



УДК 551.21+552.3

А. О. Волынец¹, Д. В. Мельников¹, А. И. Якушев²,
И. Г. Грибоедова²

¹ *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
e-mail: a.volynets@gmail.com*

² *Институт геологии, геохимии и минералогии рудных месторождений РАН,
Москва*

Трещинное Толбачинское извержение 2012–2013 гг.: первые данные о вариациях состава пород, вкрапленников и кристаллолапиллей плагиоклаза.

Представлены первые данные о характере вариаций состава пород Трещинного Толбачинского извержения с начала и до конца извержения. Показано, что после существенного изменения состава лав в первые дни извержения, связанного с миграцией центра из прорыва Меняйлова в прорыв Набоко, в дальнейшем состав пород оставался постоянным на протяжении всех 9 месяцев. Лавы нового извержения относятся к глинозёмистым трахиандезибазальтам; содержание щелочей, титана во всех извергнутых породах и SiO₂ в породах прорыва Меняйлова выше, чем в изученных ранее вулканитах Толбачинского дола. Показано, что для фенокристаллов плагиоклаза характерна нормальная, обратная и пятнистая зональность, тогда как кристаллолапилли плагиоклаза демонстрируют преимущественно осцилляционную и пятнистую зональность. Приведены сведения о макро — и микроэлементном составе породообразующих минералов, интерстициальных стёкол, стекловатых включений в оливине и кристаллолапиллях.

Введение

Толбачинский Дол (ТД) — южная часть крупнейшей на Камчатке зоны моногенного вулканизма, пересекающей Ключевскую группу вулканов — активно формировался в голоценовое время. Последние 10 тыс. л. н. здесь изливались глинозёмистые субщелочные базальты и андезибазальты, а начиная с 2 тыс. л. н. появились также высокомагнезиальные базальты умеренной щёлочности [1]. Последний эпизод активизации Дола зафиксирован в 1975–1976 гг. Это извержение известно под названием Большого Трещинного Толбачинского извержения (БТТИ) и хорошо изучено [1, 2]. Объём извергнутых продуктов составил 2,2 км³, площадь лавовых потоков — 45 км². Извержение началось с поступления на поверхность высокомагнезиальных базальтов в Северном прорыве. В момент окончания работы Северного прорыва состав пород сменился на промежуточный, а в Южном прорыве извергались глинозёмистые базальты. Спустя 36 лет после окончания этого извержения началась новая активизация ТД, ознаменовавшаяся очередным трещинным извержением, продолжавшимся 9 месяцев и получившим название «Трещинное Толбачинское извержение имени 50-летия ИВиС» (ТТИ-50). В настоящей работе приводятся первые данные о характере изменения состава пород в процессе извержения, составе стекла основной массы и расплавных включений, составе

и характере зональности вкрапленников, микролитов и кристаллолапиллей плагиоклаза.

Петрологические и геохимические особенности пород извержения.

Извержение началось с раскрытия трещины и фонтанирования лавы в прорыве Меняйлова, который функционировал в течение трёх дней, после чего центр извержения сместился и был сосредоточен в прорыве Набоко вплоть до затухания вулканической активности в начале сентября 2013 г. Породы, извергнутые в первые три дня извержения, представлены глинозёмистыми трахиандезибазальтами с содержаниями кремнезёма до 55,35 вес. % и K₂O до 2,67 вес. % (рис. 1), и таким образом, являются самыми кислыми и щелочными из всех изученных в ТД вулканитов (по SiO₂ — не считая продуктов деятельности стратовулкана). Макроскопически это субафировые чёрные достаточно плотные лавы с редкими фенокристаллами плагиоклаза и субфенокристаллами плагиоклаза, оливина и пироксена. В начале декабря, когда центр извержения сместился в прорыв Набоко, начали извергаться породы более основного состава: содержание SiO₂ упало практически на 2% и оставалось на этом уровне до конца извержения; при этом выросли значения MgO, TiO₂, Mg# и уменьшились — K₂O, Na₂O и отношение K₂O/MgO (рис. 2). Первые порции лав прорыва Набоко от 2–7 декабря по Mg#, содержанию SiO₂, MgO и щелочей, отношению K₂O/MgO

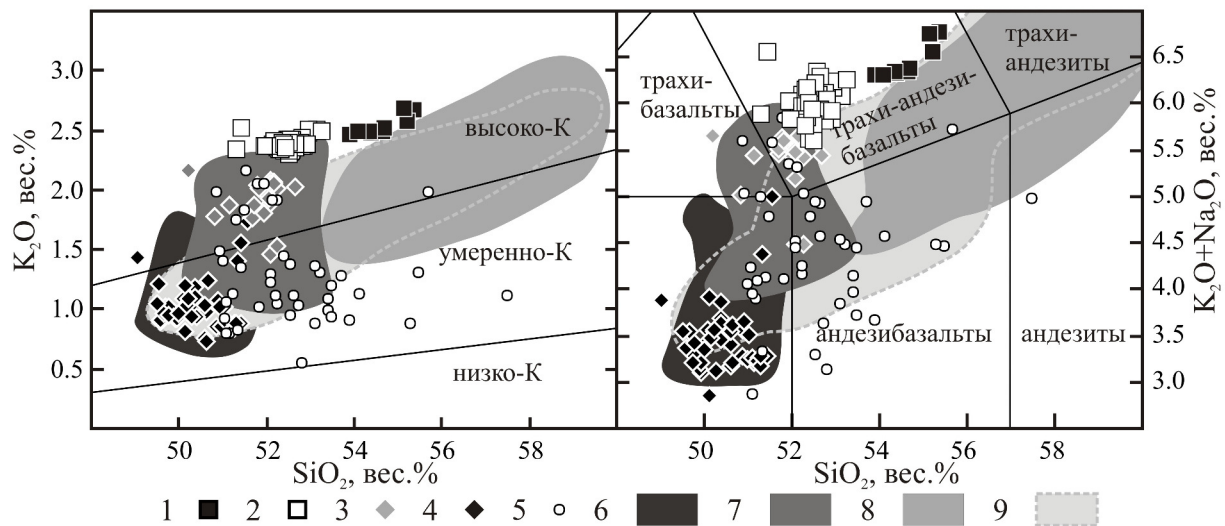


Рис. 1. Классификационные диаграммы K_2O-SiO_2 и TAS для пород ТТИ-50 в сравнении с породами ТД, стратовулканов Плоский и Острый Толбачики, Плоских сопок. Условные обозначения: прорывы ТТИ-50: 1 — Меняйлова, 2 — Набоко; прорывы БТТИ [1, 2, 10, 12]: 3 — Южный, 4 — Северный; 5 — в. Плоский и Острый Толбачики [4, 12]; породы ТД [1, 2, 10, 12]: 6 — Mg-базальты, 7 — Al-базальты и андезибазальты; породы массива Плоские сопки [5, 6]: 8 — моногенная зона (шлаковые конуса и кальдеры), 9 — в. Крестовский и Ушковский. Дискриминационные линии по [8].

могут рассматриваться как промежуточные между лавами прорыва Меняйлова и более поздними лавами прорыва Набоко, вплоть до его окончания (последние пробы были взяты из активного кратера 29 августа 2013 г.) (рис. 2). Состав продуктов извержения оставался практически неизменным на протяжении всего оставшегося периода извержения.

Графики распределения микроэлементов и РЗЭ в андезибазальтах ТТИ-50 обнаруживают весьма незначительные отличия пород прорывов Меняйлова и Набоко (рис. 3). Все вулканы имеют типично-островодужный облик, что выражается в повышенных содержаниях флюид-мобильных элементах по отношению к неподвижным во флюиде. Породы прорыва Меняйлова имеют несколько более высокие концентрации всех РЗЭ, чем породы прорыва Набоко при постоянных меж-элементных отношениях. Они располагаются суб-параллельно к графикам распределения микроэлементов в лавах Южного прорыва БТТИ, что позволяет предположить генетическое родство родоначальных магм этих прорывов. Также похожие спектры распределения несовместимых микроэлементов найдены в нескольких образцах трахиандезитов массива Плоские Сопки (рис. 3). Породы ТТИ-50, наряду с высокими содержаниями титана и щелочей, отличаются ростом содержания Y, Zr, Rb (рис. 4), и в меньшей степени, Ba. При этом межэлементные отношения относительно постоянны и значимых корреляций не образуют.

Минеральный состав пород ТТИ-50. Плаггиоклазы и зональность в них

Выполнено 32 анализа субфенокристаллов Ol, 16 — Px, 12 — рудного минерала, 60 анализов интер-

стициального стекла и природно-закалённых включений в плаггиоклазе и оливине, и более 700 анализов плаггиоклаза (суб- и фенокристаллов, микролитов, кристаллолапиллей). Все проанализированные оливины имеют достаточно железистый состав, и представлены Fo64-80 в лавах прорыва Меняйлова и Fo68-75 в лавах прорыва Набоко. Для оливинов весьма характерны скелетные кристаллы, наличие которых говорит о быстром охлаждении расплава. Пироксены представлены авгитами и салитами, более богатыми Al_2O_3 и TiO_2 , чем пироксены БТТИ [1]. Детальное геохимическое изучение плаггиоклаза проводилось в двух образцах лав прорыва Набоко (извергнутых в феврале (обр. ТО-19) и августе (обр. ТОLB1317)) и в пяти образцах кристаллолапиллей — два из которых были выброшены на поверхность в декабре 2012 г., а три — в 2013 г., когда уже был сформирован новый конус. Фено- и субфенокристаллы плаггиоклаза в изученных породах представлены лабрадором и битовнитом двух генераций: 1) — в различной степени резорбированные, как правило, достаточно крупные (до нескольких мм по удлинению) кристаллы, с большим количеством включений стекла и разъеденными краями и 2) — нерезорбированные зёрна с ровными контурами, обычно небольшого размера. Для исследованных вкрапленников отмечена нормальная и обратная зональность (рис. 5, I и II), а также участки с пятнистой зональностью, в которых замерены максимальные содержания анортита (до An83, при разбросе составов An54-82). Микролиты, как правило, не зональны. Кристаллолапилли плаггиоклаза характеризуются осцилляционной зональностью, с вариациями анортита в пределах An57-63 (рис. 5, III и IV). Формирование такого вида зональности

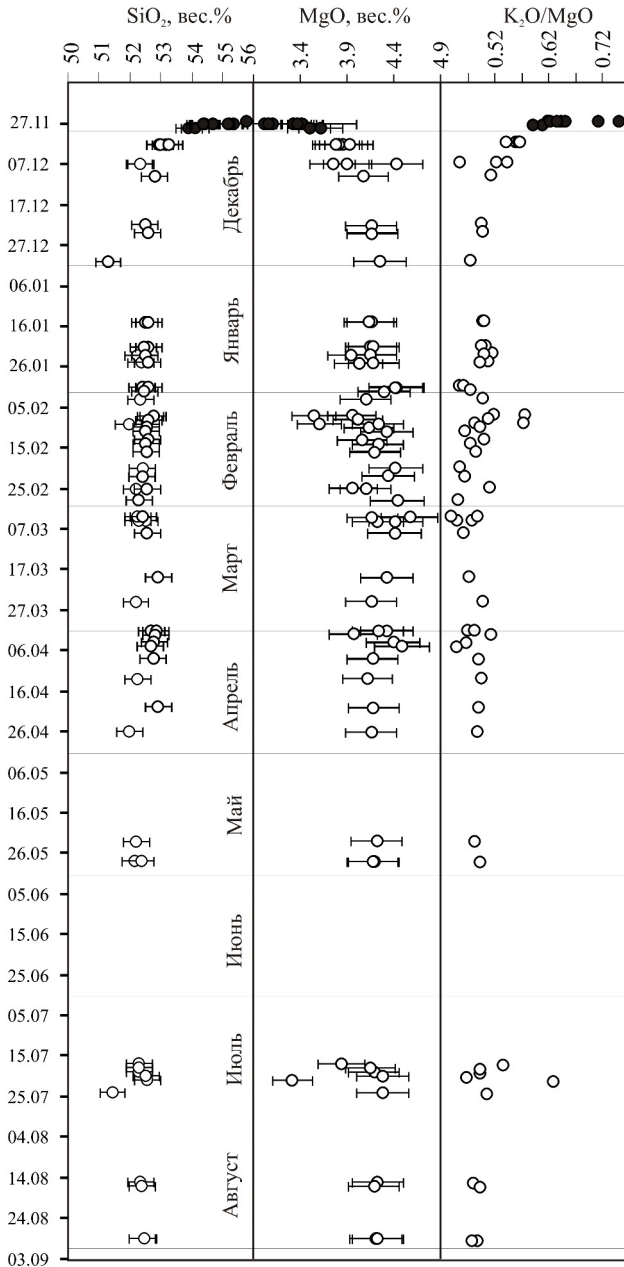


Рис. 2. Изменение состава пород ТТИ-50 в процессе извержения, по вертикальной оси отложено время. Чёрные символы — породы прорыва Меняйлова, белые — породы прорыва Набоко. Горизонтальные линии — планки погрешностей измерения.

связывается с диффузионным контролем роста плагиоклаза при крайне низких скоростях роста [14]. Краевые части зёрен лапиллей насыщены включениями и заливами стекла (рис. 5, III и IV), отмечены структуры туннельного растворения (рис. 5, III); встречаются твердофазные вроски оливина, пироксена, плагиоклаза, магнетита; для зон резорбции характерно наличие участков с пятнистой зональностью, окружающих стекловатые включения, причём именно к таким зонам приурочены максимальные измеренные значения анортита, до An74. Отмечены

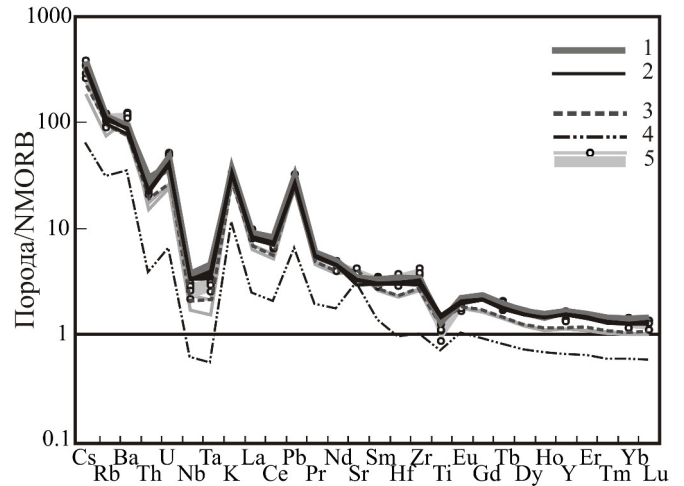


Рис. 3. Распределение РЗЭ и микроэлементов в породах ТТИ-50. 1, 2 — прорывы ТТИ-50: 1 — Меняйлова, 2 — Набоко; 3, 4 — прорывы БТТИ [10]: 3 — Южный, 4 — Северный; 5 — высоко-К породы вулканического массива Плоских Сопок [5, 6]. Концентрации элементов в NMORB [15].

также участки с прямой зональностью на краю кристаллолапиллей, с вариациями состава An71–64. Наличие краевых зон с содержаниями анортита, существенно превышающими средние значения в осцилляционно-зональных участках может быть связано с несколькими причинами: 1) контакте лапиллей с более основными расплавами, чем те, из которых они кристаллизовались; 2) разогреве системы (например, путём ретроградного вскипания перед извержением); 3) влиянием воды на состав кристаллизующегося плагиоклаза. Проанализированные стекла из зон резорбции, равно как и краевые стекла, окружающие кристаллолапилли, имеют концентрации кремнезёма и магния, сходные с таковыми в породах извержения (52,4 – 56,2 вес. % и 2,97 – 4,43 вес. %, соответственно) при более высоких K_2O , TiO_2 , P_2O_5 и меньших концентрациях глинозёма; таким образом, повышение содержания анортитовой молекулы вряд ли было связано с инъекцией основных магм.

Нами были проанализированы концентрации микроэлементов в плагиоклазах (Fe, Mg, Ti, Sr, Ba). Для кристаллолапиллей отмечено отсутствие корреляций между содержаниями микроэлементов и анортитовой компонентой. Это может быть связано с относительным постоянством химического состава расплава, из которого кристаллизовались лапилли. В фенокристаллах наблюдаются отрицательные корреляции Fe, Mg и Ti с анортитом. Подобные явления были описаны ранее в высококальциевых (An > 80) плагиоклазах четвертичных вулканических пород Камчатки [3] и вулкана Кизимен (с An > 75) [7]; также отрицательные корреляции K_{Mg} , K_{Fe} , K_{Ti} и An отмечены в работе [9] для An40–80. В работе [7] подобные корреляции An–Mg связываются авторами с тремя возможными

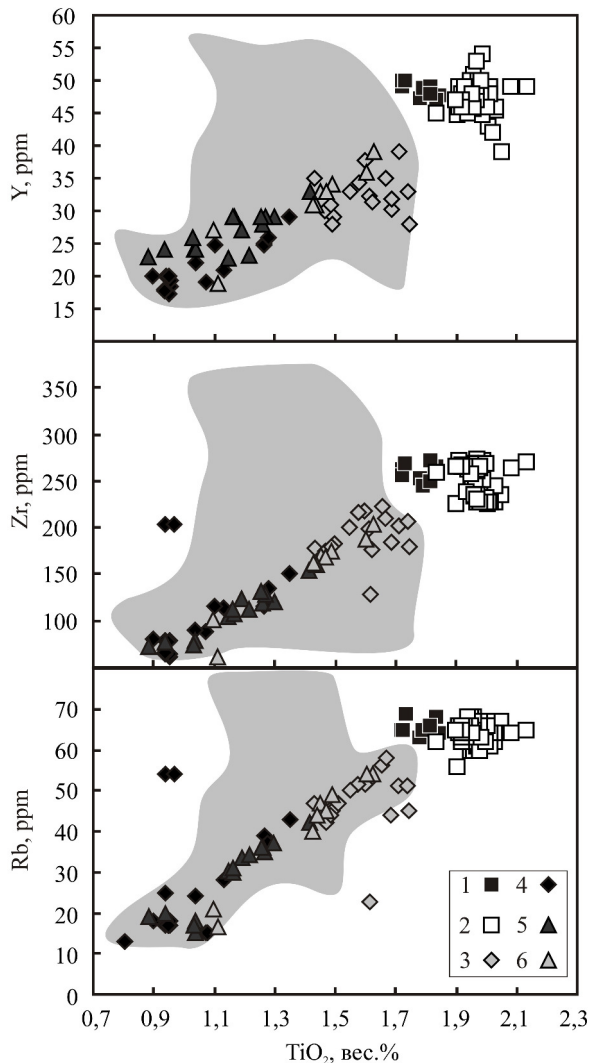


Рис. 4. Корреляции содержания микроэлементов (Y, Zr, Rb) с концентрациями TiO_2 . Условные обозначения: прорывы ТТИ-50: 1 — Меняйлова, 2 — Набоко; прорывы БТТИ [10, 12]: 3 — Южный, 4 — Северный; породы ТД [10, 12]: 5 — Mg-базальты, 6 — Al-базальты и андезитбазальты; полем показаны составы пород массива Плоские сопки [5, 6].

причинами: 1) пополнением очага горячими высоко-Mg расплавами с накоплением Mg, 2) кристаллизацией плагиоклаза как первой и единственной фазы, и 3) нелинейным поведением коэффициента распределения $K_{d_{\text{Mg}}}$ в системе расплав-плагиоклаз. Для железа отмечается также сильная зависимость от фугитивности кислорода [11]. В целом, отмеченное явление требует дополнительного изучения.

В образцах лавы TOLB1317 и TO-19 сделано несколько анализов интерстициальных стёкол (в других изучаемых образцах стекла оказались раскристаллизованы), стекловатых расплавных включений в оливине и заливов стекла внутри скелетных кристаллов оливина. Стекла основной массы характеризуются более кислым, по сравнению с породой, составом (до 56 вес.%) и обладают

существенно меньшей магнезиальностью, тогда как стекла расплавных включений в оливине (так же, как и краевые стекла лапиллей) в этом смысле идентичны породам. Концентрации титана, калия, фосфора, кальция в интерстициальных стеклах существенно выше, чем в породах, а глинозёма и натрия, напротив — меньше.

Выводы

1. Лавы нового извержения относятся к глинозёмистым трахиандезитбазальтам; содержание щелочей, титана во всех извергнутом породах и SiO_2 в породах прорыва Меняйлова выше, чем в изученных ранее вулканитах Толбачинского дола. После существенного изменения состава лав в первые дни извержения, связанного с миграцией центра из прорыва Меняйлова в прорыв Набоко, в дальнейшем состав пород оставался постоянным на протяжении всех 9 месяцев.

2. Графики распределения микроэлементов в породах ТТИ-50 имеют островодужные характеристики с повышенными значениями отношений флюид-мобильных элементов к элементам, непереносимым во флюиде, и располагаются суб-параллельно к кривым распределения микроэлементов в Южном прорыве БТТИ, что позволяет предположить генетическое родство магм этих извержений.

3. Для фенокристаллов плагиоклаза характерна нормальная, обратная и пятнистая зональность, тогда как кристаллолапиллы плагиоклаза демонстрируют преимущественно осцилляционную и пятнистую зональность. Фенокристаллы плагиоклаза представлены An54-82, состав кристаллолапилл отвечает An57-63. Максимальные значения анортита (An82,3 во вкрапленниках и An74 в лапиллях) измерены в участках с пятнистой зональностью. В фенокристаллах наблюдаются отрицательные корреляции концентраций Fe, Mg и Ti с анортитом.

Авторы благодарят Белоусова А., Белоусову М., Муравьева Я., Абакдырова И., Савельева Д., Сокоренко А., Горбач Н., Малик Н. за помощь в сборе образцов, Родина В. за помощь в пробоподготовке. Работа выполнена при поддержке Программы № 9 ОНЗ РАН и грантов РФФИ № 12-05-00760, ДВО РАН 12-III-A-08-165.

Список литературы

1. Большое трещинное Толбачинское извержение (1975–1976 гг. Камчатка) // Под ред. Федотова С. А., Флерова Г. Б., Чиркова А. М. — М.: Наука, 1984. 637 с.
2. Вольнец О. Н., Флёров Г. Б., Андреев В. Н. и др. Петрохимия, геохимия и вопросы генезиса пород Большого трещинного Толбачинского извержения 1975–1976 гг. // ДАН СССР. 1978. Том. 238. № 4. С. 940–943.
3. Вольнец О. Н., Пополитов Э. И., Флёров Г. Б., Кирсанов И. Т. Состав и геохимические особенности плагиоклазов четвертичных вулканических пород Камчатки и Курильских островов // Геохимия, 1977. № 5. С. 736–747.

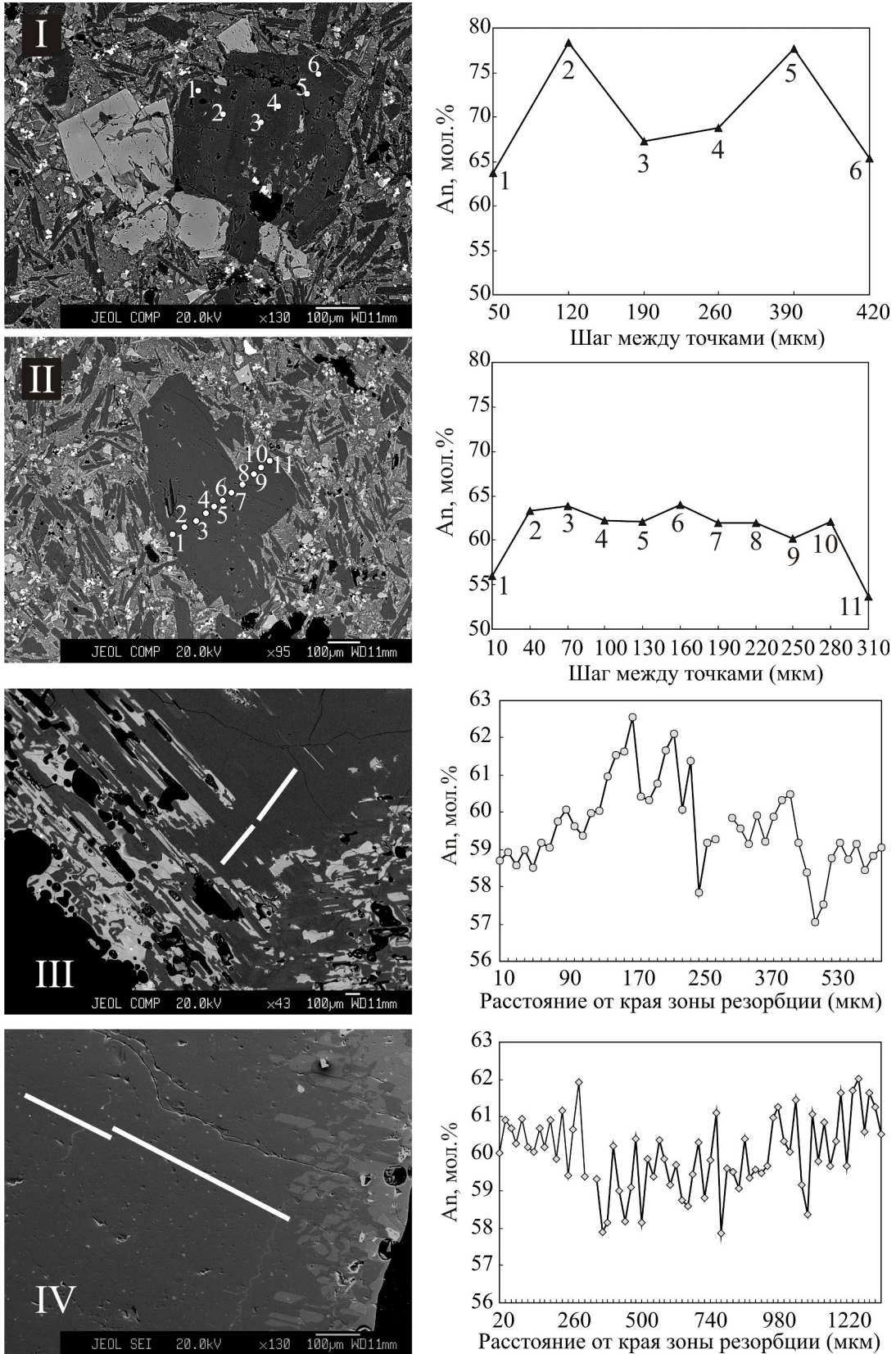


Рис. 5. Изображения в отражённых электронах (слева) и микрозондовые профили (справа) состава вкрапленников плагиоклаза из андезитбазальтов прорыва Набоко (I и II, направление профилей показано пронумерованными точками) и кристаллолапиллей плагиоклаза (III – декабрь 2013 г., IV – 2014 г., направление профилей показано белыми линиями).

4. Ермаков В. А., Важеевская А. А. Вулканы Острый и Плоский Толбачик // Бюллетень вулканологических станций АН СССР. 1973. № 49. С. 36–43.
5. Чурикова Т. Г., Соколов С. Ю. Магматическая эволюция вулкана Плоские Сопки, Камчатка (анализ изотопной геохимии стронция) // Геохимия. 1993. № 10. С. 1439–1448.
6. Чурикова Т. Г. Геохимия и моделирование магматического процесса вулканов Ключевской группы // Дис. к.г.-м.н. — М.: МГУ. 1993. 155 с.
7. Чурикова Т. Г., Иванов Б. В., Айкельбергер Дж., Вёрнер Г., Броун Б., Избеков П. Зональность по макро — и микроэлементам в плагиоклазе вулкана Кизимен (Камчатка) применительно к процессам в магматическом очаге // Вулканология и сейсмология, 2013, № 2, С. 27–47.
8. A classification of the igneous rocks and glossary of terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences on the systematics of igneous rocks // Le R. W. Maitre (ed). Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1989. 193 p.
9. Bindeman I. N., Davis A. M., Drake M. J. Ion microprobe study of plagioclase-basalt partition experiments at natural concentration level of trace elements // *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 1998, Vol. 62, № 7, P. 1175–1193.
10. Churikova T., Dorendorf F., Woerner G. Sources and fluids in the mantle wedge below Kamchatka, evidence from across-arc geochemical variation // *Journal of Petrology*. 2001. Vol. 42. P. 1567–1593.
11. Ginibre C., Woerner G., Kronz A. Minor — and trace-element zoning in plagioclase: implications for magma chamber processes at Parinacota volcano, northern Chile // *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2002. № 143. P. 300–315.
12. Portnyagin M., Bindeman I., Hoernle K. et al. *Volcanism and Subduction: The Kamchatka Region*. Washington D. C.: AGU, 2007. Vol. 172. P. 203–244.
13. Ruprecht P., Woerner G. Variable regimes in magma systems documented in plagioclase zoning patterns: El Misti stratovolcano and Andahua monogenetic cones // *Journal of volcanology and geothermal research*, 2007, № 165, P. 142–162.
14. Sibley D. F., Vogel T. A., Walker B. M., Byerly G. The origin of oscillatory zoning in plagioclase: a diffusion and growth controlled model // *American Journal of Science*, 1976. № 276. P. 275–284.
15. Sun S. S., McDonough W. F. // *Geological Society of London Special Publications*. 1989. V. 42. P. 313–345.