно монографии по подводному вулканизму КОД [1]. Центральный сегмент (ЦС) представлен, глав-

ным образом, подводными вулканами поперечной зоны Броутона и вулканами островов Чирпой и Броутона. Северная и Южная Итурупская группа вулканов и вулканы острова Кунашир входят в Южный Сегмент (ЮС) КОД, который расположен приблизительно в пределах 46.14° с.ш. – 43.5° с.ш..

Для СС и ЮС характерно максимальное количество вулканов и суммарное значение объемов во фронтальной зоне с постепенным убыванием данных показателей к тылу дуги (рис. 2). Вариации объемов вулканизма вдоль КОД демонстрируют, что максимальные их значения характерны для ЦС (рис. 3). Интенсивный процесс растяжения контролирует здесь наличие крупных кальдеорообразующих структур. Глубинное сейсмическое зондирование и данные сейсмической томографии свидетельствуют о неоднородности субдуцирующей плиты в пределах ЦС, ее растяжении и разрывных нарушениях, сопровождающимся астеносферным апвеллингом [12, 17].

Геохимическая зональность вдоль и вкост дуги

Изотопный состав вулканитов ЦС КОД характеризуется повышенными значениями $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ и меньшими значениями $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$, что можно охарактеризовать как обогащение мантийного источника по сравнению с другими сегментами КОД (рис. 4, 6). Наиболее дифференцированные ассимилированные магмы типичны для Северной части Хоккайдо (СХ) и Южной Камчатки (ЮК) об этом свидетельствуют широкие диапазоны вариации по изотомам стронция и низкие соотношения изотопов неодима. Интересно отметить, что большая мощность коры соответствует более дифференцированным магмам, так мощность коры на СХ составляет 32–34 км, на ЮК и СК 32–36 км и всего лишь 23–30 км на ЦС [5].

Геохимическая зональность вдоль дуги по редким немобильным элементам (Nb, Zr, Y, Yb) свидетельствует о неоднородности составов магм: пониженных значениях Y, Yb, Zr, повышенные значения Nb характерны для ЦС, для СС также характерно несколько повышенные значения Nb, Zr (Рис. 5, 6).

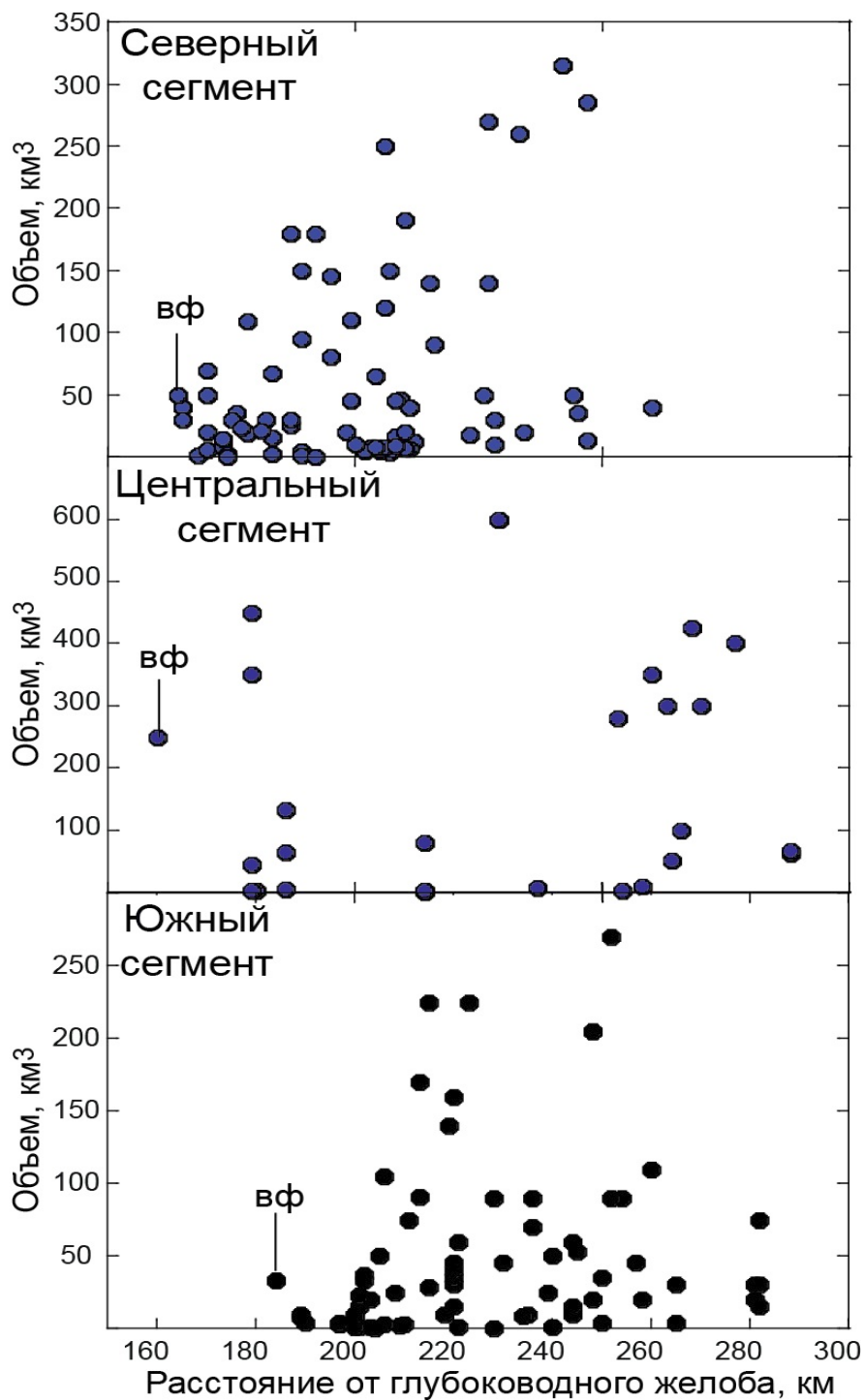


Рис. 2. Графики зависимости объемов вулканического материала от расстояния до глубоководного желоба (вкrest дуги). ВФ – вулканический фронт.

Закономерности вариации составов вкrest дуги проявляются в увеличении содержания одних элементов от фронта к тылу дуги, например Nb, и относительно постоянном поведении, не зависящим от слэба, других элементов, например Y, Yb, Zr (Рис. 7).

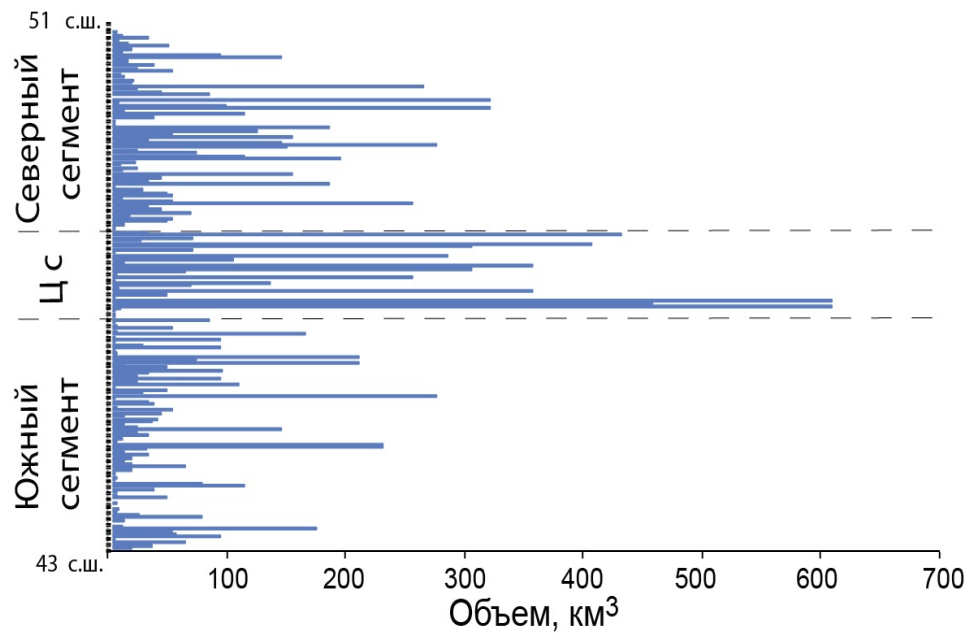


Рис. 3. Вариации объемов вулканического материала вдоль КОД. ЦС – Центральный сегмент.

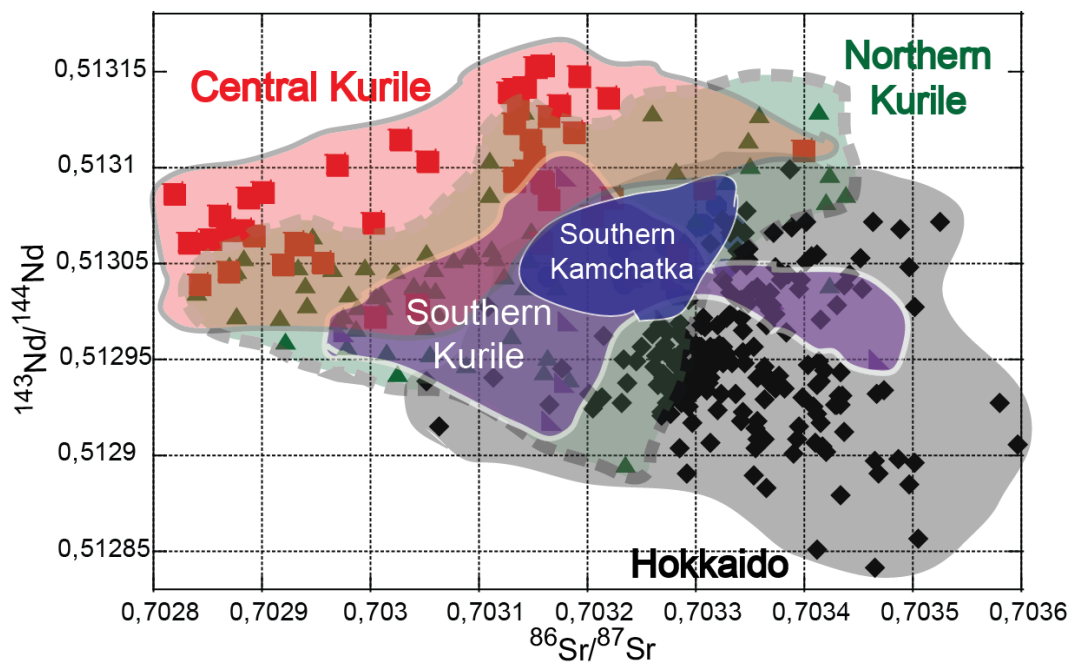


Рис. 4. Изотопный состав вулканитов КОД. По данным [3, 6, 7, 11, 13].

Генезис родоначальных, первичных магм

В изучаемом регионе вулканиты имеют состав от базальтов до риолитов. С целью исключения влияния процессов фракционной дифференциации и ассимиляции в дискуссии о магмогенезисе использовались составы более основных, первичных магм ($< 55\% \text{SiO}_2$).

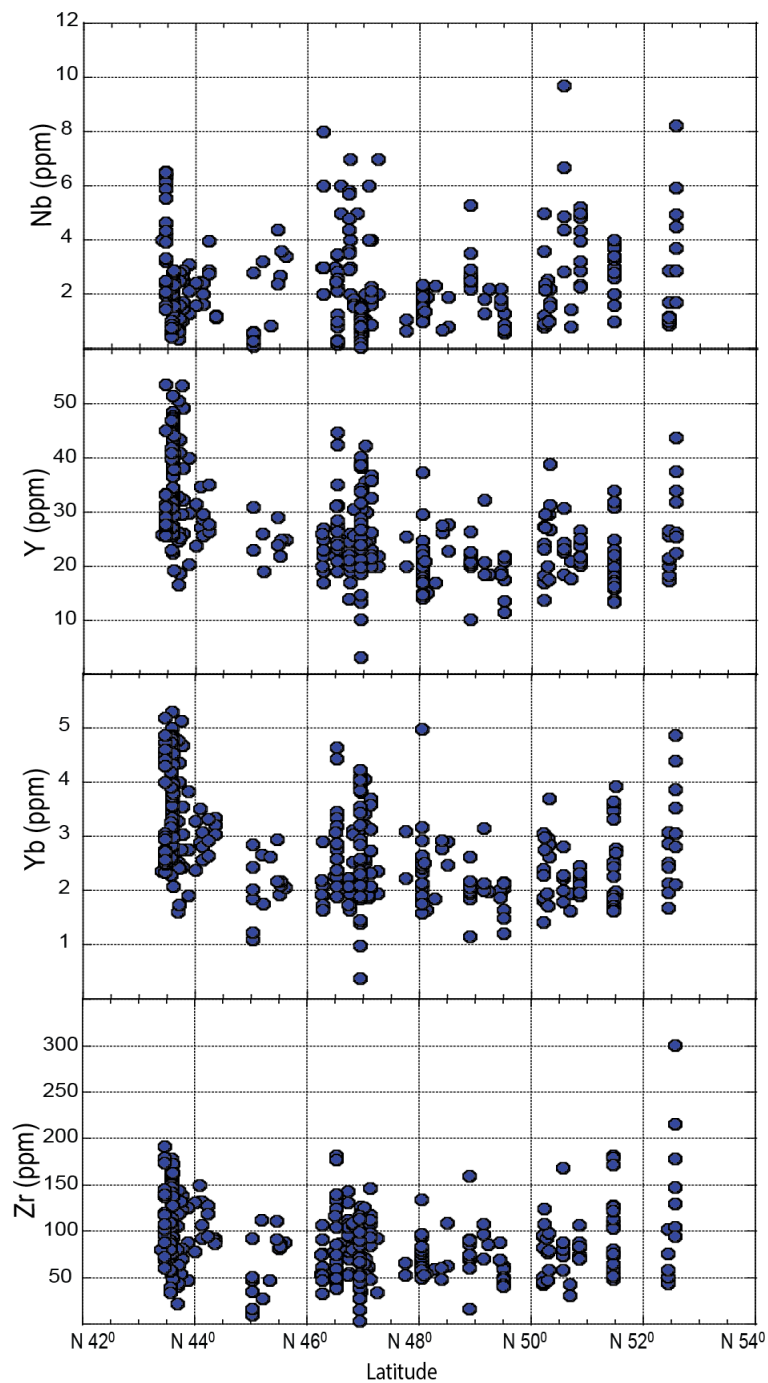


Рис. 5. Вариации флюид-немобильных элементов вдоль КОД.

1. Мантийный источник

Соотношения флюид-немобильных элементов, не зависящих от процессов субдукции, являются доказательствами действия обогащения или истощения мантийного источника. Сравнение составов вулканитов КОД с N-MORB (Normal Mid Ocean Ridge Basalt), E-MORB (Enriched Mid Ocean Ridge Basalt), OIB (Oceanic Island Basalt) свидетельствуют о гетерогенном мантийном источ-

нике вдоль всей дуги (рис. 12), что подтверждается и более ранними публикациями [1, 9, 11]. Впервые автором данной работы удалось обнаружить явное обогащение составов вулканитов для СС и ЦС, высокие концентрации ниобия и циркона подтверждают это (рис. 7).

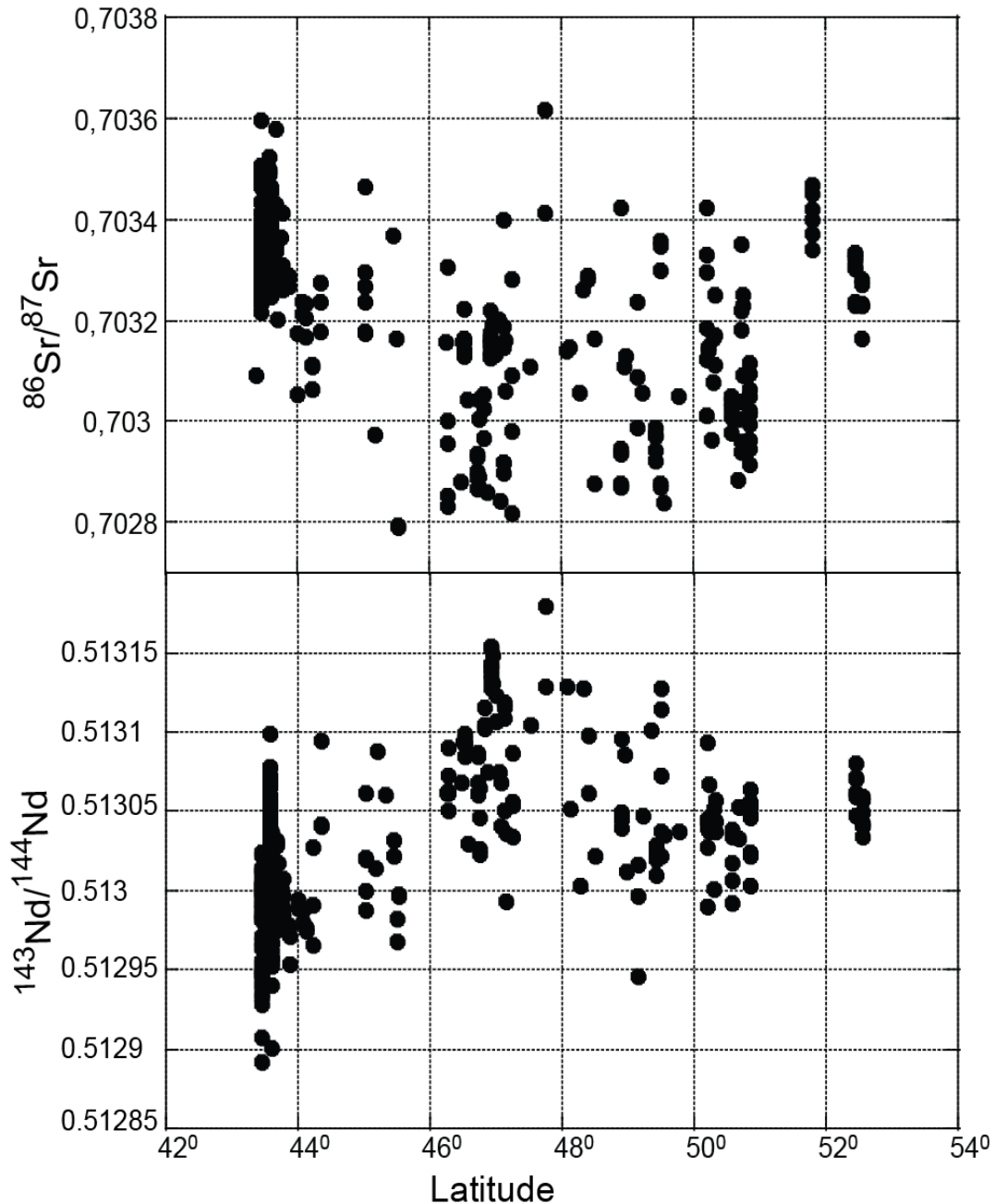


Рис.6. Вариации изотопов вдоль КОД.

По данным вариации изотопного состава вдоль дуги явно обогащенный мантийный источник находится в ЦС КОД об этом свидетельствуют низкие соотношения изотопов $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$ и повышенные значения изотопов $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$

(рис. 4, 6). На нетипичность магматизма в центральном секторе КОД указывает также пониженные значения Y, Yb и несколько повышенные значения Nb (рис. 5).

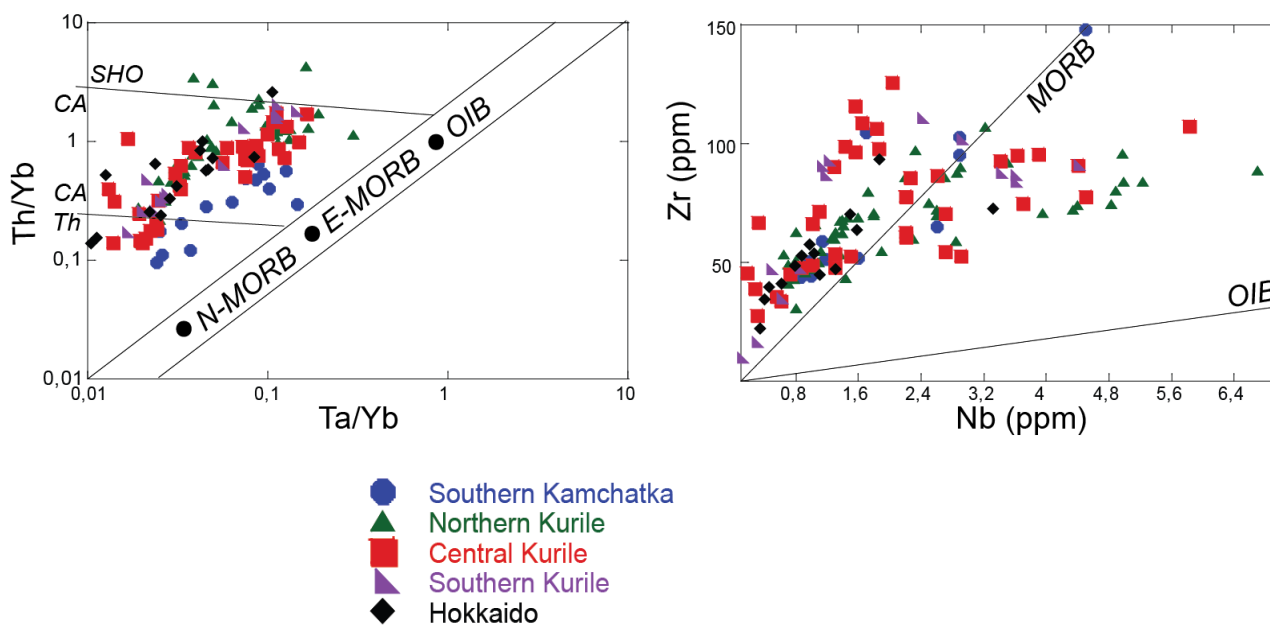


Рис. 7. Соотношение флюид-немобильных элементов ($\text{SiO}_2 < 55\%$). N-MORB – Normal Mid Oceanic Ridge Basalt, E-MORB – Enriched Mid oceanic Basalt, OIB – Oceanic Island Basalt, SH - шохониты, CA - известково-щелочные, TH - толеиты.

2 Субдукционный компонент

Соотношения флюид-мобильных элементов (Cs, Ba, U, Th, Sr), легко транспортируемых с дегидратированным флюидом, и флюид-немобильных элементов (Nd, Hf, Yb), зависящих от плавления осадков, свидетельствуют о вкладе субдукционных компонентов в магмогенезис. Сравнительно высокие соотношения Ba/Th, Ba/Nb, U/Th типичны для СХ и ЮК и напротив высокие соотношения Th/Nd, Th/Yb характерны в большей степени для СС КОД (рис. 8). Однако при более детальном изучении полученных данных можно увидеть что каждый сектор имеет два тренда вариации, один с высокими концентрациями флюид-мобильных элементов, второй с флюид-немобильными элементами – это говорит о том что скорее всего процессы дегидратации и плавления осадков идут на всем участке дуги, просто в разных пропорциях и объемах (рис. 8).

С целью изучения источника повышенных значений Nb и Zr в магмах СС и ЦС КОД были проведены дополнительные исследования, заключающиеся в проверке гипотезы плавления субдуцирующей коры или астеносферного аппвельинга. Соотношения флюид-мобильных элементов к флюид-немобильным элементам (Nb/Y, Rb/Y, Nb/Zr) свидетельствуют об обогащении флюидом дегидратированной коры магм СХ и СС и напротив магмы ЮК, СС и ЦС КОД имеют явный дополнительный источник обогащенной мантии, возможно связанного с плавлением слэба (рис. 9). Классическая диаграмма Sr/Y к Y демонстрирует, что магмы СС имеют характеристики адакитов, вулканиты ЮК находятся на границе между классическими адакитами и островодужными магмами. Для сравнения классических, дискриминационных характеристик адакитов с вулканитами СС была проведена работа, иллюстрирующая типичные характеристики адакитов и данные геохимического состава СС (табл. 1). Полученные

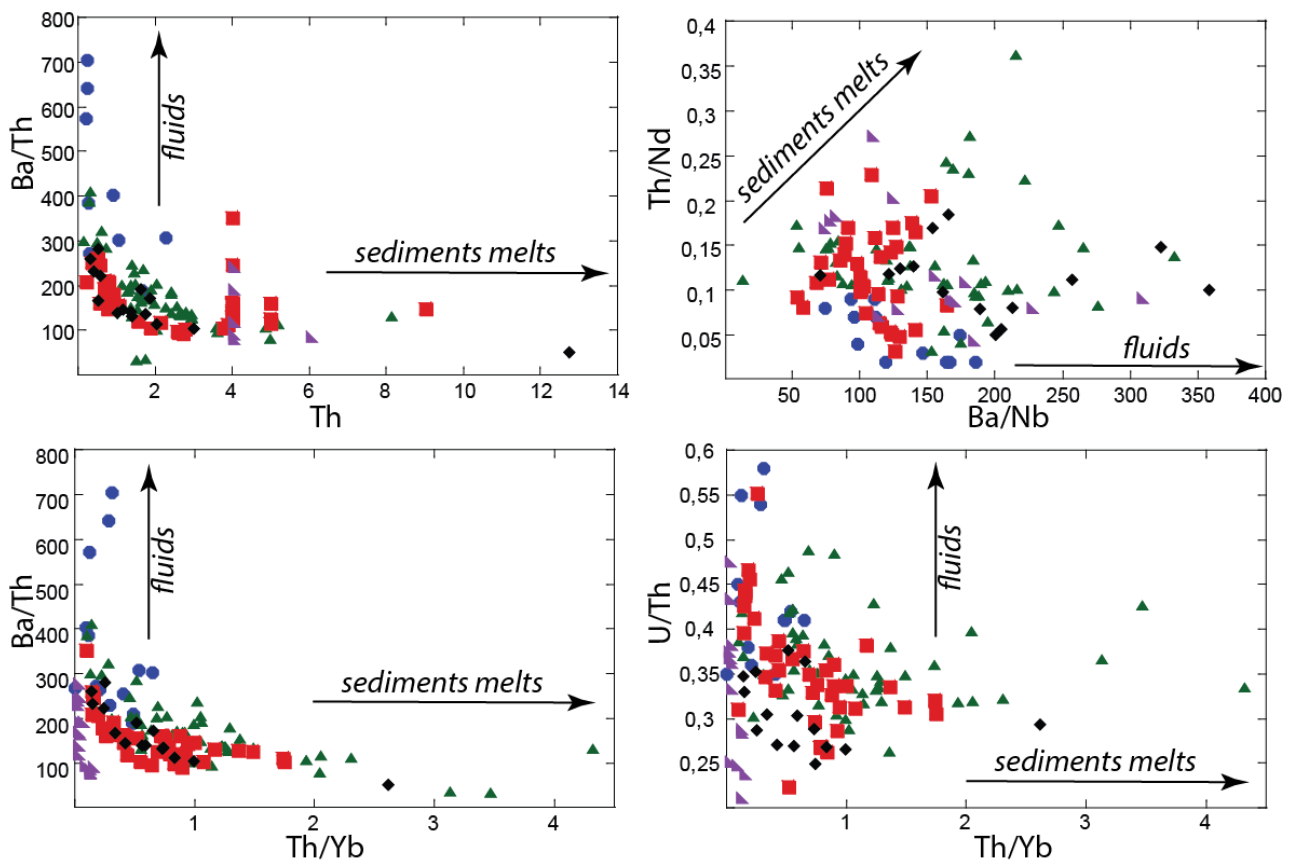


Рис. 8. Соотношение флюид-мобильных элементов к флюид-немобильным ($\text{SiO}_2 < 55\%$). Fluids - флюиды, sediments melts – плавление осадков. Условные обозначения на рис. 7.

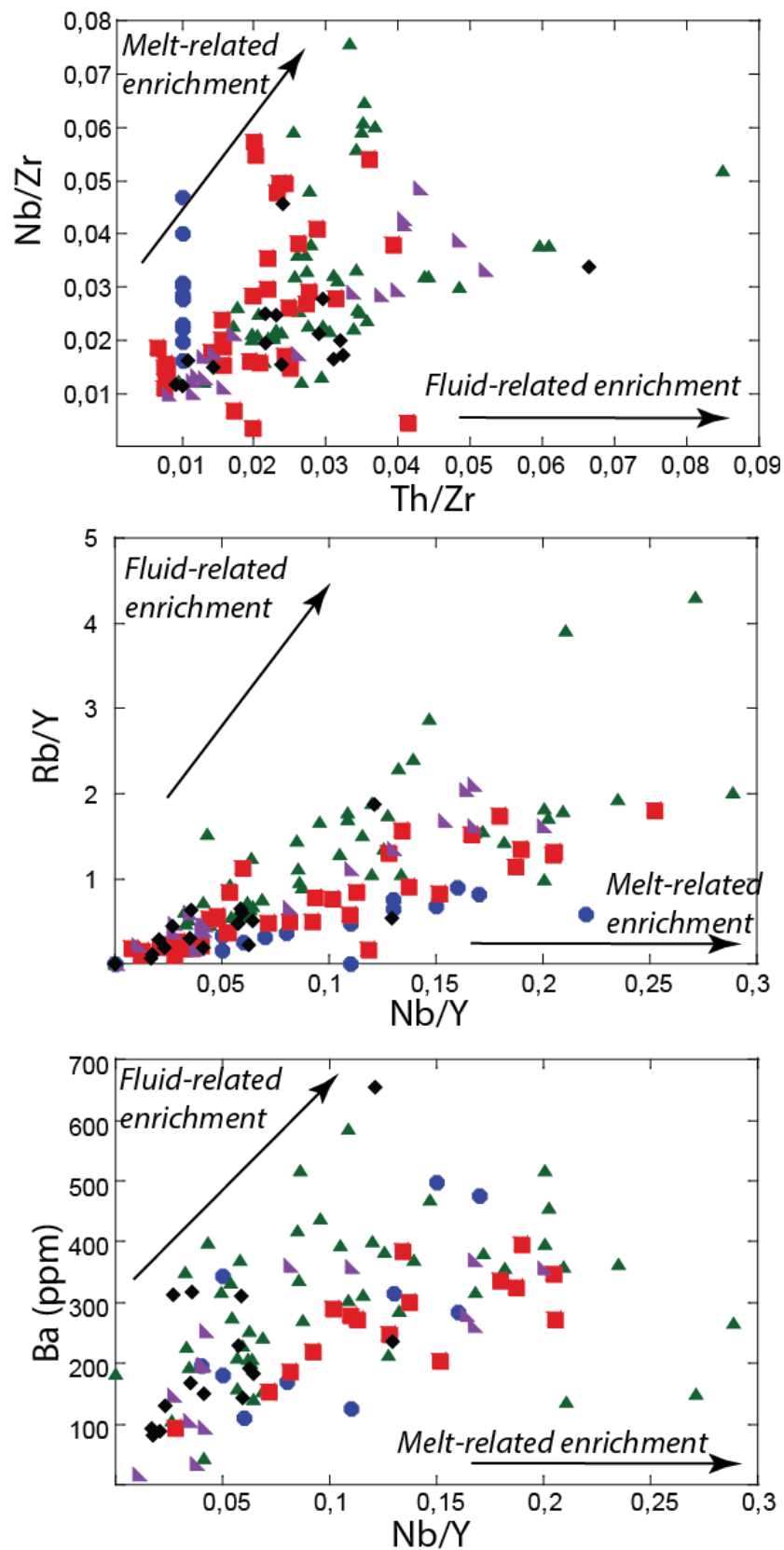


Рис. 9. Соотношение флюид-мобильных элементов к флюид-немобильным ($\text{SiO}_2 < 55\%$), показывающее обогащение мантийного источника флюидом (fluid-related enrichment) либо плавлением (melt-related enrichment). Условные обозначения на рис. 7.

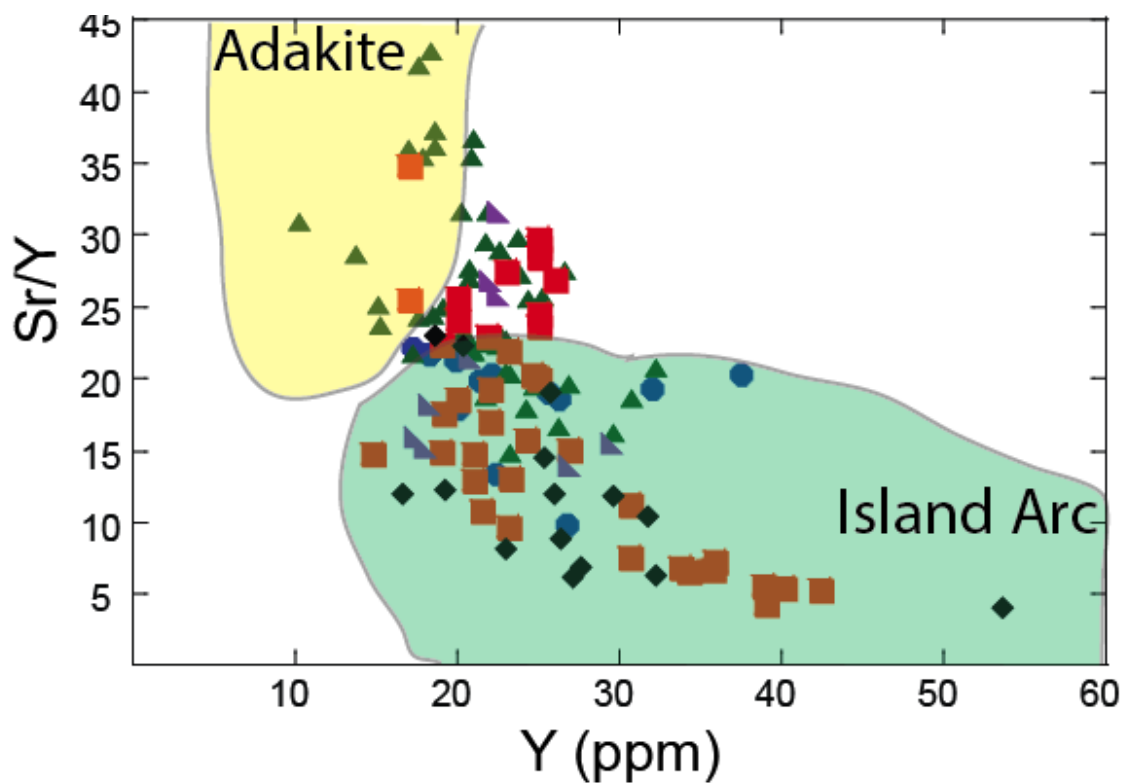


Рис. 10. Диаграмма зависимости Sr/Y к Y, дискриминационные поля адакитов и островодужных лав. Условные обозначения на рис. 7.

Табл. 1. Сравнение геохимических характеристик адакитов с вулканитами СС КОД.

Адакиты	Северные Курилы
SiO ₂ ≥56 wt. %	SiO ₂ 45–64 wt. %
Al ₂ O ₃ ≥15 wt. %	Al ₂ O ₃ 16–22 wt. %
MgO <3 wt. %	MgO 1.8–9 wt. %
Sr ≥400 ppm	Sr 300–820 ppm
Y ≤18 ppm,	Y 11–39 ppm,
Yb ≤1.9 ppm,	Yb 0.15–0.65 ppm,
Ni ≥20 ppm,	Ni 2.81–124.91 ppm,
Cr ≥30 ppm,	Cr 2.36–248.57 ppm,
Sr/Y ≥20,	Sr/Y 15–44,
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr ≤0.7045	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr 0.7029–0.7034

данные свидетельствуют, что вулканы СС имеют схожий диапазон вариаций с адакитами и могут быть отнесены к породам образованным при процессе плавления слэба (рис. 10, табл. 1). ЦС КОД имеет повышенные значения Nb, но отличаются от СС изотопными составами. С целью определения различия в генезисе магм были построены диаграммы Nb/Ta к Sr/Y и Zr/Hf к Sr/Y (рис. 10). Так как соотношения Nb/Ta, Zr/Hf зависят главным образом от обогащенности мантии глубинными источниками, а Sr/Y свидетельствует об плавлении слэба, мы можем предположить, что вулканы ЦК образовались за счет мантийного апвеллинга обогащенной мантии (повышенные значения Nb/Ta, Zr/Hf), в отличие от магмы СС имеют характеристики сильного влияния субдукционных компонентов (дегидратация плиты, плавление осадков и плавление базальтов слэба).

Модель магмогенезиса КОД

С целью изучения пространственного проявления вулканизма в пределах КОД был проведен детальный подсчет объемов всех наземных четвертичных и подводных вулканов [1]. Были выделены сегменты КОД, отличающиеся по целому ряду характеристик. Удалось проследить определенную тенденцию зависимости объёмов продуктов вулканизма от расстояний до глубоководного желоба. Так, для СС и ЮС КОД четко прослеживаются два тренда вариации: первый тренд характеризуется относительно одинаковыми объемами вулканитов вне зависимости от расстояния до глубоководного желоба, второй тренд демонстрирует увеличения объемов от фронтальной части до тыловой зоны (рис. 2). Полученные данные позволяют предположить, что существует два различных источника контролирующих объемы магмообразования. Первый источник не проявляет зависимости от субдуцирующей плиты, поскольку объемы вулканизма никак не связаны с расстоянием до глубоководного желоба и имеют приблизительно равные значения. Второй источник явно подчиняется действию погружающейся плиты, причем более объемные вулканические сооружения находятся в тыловой зоне, на расстоянии более чем 250 км от желоба. Для ЦС КОД зависи-

мость объемов вулканизма от расстояний до желоба не прослеживается. Однако максимальные объемы вулканитов характерны именно для этой зоны (рис. 3).

Изотопный состав вулканитов ЦС КОД характеризуется повышенными значениями $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ и меньшими значениями $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$, что можно охарактеризовать как обогащение мантийного источника по сравнению с другими секторами КОД (рис. 6). Сравнительный анализ вулканитов КОД с другими субдукционными системами Тихого океана свидетельствует что ЦК имеют близкий состав

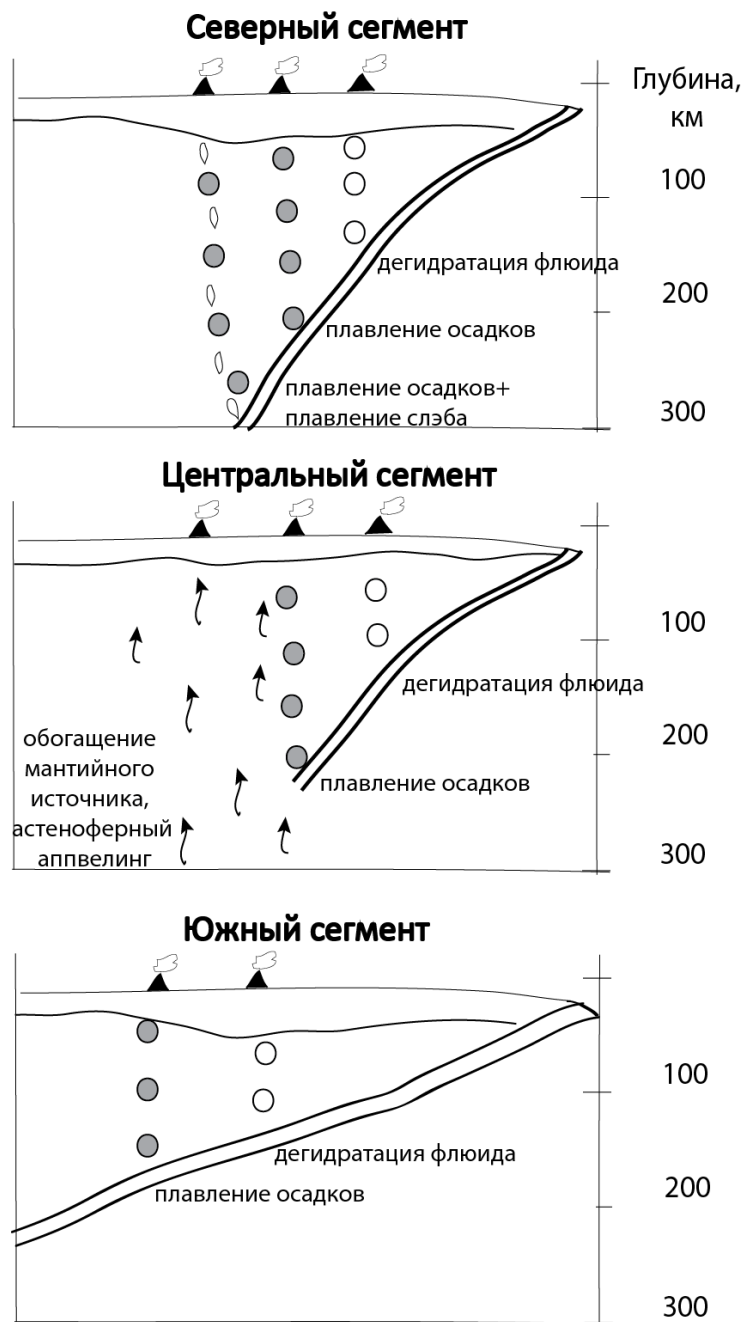


Рис. 11. Модель магмообразования КОД.

с адакитами и NEB (Nb-enriched basalts) лавами (рис. 10). В данном случае, изотопные характеристики являются одним из признаков нетипичного субдукционного магматизма. Соотношения редких флюид-немобильных элементов также подтверждают гетерогенность мантийного источника вдоль КОД.

Анализ геохимических данных КОД свидетельствует о том, что для ЮК, СС, ЮС и СХ характерна типичная субдукционная зональность изменения состава вулканитов вкрест дуги. Фронтальная зона формируется, главным образом, за счет флюидов из дегидратированной океанической плиты. Процесс плавления субдукционного осадка типичен для промежуточной и тыловой зон КОД. Вулканы СС КОД характеризуются адакитовыми характеристиками, это говорит о том что в данном сегменте происходит не только плавление субдуцирующего осадка, но и плавление базальтов субдуцирующей плиты. Таким образом, возможно, что увеличение объемов вулканизма вкрест дуги связано с действием субдукционных компонентов. Наибольшие объемы вулканизма типичны для ЦС КОД, для него же характерен наиболее обогащенный мантийный источник.

В работе Тхоркедсона с соавторами [16] при анализе вулканизма вдоль активной континентальной окраины Северной Америки выделяют наличие внутриплитных лав, тонкую литосферу, увеличенные объемы магматизма, низкоскоростные аномалии и высокий тепловой поток как классификационные признаки субдукционного окна.

По данным глубинного сейсмического зондирования, в ЦС находится крупная разрывная зона вдоль которой в историческое время неоднократно происходили сильные землетрясения, в том числе в 2006 и 2007 годах [5, 17]. Важно отметить приуроченность астеносферного аппвеллинга к ЦС КОД [12].

ВЫВОДЫ

Анализ пространственного проявления вулканизма, особенности геохимических вариации и данные геофизических исследований позволяют предположить следующее:

1. Мантийный источник вдоль КОД гетерогенный. Обогащенный мантия соответствует ЦС КОД. На нетипичность субдукционного вулканизма в данном сегменте также указывают соотношения редких немобильных элементов. Геофизические данные свидетельствуют о крупном разрывном нарушении, сопровождающимся мантийным апвеллингом. Все эти результаты исследований подтверждают наличие субдукционного окна в ЦС КОД.

2. Влияние субдукционного компонента типично для всех сегментов КОД. Вкрест дуги наблюдается зональность геохимического состава, выраженная в влиянии дегидратированного флюида для фронтальных вулканов, и плавлении осадков для тыловых вулканов. Объемы и пропорции субдукционного компонента вдоль КОД различны и, возможно, зависят от угла наклона слэба.

3. Вулканы СС КОД имеют адакитовые характеристики, это свидетельствует о начале плавления слэба. Наличие крупной термальной аномалии на ЮК и в СС КОД, подтверждает повышенные температуры в мантийном клине, возможно этих температур достаточно для начала плавления слэба. Особенности пространственного проявления вулканизма свидетельствуют что угол наклона субдуцирующей плиты больше в СС КОД, по сравнению с другими сегментами. Это говорит о том что, температура в мантийном клине выше чем в других сегментах КОД и, возможно, ее достаточно для начала плавления слэба.

4. Очевидно, что особенности тектонического строения зоны субдукции контролируют проявление магматизма в пределах КОД. Большой угол наклона слэба в СС влияет на большой вклад субдукционного компонента в магмогенезис, на проявление адакитовых характеристик и большие объемы вулканизма вкрест дуги. Вулканы ЦС образовались на границей между плитами с разными углами наклона слэба. Повышенные объемы вулканизма, нетипичность субдукционного вулканизма, наличие астеносферного апвеллинга указывают на субдукционное окно в данном сегменте. ЮС и СХ характеризуется меньшим углом наклона слэба, влияние субдукционного компонента ярко выражено, оно прояв-

ляется в влиянии дегидратации флюида в большей степени и начале плавления осадков.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов ДВО РАН 13-III-B-08-194, РФФИ 12-05-31362.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Авдейко Г.П., Антонов А.Ю., Волинец и др.* Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги. Москва: Наука, 1992. 528 с.
2. *Бергаль-Кувикас О.В.* Особенности пространственного проявления вулканизма Парамуширской группы, Курильская Островная Дуга // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2012. № 2. Выпуск 20. С. 231-244.
3. *Бергаль-Кувикас О.В.* Объемы четвертичных вулканитов Курильской островной дуги: анализ пространственного расположения и связь с зоной субдукции // Тихоокеанская геология. № 2. Выпуск 34. С. 103-116.
4. *Гущенко И.И.* Закономерности размещения центров вулканической активности по земному шару // Вулканология и сейсмология. 1983. № 6. С. 10-30.
5. *Злобин Т.К., Пискунов В.Н., Фролова Т.И.* Новые данные о строении земной коры центральной части Курильской Островной Дуги // Доклады Академии Наук СССР. 1987. № 293. С.185-188.
6. *Кувикас О.В., Накагава М., Авдейко Г.П.* Особенности поперечной зональности вулканических пород Северной части Курильской Островной Дуги, оценка вклада субдукционных компонентов в магмообразование. Тезисы конференции современные проблемы магматизма и метаморфизма. г. Санкт-Петербург. 2012. С. 318-319.
7. *Мартынов Ю.А., Рыбина А.В., Дриль С.И., Мартынов А.Ю.* Зоны аномального вулканизма Курильских островов, остров Парамушир // Вестник ДВО РАН. 2009. № 4. С. 17-23.
8. *Мелекесцев И.В., Пономарева В.В.* Новейший (N22 - Q4) наземный и подводный вулканизм Курильской островной дуги // Новейший и современный вулканизм на территории России (Отв. ред. Н.П. Лаверов) Москва: Наука, 2005. С. 233-335.
9. *Федорченко В.И., Абдурахманов А.И., Родионова Р.И.* Вулканизм Курильской островной дуги: геология и петрогенезис. // М.: Наука, 1989. 237 с.
10. *Bergal-Kuvikas O. V., Nakagawa M., Avdeiko G. P.* Origin of spatial compositional variations of volcanic rocks from Northern Kurile Islands: Geochemical studies of active volcanoes on Paramushir, Atlasova, Antsiferova islands and submarine volcanoes. IAVCEI. Kagoshima, Japan. July 2013. P. 106.

11. *Bergal-Kuvikas O. V.* Geochemical studies of volcanic rocks from the northern part of Kuril-Kamchatka arc: Tectonic and structural constraints on the origin and evolution of arc magma. Ph.D. thesis // Hokkaido University. 2015. P. 190.
12. *Bourova E., Yoshizawa K., Yomogina K.* Upper mantle structure of margin seas and subduction zones in Northeastern Eurasia from Rayleigh wave tomography // *Physics of the Earth and Planetary Interior*. 2010. 183. P. 20-32.
13. *Savchuk O.* Petrology and geochemistry of volcanic islands astride the Bussol Strait, Kurile Islands: investigation of the tectonic control on arc magmatism. Dissertation of Master Science // Hokkaido University. Japan. 2011. 87 p.
14. *Syracuse E.M. and Abers G.A.* Global compilation of variations in slab depth beneath arc volcanoes and implications // *Geochemistry Geophysics Geosystems*. 2006. 183. 7(5). P. 1-18.
15. *Syracuse E. M., van Keken P. E., Abers G. A.* The global range of subduction zone thermal models // *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 2010. 183. 1. P. 73-90.
16. *Thorkelson D.J., Madsen J.K., Slaggett C.L.* Mantle flow through the Northern Cordilleran slab window revealed by volcanic geochemistry // *Geology*. 2011. 39 (3). P. 267-270.
17. *Zlobin T.K.* First results of the comparison of Catastrophic Simushir Earthquakes on November 15, 2006 (M=8.3) and January 13, 2007 (M=8,1), with the Deep Structure of the Earth's Crust in the Central Kuril Islands // *Doklady Earth Sciences*. 2008. Vol. 420. No. 4. P. 615-619.
18. http://www.kscnet.ru/ivs/grant/grant_05/kurily/index.html

TECTONIC POSITION AND ASSOCIATED GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF QUATERNARY VOLCANIC ROCKS OF KURIL ISLAND ARC

Bergal-Kuvikas O.V.

Institute of Volcanology and Seismology

In order to study special variation of magma genesis in Kuril Island Arc numerical calculation of volume all Quaternary volcanoes were analyzed. Additionally, in order to detect specific features of magma origin the geochemical characteristics were observed along and across the arc. Comparing new receiving data and published results of geophysical study enable us to identify specific factors, which are control process of magma genesis in Kuril Island Arc.

Key words: Kuril Island Arc, magmatism, subduction window

УДК 551.21

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВА
СТАЛАКТИТОПОДОБНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ИЗ ЛАВОВЫХ ПЕЩЕР
ТТИ 2012-2013 ГГ.

Назарова М.А., Тарасов К.В.

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
г. Петропавловск-Камчатский*

Научный руководитель д.г.-м.н. Карпов Г.А.

Обсуждаются результаты минералого-геохимических исследований солевых образований из лавовой пещеры ТТИ-50. Определён их минеральный состав, рассмотрены некоторые особенности содержаний микроэлементов.

ВВЕДЕНИЕ

В процессе Трещинного Толбачинского извержения 2012-2013 гг. (ТТИ-50) формировались подлавовые полости - лавоводы, а после завершения извержения в местах провалов над ними открылись входы в лавовые пещеры. Ещё во время извержения можно было видеть разноцветные возгоны, отлагающиеся на поверхности лав в местах интенсивного газовыделения по трещинам. В провалах солевые образования разного цвета наблюдались как в виде порошковатых налётов, так и в виде своеобразных сталагмитоподобных «сосулк» и нашлапок под ними – псевдосталагмитов. Исследование их состава было важно с позиции получения информации как о составе газовой фазы, окклюзированной в лавах, так и о процессах выноса элементов в результате реакций взаимодействия: газ-вода-порода при спаде температуры.

ОБЪЕКТЫ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

В июле 2015 года температура в лавоводах снизилась и достаточно крупные пещеры стали доступны. Нами был обследован вход в пещеру, находящуюся на мощном лавовом потоке, удалённом на 0,8 – 1 км к югу от кратера Набоко. Вход в пещеру находится в крупном провале лавового потока, имеющего размер примерно 100 метров в поперечнике. Пещера глубиной около 60 метров имеет вход высотой 3 метра и ширину 10 метров, уходит вниз под углом 20°.

Температура воздуха у входа в пещеру была около 80°C, и чувствовалось повышение её с глубиной. В связи с этим внутри пещеры было достаточно сухо. Запахов газа не ощущалось.

Лавы стен и потолка пещеры имеют преимущественно бурый, до красного цвет, в отличие от чёрного и серого цвета лав на внешней поверхности потока. Поверхность лавы в самой пещере сильнопористая, кавернозная.

На входе в пещеру, со свода, в некоторых местах свисают лавовые «сосульки», обросшие минеральными веществами - своеобразные сталактиты, а под ними формируются сталгмитоподобные образования. Все эти образования представлены скоплениями вещества белого цвета с оттенками жёлтого и зелёного цветов. Кроме сталактитоподобных и сталагмитоподобных образований присутствуют выделения возгонов на стенах пещер и вблизи от них (Рис. 1).

№ 7726 – образования с зелёным оттенком, со стенки провала, в ~2 метрах от входа в пещеру (Рис. 2);

№ 7730 – сосульки светло-зелёного цвета с сечением до 3 см и до 30 см в длину, со свода у входа в пещеру (Рис. 3);

Были отобраны образцы нескольких видов солевых отложений.

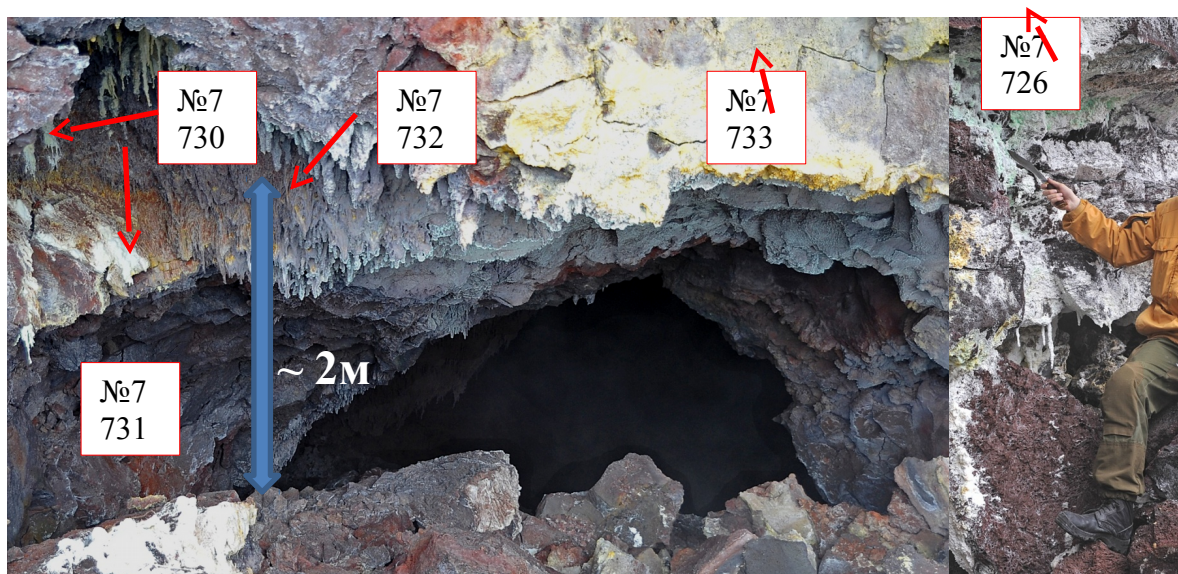


Рис. 1 Вход в пещеру и места отбора образцов (фото Полушина С.В.)



Рис. 2 Образования зелёного цвета на вертикальной поверхности (№ 7726)



Рис. 3 «Сосулька» светло-зелёного цвета (№ 7730)



Рис. 4 Белый «сталагмит» (№ 7731)



Рис. 5 Лавовый «сталактит» с солевыми выделениями на поверхности (№ 7732)



Рис. 6 Пористый базальт, равномерно покрытый солевыми отложениями жёлтого цвета (№ 7733)

№ 7731 – сталагмитовидный осадок белого цвета, скопившийся под сталактитом, где взят образец № 7730 (Рис. 4);

№ 7732 – базальтовый сталактит, покрытый белой кристаллической солью (Рис. 5);

№ 7733 – пористый базальт, равномерно покрытый отложениями жёлтого цвета (Рис. 6).

Задачей исследований было изучение химического и минерального состава пещерных натечных образований и солевых выделений.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Химический состав вещества был проанализирован методом рентгенофлуоресцентной спектрометрии на приборе S4 PIONEER.

Минеральный состав изучался методом дифрактометрии и инфракрасной спектроскопии. Дифрактограммы получены на рентгеновском дифрактометре XRD - 7000 MAXima, Shimadzu (Япония). Режим съемки: излучение $\text{Cu}_{K\alpha}$, интервал углов 2Θ 6 - 75°, 4°/мин, экспозиция в точке 1,5 секунды.

Инфракрасные спектры поглощения записывались с помощью инфракрасного Фурье-спектрофотометра IRAffinity - 1, Shimadzu (Япония).

Препараты для съёмки инфракрасных (ИК) спектров готовили путём растирания образца с бромидом калия (спектрально чистым) в агатовой ступке и прессованием в таблетки ручным мини-прессом. ИК-спектры снимались в интервале волновых чисел 400 - 4000 см^{-1} , с разрешением 16 см^{-1} , число сканов 45.

Использовалось оборудование Аналитического центра ИВиС ДВО РАН.

Перед проведением анализа материал проб был истёрт в агатовой ступке. Вещество образцов № 7732 и № 7733, в которых солевые образования были на поверхности лавы, было проанализировано с примесью породы.

Кроме того, был проведён эксперимент по растворению образцов солей в дистиллированной воде. Все образцы растворились в воде в течение первых секунд. Уровень pH полученного раствора – 3 - 5.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Химический анализ образцов показал высокие содержания магния, натрия, калия и серы во всех пробах (Табл. 1).

Микроэлементный анализ выявил высокое содержание меди и цинка во всех пяти образцах (Рис. 7,8).

По данным анализов микроэлементного состава изученных солей, отмечено низкое содержание в них Cr, As, Mo и Ba, причем, в солях с примесью лавового материала обнаружилось повышенное содержание As (см. рис. 7,8).

Таблица 1. Минеральные фазы и химический состав проб

Обра зец	Минеральная фаза	Химический состав, %						
		N a ₂ O	M gO	S iO ₂	C aO	K ₂ O	П пп	S
7726	Галит (NaCl), блёдит (Na ₂ Mg(SO ₄) ₂ ·4H ₂ O), тенардит (Na ₂ SO ₄)	1 0,10	7 ,61	1 6,4	0 ,22	1 ,04	2 0,20	35 ,40
7730	Блёдит (Na ₂ Mg(SO ₄) ₂ ·4H ₂ O), галит (NaCl)	3 ,33	9 ,80	1 6,4	0 ,06	5 ,82	2 0,50	44 ,50
7731	Тенардит (Na ₂ SO ₄), галит (NaCl), тридимит (SiO ₂)	7 ,68	7 ,63	1 6,3	0 ,35	5 ,40	1 6,75	46 ,30
7732	Афтиталит (K ₃ NaSO ₄), стекло (SiO ₂)	5 ,90	2 ,56	4 3,5	5 ,39	6 ,30	1 ,52	6, 31
7733	Тенардит (Na ₂ SO ₄), калиевые квасцы (KAl(SO ₄) ₂ · 2H ₂ O), стекло (SiO ₂)	3 ,21	3 ,32	4 9,6	7 ,32	2 ,55	1 ,51	1, 43

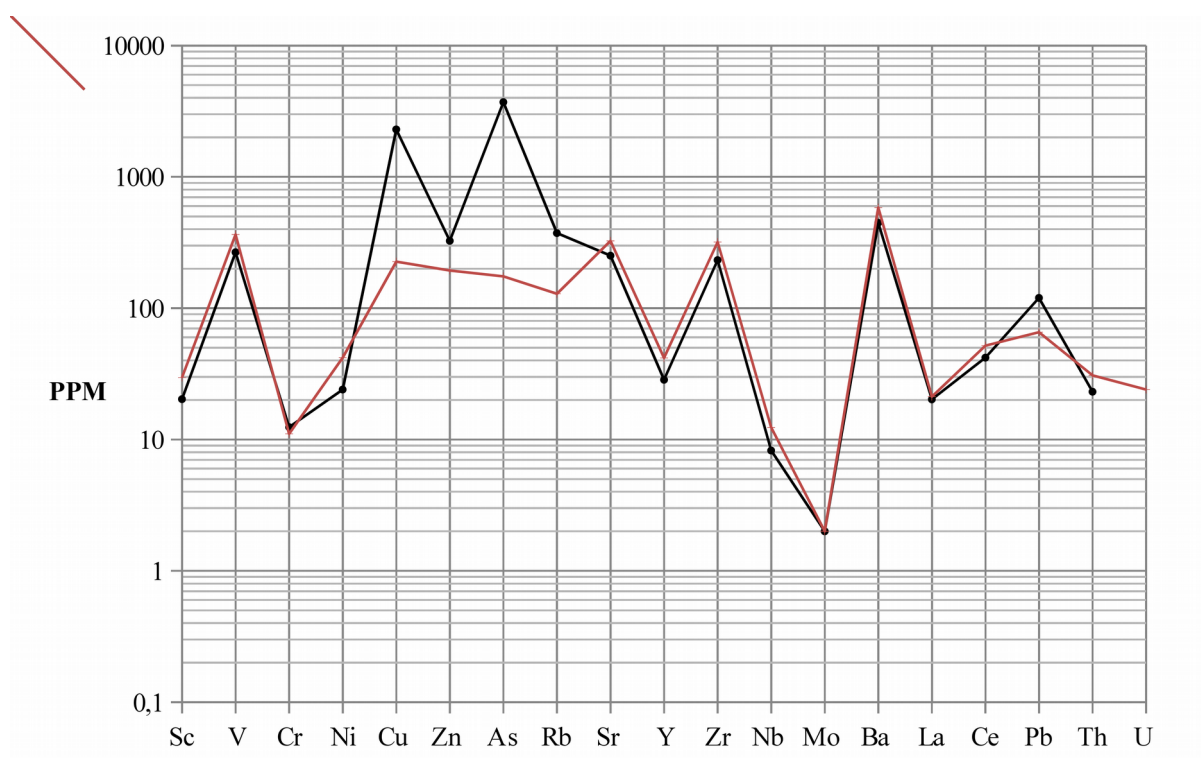


Рис. 7 Вариации содержания элементов в образцах солей

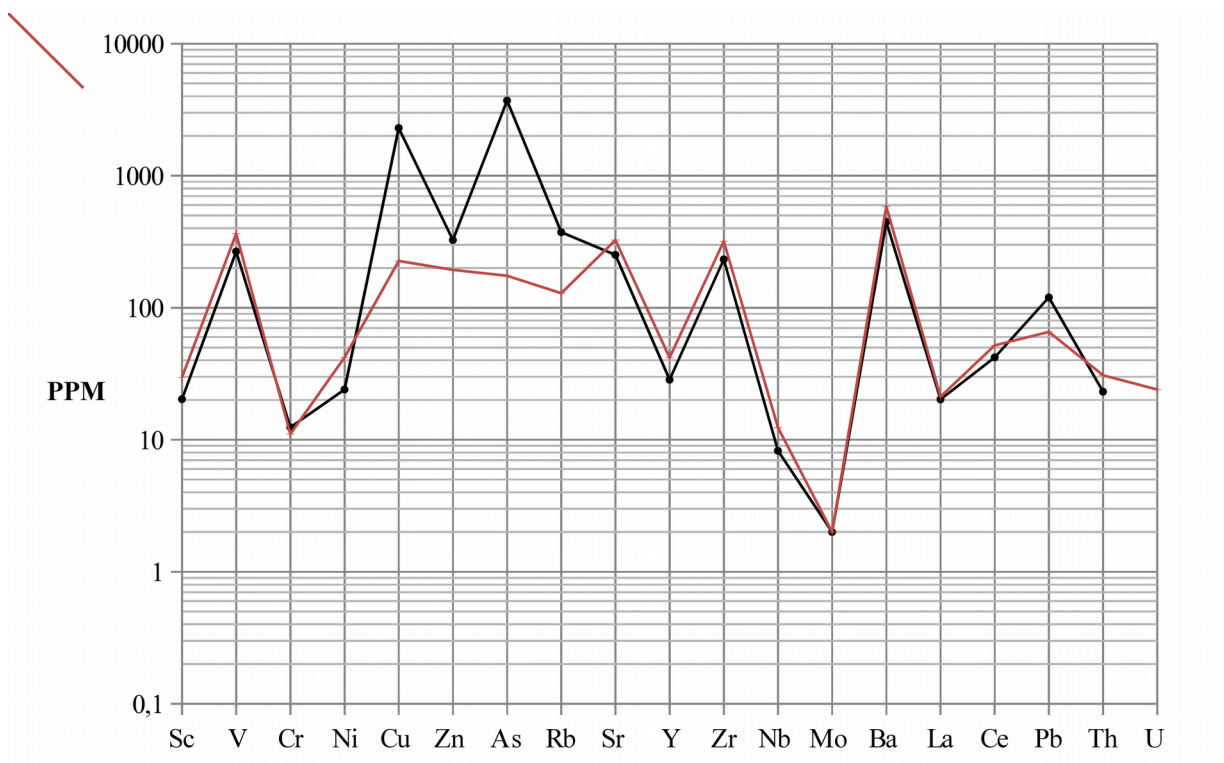


Рис. 8 Вариации содержаний элементов в образцах соли с примесью породы

По результатам дифрактометрии (Рис. 9) получен следующий минералогический состав: тенардит, блёдит, галит, калиевые квасцы, афтиталит. Дифрактограммы образцов сопоставлялись с эталонными данными рентгеновской карточки PDF-2. На дифрактограмме образца № 7726 помимо основной фазы сульфатов выделяется максимум на 2θ равный $45,5^\circ$ принадлежащий галиту (NaCl). Образец № 7730 сталактитовых отложений представлен в основном блёдитом ($\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) с примесью галита, образец № 7731 сталагмитовых осадков представлены тенардитом (Na_2SO_4), так же с присутствием галита. Образец № 7733 - тенардит (Na_2SO_4) с калиевыми квасцами ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$).

На инфракрасных спектрах характеристические полосы поглощения соответствуют сульфатной (SO_4) ионной группе, которая преобладает в образцах (рис. 10).

Результаты дифрактометрии и ИК-спектроскопии подтверждают данные химического анализа, согласно которым основным материалом изученного вещества являются сульфаты.

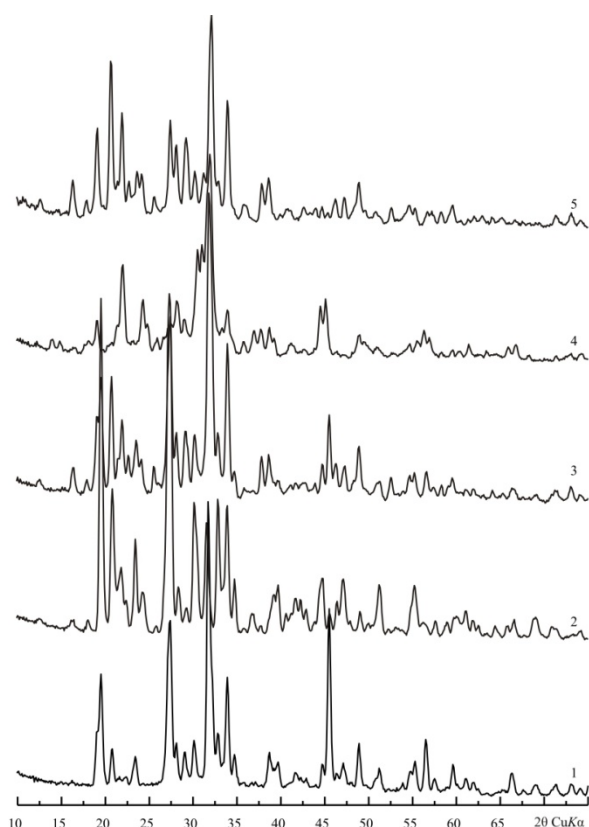


Рис. 9 Дифрактометрические спектры образцов: 1 – 7726; 2 – 7730; 3 – 7731; 4 – 7732; 5 – 7733

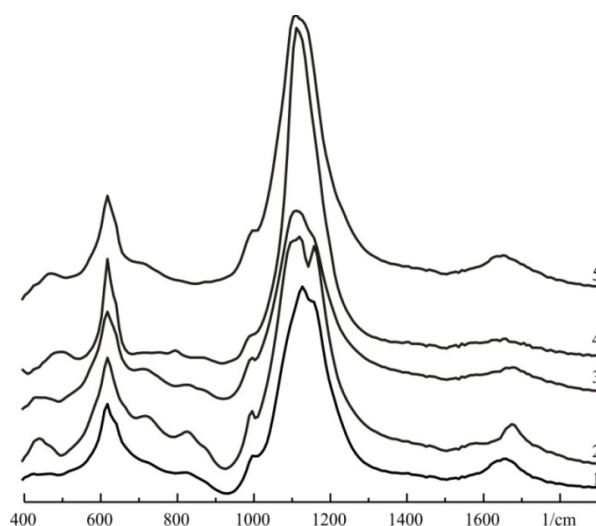


Рис. 10 ИК-спектры образцов: 1 – 7726; 2 – 7730; 3 – 7731; 4 – 7732; 5 – 7733

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение минерального состава натёчных образований в пещерах показало, что достаточно однозначно в настоящее время в них идёт формирование «натёков», в составе которых основное место занимают следующие минералы – галит, блёдит, тенардит, афтиталит, т. е. в составе минеральных фаз преобладают сульфаты (с участием хлоридов), что подтверждает ранее сделанные выводы [2]. Можно предположить, что вещество натёчных образований переносилось в базальтовом расплаве с летучими соединениями, в составе которых были сера и хлор. Преобладание сульфатов объясняется тем что, серосодержащие газы наиболее растворимы в расплаве.

Образование вещества сталактитов, скорее всего, связано с тем, что температура пород лавового поля локально понизилась до 100°C и ниже, и началось просачивание по трещинам в лавах метеорных вод, которые растворяли и пере-

носили к нижней поверхности свода пещеры соли Na, K, Mg, Cu в соединении с серой и хлором [1]. В механизме «выдавливания» раствора из вещества лавы, возможно, имела место контракция – вода выжималась из пор, сужающихся при остывании породы. Отложение вещества происходило по мере испарения части воды и увеличения концентрации солей.

В химическом составе «сосуллек» отражена элементная специализация среды, т.е. лавы базальта, через которую протекала атмосферная вода.

Мышьяк практически отсутствует в образцах солей, но обнаружено значительное его содержание в образцах с примесью породы, что может свидетельствовать о том, что As содержится в лавах, и не переносится низкотемпературными растворами. Примерно так же ведут себя ванадий, стронций, циркон, барий, лантан и церий. Преобладание в составе «сосуллек» сульфата свидетельствует о том, что в составе магматической флюидной системе значительную роль играла сера.

Авторы выражают благодарность С.В. Полушину за помощь, оказанную в проведении полевых работ, а также Л.П. Вергасовой за консультацию во время написания работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белоусов А.Б., Белоусова М.Г. Горячие лавовые пещеры вулкана Толбачик и их необычные минеральные образования // Вестник ДВО РАН. № 5. Владивосток: ДВО РАН, 2014. С. 148-150.
2. Вергасова Л.П., Карпов Г.А., Филатов С.К., Кривовичев С.В., Аникин Л.П., Философова Т.М., Москалёва С.В., Шаблинский А.П., Горелова Л.А., Житова Е.С., Белоусов А.Б., Белоусова М.Г., Савельев Д.П. Об эксгаляционной минерализации лавовых потоков Трещинного Толбачинского извержения им. 50-летия ИВиС ДВО РАН // Материалы ежегодной конференции, посвящённой Дню вулканолога 27 - 28 марта 2014 г., Петропавловск-Камчатский, 2014. С. 22-25

MINERALOGICAL-GEOCHEMICAL FEATURES OF MATTER OF
STALACTITE-LIKEFORMS FROM LAVA CAVES OF 2012 - 2013
FISSURE TOLBACHIK ERUPTION

Nazarova M.A., Tarasov K.V.

*Institute of Volcanology and Seismology, Far East Branch, Russian Academy of
Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky*

Scientific adviser is Dr. g.-m. s. Karpov G.A.

Discussed are the results of mineralogical-geochemical study of saline stalactites formed on the walls of a lava cave after FTE – 50. Their mineral composition has been determined. Some peculiarities of their microelement contents have been considered.

УДК 551.231

САМОРОДНАЯ СЕРА ФУМАРОЛЬНЫХ ПОЛЕЙ ВУЛКАНОВ
ВОСТОЧНОЙ КАМЧАТКИ*Плутахина Е.Ю.^{1,2}, Малик Н.А.¹, Назарова М.А.¹*¹*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*²*Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга
г. Петропавловск-Камчатский**Научный руководитель: к.г.-м.н. Округин В.М.*

В данной работе представлены результаты исследований самородной серы фумарольных полей таких активных вулканов Камчатки, как Авачинский, Корякский, Мутновский, Кизимен, выполненных в 2013-2015 гг. с применением современных физико-химических методов анализа. Приводятся данные о морфологии, структуре, химическом составе самородной серы.

Ключевые слова: сера, фумаролы, вулкан, селен, теллур, Камчатка,

ВВЕДЕНИЕ

Активные вулканы Камчатки – природные геохимические реакторы, выносящие на земную поверхность большое количество химических элементов и соединений. Фумарольные газы, проходя по сложной системе ослабленных зон, реагируя с вмещающими породами, изменяясь при конденсации и испарении, образуют возгоны – твердые минеральные фазы, несущие в себе информацию об изменениях, произошедших с вулканом.

Самородная сера – один из самых распространённых минералов продуктов вулканической деятельности. Она сублимируется из фумарольных газов в зонах температурных барьеров и её можно применять для определения физико-химических условий относительно длительных периодов фумарольной деятельности.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОБЪЕКТАХ ИССЛЕДОВАНИЯ

Авачинский вулкан – один из наиболее активных вулканов Камчатки, расположенный вблизи (23-30 км) Петропавловск-Елизовской городской агломерации. Вулкан типа Сомма-Везувий, современный конус которого сложен порода-

ми андезибазальтового состава. В результате последнего эффузивно-эксплозивного извержения 1991 г. лава заполнила кратер вулкана. В октябре 2001 г. фреатическими взрывами лавовая «пробка» была нарушена системой субпараллельных трещин, к наиболее длинной и мощной из которых приурочены крупные фумарольные площадки – Западная фумарола и Восточное поле [3]. Низкотемпературные ($<98\text{ }^{\circ}\text{C}$) выходы газа расположены на гребне кратера (Серный Гребень) и контакте «пробки» со стенками кратера (рис. 1).

Восточное фумарольное поле размером $\sim 50\times 30$ м вытянуто вдоль трещины в юго-восточной части лавовой «пробки» и представляет собой скопление выходов газа (T до $500\text{-}665^{\circ}\text{C}$), обрамленных инкрустациями. Необходимые для изучения образцы были отобраны в северной части поля возле «Режимной фумаролы 1» с температурами $585\text{-}630^{\circ}\text{C}$.

Температура фумарол Серного гребня, вытянутого вдоль северо-западной части кромки кратера, не превышает 98°C . В соответствии со своим названием, это поле почти полностью покрыто коркой плотной массивной серы, все породы сильно изменены.

Корякский вулкан – стратовулкан, сложенный породами от базальтового до андезитового составов. Фумарольное поле, образовавшееся во время извержения

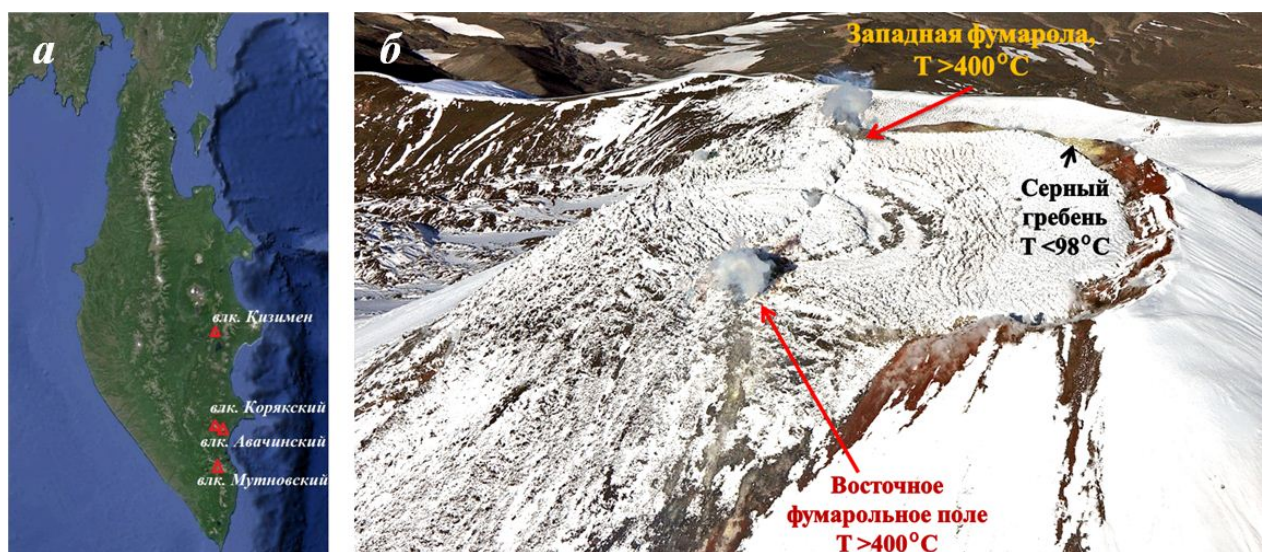


Рис. 1. Карта Камчатского полуострова с расположением: а – объектов исследования; б – фумарольных полей привершинной части Авачинского вулкана.

1956-57 гг., находится на северо-западном склоне с абсолютной высотой около 3000 м (на 500 м ниже вершины). Наибольшие температуры газов, измеренные в 1983 и 1994 гг., не превышали 220°C [7]. После гидротермально-фреатического извержения 2009 г. морфология поля и максимальные температуры фумарол изменились. Во время обследования и отбора проб в апреле 2014 г. наблюдался прогрев склона, начиная с высоты ~ 2820 м. На высоте ~2900 м располагалась фумарольная площадка с многочисленными выходами газа (Т 96-100°C), инкрустированными возгонами, содержащими самородную серу (рис.2). Образцы для исследований взяты в южной части поля около трещины с интенсивным выходом газа (Т ~ 317°C).

Мутновский вулкан – вулканический хребет, состоящий из трех слившихся стратоконусов, находящийся в 70 км к югу от г. Петропавловск-Камчатский (рис. 3а). Продукты извержений – от базальтов до риодацитов; тефра последних извержений представлена базальтами. Образцы самородной серы взяты на Донном и Верхнем фумарольных полях (Т=98-280°C), расположенных в Северо-восточном кратере, и фумарол Активной воронки в Юго-западном кратере, фумарольные газы которой содержат наивысшие концентрации магматических компонентов для всего района [2] (рис.3б).



Рис. 2. Корякский вулкан: а – общий вид вулканической постройки; б – агрегат самородной серы.



Рис. 3. Мугновский вулкан: а – общий вид вулкана; б – агрегат самородной серы.

Вулкан Кизимен – одиночный конус со сложным строением. Породы представлены роговообманковыми андезитами, дацитами, андезибазальтами и базальтами [6] (рис. 4а). До извержения 2010-2013 гг. на северо-западном склоне вулкана с абсолютной высотой 1950 м (в 400 м ниже вершины) располагалась единственная постоянно действующая фумарольная площадка, известная с 1825 г.

В октябре 2014 г. при посещении привершинного фумарольного поля, появившегося на западном склоне вулкана (на высотах от 2250 м и до вершины), были отобраны две группы образцов с самородной серой: а) возле самой высокотемпературной фумаролы ($T \approx 270^\circ\text{C}$); б) около низкотемпературных ($T \leq 100^\circ\text{C}$) газовых выходов (рис. 4б).

ЦЕЛИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследований – изучение типоморфных особенностей минералов, происхождение которых связано с вулканической деятельностью.

Задача – получение новых данных о типоморфных особенностях (габитус, микроморфология, структура, химический состав) фумарольной серы активных вулканов Камчатки.

Методы исследований: – классическая минералогия и минераграфия; – рентгенофазовый анализ (XRD-7000 MAXima Shimadzu); – аналитическая

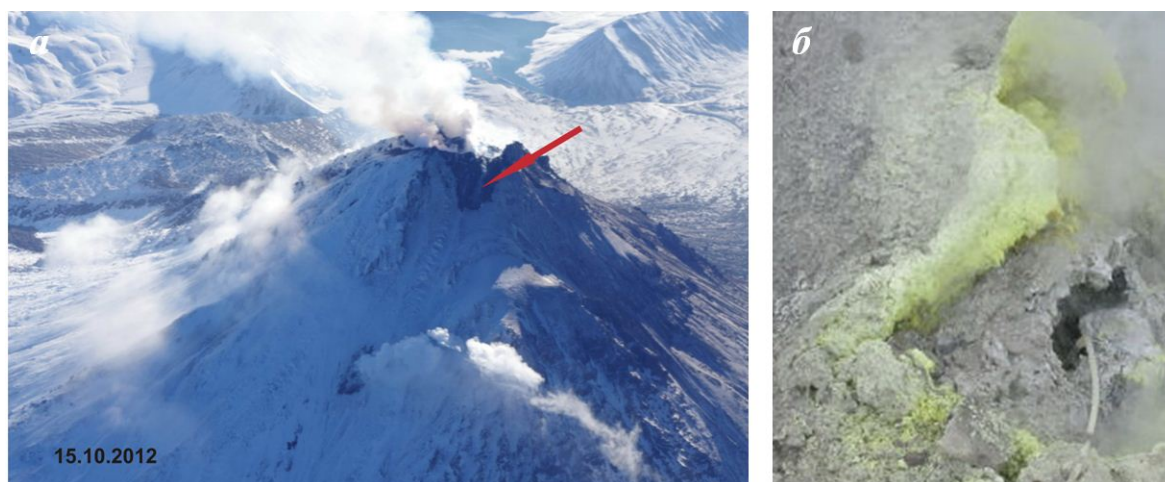


Рис. 4. Вулкан Кизимен: а – общий вид вулканической постройки; б – самородная сера на фумарольной площадке.

сканирующая электронная микроскопия (Vega3 Tescan с программным обеспечением Oxford Instruments, Аналитический Центр, лаборатория вулканогенного рудообразования ИВиС ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский); – масс-спектрометрия с индукционно связанной плазмой (ICP-MS, АСИЦ ИПТМ РАН, г. Черногоровка).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Самородная сера фумарольных площадок различается по: - цвету; - морфологии; - количеству механических загрязнений; - химическому составу.

Сера Авачинского вулкана. Установлено два вида серы – сера с Серного гребня, Западной трещины и сера с Восточного поля. Сера Серного гребня мелкокристаллическая, кристаллы ромбодипирамидальные со ступенчатыми структурами роста на гранях, в массивных агрегатах ярко-желтые (рис. 5а). Сера Восточного фумарольного поля представлена отдельными дендритовидными и скелетными агрегатами до 1-2 мм длиной. Морфология - характерная для псевдоморфоз ромбической серы по моноклинной [1]). Микроромбические и усечено-пирамидальные. В плотных корках и натечных агрегатах сера бывает аморфной (агрегат с раковистым сколом, на дифрактограмме проявляется в виде гало). Встречаются макроскопические каналы продувки и трубкообразные формы роста. Микроморфология серы часто совпадает с основ-

ной морфологией, за исключением появления пинакоидальных, толстопризматических и шарообразных форм. Интенсивность цвета нарастает от лимонно-желтого до рыжевато-красного при увеличении концентраций селена, теллура, мышьяка от 10 ppm.

Сера Корякского вулкана. Агрегаты рыхлые, кристаллические, желтого цвета, с минимальными следами оплавления (рис. 5б). Зеленоватый оттенок в единичных кристаллах, обусловлен тесным срастанием серы с нашатырем, вплоть до невозможности выделения монофракции. Белые оттенки агрегатов связаны с мелкой размерностью частиц серы и ассоциирующих минералов, серые оттенки – только с механическим загрязнением.

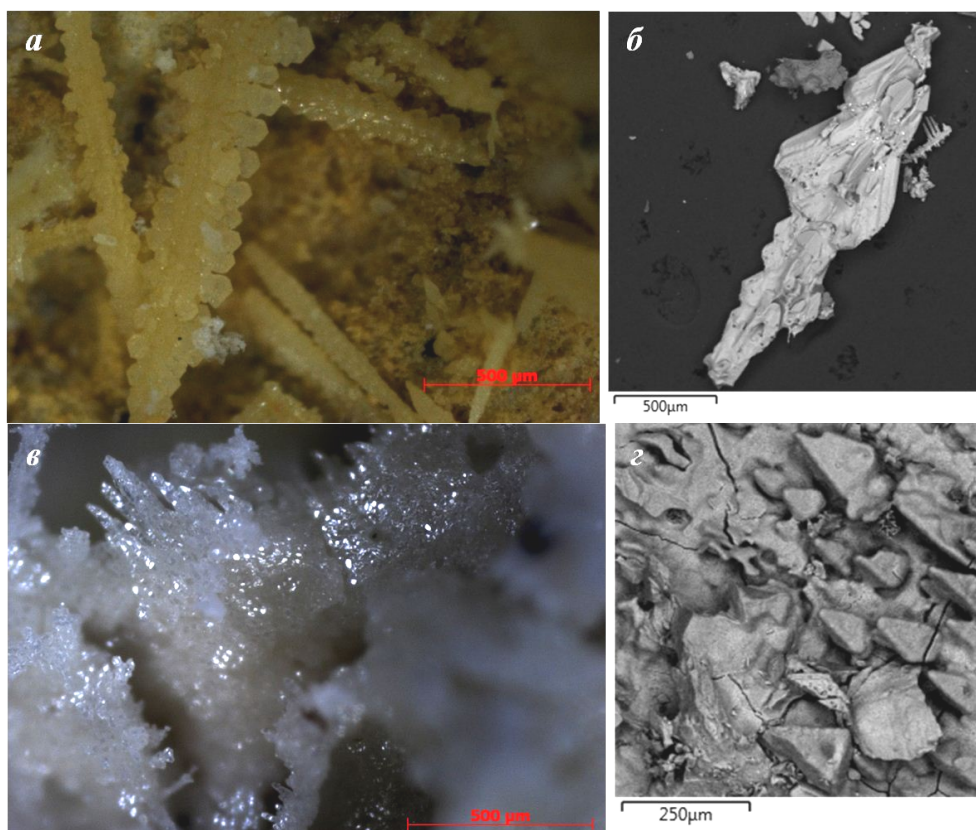


Рис. 5. Микроморфология самородной фумарольной серы: а,б – вулкан Аватчинский, Восточное фумарольное поле; в,г – вулкан Корякский.

Сера Мутновского вулкана. Агрегаты плотные, слегка оплавленные, преимущественно ярко-желтых оттенков. На сколе микрокристаллы ромбических форм, структуры роста на гранях практически не выражены (рис. 6а). Кристал-

лов с морфологией, похожей на псевдоморфозы ромбической серы по моноклинной не обнаружено. Редко встречаются тонкие трубкообразные формы роста.

Сера вулкана Кизимен. Цвет желтый с зеленоватым оттенком. Агрегаты кристаллические плотные; кристаллики с поверхности агрегатов с оплавленными гранями, часто с механическим загрязнением ассоциирующими минералами (опал, гипс, сульфат меди) и обломками пород. Плотные, массивные, агрегаты с натечными формами на внешней поверхности имеют «поры», в которых диагностированы скелетные структуры нашатыря (рис. 6б) [5].

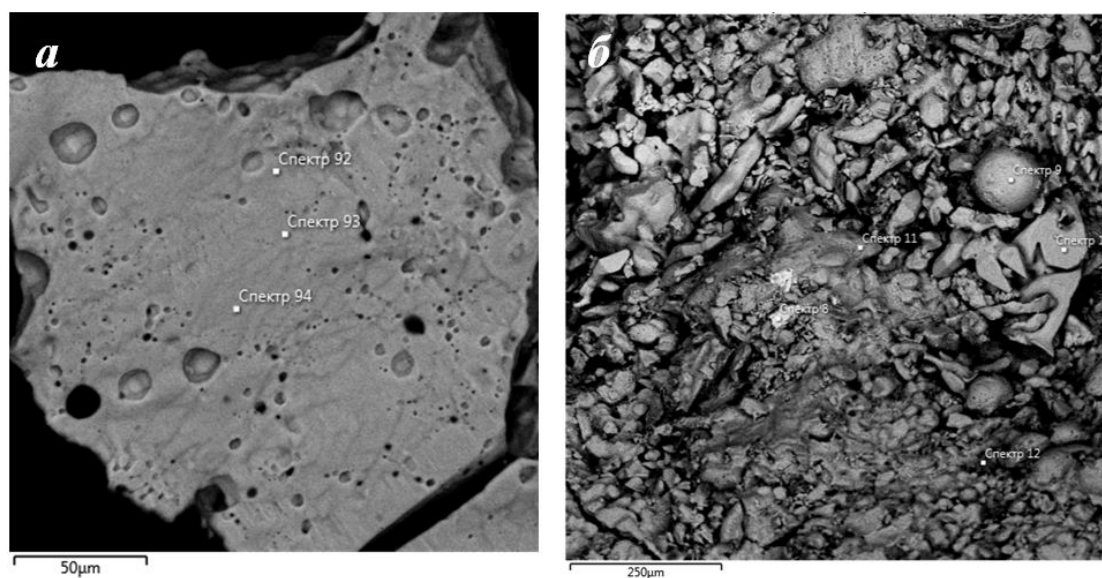


Рис. 6. Микроморфология самородной фумарольной серы: а – вулкан Мутновский; б – вулкан Кизимен.

Для проверки степени достоверности определения методами рентгенофазового анализа наличия самородной серы в смеси с другими веществами был проведен эксперимент. Для этого самородная сера смешивалась в разных пропорциях с другими минералами возгонов (рис. 7).

Эксперимент подтвердил достоверность определения присутствия самородной серы в смесях, различающихся количеством «механических» примесных компонентов. Замечено, что увеличивающееся гало, видимое на дифрактограммах, служит первым признаком плохо подготовленной монофракции.

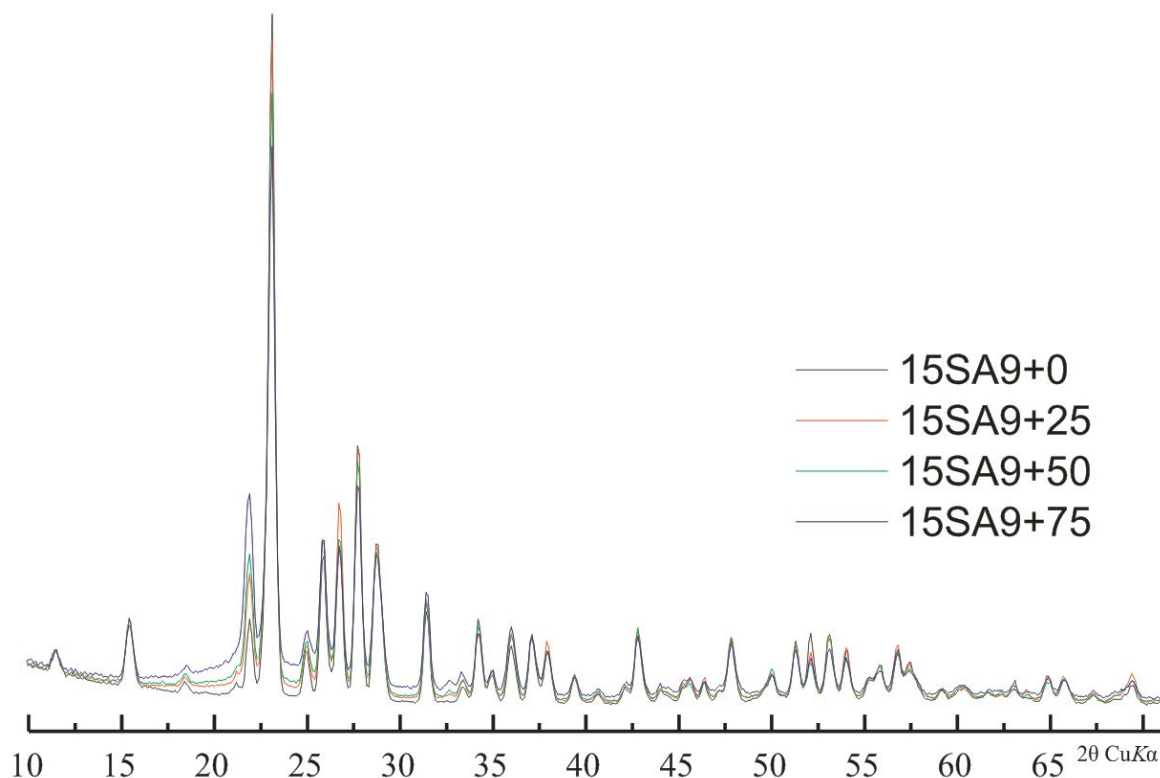


Рис. 7. Результат сопоставления данных по экспериментальной оценке надежности диагностики методом рентгенофазового анализа смесей самородной серы, «загрязненных» присутствием других веществ. 15SA9 – номер пробы, число после знака «+» - массовый процент загрязняющего вещества.

В таблице 1 приведены результаты анализа монофракций серы методами ИСР. Для анализа были взяты образцы серы наиболее близкие по цвету (желтые, преимущественно без оттенков), морфологии (кристаллы ромбического габитуса) и условиям взятия исходных проб (температуры опробования $100 \pm 20^\circ\text{C}$).

При изучении образцов методами сканирующей электронной микроскопии на приборе SEM Vega3 Tescan наибольшее количество «затравок» ассоциирующих минералов было диагностировано на агрегатах фумарольной серы Авачинского вулкана. Этот факт может объясняться сложной микроморфологией поверхности (структурные, каркасные, нитевидные формы роста), способствующей росту нанокристаллов других минералов. Четкого зонального строения кристаллов серы, обусловленного локальным концентрированием теллура или селена не установлено.

Таблица 1. Химический состав самородной серы fumarольных полей активных вулканов (ppm)

Элемент	ПО, мкг/г	Авачинский	Корякский	Мутновский	Кизимен
B	1	< ПО	< ПО	6.3	< ПО
Na	13	< ПО	< ПО	51.5	< ПО
Mg	3	< ПО	< ПО	55.2	< ПО
Al	2	20.3	< 170	543	< ПО
P	3	15.0	177	< ПО	< ПО
K	3	2.5	< ПО	20.0	10.3
Ca	2	14.5	< ПО	242	57.7
Mn	0.09	< ПО	< ПО	3.0	0.28
Fe	0.8	17.3	33.4	331	19.6
Se	0.5	4.9	< ПО	207	637
Zr	0.3	2.5	2.5	< ПО	< ПО
Te	0.02	< ПО	< ПО	3.3	0.84
Ba	0.03	0.10	0.2	0.30	0.38
Hg	0.03	< ПО	< ПО	0.57	0.57
Tl	0.001	< ПО	< ПО	0.0075	< ПО
Pb	0.1	< ПО	0.82	0.66	< ПО
Bi	0.06	< ПО	< ПО	0.023	< ПО

Примечание: ПО - предел обнаружения; <ПО – ниже предела обнаружения; Li, Be, Sc, Ti, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Br, Rb, Sr, Y, Nb, Mo, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Cs, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Th, U – содержания ниже предела обнаружения или не превышают его в 3 раза; жирным выделены характерные элементы-примеси самородной серы.

ВЫВОДЫ

Самородная сера – один из основных минералов fumarольных площадок активных камчатских вулканов Авачинский, Корякский, Мутновский, Кизимен. Её морфология и химический состав зависят от температур вулканических газов как во время образования, так и последующих преобразованиях.

Только на Авачинском вулкане найдены агрегаты fumarольной серы с морфологией, соответствующей псевдоморфозе ромбической серы по моноклинной.

Самородная сера вулканов Корякский и Кизимен находится в тесной ассоциации с нашатырем. В ней присутствует селен и отсутствует мышьяк.

Самородная сера Авачинского и Мутновского вулканов отличается аномальными концентрациями селена и теллура.

Вариации типоморфных особенностей самородной серы (минеральные ассоциации, морфология, химический состав) fumarольных выходов таких действующих вулканов как Авачинский и Кизимен могут быть использованы в качестве одного из признаков изменений их активности.

Авторы признательны Округиной А.М., Чебровой Н.И., Курносковой Н.Ю., Карташевой Е.В., Куликову В.В., Куликовой Р.Н., Лунькову В.Ф., Платонову А.А., Кудяевой Ш.С., Зобенько О.А., Яблоковой Д.А., Карандашеву В.К., Гайдамако И.М., Косорукову В.Л. за помощь в сборе, подготовке каменного материала и проведении химико-аналитических исследований, интерпретации полученных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вулканические серные месторождения и некоторые проблемы гидротермального рудообразования, под ред. Власова Г.М. М., 1971.
2. Зеленский М.Е., Таран Ю.А., Дубинина Е.О. и др. Источники летучих компонентов для вулкана зоны субдукции: Мутновский вулкан, Камчатка // Геохимия. 2012. № 6. С. 555–575.
3. Малик Н.А., Зеленский М.Е. О температуре и составе газа fumarол вулкана Авачинский в 2012–2013 г. // Материалы региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвященной Дню вулканолога, 27-28 марта 2014 г. - Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2014. С. 94-97.
4. Малик Н.А., Максимов А.П., Ананьев В.В. Извержения вулкана Кизимен в 2010-2012 гг. и его продукты // Материалы региональной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвященной Дню вулканолога, 29 - 30 марта 2012 г. – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2012. С. 64-70.
5. Малик Н.А., Плутахина Е.Ю. Самородная сера вулкана Кизимен // Материалы XII Региональной молодежной научной конференции «Исследования в области наук о Земле» 25 ноября 2014 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2014. С. 31-38.
6. Мелекесцев И.В., Пономарева В.В., Волынец О.Н. Вулкан Кизимен (Камчатка) – будущий Сент-Хеленс? // Вулканология и сейсмология. 1992. № 4. С. 3-32.
7. Taran Y.A., Cornor C.B., Shapar V.N. et al. Fumarolic activity of Avachinsky and Koryaksky volcanoes, Kamchatka, from 1993 to 1994 // Bull. Volcan. 1997. V. 58. P. 441-448.

FUMAROLIC NATIVE SULFUR OF EASTERN KAMCHATKA VOLCANOES

Plutahina E. Yu., Malik N.A, Nazarova M.A.

This paper presents the results of research of native sulfur from fumarolic fields of Avachinsky, Koryaksky, Mutnovsky and Kizimen volcanoes carried out in 2013-2015. The data on the morphology, crystal structure, chemical composition of native sulfur is summarized.

Keywords: sulfur, fumarole, volcanoes, Kamchatka.