



УДК

А. Г. Николаева, Г. А. Карпов, О. Ф. Карданова

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский e-mail: ocean@kscnet.ru*

Распределение редкоземельных элементов (La, Ce) и полиметаллов (Cu, Zn, Pb) в глинистых аргиллизитах и минеральных осадков Узон-Гейзерного геотермального района

На базе многолетнего комплексного опробования фаций аргиллизитов, минеральных осадков и изверженных пород Узон-Гейзерного геотермального района рассмотрено распределение в них двух редкоземельных элементов (La и Ce) и триады полиметаллов (Cu, Zn и Pb). Выявлены продукты деятельности гидротермальных процессов с повышенными содержаниями РЗЭ. Обнаружены критерии связи РЗЭ с содержанием окислов калия и кальция, а также тренды поведения полиметаллов в различных минеральных ассоциациях гидротермального происхождения. Сделаны некоторые генетические обобщения по поведению РЗЭ и триады полиметаллов в гидротермальном процессе.

Введение

Фации аргиллизитов, развитые практически повсеместно на всех термальных полях Узон-Гейзерного геотермального района, фиксируют участки с проявлением пропаривания пород гидротермами в зонах интенсивной трещиноватости, а также наличие зон современного сернокислотного выщелачивания. Формой проявления процессов аргиллизации на поверхности здесь являются парящие глинистые площадки, грязевые котлы и грязевые вулканчики (рис. 1).

Выходы высокотемпературных гидротерм сопряжены с образованиями гейзеритов и карбонатов кальция. В термальных источниках и ручьях, вытекающих из термальных озёр формируются минеральные осадки (илы) сложного химического состава, включающего и частички глинистого материала.

Мы предположили, что в зависимости от кислотности-щёлочности среды, состава растворов, температуры и исходного состава пород формируются аргиллизиты и минеральные осадки с вполне определённым содержанием исследуемых элементов. Нашей задачей было найти критерии генетических связей содержаний РЗЭ и полиметаллов с конкретными продуктами гидротермальной деятельности.

В разные годы было опробовано более 20 термальных полей и термальных участков с многочисленными образованиями аргиллизитов и минеральных осадков в кальдерах Узон, Долине гейзеров, в верховьях р. Гейзерной и у южного подножья вулкана Кихпинич (рис. 2).

Результаты исследований

В табл. 1 сведены данные анализов содержаний РЗЭ и триады полиметаллов в изученных глинах,

а в табл. 2 — в изверженных породах, илах и минеральных осадках изучаемых районов.

Первое, что следует отметить — это более высокое содержание Ce, обычно превышающее содержание La в 1,5–2 раза. Наиболее высокие содержания РЗЭ отмечаются в пёстрых глинах Оранжевого поля и в глинах долго функционировавших грязевых вулканчиков, в составе которых наблюдается пониженное содержание Ca. На диаграмме CaO/La + Ce отрисовались вполне закономерные поля вариаций содержаний РЗЭ в зависимости от содержания CaO (рис. 3). Очевидно, что поле максимально-высоких содержаний РЗЭ на диаграмме совпадает с полем развития изверженных пород среднего и, преимущественно, кислого состава — дацитов и риодацитов. Сюда же попадает и участок развития сульфидного мышьяково-сурьмяно-ртутного оруденения в кальдере Узон. В гейзеритах содержания РЗЭ, как правило, минимальны. Несколько повышенное их содержание отмечается лишь в гейзеритах, имеющих примесь глинистого или рудного вещества.

Менее чёткая картина распределения РЗЭ в глинах и продуктах деятельности гидротерм наблюдается на диаграмме K₂O/La + Ce (рис. 4). Здесь также чётко выделяется поле повышенных содержаний РЗЭ в кислых изверженных породах с высоким содержанием K, но поле с повышенными содержаниями РЗЭ в продуктах деятельности гидротерм приходится, наоборот, на зону с пониженными содержаниями K.

Аналогичная картина наблюдается и на диаграмме Cu + Zn + Pb/La + Ce (рис. 33). При этом, максимально — высокими содержаниями РЗЭ характеризуются минеральные осадки (гейзериты, карбонаты, часть глин) с минимальным содержанием суммы Cu + Zn.

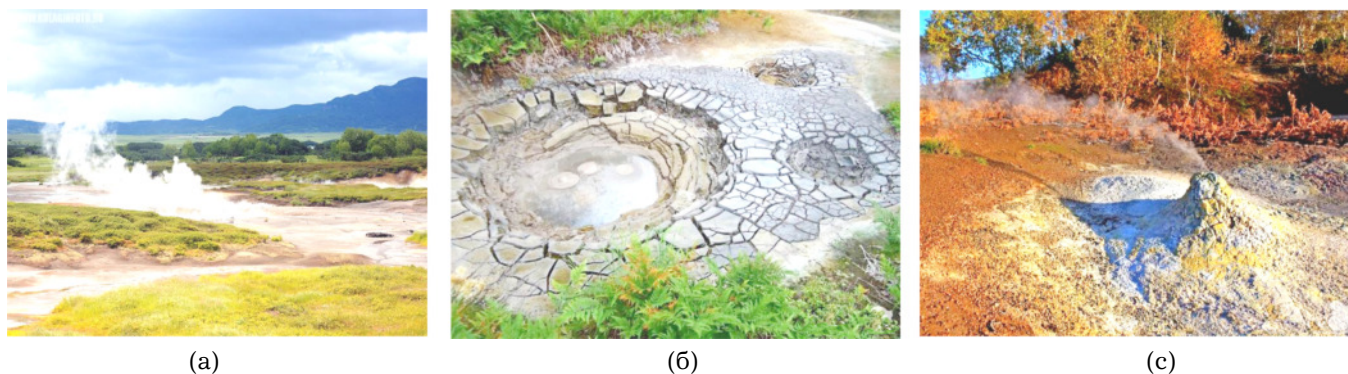


Рис. 1. Поле развития глинистых площадок в кальдере Узон (а); грязевой котел “Художник” там же (б); старый грязевой вулканчик там же (в).

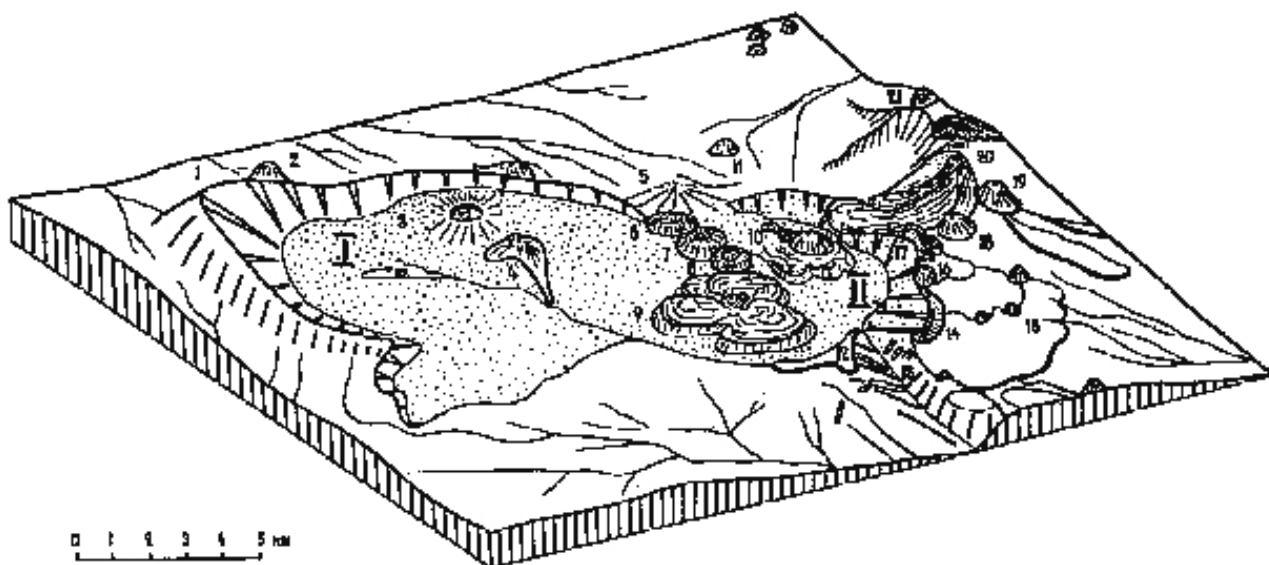


Рис. 2. Блок-диаграмма Узон-Гейзерной вулканотектонической депрессии по [10]. Квадратами с римскими цифрами внутри обозначены места наших исследований: I — кальдера Узон, II — Долина Гейзеров, III — влк. Кихпинич.

Обсуждение полученных результатов

В сводке [12] на большом фактическом материале обосновывается идея о наличии генетических связей между составом магм и гидротермальными рудными месторождениями. В этой связи логично было предположить, что флюидная система, функционирующая в кальдере Узон, где наблюдается сульфидное мышьяково-сурьмяно-ртутное оруденение [8], также могла обеспечить и поступление редкоземельных элементов. Проведённые нами исследования показали, что фиксируется хорошая зависимость содержаний РЗЭ от температуры, кислотности — щёлочности растворов, состава первичных пород, подвергшихся гидротермальной переработке. Можно вполне определенно утверждать о наличии корреляции содержаний в глинах Са и К с содержанием La и Се. Причём, наблюдается отчетливое фракционирование РЗЭ: во-первых, в растворах Се всегда преобладает над La [9], что наследуется и новообразованиями — глинами,

гейзеритами, карбонатами и рудными минералами. Во-вторых, отмечено повышенное поступление РЗЭ именно с глубинными гидротермами — дериватами растворов хлоридно-натриевого состава. Концентрирование РЗЭ в глинах связано, по нашему мнению, во-первых, с тем, что гидротермальному перерождению подвергались кислые разности пород, изначально имевшие высокие содержания РЗЭ, а во-вторых, вследствие их длительной проработки гидротермами.

В зонах сернокислотного выщелачивания этот процесс усиливается за счёт образования наиболее агрессивных кислых растворов, способствующих переходу РЗЭ в жидкую фазу. Кроме того, постоянно поступают в глины и глубинные термы, несущие РЗЭ.

По сходству Узон-Гейзерной гидротермальной системы с месторождением гидротерм Вайотапу в Новой Зеландии [11] можно предполагать и однотипность распределения РЗЭ в продуктах Ново-зеландских гидротерм.

Таблица 1. Содержание макро- и микроэлементов в глинах гидротермальных систем Камчатки.

| № п/п | Номер пробы | Место отбора | Макроэлементы | | Микроэлементы | | | | |
|--|-------------|----------------------------------|---------------|------------------|---------------|---------|--------|--------|---------|
| | | | CaO | K ₂ O | Cu | Zn | Pb | La | Ce |
| | | | % | | г/т | | | | |
| Кальдера Узон | | | | | | | | | |
| 1 | 7162/1 | Грязевой в. у скв. К-4 | 0,296 | 0,240 | 46,000 | 60,000 | 20,000 | 26,000 | 34,000 |
| 2 | 7162/2 | Грязевой в. у скв. К-4 | 0,300 | 0,258 | 45,000 | 37,000 | 20,000 | 20,000 | 31,000 |
| 3 | 7655 | Грязевой в. у скв. К-4 | 0,214 | 0,150 | 37,000 | 52,000 | 26,240 | 18,000 | 36,000 |
| 4 | 7553 | Тростниковый участок | 1,780 | 1,720 | 35,000 | 48,000 | 28,000 | 4,000 | 39,000 |
| 5 | 7656а | Шурф на нефтяном участке | 2,97 | 0,182 | 54,000 | 171,000 | 0,000 | 11,000 | 26,000 |
| 6 | 7549 | оз. Восьмёрка | 0,239 | 0,115 | 35,000 | 11,000 | 20,000 | 22,000 | 50,000 |
| 7 | 7172/2 | Шурф у скв. К-4 | 1,340 | 0,617 | 46,000 | 58,000 | 16,000 | 18,000 | 30,000 |
| 8 | 7161 | Старый гряз. вулк. (ВТП, II-уч.) | 0,203 | 0,338 | 17,000 | 7,000 | 25,000 | 35,000 | 76,000 |
| 9 | 7164/1 | Гряз. котел у оз. Восьмерка | 0,271 | 0,379 | 30,000 | 28,000 | 18,000 | 18,000 | 48,000 |
| 10 | 7164/2 | Гряз. Котёл "Опасный" | 0,265 | 0,705 | 35,000 | 15,000 | 20,000 | 21,000 | 39,000 |
| 11 | 7165 | Гряз. котел "Художник" | 0,165 | 0,342 | 43,000 | 15,000 | 8,000 | 19,000 | 38,000 |
| 12 | 7166/1 | г. Тривимитовая | 1,890 | 0,331 | 81,000 | 108,000 | 23,000 | 23,000 | 35,000 |
| 13 | 7545 | Скв. К-4 | 0,307 | 0,200 | 57,000 | 43,000 | 11,000 | 13,000 | 34,000 |
| 14 | 7547 | Ист. рядом с гейзером Шаман | 0,667 | 0,482 | 65,000 | 32,000 | 15,000 | 0,000 | 23,000 |
| 15 | 7548 | оз. Фумарольное | 1,340 | 1,110 | 35,000 | 45,000 | 30,000 | 11,000 | 36,000 |
| 16 | 7550 | Оранжевое поле | 0,182 | 0,119 | 133,000 | 9,000 | 11,000 | 7,000 | 21,000 |
| 17 | 7552 | Гряз. котёл у смотровой площадки | 0,406 | 0,451 | 55,000 | 17,000 | 20,000 | 3,000 | 28,000 |
| 18 | 7554 | Западное терм. поле | 0,250 | 0,187 | 101,000 | 22,000 | 3,000 | 4,000 | 18,000 |
| 19 | 7657 | Гряз. Котел (ВТП, III-уч.) | 0,090 | 0,073 | 48,000 | 100,440 | 24,600 | 8,080 | 16,100 |
| 20 | 7667 | Оранжевое поле | 0,156 | 0,137 | 51,000 | 20,460 | 31,160 | 29,290 | 53,200 |
| 21 | 7668 | | 0,095 | 0,103 | 15,000 | 0,000 | 29,520 | 46,460 | 94,500 |
| 22 | 7669 | | 0,106 | 0,119 | 26,000 | 5,580 | 57,400 | 56,560 | 108,500 |
| 23 | 7671 | | 0,0973 | 0,0612 | 82,000 | 14,880 | 0,000 | 5,050 | 21,700 |
| Верховья р. Гейзерной и южное подножье в. Кихпиныч | | | | | | | | | |
| 24 | 82 | ВГТП | 1,960 | 0,480 | 41,000 | 48,000 | 11,000 | 5,000 | 34,000 |
| 25 | 83 | ВГТП | 1,570 | 0,360 | 70,000 | 55,000 | 12,000 | 3,000 | 25,000 |
| 26 | 896а | Старый Кихпиныч (ТП 2) | 1,060 | 1,350 | 20,000 | 14,000 | 35,000 | 12,000 | 20,000 |
| 27 | 885 | Сопка Ближня | 0,050 | 0,030 | 29,000 | 4,000 | 24,000 | 3,000 | 14,000 |
| 28 | 914б | Старый Кихпиныч (ТП 2) | 0,300 | 0,770 | 40,000 | 37,000 | 31,000 | 7,000 | 34,000 |
| 29 | 357б | Южный Кихпиныч (ТП 18) | 0,3 | 0,600 | 58,000 | 20,000 | 27,000 | 21,000 | 46,000 |
| Кальдера Академии наук | | | | | | | | | |
| 30 | 728б | Ист. 2 (руч. Горячий) | 8,790 | 0,851 | 65,000 | 73,000 | 16,000 | 6,000 | 26,000 |
| 31 | 7287 | Русло руч. Горячий у ист. 2 | 7,360 | 1,850 | 44,000 | 74,000 | 15,000 | 12,000 | 36,000 |
| 32 | 729б | Гейзер старый | 5,610 | 0,968 | 60,000 | 86,000 | 15,000 | 15,000 | 33,000 |
| 33 | 7298 | Котёл Адский | 4,090 | 0,843 | 38,000 | 93,000 | 16,000 | 15,000 | 41,000 |
| 34 | 7300 | Котёл Анна | 2,210 | 0,654 | 30,000 | 89,000 | 16,000 | 20,000 | 44,000 |

Примечание. ВТП - Восточное термальное поле; ВГТП - Верхне-гейзерное термальное поле; ТП - термальное поле.

Таблица 2. Содержание макро- и микроэлементов в характерных породах, илах и минеральных осадках гидротермальных систем Камчатки

| № п/п | Номер пробы | Место отбора | Название породы | Макроэлементы: | | | | | | | Микроэлементы: | | | | | | | Источники данных |
|---|-------------|------------------------------------|--|------------------|--------------------------------|--------|-------------------|------------------|---------|---------|----------------|--------|---------|-------|--|--|------------------------|------------------|
| | | | | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Cu | Zn | Pb | La | Ce | мкг/л | | | | |
| | | | | % | | | | | | | | | | | | | | |
| Кальдера Узон | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 44 | Западное поле | базальт | 49,940 | 17,720 | 9,600 | 3,000 | 0,890 | 45,000 | 81,000 | 3,000 | 7,800 | 20,000 | | | | Ерошев-Шак и др., 1998 | |
| 2 | 5 | Г. Белая (экструзия) | дацит неизмен. | 65,170 | 15,720 | 5,150 | 4,480 | 1,960 | 21,000 | 45,000 | 4,000 | 11,000 | 32,000 | | | | | |
| 3 | 3 | Г. Белая (экструзия) | опалит | 78,630 | 8,130 | 1,560 | 0,140 | 0,850 | 10,000 | 40,000 | 4,000 | 10,000 | 28,000 | | | | | |
| 4 | 30 | Г. Белая (экструзия) | опалит | 65,080 | 15,240 | 5,380 | 4,980 | 1,980 | 16,000 | 40,000 | 6,000 | 12,000 | 35,000 | | | | | |
| 5 | 33 | Г. Белая (экструзия) | опалит | 58,740 | 14,600 | 0,460 | 0,680 | 2,050 | 5,000 | 40,000 | 5,000 | 18,000 | 35,000 | | | | | |
| 6 | 7663 | Район оз. Банного | псефитовый туф | 54,000 | 2,340 | 0,094 | 0,010 | 0,116 | 88,000 | 132,060 | 25,000 | 32,320 | 104,258 | | | | | |
| 7 | 7690 | Район скв. К-4 | Гравелит (с сульфидами As, Sb, Hg, Fe) | 45,900 | 12,900 | 2,630 | 2,820 | 0,556 | 142,000 | 190,000 | 0,000 | 6,000 | 23,000 | | | | наши данные | |
| 8 | 7171 | Район гейзера Бурлящий | гравелит | 52,300 | 13,400 | 3,730 | 1,900 | 0,782 | 36,000 | 89,000 | 15,000 | 17,000 | 26,000 | | | | | |
| 9 | 7168 | Нефтяная площ. (шурф-2) | гравелит с глиной | 42,500 | 16,900 | 1,380 | 1,260 | 0,424 | 59,000 | 143,000 | 5,000 | 14,000 | 24,000 | | | | | |
| 10 | К-1/03 | Оз. Дальнее | андезит | 56,740 | 14,840 | 7,000 | 3,310 | 1,250 | 142,200 | - | 6,710 | 8,520 | 21,590 | | | | Гриб и др., 2003 | |
| 11 | 11-91 | Влк. Кихпинич | базальт (толеитовый) | 50,560 | 19,800 | 9,420 | 2,480 | 0,540 | 106,840 | - | 1,870 | 2,980 | 8,140 | | | | | |
| 12 | 7169 | оз. Хлоридное | | 30,100 | 21,000 | 0,250 | 0,685 | 0,187 | 82,000 | 33,000 | 7,000 | 4,000 | 22,000 | | | | | |
| 13 | 7650 | оз. Банное | | 41,600 | 16,200 | 0,609 | 1,560 | 0,185 | 35,000 | 59,520 | 0,000 | 7,070 | 27,300 | | | | | |
| 14 | 7660 | сток из оз. Хлоридного | илы | 33,300 | 13,600 | 0,171 | 1,660 | 0,085 | 54,000 | 35,340 | 13,000 | 12,120 | 23,800 | | | | | |
| 15 | 7680 | сток из оз. Фумарольного | | 50,700 | 22,900 | 1,290 | 1,820 | 1,100 | 16,000 | 24,180 | 21,000 | 9,090 | 43,400 | | | | | |
| 16 | 7651/5 | гейзер Шапан | гейзерит | 48,500 | 12,800 | 1,170 | 1,360 | 0,515 | 38,000 | 117,180 | 5,000 | 27,270 | 65,800 | | | | | |
| 17 | 5582 | шурф (Нефтяная площадь) | осадок на фильтре | 71,350 | 11,210 | 0,643 | 0,583 | 0,472 | 65,000 | 42,000 | 1,000 | 5,000 | 4,000 | | | | | |
| 18 | 7654 | ист. Термофильный | дресва (с Si) | 85,200 | 2,500 | 0,288 | 1,020 | 0,111 | 8,000 | 3,720 | 0,000 | 1,010 | 20,300 | | | | | |
| Долина гейзеров и верховья р. Гейзерной | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 446-75 | | андезит | 61,100 | 15,610 | 5,640 | 3,910 | 1,890 | 38,500 | - | 6,950 | 13,650 | 34,170 | | | | Гриб и др., 2003 | |
| 20 | 515-78 | Гейзерная (экструзия) | дацит | 66,280 | 14,930 | 3,720 | 4,320 | 2,220 | 13,400 | - | 7,690 | 15,320 | 37,860 | | | | | |
| 21 | 312-74 | | риодацит | 70,800 | 14,400 | 2,810 | 4,780 | 2,500 | 14,700 | - | 10,730 | 17,900 | 43,280 | | | | | |
| 22 | 12 | гейзер Жемчужный | гейзерит | 85,480 | 2,380 | 1,980 | 0,540 | 0,380 | 25,000 | 70,000 | 18,000 | 75,000 | 35,000 | | | | | |
| 23 | 12 | гейзер Плашеница | гейзерит | 85,480 | 2,380 | 1,980 | 0,540 | 0,380 | 21,000 | 11,000 | 21,000 | 16,000 | 15,000 | | | | | |
| 24 | 592 | Южно-Кихпиничское (ТП-18) | опалит | 80,480 | 7,170 | 0,760 | 0,320 | 1,260 | 15,000 | 2,000 | 25,000 | 20,000 | 78,000 | | | | | |
| 25 | 372в | ВПТП | кальцит | 0,120 | - | 47,600 | 0,210 | 0,080 | 36,000 | 103,000 | 15,000 | 9,000 | 20,000 | | | | | |
| 26 | 373а | поле (ТП-22) | кальцит | 0,120 | - | 47,600 | 0,210 | 0,008 | 27,000 | 40,000 | 10,000 | 7,000 | 61,000 | | | | | |
| 27 | 378а | ист. Аверий | кальцит | 0,150 | - | 55,520 | 0,400 | 0,220 | 29,000 | 3,000 | 18,000 | 4,500 | 62,000 | | | | | |
| 28 | 756а1 | кратер влк. Старый Кихпинич (ТП-2) | арагонит | 8,920 | 3,320 | 41,120 | 0,720 | 0,240 | 24,000 | 11,000 | 2,000 | 4,500 | 103,000 | | | | | |

Таблица 2. Продолжение.

| № п/п | Номер пробы | Место отбора | Название породы | Макроэлементы: % | | | | | | Микроэлементы: мкг/л | | | | | Источники данных |
|------------------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------------------------|------------------|--------------------------------|--------|-------------------|------------------|---------|----------------------|--------|--------|--------|------------------------|------------------|
| | | | | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Cu | Zn | Pb | La | Ce | | |
| Кальдеры Академии наук и Карымская | | | | | | | | | | | | | | | |
| 29 | 1-001 | КВЦ (фундамент - N ₂) | базальт | 53,390 | 14,600 | 7,100 | 3,050 | 1,240 | 244,000 | 92,000 | 3,810 | 12,990 | 12,740 | Гриб и др., 2009 | |
| 30 | 1024 | Кальдера Карымская (зап. борг) | андезит | 58,500 | 16,000 | 4,870 | 4,920 | 1,750 | 214,000 | 127,000 | н.о. | 7,160 | 16,000 | Иванов, 2008 | |
| 31 | 1-4497 | Карымский вулкан | андезит (толеитовый) | 62,400 | 15,700 | 4,990 | 4,580 | 1,700 | 28,000 | 74,000 | - | 12,000 | 29,600 | Иванов, 2008 | |
| 32 | 1-4499 | | андезит (известково-щелочной) | 60,800 | 16,800 | 4,910 | 4,550 | 1,600 | 38,000 | 85,000 | - | 10,400 | 21,000 | | |
| 33 | 20-991 | Влк. Однобокий | андезитбазальты | 54,020 | 16,420 | 8,460 | 3,380 | 0,880 | 114,000 | 67,000 | 3,180 | 7,880 | 19,250 | | |
| 34 | 34-001 | Влк. Соболиный (экструзия) | риодацит | 76,080 | 12,100 | 0,600 | 3,690 | 3,880 | 25,000 | 25,000 | 9,170 | 17,370 | 38,150 | | |
| 35 | K27-96 | Кальдера Академии Наук | тефра базальтов (1996 г.) | 51,360 | 19,430 | 9,940 | 2,580 | 0,840 | 105,000 | 142,000 | 1,960 | 6,630 | 16,370 | Гриб и др., 2009 | |
| 36 | K7-04 | Кальдера Карымская | дациты | 67,360 | 13,900 | 3,100 | 4,280 | 2,330 | 21,000 | 46,000 | 7,470 | 14,470 | 32,580 | | |
| 37 | K10-96 | Кальдера Академии Наук | пемзовые бомбы (1996 г.) | 70,900 | 14,560 | 1,700 | 3,230 | 4,310 | 13,000 | 39,000 | 13,110 | 15,340 | 37,300 | | |
| 38 | OK-05 | Дно оз. Карымское (экструзия) | андезидациты | 68,520 | 15,700 | 3,100 | 5,210 | 2,110 | 21,000 | 66,000 | 10,240 | 11,680 | 28,140 | наши данные | |
| 39 | K7a-05 | Кальдера Карымская | ювен. шлак андезитбазальтов | 56,890 | 16,700 | 7,300 | 3,450 | 1,060 | 22,000 | 115,000 | 4,020 | 8,800 | 19,870 | | |
| 40 | 7294 | ист. Карбонатный | кальцит | - | - | - | - | - | 34,000 | 6,000 | 3,000 | 0,000 | 58,000 | | |
| 41 | 5563 | Гейзер Стенка | гейзерит | 90,120 | 2,745 | 0,459 | 0,367 | 0,184 | 37,000 | 3,000 | 22,000 | 11,000 | 27,000 | наши данные | |
| 42 | 5560 | район гейзера Старый | гейзерит | 92,480 | 2,885 | 0,188 | 0,160 | 0,099 | 82,000 | 2,000 | 12,000 | 11,000 | 27,000 | | |
| Мутновский вулкан | | | | | | | | | | | | | | | |
| 43 | 1/М | Влк. | базальт | 50,070 | 19,250 | 9,750 | 2,450 | 0,310 | 110,000 | 87,000 | - | - | - | Бортникова и др., 2009 | |
| 44 | 2/М | Мутновский | андезит | 59,520 | 17,520 | 6,980 | 3,350 | 1,430 | 63,000 | 55,000 | - | - | - | | |
| Восточная Камчатка | | | | | | | | | | | | | | | |
| 45 | 1/В | Восточная Камчатка | базальт (толеитовый) | 49,960 | 18,830 | 10,840 | 2,370 | 0,400 | - | - | - | 2,600 | 6,700 | Вольпет и др., 1990 | |
| 46 | 2/В | | базальт (известково-щелочной) | 51,720 | 17,620 | 9,480 | 3,070 | 0,910 | - | - | - | 6,000 | 14,000 | | |

Примечание. КВЦ - Карымский вулканический центр; ВГТП - Верхне-гейзерное термальное поле, ТП - термальное поле; нет данных.

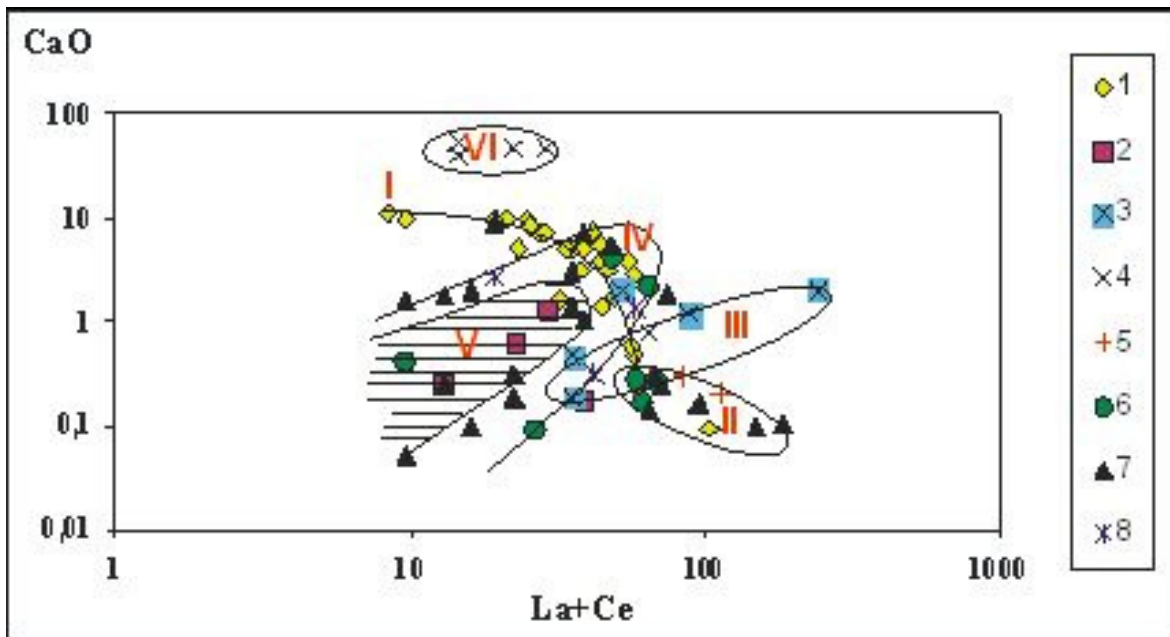


Рис. 3. Соотношение CaO (%) к La + Ce (г/т), нормализованного к хондриту, в различных породах Узон-Гейзерной вулканотектонической депрессии. Условные обозначения: 1 – породы (базальты, андезиты, дациты), 2 – илы, 3 – гейзериты, 4 – минеральные осадки, 5 – грязевые вулканчики, 6 – грязевые котлы, 7 – глины, 8 – зона оруденения.

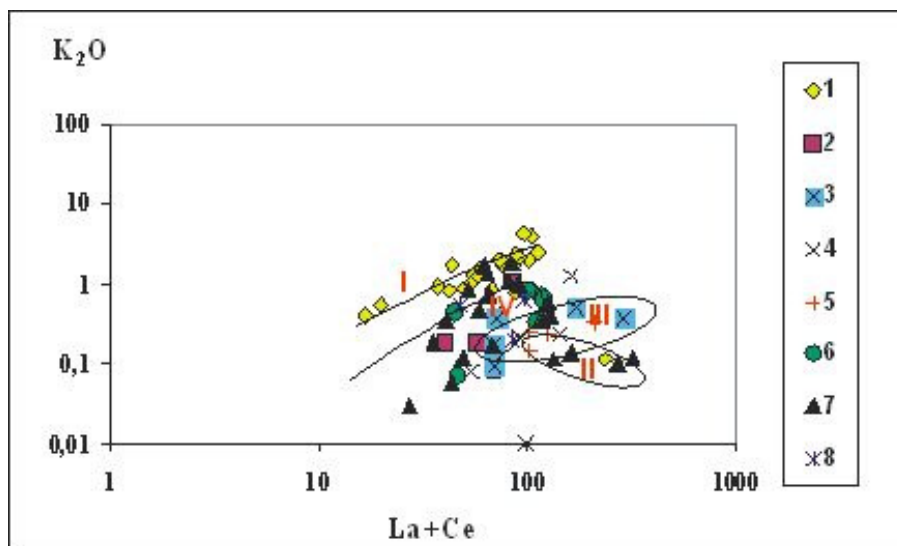


Рис. 4. Соотношение K₂O (%) к La + Ce (г/т), нормализованного к хондриту, в различных породах Узон-Гейзерной вулканотектонической депрессии. Условные обозначения те же, что и к рис. 3.

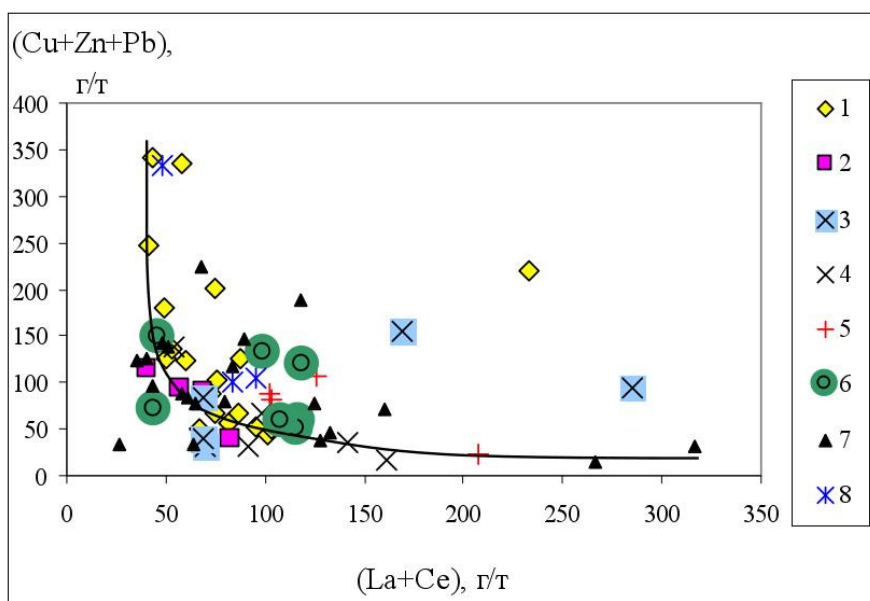


Рис. 5. Соотношение в (г/т) Cu + Zn + Pb к La + Ce, нормализованного к хондриту, в различных породах Узон-Гейзерной вулканотектонической депрессии. Условные обозначения те же, что и к рис. 3.

Работа выполнена при поддержке проекта CRDF Global — ДВО РАН «Геохимия редкоземельных элементов и полиметаллов в гидротермальных растворах и аргиллизированных метасоматитах современных термальных полей Камчатки» (RUG1-7086-РК-13).

Список литературы

1. Бортникова С. Б., Гавриленко Г. М., Бессонова Е. П., Лапухов А. С. Гидрогеохимия термальных источников вулкана Мутновский (Южная Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2009. № 6. С. 26–43.
2. Волынец О. Н., Антипин В. С., Перепёлов А. Б., Аношин Г. Н. Геохимия вулканических серий островодужной системы в приложении к геодинамике (Камчатка) // Геология и геофизика. 1990. № 5. С. 3–13.
3. Гриб Е. Н., Перепёлов А. Б., Леонов В. Л. Геохимия вулканических пород Узон-Гейзерной депрессии (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2003. № 4. С. 11–28.
4. Гриб Е. Н., Леонов В. Л., Перепёлов А. Б. Геохимия вулканических пород Карымского вулканического центра // Вулканология и сейсмология. 2009. № 6. С. 3–25.
5. Дубинин А. В. Геохимия редкоземельных элементов в океане. М.: Наука. 2006. 360 с.
6. Ероцев-Шак В. А., Золотарёв Б. П., Карпов Г. А., Артамонов А. В. Вторичные изменения базальтов и дацитов в кальдере Узон (Камчатка) // Литология и полезные ископаемые. 1998. № 2. С. 195–206.
7. Иванов Б. В. Андезиты Камчатки. М.: Наука. 2008. С. 346–357.
8. Карпов Г. А. Современные гидротермы и ртутно-сурьмяно-мышьяковое оруденение // М.: Наука. 1988. 183 с.
9. Карпов Г. А., Николаева А. Г., Алексин Ю. В. Содержание и источники редкоземельных элементов в современных вулканогенных гидротермальных системах Камчатки // Петрология. 2013. Том 21. № 2. С. 1–14.
10. Леонов В. Л., Гриб Е. Н. Структурные позиции и вулканизм четвертичных кальдер Камчатки. Владивосток: Дальнаука, 2004. 189 с.
11. Barley M. E., Groves D. J., Ho S. E., Phillips G. H. Archaean and Tertiary volcanic-hosted gold mineralization and contrast // Intern. volcanol. Congr.: Proc. of symp. 5: Volcanism, hydrothermal Systems and related mineralization. Auckland. 1986. С. 13–17.
12. Hedenquist Jeffrey W., Lowenstern Jacob B. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits // Nature. Vol. 370 №6490, 18 august 1994. P. 519–527.