

В. И. Попова, В. А. Попов

**КРИСТАЛЛОМОРФОЛОГИЯ НЕКОТОРЫХ
ЭКСТАЛЯЦИОННЫХ МИНЕРАЛОВ БОЛЬШОГО
ТРЕЩИННОГО ТОЛБАЧИНСКОГО
ИЗВЕРЖЕНИЯ (КАМЧАТКА)**

V. I. POPOVA, V. A. POPOV. CRYSTALLOMORPHOLOGY
OF SOME EXHALATIVE MINERALS OF THE BIG
FRACTURE TOLBACHINSK ERUPTION

It is given crystallomorphology of some minerals - of tenorite, hematite, chalcocyanite, langbeinite, anglesite, dolerophanite, chalcantinite, goslarite, and cyanochroite. Cyanochroite is described for the first time in this deposit. In addition, it is established antlerite, that was before unknown at this place.

В продуктах возгонов Большого трещинного Толбачинского извержения (БТТИ) 1975—76 г.г. обнаружено около 80 минералов, для которых в той или иной мере исследованы состав, рентгеноструктурные данные, оптические и некоторые другие свойства [7, 11, 1, 13, 8—10, 5; и др.]. Кристаллографические формы этих минералов почти не исследованы вследствие малых размеров зерен и частого их несовершенства; практически охарактеризованы только несколько минералов: набокоит, атласовит [12], ламмерит, камчаткит, софиит, ленинградит [15, 2—4]; для других минералов указан облик, иногда — габитус и наиболее развитые грани. Несомненно, что форма кристаллов (комбинации простых форм и их относительное развитие) является важной характеристикой минерала конкретного месторождения и должна приводиться по мере возможности, позволяя наглядно представить минерал и по форме отличать его от минералов сходной окраски. В настоящей статье приведена кристалломорфология некоторых минералов БТТИ — тенорита, гематита, халькокианита, ланг-

бейнита, англезита, долерофанита, халькантита, госларита и цианохроита. В Институте минералогии УрО РАН наиболее совершенные их кристаллики гониометрически измерены с помощью столика Федорова, диагностика проверена рентгеноструктурным и оптическим методами и качественным энергодисперсионным анализом на РЭММА-202М. Морфологическая установка кристаллов соответствует рентгеновской. Материалом для исследований послужили образцы минералов, собранные нами в 1981 г. на конусах Северного прорыва БТТИ, а также некоторые образцы, подаренные нам сотрудниками Института вулканологии С. И. Набоко и С. Ф. Главатских из их более ранних сборов.

Тенорит CuO встречался на стенках трещин и экспозиционных камер в виде коричневатого-черного тонкочешуйчатого налета; наиболее крупные (до 2—10 мм) таблитчатые и тонкотаблитчатые его кристаллики найдены на Втором конусе Северного прорыва. Кристаллики моноклинной сингонии с симметрией $2/m$ уплощены по оси $[100]$. По набору и развитию простых форм выделяются четыре типа кристаллов: 1) удлиненно-тонкотаблитчатые с габитусными гранями $a\{100\}$, $c\{001\}$ и менее развитыми $f\{011\}$, $b\{010\}$ (рис. 1, а); 2) изометрично-таблитчатые с тем же набором форм и малоразвитой $o\{\bar{1}11\}$ (рис. 1, б, в); 3) ромбовидно-таблитчатые с габитусными гранями a , f , o и малоразвитым пинакоидом c (рис. 1, г); 4) мечевидные и игольчатые сростки и кристаллы-усы. Все типы кристаллов иногда встречаются в одном образце, причем тонкотаблитчатые 1 типа отлагались раньше, а самые поздние — кристаллы-усы. Часто кристаллы тенорита sdвойникованы по (011) с образованием тонкопластинчатых перистых скелетных сростков. На рентгенограммах главные линии тенорита (d , Å): 2.53(10), 2.33(10), 1.871(9), 1.511(9), 1.311(9), 0.885(9) (УРС-2.0, РКД-57.3 мм, Cu -излучение, Ni -фильтр, аналитик Н. И. Кашигина, ИГЗ). Микронзондовым анализом в составе тенорита со Второго конуса определены 79.40—80.08 % Cu и микропримеси Pb , Zn , Bi , Ag , Fe [11].

Гематит Fe_2O_3 в наших образцах из полостей трещин в шлаковых конусах Северного прорыва образует кристаллы различного облика — от таблитчатого до столбчатого с симметрией $3m$ и довольно простым набором

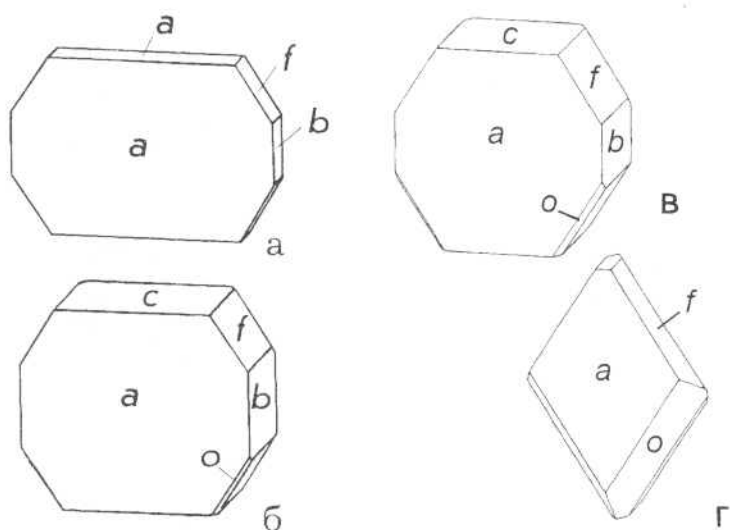


Рис. 1. Кристаллы тенорита из возгонов Второго конуса БТТИ. Формы: $a\{100\}$, $c\{001\}$, $f\{011\}$, $b\{010\}$, $o\{\bar{1}11\}$.

форм: $a\{11\bar{2}0\}$, $c\{0001\}$, $n\{22\bar{4}3\}$, $r\{10\bar{1}1\}$ (рис. 2). Замечено, что таблитчатые кристаллы характерны для более ранних выделений гематита, а удлиненные по $[0001]$ — для более поздних; в апобазальтовых метасоматитах гематит обычно тонкопластинчатый до микрочешуйчатого.

Халькокианит CuSO_4 в возгонах БТТИ отмечен в виде мелко таблитчатых кристалликов голубого цвета [1, 8]. Нами на Втором конусе, помимо голубых и зеленовато-голубых агрегатов халькокианита, найдены желтовато-зеленоватые и буровато-зеленоватые призматические его кристаллы ромбической сингонии с симметрией $m\bar{3}m$ (рис. 3, а), с габитусными гранями призмы $l\{210\}$ и пинакоида $b\{010\}$; менее развиты грани призм $h\{201\}$, $f\{021\}$, дипирамиды $s\{211\}$ и пинакоида $c\{001\}$. Рентгенограммы буровато-зеленоватого халькокианита близки рентгенограмме, приведенной С. И. Набоко и С. Ф. Главатских [8] для лазурно-голубого халькокианита. Голубой халькокианит на воздухе постепенно переходит в порошокатый халькантит [8]; желтовато- и буровато-зеленоватые кристаллы халькокиа-

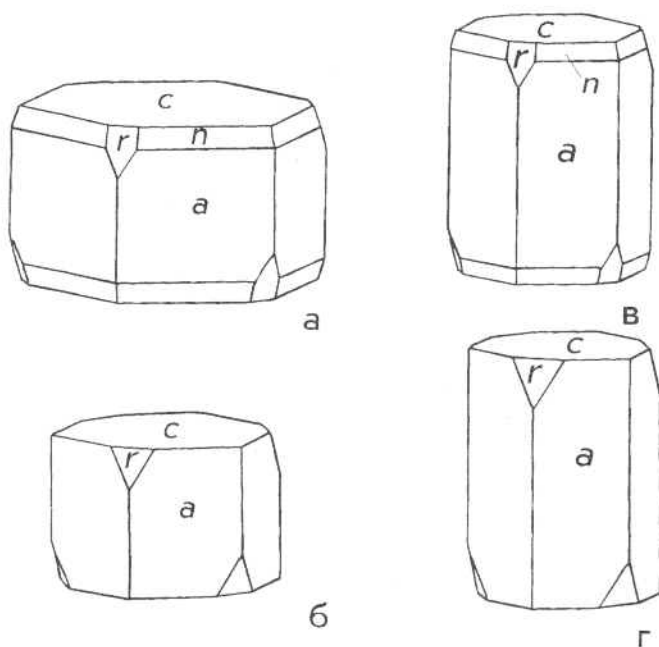
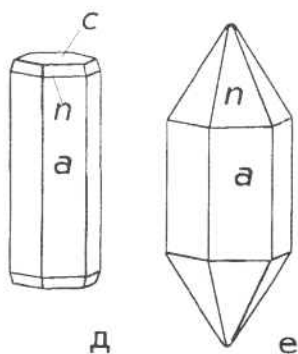


Рис. 2. Кристаллы эксгальционного гематита. Формы: $a\{11\bar{2}0\}$, $c\{0001\}$, $n\{22\bar{4}3\}$, $r\{10\bar{1}1\}$.



образцах С. Ф. Главатских и С. И. Набоко (№ 17-2 и 2к-Н-7). Бесцветные прозрачные его кристаллики кубической сингонии величиной до 1 мм (чуть беловатые с поверхности) имеют псевдооктаэдрический габитус с наиболее

нита с поверхности частично замещены тонкозернистым агрегатом халькантита и антлерита (по рентгеновским данным).

Лангбейнит $K_2Mg_2(SO_4)_3$ обнаружен в 1993 г. на Втором конусе БТТИ и упомянут Т. Ф. Семеновой с соавторами [14]; нами он встречен в

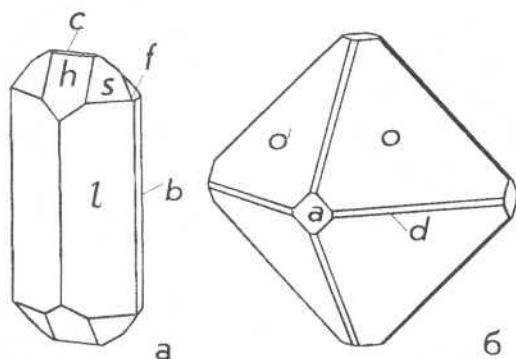


Рис. 3. Кристаллы халькокианита (а) и лангбейнита (б). Формы халькокианита: $l\{210\}$, $b\{010\}$, $h\{201\}$, $f\{021\}$, $s\{211\}$, $c\{001\}$. Формы лангбейнита: $o\{111\}$, $o'\{1\bar{1}1\}$, $a\{100\}$, $d\{110\}$.

развитыми гранями тетраэдров $o\{111\}$, $o'\{1\bar{1}1\}$ и меньшими гранями куба $a\{100\}$ и ромбододекаэдра $d\{110\}$ (рис. 3, б). В воде медленно растворяется, имеет слабый горьковатый вкус, твердость 2 (по Моосу); в иммерсии бесцветный, изотропный, n 1.532. На рентгенограммах главные линии, Å: 4.14(8), 3.19(10), 3.046(6), 2.797(6), 2.684(9), 1.622(7) (УРС-2.0, РКД-57.3 мм, Си-излучение, Ni-фильтр, аналитики Н. И. Кашигина, В. А. Попов, ИГЗ-ИМин).

Англезит $PbSO_4$ встречается в ранних минеральных парагенезисах в виде бесцветных прозрачных субизометрических кристалликов ромбической сингонии величиной до 1 мм; наиболее часто образует сростки с кристалликами набокоита. На кристаллах его обычно преобладают формы $m\{210\}$, $d\{101\}$, $g\{012\}$, $o\{011\}$, менее развиты $c\{001\}$, $i\{201\}$, $l\{102\}$, очень маленькие и редкие — $e\{021\}$, $r\{212\}$; по габитусу и набору форм кристаллы несколько различаются (рис. 4) даже в одном образце. Рентгенограмма англезита со Второго конуса содержит главные линии, Å: 4.28(9), 3.33(8), 3.212(7), 3.075(9), 2.070(10), 2.033(9), 1.494(7), 1.163(7), 1.053(7) (УРС-2.0, РКД-57.3 мм, Fe-излучение, аналитики Н. И. Кашигина, В. А. Попов, ИГЗ-ИМин).

Долерофанит $Cu_2(SO_4)O$ также характерен в ранних минеральных ассоциациях [8]; в трещинах Второго конуса каштаново-бурые и темно-коричневые моноклинные кристаллы долерофанита величиной до 1—3 мм, наростшие на

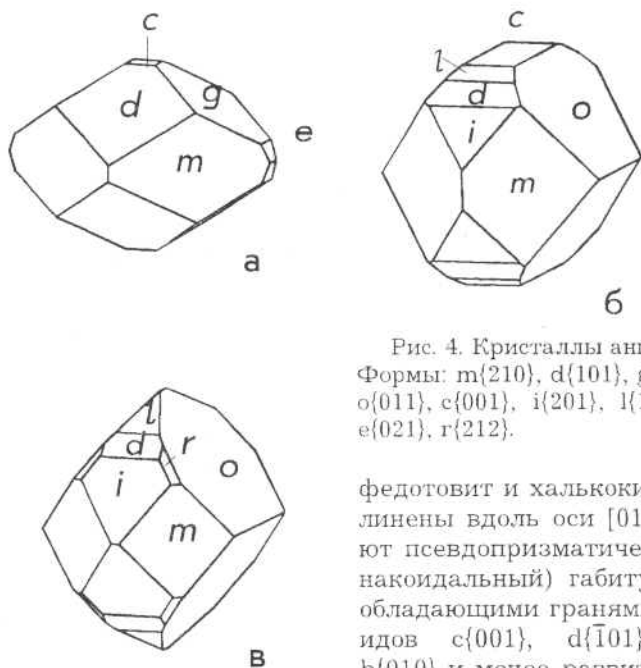


Рис. 4. Кристаллы анкерита.
 Формы: $m\{210\}$, $d\{101\}$, $g\{012\}$,
 $o\{011\}$, $c\{001\}$, $i\{201\}$, $l\{102\}$,
 $e\{021\}$, $r\{212\}$.

федотовит и халькокианит, удлинены вдоль оси $[010]$ и имеют псевдопризматический (пинакоидальный) габитус с преобладающими гранями пинакоидов $c\{001\}$, $d\{\bar{1}01\}$, $a\{100\}$, $b\{010\}$ и менее развитыми гранями призм $r\{\bar{1}12\}$, $o\{011\}$,

$g\{311\}$, $t\{\bar{3}02\}$, $i\{032\}$, $k\{041\}$ (рис. 5). Рентгенограмма характерна главными линиями, λ : 6.61(6), 3.67(8), 2.85(5), 2.67(10), 2.28(9), 2.05(6), 1.79(7), 1.59(4) (УРС-2.0, РКД-57.3 мм, Cu—излучение, аналитик Н. И. Кашигина, ИГЗ).

В участках проявления водорастворимых сульфатов и хлоридов на конусах Северного прорыва образуются различные вторичные эфемерные минералы, растворяющиеся во время дождей и вновь кристаллизующиеся в сухую погоду; из водных сульфатов меди наиболее часто отмечался халькантит [13, 8; и др.] в виде отдельных зерен и преимущественно порошковатых корочек голубовато-синего и синего цвета. В смеси с халькантитом нередко развиты другие минералы, выделяющиеся иным цветом (белые, зеленоватые, голубовато-зеленые, бесцветные и др.); зерна их очень малы либо несовершенны по ограничению и мало пригодны для гониометрии. Один из таких образцов (со Второго конуса), в котором визуальны были различимы три минерала (голубовато-синий таблитчатый, бесцветный игольчатый и зеленовато-голубоватый изометричный), был растворен в воде и переотложен в чашке Петри. При медленном естественном испарении из рассола сначала вырос-

ли зеленовато-голубоватые кристаллики цианохроита, затем совместно с ним начал кристаллизоваться ярко-голубой халькантит, а в конце кристаллизовались три минерала — цианохроит, халькантит и бесцветный игольчатый госларит.

Цианохроит $\text{K}_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ среди вторичных минералов БТТИ отмечается впервые. Зеленовато-голубоватые кристаллики его субизометричны, моноклинной сингонии с симметрией $2/m$; из разных капель рассола кристаллизуются несколько различные псевдоромбоэдрические кристаллы с габитусными гранями $c\{001\}$, $m\{110\}$ (рис. 6, а) или толстотаблитчатые кристаллы (рис. 6, а-б) с главными гранями пинакоидов $c\{001\}$, $d\{601\}$ и призм $u\{\bar{2}32\}$, $r\{4.10.5\}$; прочие грани — $b\{010\}$, $i\{355\}$, $o\{011\}$, $e\{\bar{2}01\}$, $g\{\bar{3}02\}$ — развиты мало и не всегда есть на кристаллах. По данным энергодисперсионного анализа, примесь цинка в нем примерно втрое меньше меди (ZnO около 3—4 мас. %; аналитик В. А. Котляров, РЭММА—202М, ИМин), т. е. минерал является цинкистым цианохроитом. В иммерсии бесцветный, прозрачный, n_g 1.494, n_p 1.477 (ниже, чем у обыч-

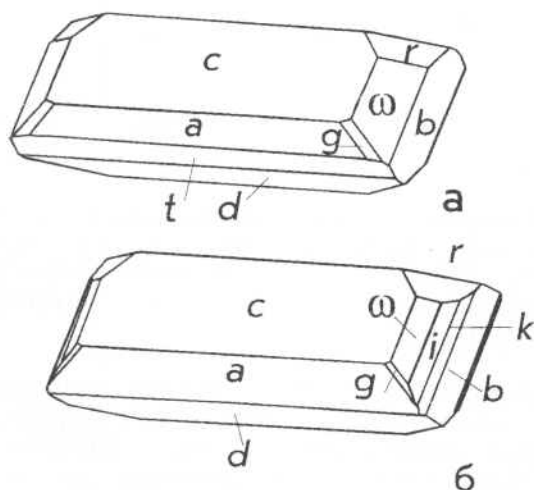


Рис. 5. Кристаллы долерофанита. Формы: $c\{001\}$, $d\{\bar{1}01\}$, $a\{100\}$, $b\{010\}$, $r\{\bar{1}12\}$, $\omega\{011\}$, $g\{311\}$, $t\{\bar{3}02\}$, $i\{032\}$, $k\{041\}$.

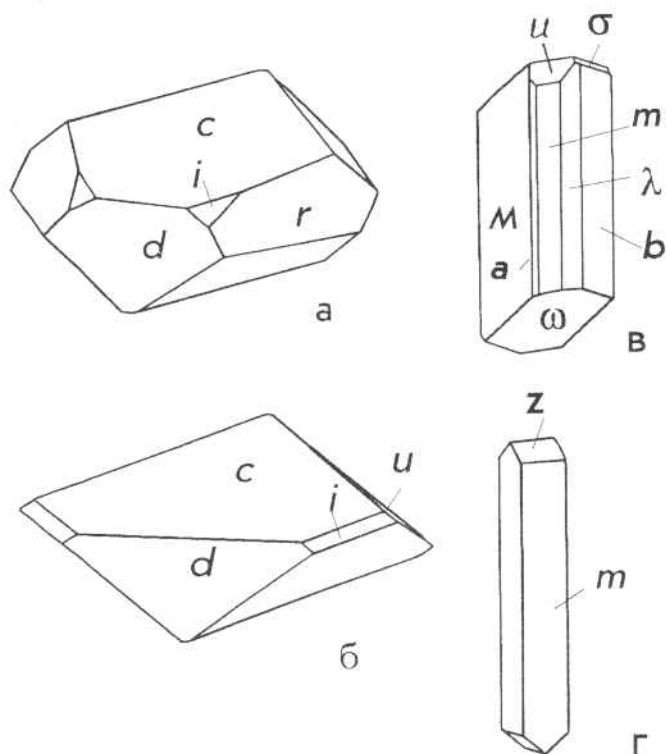


Рис. 6. Кристаллы цинкового цианохроита (а, б), халькантита (в) и медистого госларита (г). Формы цианохроита: $c\{001\}$, $d\{601\}$, $u\{232\}$, $r\{4.10.5\}$, $i\{355\}$. Формы халькантита: $M\{1\bar{1}0\}$, $\omega\{\bar{1}\bar{1}1\}$, $a\{100\}$, $b\{010\}$, $m\{110\}$, $\lambda\{120\}$, $\sigma\{\bar{1}21\}$, $u\{331\}$. Формы госларита: $m\{110\}$, $z\{111\}$.

ного цианохроита; белый свет). Главные линии рентгенограммы, Å: 5.41(4), 4.41(5), 4.20(8), 4.10(9), 3.67(10), 3.35(9), 3.18(5), 2.99(6), 2.818(8), 2.507(6), 2.390(5), 2.071(6), 1.996(6), 1.860(7), 1.504(8) (ДРОН-3.0, Cu-излучение, аналитик Т. М. Рябухина, ИМин).

Халькантит $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ в природных корках, помимо порошковатых агрегатов, встречался и в виде короткотаблитчатых кристаллов без указания форм [8]. Пе-

реотложенные в воде его кристаллики ярко-голубого цвета, короткостолбчатые, триклинной сингонии, с габитусными формами $M\{\bar{1}10\}$, $\omega\{\bar{1}\bar{1}1\}$ и менее развитыми $a\{100\}$, $b\{010\}$, $m\{110\}$, $\lambda\{120\}$, $\sigma\{\bar{1}21\}$, $u\{331\}$ (рис. 6, в). Заметной примеси цинка нет. Ранее С. И. Набоко и С. Ф. Главатских [10] отмечали цинксодержащий халькантит (цинкхалькантит) в камере «Печь» Второго конуса БТТИ.

Госларит $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ отмечен С. И. Набоко и С. Ф. Главатских [10] в камере «Печь» в виде бесцветных тонкопризматических кристалликов, легко растворимых в воде, совместно с цинксодержащим халькантитом. Нами его бесцветные или беловатые игольчатые кристаллики встречены также среди халькантита на Втором конусе. Переотложенные в воде кристаллики госларита похожи на природные, ромбической сингонии, с симметрией 222, длиннопризматические до игольчатых, ограниченные призмой $m\{110\}$ и ромбическим тетраэдром $z\{111\}$ (рис. 6, г). На рентенограмме смеси (с цинкистым цианохроитом и халькантитом) слабо проявлен ряд главных линий госларита (Å): 5.36, 4.54, 4.20, 3.75, 3.45, 2.86, 2.279, 1.621 (ДРОН-3.0, Си-излучение, в вазелине, аналитик Т. М. Рябухина, ИМин). Госларит по составу медистый (около 4 мас. % CuO , РЭММА-202М, аналитик В. А. Котляров, ИМин). Прозрачные кристаллики медистого госларита на воздухе довольно быстро теряют воду, белеют и впоследствии превращаются в белый порошок.

Проведенные кристалломорфологические исследования позволили выявить еще два минерала, ранее не отмечавшиеся на БТТИ [5; и др.] — цианохроит и антлерит; для всех исследованных минералов впервые указаны простые формы в ограничении кристаллов. На кристаллах англезита, долерофанита, цианохроита и халькантита обнаружены дополнительные формы, не приведенные в справочнике Дж. Дэна с соавторами [6]. Для цианохроита, халькантита и госларита приведены соответственные формы, возникшие при их сокристаллизации.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 95-05-14047).

Литература

1. Вергасова Л. П., Черепова Г. А. К характеристике минералов меди Большого трещинного Толбачинского извержения // Бюлл. вулканол. ст. 1979, N 56, с. 179—186.
2. Вергасова Л. П., Филатов С. К., Серафимова Е. К., Вараксина Т. В. Камчаткит $\text{KCu}_3\text{OCl}(\text{SO}_4)_2$ — новый минерал из вулканических возгонов // Зап. Всесоюз. минерал. об-ва, 1988, ч. 117, вып. 4, с. 459—461.
3. Вергасова Л. П., Филатов С. К., Семенова Т. Ф., Философова Т. М. Софиит $\text{Zn}_2(\text{SeO})_3\text{Cl}_2$ — новый минерал из вулканических возгонов // Зап. Всесоюз. минерал. об-ва, 1989, ч. 118, вып. 1, с. 65—69.
4. Вергасова Л. П., Филатов С. К., Семенова Т. Ф., Ананьев В. В. Ленинградит $\text{PbCu}_3(\text{VO}_4)_2\text{Cl}_2$ — новый минерал из вулканических возгонов // Докл. АН СССР, 1990, т. 310, № 6, с. 1434—1437.
5. Вергасова Л. П., Филатов С. К. Эксгальционная минерализация Большого трещинного Толбачинского извержения (БТТИ, Камчатка, 1975—76 г.г.) // Постэруптивное минералообразование на активных вулканах Камчатки. Часть 1. Владивосток: ДВО АН СССР, 1992, с. 53—64.
6. Дэна Дж. Д., Дэна Э. С., Пэлач Ч. и др. Система минералогии. Т. 2, полутом 1 / Перев. с англ. под ред. Д. П. Григорьева. М.: ИЛ, 1953. 773 с.
7. Меньяйлов И. А., Никитина Л. П., Вергасова Л. П. и др. Химизм и металлоносность вулканических газов и продуктов их реакций на Новых Толбачинских вулканах в 1978 г. // Геологические и геофизические данные о Большом трещинном Толбачинском извержении 1975—1976 г.г. М.: Наука, 1978, с. 117—126.
8. Набоко С. И., Главатских С. Ф. Эксгальционное медное рудообразование в постэруптивную стадию Большого трещинного Толбачинского извержения // Вулканология и сейсмология, 1980, N 4, с. 50—64.
9. Набоко С. И., Главатских С. Ф. Постэруптивный метасоматоз и рудообразование. М.: Наука, 1983. 165 с.
10. Набоко С. И., Главатских С. Ф. Закономерности поведения Cu, Zn, Pb в современном вулканическом процессе // Вулканология и сейсмология, 1990, № 2, с. 36—52.
11. Округин В. М. О рудных минералах в продуктах БТТИ // Вулканология и сейсмология, 1979, № 2, с. 67—71.

12. Попова В. И., Попов В. А., Рудашевский Н. С. и др. Набокоит $\text{Cu}_7\text{TeO}_4(\text{SO}_4)_5 \cdot \text{KCl}$ и атласовит $\text{Cu}_6\text{Fe}^{3+}\text{Vl}^{3+}\text{O}_4(\text{SO}_4)_5 \cdot \text{KCl}$ — новые минералы вулканических эксгальций // Зап. Всесоюз. минерал. об-ва, 1987, ч. 116, вып. 3, с. 358—367.
13. Серафимова Е. К., Пономарев В. В., Игнатович Ю. А., Перетолчина Н. Н. Минералогия возгонов Северного прорыва Большого трещинного Толбачинского извержения (октябрь 1975-сентябрь 1976) // Бюлл. вулканол. ст., 1979, № 56, с. 162—179.
14. Семенова Т. Ф., Вергасова Л. П., Филатов С. К., Ананьев В. В. Аларсит AlAsO_4 — новый минерал вулканических эксгальций // Докл. АН, 1994, т. 338, № 4, с. 501—505.
15. Филатов С. К., Гайдамако И. М., Главатских С. Ф. и др. Эксгальционный ламмерит $\text{Cu}_3[(\text{As},\text{P})\text{O}_4]_2$ (Камчатка) // Докл. АН СССР, 1984, т. 279, № 1, с. 197—200.