

А. Г. Баженов

К СИСТЕМАТИКЕ ПИРОКСЕНОВ ИЛЬМЕНОГОРСКОГО КОМПЛЕКСА МЕТАМОРФИЧЕСКИХ, ГРАНИТОИДНЫХ И ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД

A. G. Bazhenov

TO THE SYSTEMATICS OF PYROXENES FROM THE ILMENOGORSK COMPLEX OF METAMORPHIC, GRANITOIDIC AND ALCALIC ROCKS

Pyroxenes of the Ilmenogorsk magmatic-metamorphic complex were systematised according to the crystallochemic classification and its connection with rock composition and conditions of rock formation. Orthopyroxenes (enstatite and aluminobronzite) occur in meta-hyperbasites including metacomaiteites. Clinopyroxenes calcic (augite, diopside, salite, ferrosalite) were known in calcifires, calcic-silicate crystallochists, amphibolites and products of its transformation; calc-alkalic (aegirin-augite) — in fenites, nepheline syenites, alkalic syenites and its pegmatites, granosyenites, aplites and pegmatites and the most alkalic aegirine-augites and aegirine in alkaline-granitic pegmatites and a quartz-calcite-feldspar vein crossing the alkaline syenites.

Введение

Задача предлагаемой публикации сводится к созданию классификационной решетки, в которой сочетались бы кристаллохимическая классификация пироксенов с их генетической приуроченностью к тем или другим продуктам различных минералогических процессов. Эта задача непосредственно связана с теми вопросами, какие ставятся топоминералогией и крупномасштабным минералогическим картированием, а в условиях минералогического заповедника — с проблемой создания музея в природе, где, как и в любом музее, систематизация является одной из главных задач при формировании фондов и экспозиции. Подобные работы с той или иной степенью детальности и полноты проводились для многих минералов Ильменских гор. Начало было положено сводкой «Минералы Ильменских гор» [20]. Из работ недавнего времени более или менее полно отвечают этой цели

статьи по систематике гранатов [3], амфиболов [5], пироксенов [24], монацитов [22], и некоторые другие. Систематике пироксенов щелочного комплекса Вишневых гор посвящена статья Е. С. Доброхотовой [11]. Она в какой-то мере стимулировала появление предлагаемой публикации.

Эта сводка подводит итоговую черту под тем многолетним периодом исследований, когда традиционный химический анализ силикатов требовал выделения достаточно большого количества чистого мономинерального вещества, что существенно ограничивало возможности анализа пироксенов из сложных для разделения минеральных ассоциаций, и нередко — из-за недостаточной чистоты монофракций — приводило к появлению анализов, которые не удовлетворяют современным требованиям. Необходимость получения значительного количества чистого материала для проведения традиционного «мокрого» химического анализа ограничивало круг исследованных пироксенов. Пробы, в которых пироксен находился в сложных сростаниях с другими минералами, отбраковывались, и такие ассоциации не были охарактеризованы химическими составами минералов.

Минералы семейства пироксенов довольно широко распространены в комплексе разнообразных по составу и условиям образования минеральных ассоциаций Ильменских гор, хотя и не являются такой, почти неизменной их составной частью, как слюды и амфиболы. Пироксены упоминались и описывались во многих сообщениях о минералогии Ильменских гор еще в прошлом веке (Менге, Розе, Лисенко, Еремеев, Мельников, Мушкетов, Пирсон, Йонсен). Среди них были названы диопсид, авгит, эгирин («ахмит»), но эти определения чаще не основывались на точных измерениях констант и не опирались на определения химического состава.

Первый химический анализ пироксена был опубликован на рубеже века в 1900 г. П. П. Сущинским [28]. «Эгирин-авгит» — так был определен этот пироксен автором публикации на основании химанализа, произведенного И. А. Антипиным, по видимому, на материале, послужившем П. В. Еремееву для гониометрических измерений кристаллов: SiO_2 50.58; FeO 23.18; Fe_2O_3 3.92; Al_2O_3 5.47; CaO 3.85; MgO 2.19; Na_2O 8.17; сумма 97.38. Анализ неполный, кроме того вызывает сомнение несоответствие между высоким содержанием Na_2O и низким Fe_2O_3 . При пересчете на формулу или минеральный состав не спасает и необычно высокое содержание Al_2O_3 , поэтому появляется подозрение, что массовые проценты оксидов FeO и Fe_2O_3 переставлены местами. Если их поменять, то после такой операции

анализ становится соответствующим составу эгирин-авгита, хотя при пересчете и получается не совсем сбалансированная по зарядам формула: $(\text{Ca}_{0,2}\text{Na}_{0,6}\text{Mg}_{0,1}\text{Fe}^{2+}_{0,1})_{1,0} (\text{Fe}^{3+}_{0,7}\text{Al}_{0,3})_{1,0}\text{Si}_{2,0}\text{O}_{6,0}$. Эгирин-авгит образует щетки кристаллов на стенках трещин в двуполовошпатовом сиенитогнейсе [28], в последующих публикациях почему-то названном гранитогнейсом [27, 30]. По современным представлениям здесь развиты фениты экзоконтакта микаскитового массива (в 1.5 км к юго-востоку от базы заповедника), здесь имеют место породы с кварцем и без кварца.

Систематические геолого-петрографические исследования Ильменских гор, сопровождающиеся изучением породообразующих минералов, в том числе пироксенов, начаты работами Д. С. Белянкина и А. Н. Заварицкого. Д. С. Белянкин, в частности, выделил и описал эгирин-авгитовые сиениты и граниты и соответствующие им по составу пегматиты, дал сводку имеющихся анализов пироксенов, сам сделал анализ эгирин-авгита [6]. А. Н. Заварицкий провел многочисленные определения оптических свойств пироксенов из разнообразных щелочных и метаморфических пород и, сравнивая полученные данные с построенной им диаграммой изменения величины $c:Ng$ и $2V$ для ряда диопсид-эгирин, оценил отношения в них эгирина и диопсида [12].

Первая, достаточно полная на тот период, инвентаризация сведений о пироксенах Ильменских гор, была проведена К. И. Постолевым и М. Е. Яковлевой в сводной работе по минералам Ильменского заповедника, предпринятой под редакцией А. Н. Заварицкого [20]. Позднее Л. Э. Ротман [27] описаны пироксены, преимущественно эгирин-авгитового ряда, из сиенит-пегматитов и сиенитов, приведены оптические характеристики и химические анализы собственных образцов, а также сведения из доступных ей литературных источников.

Новый обширный, достаточно систематический материал стал поступать при геологическом картировании с применением большого объема горных работ в 1958—65 гг. Этот материал для породообразующих минералов кристаллических сланцев и продуктов аддитивного метаморфизма — в том числе для пироксенов — был обобщен в статьях Г. Г. Доминиковского [10] и Ю. Д. Панкова [21], а для минералов щелочного комплекса — в сводке В. Я. Левина [17]. Геолого-съёмочные работы 1972—79 гг. значительно пополнили объем сведений о распространении и составе пироксенов комплекса. Часть этих материалов была опубликована в статьях [1, 4, 15], а большая часть сведена в рукописных отчетах. В последующие годы накоплен дополнитель-

ный материал о пироксенах, и лишь немного опубликовано в [8, 26, 29].

Классификация семейства пироксенов основана на их кристаллохимических особенностях, а проведение границ между минеральными видами базируется в большинстве случаев только на химическом составе [7, 19, 31], поэтому для осуществления поставленной задачи по систематике пироксенов были собраны химические анализы, опубликованные в литературе, находящиеся в рукописных отчетах и в архиве автора. Успешное решение такой задачи зависит в этом случае от степени корректности данных, которая определяется качеством химического анализа, а более всего — чистотой сданного на анализ материала. Прорастания пироксена амфиболом, полевыми шпатами, сфеном, апатитом и другими минералами — весьма обычное явление, и неудовлетворительное качество некоторых анализов, особенно старых, обусловлено прежде всего недостаточной чистотой исходного анализированного материала. Иногда имеются замечания о наличии примесей, например, в [14] указано, что в эгирин-авгите из сиенит-пегматита Рожкова ключа под микроскопом установлена значительная примесь кварца, в большинстве других случаев таких замечаний не приводится. Критерием качества анализа тогда может служить сумма окислов, критерием чистоты материала и соответствия химанализа составу пироксена — баланс зарядов при расчете формулы пироксена на 4 катиона. И еще: для пироксенов из пегматитов и крупнозернистых сиенитов нередко отмечается оптическая неоднородность индивидов, заметная прежде всего как зональность окраски. Химические анализы таких пироксенов отражают какой-то усредненный состав, и в этом случае трудно судить о соответствии физических свойств минерала и его химического состава. Такие пироксены, конечно же, прежде других должны быть исследованы с помощью микронзонда.

Многие анализы пришлось отбраковать из-за суммы окислов, слишком уклоняющейся от 100 %, или слишком высокого содержания воды, или из-за того, что формулы, получившиеся при пересчете, обладают значительными дефектами, что, по видимому, вызывается недостаточной чистотой монофракций, сданных на анализ. И, тем не менее, в таблицы включены некоторые анализы, не удовлетворяющие этим требованиям, поскольку лучших, характеризующих пироксены некоторых условий местонахождения, нет.

Возможности микронзондовых анализов позволят провести корректировку данных, упомянутых в последних абзацах, а также

получить сведения о составе пироксенов для ассоциаций, где они не были анализированы методами «мокрой» химии.

Формулы, помещенные в таблицах, приводились к виду $M(2)M(1)T_2O_6$ следующим способом: при величине $Si < 2.00$ дефицит снимался путем включения Al , а при необходимости — Fe^{3+} , при сумме $Ca+Na+K < 1.00$ позиция $M(2)$ дополнялась до 1.00 магнием, хотя в эту позицию, как правило, предпочтительнее входит Fe^{2+} , чем Mg [19]. В таблицы введен также показатель магнезиальности пироксенов $mg = Mg/(Mg+Fe^{2+})$, используемый как один из классификаторов.

В работе применены две схемы классификации и номенклатуры: 1 — принятая в справочнике «Минералы, т. 3, вып. 2» [19], схема И. В. Гинзбург, и 2 — разработанная субкомитетом по пироксенам и одобренная Комиссией по Новым Минералам и Названиям Минералов Международной Минералогической Ассоциации [31]. Имеется существенное отличие между этими классификациями в проведении границы между эгирином и эгирин-авгитом. В первой она проведена на уровне 50 % ($NaFe^{3+}$) компонента и кроме правила 50 % — здесь 50 % $NaFe^{3+}$ и 50 % $Ca(Mg,Fe^{2+})$ в позициях $M(2)M(1)$ — опирается также на переход в оптическом знаке [19]. Во второй, в официальном документе субкомитета по пироксенам [31], к эгирину относятся пироксены, содержащие более 80 мол. % эгиринового минала, к эгирин-авгиту — от 20 до 80 % этого компонента. Большие группы анализов наших пироксенов попадают в область между 50 и 80 % эгиринового компонента и получают различное наименование по каждой из этих классификаций, что приходится всякий раз оговаривать в тексте.

Следует отметить, что официальная номенклатура [31] исключает из употребления такие названия как бронзит, гиперстен, салит, фассаит и др. Но эти названия широко распространенных породообразующих пироксенов имеют давнее устойчивое употребление в петрографии, петрологии, генетической минералогии, и эти термины приобрели важное индикаторное значение в различных отраслях геологической науки и практики. Эта официальная номенклатура вызывает обоснованные возражения прежде всего у петрографов — самых деятельных исследователей этой группы минералов, тех, кто постоянно использует термины их номенклатуры в своей практике. Конечно, и Номенклатура пироксенов-1988 будет со временем скорректирована, этот номенклатурный изыск несомненно не приживется на практике и должен быть поправлен. Такой прецедент уже есть: Номенклатура амфиболов-1978 была пересмотрена, в том числе и в связи с

многочисленными упреками петрографов, как об этом сказано во введении к публикации номенклатуры амфиболов —1997 [32].

Пироксены кристаллических сланцев и продуктов их гранитизации

Магнезиально-железистые ромбические пироксены слагают разнообразные по составу метагипербазиты, которые образуют линзы и пластины в толщах кристаллических сланцев. Энстатит входит в состав энстатитовых, оливин-энстатитовых и амфибол-энстатитовых пород (табл. 1, анализы 1 и 2), а также находится в виде реликтов в серпентинитах [8]. Бронзит (табл.1, анализ 3) обнаружен только в одной линзе своеобразных метагипербазитов — метакоматиитов [2], где он срастается с паргаситовым амфиболом. С метаультрабазитами тесно связаны высокомагнезиальные, т. н. анортитовые амфиболиты, линзы и пластины которых залегают среди кристаллических сланцев ильменогорской толщи [4]. В них в качестве второго темноцветного постоянно присутствует диопсид (табл. 1, анализ 4).

Среди кристаллических сланцев пироксены менее широко распространены, чем амфиболы. Они являются непременной составной частью в пироксен-плаггиоклазовых, пироксен-скаполитовых сланцах. Значительно реже, и в небольших количествах, пироксены встречаются в кальцифирах, амфиболитах и кварцитах. Ни одного анализа пироксена из амфиболитов не проводилось, по оптическим данным он относится к салиту [9, 29]. В кальцифире селянkinской толщи микронзондовый анализ показал зональное строение пироксена, кайма имеет состав диопсида, ядро — фассаита, последний содержит более 13 % Al_2O_3 , при пересчете на формулу почти поровну разделившихся между позициями M(1) и T, в позиции M(2) высокое содержание Mg (табл. 2, анализы 1 и 2). Диопсидовый состав имеет пироксен из пироксенового плаггиосланца селянkinской толщи (табл. 2, анализ 3).

Пироксены скаполитсодержащих сланцев более железисты. Они относятся к салитам, а наиболее железистый из них — пироксен из пироксен-скаполитового плаггиосланца фирсовской толщи, ассоциирующего с кварцитом и постепенно переходящего в него, относится по составу к ферросалиту (анализ 7). Во многих из этих пироксенов присутствует глинозем, который, возможно, тоже распределяется в кристаллах зонально, и в их ядрах пирок-

Таблица 1

**Химический состав ортопироксенов из метагипербазитов и диопсида
из анопигербазитового амфиболита**

Комп.	1	2	3	4
Химические анализы, мас. %				
SiO ₂	56.11	56.18	53.48	52.47
TiO ₂	0.02	0.02	0.14	0.15
Al ₂ O ₃	0.06	0.09	4.83	1.68
Fe ₂ O ₃	2.75	2.69	1.83	1.22
FeO	4.49	3.95	9.19	4.85
MnO	—	—	0.32	0.22
MgO	35.06	33.72	27.89	15.80
CaO	0.30	1.48	2.09	23.03
Na ₂ O	—	0.10	0.33	0.53
K ₂ O	—	0.10	0.20	сл.
H ₂ O ⁻	0.50	0.50	—	—
n.n.n.	1.00	0.80	—	—
Сумма	100.29	99.91	100.10	99.95
Коэффициенты формул				
Si	1.96	1.98	1.89	1.96
Al ^{IV}	—	—	0.11	0.04
Fe ³⁺	0.04	0.02	—	—
Al	—	—	0.09	—
Fe ³⁺	0.04	0.06	0.05	0.02
Fe ²⁺	0.13	0.12	0.27	0.15
Mn	—	—	0.01	—
Mg	1.83	1.72	1.47	0.84
Ca	0.01	0.06	0.08	0.94
Na	—	—	0.02	0.02
Mg	—	—	—	0.04
Mg	0.90	0.90	0.84	0.85

Примечания: 1 — энстатит из магнезиороговообманково-энстатитовой породы; обр. Ми-5-7, сев. берег оз. Миассово, копь 233 [8]; 2 — энстатит из магнезиороговообманково-энстатитовой жилы; Ишкульский массив, обр. Ми-13, небольшая примесь роговой обманки [8]; 3 — бронзит из метакоматита; проба Иш-84-2, водораздел оз. Б. Ишкуль и Б. Таткуль, аналитик — Н. В. Пастухова; 4 — диопсид из линзы амфиболитов среди кристаллосланцев ильменогорской толщи, восточнее оз. Б. Ишкуль, обр. Иш-75-2835, аналитик — Н. И. Галкина.

сен тоже может иметь состав фассаита, как и в пироксене из кальцифира, но никаких сведений об этом не имеется.

Близки по составу пироксены тех метасоматических пород, которые рассматриваются как базификаты, связанные с процессами гранитизации: в пироксен-скаполитовых породах по амфиболитам они относятся к салитам (табл. 3, анализы 1—3), а

Таблица 2

**Кальциевые пироксены кальцифиров, пироксеновых
плаггиосланцев, пироксено-скаполитовых сланцев**

Комп.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Химические анализы, мас. %									
SiO ₂	53.90	48.83	52.06	55.58	52.18	51.43	50.42	50.92	50.80
TiO ₂	0.20	0.78	0.14	0.32	0.05	0.05	0.24	0.05	0.05
Al ₂ O ₃	—	13.22	1.53	1.31	0.10	2.03	1.46	1.73	2.57
Fe ₂ O ₃	—	—	0.20	1.62	3.31	2.75	0.75	1.22	4.76
FeO	2.00	3.55	3.05	11.13	8.01	9.30	16.34	12.43	10.74
MnO	—	0.05	—	—	0.29	0.37	0.54	0.36	0.50
MgO	17.20	17.27	16.31	10.68	11.75	10.84	7.50	10.29	8.55
CaO	26.20	14.65	24.30	23.18	23.29	22.82	22.13	22.43	21.24
Na ₂ O	—	—	—	—	0.70	0.70	—	0.50	0.90
K ₂ O	0.30	1.27	—	—	0.10	0.10	—	0.10	0.10
Сумма	99.80	99.62	97.56	100.02	99.88	100.38	99.38	100.03	100.06
Коэффициенты формул									
Si	1.96	1.71	1.95	1.96	1.98	1.94	1.98	1.94	1.99
Al	—	0.24	0.05	0.04	—	0.06	0.02	0.06	0.01
Fe ³⁺	—	—	—	—	0.10	—	—	—	—
Al	—	0.32	0.03	0.02	—	0.03	0.03	0.02	0.11
Fe ³⁺	—	—	0.01	0.04	—	0.08	0.02	0.03	0.14
Ti	—	0.02	—	—	—	—	—	—	—
Fe ²⁺	0.06	0.10	0.09	0.35	0.25	0.29	0.54	0.40	0.34
Mn	—	—	—	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02
Mg	0.93	0.71	0.87	0.58	0.64	0.59	0.37	0.54	0.39
Ca	1.02	0.57	0.98	0.95	0.95	0.92	0.93	0.92	0.89
Na	—	—	—	—	0.05	0.05	—	0.04	0.07
K	0.01	0.06	—	—	—	0.01	—	—	—
Mg	—	0.37	—	0.02	0.01	0.02	0.07	0.04	0.10
mg	0.93	0.90	0.91	0.63	0.73	0.68	0.45	0.59	0.59

Примечания: 1 и 2 — обр. 2965–9, кальцифир, селяннинская толща, юго-западный берег оз. Б. Ишкуль, микронд [26]; 1 — диопсид, периферия, 2 — фассаит, ядро того же зерна; 3 — проба 2–61, диопсидовый сланец с плаггиоклазом, селяннинская толща, верховья р. Селянки, кв. 71, аналитик Целикова Н. А. [10]; 4 — проба 1/61, скаполито-диопсидовый плаггиосланец, там же, аналитик И. А. Симаранова [10]; 5 — пр. И–75–2338, диопсид-скаполитовый сланец, селяннинская толща, южнее оз. Б. Ишкуль, кв. 35, аналитик А. В. Буторина; 6 — проба И–75–2585, скаполит-пироксеновый сланец, там же, аналитик А. В. Буторина; 7 — проба И–75–1615, кварц-пироксен-скаполитовый сланец с графитом, фирсовская толща, севернее оз. Б. Таткуль, кв. 47, аналитик Г. К. Звонарева; 8 — проба И–75–4055, пироксен-скаполитовый сланец, ильменогорская толща, кв. 47а, северо-западнее оз. Б. Таткуль, аналитик Г. К. Звонарева; 9 — проба И–75–8592, кварц-диопсидовый плаггиосланец кыштымской (заозерной) толщи, кв. 24, восточнее оз. Б. Ишкуль, аналитик А. В. Буторина.

пироксены скарноида и базификата по гнейсу более железисты, их составы промежуточны между салитом и ферросалитом (табл. 3, анализы 4 и 5). Пироксены лейкократовых метасоматических пород, связанных с контактовым воздействием гранитов на магнезиально-известковистые породы, изучены слабо, химических

Таблица 3

Пироксены пироксен-скаполитовых пород, скарноида, базификата

Компон.	1	2	3	4	5
Химические анализы, мас. %					
SiO ₂	51.90	52.49	50.20	49.53	50.28
TiO ₂	0.12	0.10	0.30	<0.05	0.26
Al ₂ O ₃	2.00	1.16	2.23	1.58	1.34
Fe ₂ O ₃	1.67	2.00	0.68	3.79	1.46
FeO	6.73	6.47	9.15	12.39	14.46
MnO	0.28	0.34	–	1.48	0.44
MgO	14.32	13.55	11.94	7.23	8.42
CaO	21.16	23.24	23.40	22.67	22.62
Na ₂ O	0.37	0.45	–	0.48	–
K ₂ O	0.42	–	–	–	–
H ₂ O ⁺	0.34	–	–	–	0.40
H ₂ O ⁻	0.33	–	0.40	–	–
Сумма	99.64	99.80	98.30	99.15	99.68
Коэффициенты формул					
Si	1.95	1.96	1.93	1.95	1.96
Al	0.05	0.04	0.07	0.05	0.04
Al	0.04	0.01	0.01	0.02	0.02
Fe ³⁺	0.05	0.06	0.03	0.11	0.04
Fe ²⁺	0.21	0.20	0.29	0.41	0.47
Mn	0.01	0.01	–	0.05	0.01
Mg	0.69	0.69	0.67	0.40	0.45
Ca	0.85	0.94	0.96	0.95	0.94
Na	0.02	0.03	–	0.04	–
K	0.02	–	–	–	–
Mg	0.11	0.03	0.02	0.01	0.04
mg	0.79	0.78	0.70	0.50	0.51

Примечания: 1–3 — из пироксено-скаполитовых пород по амфиболитам ильменогорской толщи: 1 — проба 800, обр. 9074 у шоссе Миасс-Чебаркуль, восточнее копи 50, аналитик Л. Ф. Баженова [17, 21]; 2 — проба 51–1, там же, вблизи копи 51, аналитик Н. И. Галкина, материал Попова В. А.; 3 — проба 598, просека 102/118, аналитик Н. А. Целикова [10]; 4 — проба 36, гранат-пироксеновый скарноид по амфиболитам кыштымской (заозерной) толщи, копь 36, северо-западнее оз. Б. Кисегач, аналитик Н. И. Галкина, материал В. А. Попова; 5 — проба С–77–96к, базификат по кварцитам ишкульской (заозерной) толщи, аналитик Г. К. Звонарева [29].

анализов таких пироксенов не проводилось. По данным В. А. Утенкова в граносиенитах Кисегачского гранитного массива, образовавшихся на контакте с пироксен-плагиоклазовыми породами, наряду с бесцветным диопсидом развит слабозеленоватый пироксен, по данным оптических измерений в котором можно предполагать небольшую примесь эгиринового минала.

Пироксены щелочного комплекса

Для пироксенов различных образований щелочного комплекса в той или иной мере характерно присутствие эгиринового компонента. Пироксены экзоконтактовых пород — фенитов — значительно отличаются в зависимости от состава фенита и его положения в щелочном комплексе. Пироксены лейкократовых фенитов т.н. Центральной щелочной полосы и юго-восточного экзоконтакта миаскитового массива имеют сравнительно постоянный состав, если судить по тем, довольно скудным данным, какие представлены в таблице 4 (анализы 1—5), и могут быть отнесены по номенклатуре И. В. Гинзбург [19] к эгириин-диопсидам, или к эгириин-авгитам, если следовать номенклатуре субкомитета по пироксенам [31]. А вот пироксены фенитов зонального экзоконтакта пироксен-полевошпатового пегматита в копи 65 различаются резко: пироксен из зоны, непосредственно прилегающей к пегматиту, вдвое богаче эгириновым миналом, чем пироксен из внешней зоны (табл. 4, анализы 6 и 7). По классификации И. В. Гинзбург [19] он может быть отнесен к эгирину ($\text{NaFe}^{3+} > 0.50$).

Пироксены меланократовых фенитов (по амфиболитам) отличаются низкой железистостью ($\text{mg} = \text{Mg}/\text{Mg} + \text{Fe}^{2+} = 0.7$), низкой щелочностью (NaFe^{3+} около 0.25) и высоким содержанием кальция (табл. 4, анализы 8—10). Еще более высокое содержание кальция, более низкая щелочность при близкой для фенитовых пироксенов магнезиальности отмечены в пироксене из фенитов по пироксеновым плагиосланцам (табл. 4, анализ 11).

Идентичными по составу эгириин-авгитам лейкократовых фенитов являются пироксены сиенитов Селянкинского и Южного массивов (табл. 5). И содержание эгиринового минала, и магнезиальность их колеблются в узких пределах, из имеющихся анализов выделяется высокой щелочностью анализ пироксена из сиенита в Селянкинском месторождении, копь 158 (табл. 5, столбец 3).

Пироксены жильных сиенитов, залегающих в фенитах экзоконтакта миаскитового массива и Восточной щелочной полосы, тоже аналогичны по составу эгириин-диопсидам лейкократовых

Таблица 4

**Химический состав эгирин-авгитов из фенитов Центральной
щелочной полосы, экзоконтакта миаскитового массива
и экзоконтакта Селянкинского массива щелочных сиенитов**

Комп.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Химические анализы, мас. %											
SiO ₂	51.09	50.79	51.73	51.07	50.39	52.37	51.89	49.29	49.87	52.67	50.03
TiO ₂	0.76	0.48	1.07	0.80	0.31	0.19	0.59	0.73	0.72	0.37	0.15
Al ₂ O ₃	2.12	0.95	1.64	2.90	2.55	0.73	1.02	3.99	5.44	1.30	1.12
Fe ₂ O ₃	16.58	18.15	13.73	12.86	16.78	8.47	21.21	9.14	7.66	6.19	9.45
FeO	5.78	6.21	6.21	5.32	6.38	9.43	5.34	6.11	5.46	4.35	10.52
MnO	0.71	1.32	0.52	0.40	0.80	0.38	0.36	0.36	0.28	0.48	1.64
MgO	4.65	3.88	6.11	6.30	4.82	7.43	3.16	8.21	8.54	11.84	6.14
CaO	10.62	10.77	12.88	12.97	11.16	17.18	7.88	16.59	16.87	18.12	18.14
Na ₂ O	6.83	6.25	5.75	5.25	6.24	3.50	8.08	3.40	3.44	4.94	2.25
K ₂ O	0.10	—	—	0.20	0.15	0.10	0.16	—	0.20	0.13	—
Сумма	99.24	98.80	99.64	98.07	99.58	99.78	99.69	97.82	98.48	100.39	99.44
Коэффициенты формул											
Si	1.99	1.99	1.98	1.98	1.94	2.01	1.99	1.91	1.90	1.92	1.97
Al	0.01	0.01	0.02	0.02	0.06	—	0.01	0.09	0.10	0.05	0.03
Fe ³⁺	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.03	—
Al	0.09	0.05	0.05	0.11	0.05	0.03	0.04	0.09	0.14	—	0.02
Fe ³⁺	0.48	0.55	0.39	0.38	0.49	0.24	0.61	0.27	0.22	0.15	0.28
Ti	0.02	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	—
Fe ²⁺	0.18	0.20	0.20	0.17	0.20	0.30	0.17	0.20	0.17	0.13	0.35
Mn	0.02	0.04	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.05
Mg	0.21	0.17	0.31	0.31	0.22	0.39	0.15	0.41	0.44	0.64	0.30
Ca	0.43	0.45	0.53	0.54	0.46	0.71	0.32	0.63	0.69	0.70	0.77
Na	0.51	0.49	0.43	0.40	0.47	0.26	0.60	0.25	0.25	0.35	0.17
K	—	—	—	0.01	0.01	—	—	—	0.01	—	—
Mg	0.06	0.06	0.04	0.05	0.06	0.03	0.03	0.06	0.05	—	0.06
mg	0.53	0.53	0.64	0.68	0.57	0.59	0.51	0.70	0.74	0.84	0.51

Примечания: 1–4 — пироксены лейкократовых фенитов Центральной щелочной полосы: 1 — проба И–73–к19, западнее оз. Б. Ишкуль, аналитик Г. К. Звонарева; 2 — проба И–73–6108–6, северо-восточнее дер. Селянкино, аналитик Н. И. Галкина; 3 — проба И–73–6101–89, там же, аналитик Галкина Н. И.; 4 — проба С–274–40, буровой профиль западнее оз. Б. Ишкуль по просеке 16/20, скважина 270, аналитик Н. В. Пастухова; 5–7 пироксены лейкократовых фенитов юго-восточного эндоконтакта миаскитового массива: 5 — проба ТВ–11–23–5, траншея восточнее копи 135 на базе заповедника, аналитик Г. К. Звонарева; 6–7 — пироксены фенитов на контакте с жилой пироксен-полевошпатового пегматита: 6 — внешняя зона пегматита, проба 65-2, 7 — внутренняя зона, проба 65-1, аналитик Г. К. Звонарева [23]; 8–10 — меланократовые пироксен-амфиболовые фениты по амфиболитам: 8 —

проба И-73-6101-15, центральная щелочная полоса северо-восточнее дер. Селянкино, аналитик Н. И. Галкина; 9 — проба С-270-70, буровой профиль западнее оз. Б. Ишкуль, скважина 270, аналитик Н. В. Пастухова; 10 — проба М-80-11к, эндоконтакт всячего бока Селянчинского массива пироксеновых сиенитов, восточнее копи 243, аналитик Т. В. Кринова; 11 — проба М-72-2107д — фенит по пироксеновому плагиосланцу на южном выклинивании Селянчинского массива, водораздел Третьей речки и р. Селянки, аналитик Н. И. Галкина.

фенитов (табл. 6), и только пироксены из жильных сиенитов, залегающих у западного края комплекса, отличаются низкой магнезиальностью ($mg = 0.30—0.46$) и могут быть отнесены к эгирин-геденбергитам по И. В. Гинзбург (табл. 6, анализы 2 и 3).

Кристаллы и крупные выделения пироксена в сиенитовых пегматитах издавна привлекали внимание исследователей, благодаря этому накоплен сравнительно большой и разнообразный аналитический материал для этих пироксенов. Их состав довольно стабилен по содержанию эгиринового компонента и в целом весьма близок к составу пироксенов из лейкократовых фенитов и сиенитов (табл. 7). Более значительны колебания по магнезиальности, и по этому критерию три пироксена в этой таблице могут быть отнесены к эгирин-геденбергитам (анализы 2, 4 и 5). Более высокой щелочностью ($Na = 0.62$ ф.е.) выделяется пироксен из жильного тела в фенитах юго-западного контакта миаскитового массива — в его надинтрузивной зоне (анализ 9).

Кроме широко известных пироксен-полевошпатовых пегматитов, пироксены которых рассмотрены в предыдущем абзаце, выделены и описаны также пироксен-полевошпатовые пегматоиды второго типа [15]. От первых они отличаются непостоянством состава, пироксен в них содержит небольшую примесь эгириновой молекулы. Их возникновение связывается с процессом фенитизации, наложившимся на пироксен-плагиоклазовые (скаполитовые?) сланцы. Полосы и линзы таких пегматоидов прослеживаются в фенитовой зоне на продолжении горизонтов пироксен-скаполитовых (плагиоклазовых) сланцев и сходных с ними по составу метасоматитов, в том числе и скарноидов.

Пироксены этого типа пегматоидов существенно кальциевые. Это эгирин-диопсиды с предельно низким для эгирин-авгитов содержанием эгириновой молекулы (табл. 8, столбцы 1—3), их состав весьма близок составу пироксена из фенита по пироксеновому плагиосланцу (сравните анализ 11 в табл. 4). Близость состава пироксенов подтверждает общность происхождения этих пород. Сходный, но еще более кальциевый состав име-

Таблица 5

**Химический состав эгирин-авгитов из сиенитов Селянкинского и
Южного массивов**

Комп.	1	2	3	4	5	6
Химические анализы, мас. %						
SiO ₂	51.64	51.21	52.39	51.74	51.13	51.40
TiO ₂	0.46	0.87	2.05	0.38	0.3	0.24
Al ₂ O ₃	2.43	0.6	0.69	1.20	1.3	1.43
Fe ₂ O ₃	17.28	19.57	21.32	14.54	12.03	14.48
FeO	5.42	6.09	2.48	6.82	8.26	6.91
MnO	0.84	0.71	0.73	0.62	0.61	1.47
MgO	4.87	9.23	3.62	5.73	5.36	5.72
CaO	10.71	5.88	6.75	12.27	16.49	13.67
Na ₂ O	6.48	4.69	9.0	5.73	4.24	4.48
K ₂ O	0.10	0.29	—	0.16	<0.1	0.08
Сумма	100.13	99.66*	99.09*	99.36**	99.69	100.19***
Коэффициенты формул						
Si	2.0	2.02	2.02	2.0	1.98	1.99
Al	—	—	—	—	0.02	0.01
Al	0.06	0.03	0.03	0.05	0.04	0.02
Ti	0.01	0.02	0.06	0.01	0.01	0.01
Fe ³⁺	0.5	0.58	0.62	0.42	0.35	0.42
Fe ²⁺	0.17	0.2	0.08	0.22	0.27	0.22
Mn	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.05
Mg	0.26	0.15	0.17	0.28	0.31	0.27
Ca	0.45	0.39	0.28	0.51	0.68	0.61
Na	0.49	0.4	0.67	0.43	0.32	0.34
K	0.01	0.01	—	0.01	—	—
Mg	0.01	0.2	0.02	0.05	—	0.06
mg	0.62	0.64	0.72	0.51	0.53	0.6

Примечания: 1—4 из сиенитов Селянкинского массива: 1 — проба СП-1, южный край просеки ЛЭП-500, сиенит крупнозернистый однородный, из лежачего бока тела, аналитик Н. И. Галкина, 2 — из сиенита, вмещающего пегматитовую жилу Селянкинского месторождения, аналитик Н. Г. Постоева [27], 3 — проба 6016-1, из сиенита осевой зоны тела, в 25—30 м западнее пробы СП-1, аналитик Н. И. Галкина, материал В. Я. Левина. 4 — проба М-80-18, из контактной зоны всячего бока массива вблизи его южного выклинивания, излучина р. Селянки, северо-восточнее копи 243, аналитик Г. К. Звонарева. 5—6 из сиенитов Южного тела: 5 — проба М-72-270в, аналитик Г. К. Звонарева, 6 — проба 013505-15, южная оконечность тела, верховья речки Белой, аналитик Л. Ф. Баженова, материал Г. С. Зуева.

* в сумму входит также H₂O⁻ 0.03, п.п.п. 0.49, ** H₂O⁻ 0.17, *** H₂O⁻ 0.2, P₂O₅ 0.12.

Таблица 6

Химический состав эгирин-авгитов жильных пироксеновых сиенитов

Комп.	1	2	3	4	5	6	7
Химические анализы, мас. %							
SiO ₂	50.95	50.09	51.08	50.24	51.76	49.81	51.59
TiO ₂	0.45	0.18	0.43	0.44	—	0.54	0.49
Al ₂ O ₃	1.62	1.52	0.76	1.95	0.57	3.47	2.3
Fe ₂ O ₃	19.38	16.42	16.2	12.06	13.08	15.64	18.06
FeO	5.12	9.93	8.68	8.05	9.8	6.8	5.74
MnO	0.85	1.56	0.54	1.3	1.25	0.48	1.04
MgO	4.55	2.23	4.13	5.23	5.8	4.95	3.8
CaO	10.55	10.91	10.85	14.27	13.39	9.89	9.06
Na ₂ O	5.68	6.32	6.48	5.	5.43	7.77	7.79
K ₂ O	0.08	0.1	0.13	0.2	0.14	0.85	0.2
Сумма	99.72*	99.66**	100.11***	99.66	100.82	100.2	100.0
Коэффициенты формул							
Si	1.98	1.98	1.99	1.96	1.92	1.86	1.87
Al	0.02	0.02	0.01	0.04	0.03	0.14	0.13
Fe ³⁺	—	—	—	—	0.09	—	—
Fe ²⁺	0.05	0.05	0.03	0.05	—	0.01	0.08
Ti	0.01	—	0.01	0.01	—	0.02	0.01
Fe ³⁺	0.57	0.48	0.47	0.35	0.33	0.44	0.51
Fe ²⁺	0.17	0.33	0.28	0.26	0.32	0.21	0.18
Mn	0.03	0.05	0.02	0.04	0.04	0.02	0.03
Mg	0.17	0.09	0.19	0.28	0.31	0.28	0.19
Ca	0.47	0.46	0.45	0.59	0.60	0.43	0.37
Na	0.43	0.49	0.49	0.38	0.40	0.56	0.57
K	—	—	0.01	0.01	0.01	0.08	0.01
Mg	0.1	0.05	0.05	0.02	—	—	0.05
mg	0.64	0.3	0.47	0.54	0.49	0.57	0.57

Примечания: 1—2 — западный экзоконтакт миаскитового массива: 1 — проба 013502, западный склон главного хребта, верховья р. Первой, аналитик Л. Ф. Баженова, 2 — проба И-76-243, секущая дайка аплитовидного пироксенового сиенита, щебеночный карьер в верховьях р. Черной, юго-западный угол нижней ступени, аналитик Г. К. Звонарева; 3 — проба 161-61, сиенит амфибол-пироксеновый, восточный склон отрога М. Ильмень, верховья р. Первой, аналитик Г. К. Звонарева; 4 — проба И-75-28786, сиенит трахитоидный, восточная щелочная полоса, г. Унтай, юго-восточнее оз. Б. Ишкуль, аналитик И. Ю. Коротаева; 5—7 — жильные тела в фенитовом ореоле на восточном контакте миаскитового массива: 5 — г. Фирсова, аналитик И. А. Морозевич [16], 6 — «Черемшанский бугор», аналитик Д. С. Белянкин [6], 7 — СГ-15, скважина в поселке заповедника, аналитик Г. К. Звонарева.

* в сумму входят также H₂O⁻ 0.25, H₂O⁺ 0.10, P₂O₅ 0.14.
** H₂O⁺ 0.67, F 0.02. *** H₂O⁺ 0.83

Таблица 7

Эгирин-авгиты из пироксен-полевошпатовых пегматитов

Комп.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Химические анализы, мас. %									
SiO ₂	49.62	50.72	51.15	50.44	50.9	49.50	51.23	51.15	51.53
TiO ₂	0.81	0.46	0.36	0.38	0.55	1.80	0.66	0.22	0.56
Al ₂ O ₃	2.50	2.24	2.03	2.2	1.75	2.56	3.0	0.97	1.63
Fe ₂ O ₃	14.62	13.95	15.51	13.99	16.56	11.4	11.39	15.55	21.73
FeO	6.15	6.87	5.34	7.49	5.57	5.6	5.48	7.59	4.13
MnO	0.64	1.03	1.0	0.61	0.61	0.51	0.54	0.97	0.46
MgO	5.64	5.98	6.03	5.31	5.65	7.01	7.41	4.51	3.25
CaO	12.99	12.33	11.82	13.40	12.03	15.41	13.67	12.66	8.4
Na ₂ O	6.42	5.75	5.75	5.34	6.24	5.82	5.0	6.0	8.35
K ₂ O	0.16	0.22	0.22	0.39	—	0.21	0.12	—	0.25
Сумма	99.55	99.55	99.21	100.3*	99.85	100.27**	98.5	99.62	100.29
Коэффициенты формул									
Si	1.87	1.95	1.97	1.94	1.95	1.84	1.96	1.98	1.98
Al	0.11	0.05	0.03	0.06	0.05	0.16	0.04	0.02	0.02
Fe ³⁺	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—
Al	—	0.05	0.06	0.04	0.03	0.07	0.09	0.02	0.05
Ti	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.05	0.02	0.01	0.02
Fe ³⁺	0.42	0.4	0.45	0.4	0.48	0.64	0.33	0.45	0.62
Fe ²⁺	0.19	0.22	0.17	0.25	0.18	0.17	0.18	0.25	0.13
Mg	0.32	0.29	0.28	0.29	0.27	0.39	0.36	0.24	0.16
Mn	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02
Ca	0.53	0.51	0.49	0.55	0.49	0.66	0.56	0.53	0.35
Na	0.47	0.43	0.43	0.4	0.46	0.42	0.38	0.45	0.62
K	0.05	0.01	0.01	0.02	—	—	—	—	0.01
Mg	—	0.05	0.07	0.01	0.05	—	0.06	0.02	0.02
mg	0.63	0.46	0.67	0.43	0.4	0.7	0.7	0.51	0.58

Примечания: 1—4 — Селянкинское месторождение, (копь 158): 1 — из пегматита, аналитик Н. Х. Айдиньян [27]; 2 — проба И-74-6022ж из пегматита, карьер севернее ЛЭП; 3 — проба И-74-6022з, из вrostков в полево шпате, там же, аналитик Г. К. Звонарева, материал В. Я. Левина; 4 — из шпирообразного субграфического срastания с К-Na полевым шпатом при 73 % эгирин-авгита и 27 % мезопертита, аналитик Ф. Я. Аносов [13]; 5 — проба М-72-2288в из жилообразного меланократового обособления, сложенного лучистыми агрегатами игольчатых кристаллов пироксена, полевого шпата и апатита, аналитик Н. И. Галкина; 6 — копь 375 севернее оз. М. Теренкуль, кристалл псевдоквадратного облика с незначительным развитием граней призмы (110), аналитик Н. Х. Айдиньян [27]; 7 — там же, аналитик Г. К. Звонарева, материал В. А. Попова; 8 — копь 178, пегматит в фенитах восточного эзоконтакта миаскитового массива, г. Фирсова, севернее ЛЭП, аналитик Н. Ф. Пузырецкая, материал В. А. Попова; 9 — проба П-244, из пегматитовой жилки в фенитах юго-западного эзоконтакта миаскитового массива, обн. 9102 в 100 м севернее ж/д платформы 2008 км, аналитик Л. Ф. Баженова. В сумму включены также (мас, %):* H₂O⁺ 0.24; пшп 0.16.** H₂O⁺ 0.47; H₂O⁻ 0.24.

Пироксены из пироксен-полевошпатовых пегматитов (скарноидов?)

Комп.	1	2	3	4	5
Химические анализы, мас. %					
SiO ₂	50.41	51.38	51.05	47.04	51.49
TiO ₂	0.13	0.06	0.1	0.15	—
Al ₂ O ₃	1.45	1.13	0.87	4.0	0.89
Fe ₂ O ₃	8.09	9.7	10.36	9.16	3.68
FeO	9.45	8.58	10.63	11.24	5.01
MnO	1.03	1.48	1.54	1.13	0.58
MgO	7.65	7.38	5.84	6.74	14.22
CaO	18.42	17.52	16.9	17.0	23.13
Na ₂ O	3.25	2.75	3.0	1.62	0.61
K ₂ O	0.1	—	—	0.5	0.16
Сумма	99.88	99.98	100.32	98.88	99.75
Коэффициенты формул					
Si	1.94	1.97	1.99	1.86	1.93
Al	0.07	0.03	0.01	0.14	0.04
Fe ³⁺	—	—	—	—	0.03
Al	—	0.02	0.03	0.05	—
Fe ³⁺	0.23	0.28	0.3	0.27	0.07
Fe ²⁺	0.3	0.28	0.35	0.37	0.15
Mg	0.44	0.35	0.26	0.27	0.76
Mn	0.03	0.05	0.05	0.04	0.02
Ca	0.76	0.72	0.71	0.72	0.92
Na	0.24	0.21	0.22	0.12	0.04
K	—	—	—	0.03	0.01
Mg	—	0.07	0.07	0.13	0.03
mg	0.59	0.6	0.49	0.52	0.84

Примечания: 1—3 — из пегматоидов в фенитах восточной при-контактной зоны Центральной щелочной полосы в 2.50—3 км севернее Селянкинского месторождения: 1 — проба И-74-4034; 2 — проба И-74-2212, оба меланократовые пегматоиды, богатые сфеном; 3 — проба И-74-2212а, пегматоид с кварцем, аналитик Г. К. Звонарева [15]; 4 — проба М2, темно-зеленый пироксен из секущего пегматоидного обособления в сиенитогнейсе (фените?) — восточный экзоконтакт миаскитового массива, копь 15, жила № 2, материал Л. И. Лобовой, аналитик Каретина; 5 — проба 154, светлозеленый пироксен из жилообразного полевошпато-пироксенового тела, которое контактирует с кальцифирами фирсовской толщи, там же, аналитик Н. Г. Постоева [27].

ют пироксены плитообразных тел пироксен-полевошпатовых пород, залегающих в кварцитах и на контакте с кальцифирами вблизи восточного контакта миаскитового массива в районе копи 15 (табл. 8, анализы 4 и 5).

Состав большинства проанализированных пироксенов из щелочных граносиенитов и гранит-аплитов (табл. 9, анализы 1—6) по содержанию эгиринового минала (40—50 %) аналогичен эгирин-авгитам лейкократовых фенитов (многие из которых тоже содержат кварц и по валовому химизму близки этим жильным щелочным породам), но из-за низкой магнезиальности ($mg = 0.31—0.47$) они должны быть отнесены к эгирин-геденбергитам (табл. 9, анализы 3—6). Пониженной щелочностью выделяется в этой группе пироксен из гранитного пегматита у северной оконечности Ишкульского хребта (анализ 5), и, наоборот, преобладает эгириновый компонент в пироксене граносиенита у южной оконечности этого хребта (анализ 1), а также в пироксене из дайки гранит-аплита, залегающего в кровле миаскитового массива в 2-х км к югу от его южного контакта (анализ 6).

Таблица 9

Состав пироксенов щелочных граносиенитов, гранитов, гранит-аплитов и пегматитов

Комп.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Химические анализы, мас. %										
SiO ₂	48.67	52.77	50.52	50.29	48.95	51.63	50.98	51.14	51.26	50.43
TiO ₂	0.81	0.88	0.22	0.23	0.11	0.46	—	—	9.32	0.73
Al ₂ O ₃	1.01	1.41	1.57	0.77	0.42	0.63	0.71	1.12	0.98	2.86
Fe ₂ O ₃	23.19	14.49	14.85	14.99	10.6	21.33	27.44	28.21	27.77	26.07
FeO	3.6	4.31	8.69	9.23	15.36	5.69	3.64	1.76	3.49	3.77
MnO	0.41	0.71	0.88	0.71	1.2	1.0	1.87	1.68	1.07	3.91
MgO	2.78	6.5	3.91	4.52	3.93	2.95	0.42	0.19	0.38	0.71
CaO	8.6	11.42	12.83	13.23	17.03	7.64	5.13	2.8	3.7	0.45
Na ₂ O	9.87	6.57	5.12	5.71	2.92	8.15	9.46	8.93	9.5	10.42
K ₂ O	—	0.12	0.15	<0.1	<0.1	0.17	0.42	1.1	—	—
Сумма	99.25*	99.32*	99.34*	99.68	100.52	99.92	100.4	100.81*	98.46	100.03*
Коэффициенты формул										
Si	1.88	1.99	2.0	1.93	1.94	2.0	1.99	2.13	2.04	1.95
Al	0.05	0.01	—	0.04	0.02	—	0.01	—	—	0.05
Fe ³⁺	0.07	—	—	0.03	0.04	—	—	—	—	—
Al	—	0.05	0.07	—	—	0.03	0.02	0.05	0.05	0.09
Ti	0.02	0.02	—	0.01	—	0.01	—	—	0.01	0.02
Fe ³⁺	0.6	0.41	0.44	0.4	0.27	0.62	0.81	0.84	0.83	0.74
Fe ²⁺	0.12	0.14	0.29	0.3	0.51	0.19	0.12	0.06	0.12	0.12
Mn	0.01	0.02	0.03	0.02	0.04	0.03	0.06	0.06	0.04	0.02
Mg	0.16	0.36	0.17	0.26	0.18	0.12	0.02	—	—	0.01
Ca	0.35	0.5	0.54	0.59	0.72	0.32	0.22	0.12	0.16	0.16
Na	0.74	0.48	0.39	0.42	0.23	0.61	0.72	0.68	0.73	0.78
K	—	0.01	0.01	—	—	0.01	0.02	0.06	—	—
Mg	—	0.01	0.06	—	0.05	0.05	0.02	0.01	0.01	0.02
mg	0.57	0.72	0.44	0.46	0.31	0.47	0.25	0.14	0.08	0.2

Примечания к табл. 9: 1 — проба γ -с из дайки граносиенита, южная оконечность Ишкульского хребта (хр. Кудуш) у дер. Селянкино, аналитик И. А. Панкова, материал В. Н. Липатова; 2 — проба М-80-16, пироксен-амфиболовый сиенит (фенит?) с кварцем из экзоконтакта Селянкинского массива щелочных сиенитов, вблизи излучины р. Селянка, севернее копи 243, аналитик Г. К. Звонарева; 3 — проба М-80-21 из дайки пироксенового гранит-аплита, там же, восточнее копи 243, аналитик Г. К. Звонарева; 4 — проба Ил-40 из гранит-аплита той же дайки, аналитик Т. В. Кринова; 5 — проба Ил-28 из альбитизированного гранитного пегматита, северное окончание Ишкульского хребта северо-западнее оз. Сырыткуль, аналитик Т. В. Кринова, 6 — проба Ил-38 из дайки пироксенового гранит-аплита в кровле миаскитового массива восточнее оз. Ильменского, в 200 м западнее копи 87, аналитик Т. В. Кринова; 7—9 — из кварц-полевошпатового пегматита в восточном экзоконтактовом ореоле миаскитового массива, копь 17 («копь у Рожкова ключа»): 7 — зеленовато-бурый кристалл, аналитик В. А. Зильберминц [14], 8 — светло-зеленый неоднородный, аналитик В. А. Зильберминц [14], 9 — там же, материал В. А. Попова, аналитик Н. Ф. Пузыречкая; 10 — из пироксен-полевошпатового пегматита в западной зоне Центральной щелочной полосы, копь 405, юго-западнее оз. Б. Ишкуль, аналитик К. А. Гонибесова [18].

* в сумму включены также (мас %) H_2O^+ : ан. 1 — 0.22, ан. 2 — 0.14, ан. 3 — 0.60, ан. 8 — 0.39, ан. 10 — 0.33; CaO в ан. 8 — 0.33, в ан. 1 — 0.09; H_2O^- в ан. 10 — 0.35.

Пироксены щелочногранитных ассоциаций представлены анализами только из двух тел щелочногранитных пегматитов — в копиях 17 и 405 (табл. 9, анализы 7—10). Они резко выделяются среди всего массива рассмотренных анализов устойчиво высокой щелочностью ($Na = 0.68—0.78$ ф.е.) и самой низкой магнезиальностью ($mg = 0.08—0.25$). По классификациям И. В. Гинзбург [19] и Дира и др. [9] их следует отнести к эгиринам, а согласно схеме, разработанной субкомитетом по пироксенам [31] — это предельно щелочные и предельно железистые эгирин-авгиты.

В ассоциации с нефелином пироксены отмечаются нередко как небольшая примесь в амфиболовых миаскитах и меланократовых породах, в том числе сандыитах, в южной части массива [12, 13, 17], но имеется только два анализа пироксенов из нефелинсодержащих пород. Один из них был выделен из пироксен-плагиоклазовой породы с нефелином и флогопитом, обнаруженной на северо-западном выклинивании миаскитового массива (проба 161-51 с западного склона Ильменского хребта, в верховьях речки Первой): SiO_2 51.71; TiO_2 0.22; Al_2O_3 4.79; Fe_2O_3 3.21; FeO 2.21; MnO 0.22; MgO 12.36; CaO 21.08; Na_2O 4.16; K_2O 0.15; сумма 100.02. Аналитик Т. В. Кринова. Формула этого пироксе-

на: $(\text{Ca}_{0.82}\text{Na}_{0.29}\text{K}_{0.01})_{1.12} (\text{Mg}_{0.68}\text{Mn}_{0.01}\text{Fe}^{2+}_{0.06}\text{Fe}^{3+}_{0.09}\text{Al}_{0.06}\text{Ti}_{0.01})_{0.91}$
 $(\text{Si}_{1.86}\text{Al}_{0.14})_{1.00}\text{O}_6$.

Избыточный коэффициент при M(2) и дефицитный при M(1), а также низкое содержание кремния возможно вызваны примесью нефелина, который может присутствовать в виде субмикроскопических вростков. Расчет показывает, что такое нарушение состава может быть вызвано примесью ~ 6 % нефелина. Несмотря на такой недостаток анализа, он используется в этом тексте из-за уникальности ассоциации, которую он представляет. По составу этот пироксен относится к эгирин-диопсидам с невысокой щелочностью и очень высокой магнезиальностью, близкой к магнезиальности пироксенов метагипербазитов, диопсидовых амфиболитов (см. табл. 1) и кальцифиров (см. табл. 2, анализ 11).

Второй пироксен выделен из пироксен-амфиболового миаскита мало распространенной фациальной разновидности, найденной в юго-западной части миаскитового массива (проба Ил-85-45, отобранная в 1.5 км южнее телевизионной вышки). Его анализ: SiO_2 49.91; TiO_2 0.57; Al_2O_3 4.71; Fe_2O_3 24.92; FeO 6.72; MnO 0.78; MgO 3.67; CaO 11.00; Na_2O 6.88; K_2O 0.22; сумма 98.98. Аналитик Н. В. Пастухова. Этот пироксен относится к эгирину по классификации [19], к эгирин-авгиту — по классификации, принятой субкомитетом [31]. Он близок по составу к пироксенам щелочных сиенитов и связанных с ними пегматитов.

Очень близкий к нему состав имеют и пироксены метасоматитов по миаскитам (табл. 10). Один них выделен из «альбитита» (анализ 3), который считается автометасоматическим продуктом миаскитовой интрузии [17], другие — из метасоматитов, аналогичных ему по структурному положению и минеральному составу, для них установлена связь с постмиаскитовыми пироксеновыми сиенитами и щелочными гранитами (анализы 1 и 2).

К эгиринам в согласии с последней классификацией [31] принадлежит только один пироксен ильменогорского щелочного комплекса — из тех, какие охарактеризованы удовлетворительными химическими анализами. Кристаллы этого пироксена нарастают на стенки трещины в пироксеновом фените (сиените?) вместе с кристаллами пертитового калишпата, на которые нарастают альбит, микроклин, апатит, рутил, циркон, а осевая зона трещины выполнена кварцем и кальцитом с примесью пирротина, пирига, флюорита (см. табл. 6, анализ 4).

Итогом изложенного может служить табл. 11, где в последовательности кристаллохимической классификации перечислены пироксены Ильменских гор, каждый из них привязан к усло-

вием, в которых он обнаружен. В этой таблице отражены обе использовавшиеся в работе классификации [19, 31], в разной степени отражающие традиционные представления о классификации

Таблица 10

**Пироксены постмиаскитовых метасоматитов (1—3)
и жилки альпийского типа (4)**

Комп.	1	2	3	4
Химические анализы				
SiO ₂	50.42	49.6	51.58	52.06
TiO ₂	0.37	0.53	0.56	0.48
Al ₂ O ₃	1.97	1.07	1.63	1.14
Fe ₂ O ₃	22.61	20.58	21.73	29.01
FeO	5.3	2.88	4.13	0.83
MnO	0.74	0.68	0.46	0.31
MgO	2.28	4.58	3.25	1.25
CaO	8.64	13.43	8.4	2.6
Na ₂ O	6.55	6.51	8.35	10.76
K ₂ O	0.09	—	0.1	0.2
H ₂ O ⁺	0.32	0.32	—	—
H ₂ O ⁻	0.25	0.27	—	—
P ₂ O ₅	0.14	0.13	0.01	—
Сумма	99.68	100.58	100.2	98.64
Коэффициенты формул				
Si	2.0	1.92	1.98	2.04
Al	—	0.05	0.02	—
Fe ³⁺	—	0.03	—	—
Al	0.09	—	0.11	0.05
Ti	0.01	0.02	0.02	0.01
Fe ³⁺	0.68	0.57	0.56	0.85
Fe ²⁺	0.18	0.09	0.19	0.03
Mn	0.02	0.02	0.02	0.01
Mg	0.02	0.26	0.1	0.05
Ca	0.37	0.55	0.4	0.11
Na	0.50	0.49	0.54	0.82
K	0.01	—	0.01	0.01
Mg	0.11	—	0.05	0.02
mg	0.42	0.74	0.79	0.70

Примечания: 1 — проба 08655а, пироксен-полевошпатовый метасоматит, северная часть восточной зоны миаскитового массива, аналитик Л. Ф. Баженова; 2 — проба 010284, пироксен-полевошпатовый метасоматит, восточная зона массива, материалы В. Н. Липатова, аналитик И. А. Панкова; 3 — проба 793, «альбитит», западная приконтактная зона миаскитового массива, старый щебеночный карьер у пос. Строителей [17]; 4 — проба НК-73-4 из контактовой зоны кварц-кальцитовой жилки в пироксеновом сиените (фените?) в западном экзоконтакте миа-

скитового массива, новый шебеночный карьер северо-западнее пос. Строителей, аналитик А. В. Буторина.

Таблица 11

Классификация пироксенов ильменогорского комплекса

Минеральный вид		Разновидность (разность)	Условия нахождения	Литературный источник
*	**			
1	2	3	4	5
энстатит			магнезиороговообманково-энстатитовая порода	[8]
		бронзит [9, 19] (алюмо-бронзит) [19]	бронзитовый мегагипербазит	данные автора [2]
диопсид			амфиболит	[4]
			кальцифир	[29]
			полевошпато-пироксеновый пегматит на контакте с кальцифиром (скарноид?)	[27]
		салиг [9, 19]	полевошпато-пироксеновый пегматоид вблизи от контакта с кальцифиром	данные Л. И. Лобовой
			пироксено-плагиоклазовые, пироксено-скаполитовые сланцы	[10] данные автора
			метасоматиты того же состава, скарноиды, базификаты	[10, 17, 21, 29] данные В. А. Попова
[9, 19] ферросалиг	кварц-пироксен-скаполитовый сланец	данные автора		
авгит	фассаит		кальцифир	[25]
эги-рин-авгит	эгири-диопсид		пегматоидные пироксен-полевошпатовые породы (щелочные метасоматиты по известково-силикатным породам)	[14]
			фенит по пироксеновому плагиосланцу	данные автора
			нефелин-пироксен-плагиоклазовая порода (фенит)	
			меланократовые и лейкократовые фениты Центральной щелочной полосы и экзоконтакта миаскитового массива	
			пироксеновые сиениты массивов и жильных тел и пироксен-полевошпатовые пегмати-	[6, 13, 16, 17, 27] данные автора, В. А. Попова,

			ты	Г. С. Зуева, В. Я. Левина
--	--	--	----	------------------------------

Окончание таблицы 11

1	2	3	4	5	
эги- рин- авгит	эгирин - геденбер- гит		гранит-аплит в висячем боку массива пироксеновых сиенитов, альбитизированный гранитный пегматит	данные автора	
			сиенит-аплит и амфибол-пироксеновый сиенит отрога М. Ильмень	данные автора	
			пироксен-амфиболовый фенит (сиенит) на выклинивании массива пироксеновых сиенитов	данные автора	
	эгирин			пироксен-амфиболовый мнаскит	данные автора
				фенит на контакте с пироксен-полевошпатовым пегматитом	[23]
				сиенит осевой зоны Селянкинского массива, пегматит Селянкинского месторождения	данные В. Я. Левина
граносиенит, гранит-аплит				данные автора, В. Н. Липатова	
			щелочно-гранитные пегматиты	[13, 17]	
эги- рин			пироксен-полевошпатовая кайма жилки альпийского типа в пироксеновом сиените	данные автора	

*Примечания: * — по Моримото и др. [31]; ** — по И. В. Гинзбург [19]*

и номенклатуре пироксенов. В официальном документе [31] предложение Г. Б. Бокия и И. В. Гинзбург [7] о выделении строго фиксированных таксонов — минеральных видов в двойной системе по границе 100—50 %, а в тройной системе 100—50—33.3 % не получило отражения. Многие пироксены весьма широко распространены в природе, и для них исторически сложилась классификация, достаточно устойчиво употребляемая в минералогии и петрографии [9]. В классификации субкомитета по пироксенам [31] применено правило 50 % для рядов энстатит-ферросилит, диопсид-геденбергит, жадеит-эгирин. Названия промежуточных членов ряда: бронзит, гиперстен в ряду энстатит-ферросилит, а также салит, ферросалит в ряду диопсид-геденбергит были от-

брошены. В то же время, традиционные названия авгит, пижонит, омфацит, эгирин-авгит в ней были сохранены. В таблице 11 названия рубрик, соответствующих той или другой классификационной схеме, рассматриваются как имена минеральных видов, а названия, исключаемые из обихода по рекомендации Субкомитета по пироксенам [31] — такие как бронзит, салит — в этой таблице используются в качестве названий разновидностей.

Эволюция состава пироксенов

Систематизация около 80 отобранных, достаточно качественных химических анализов, выявила некоторые связи состава пироксенов с составом пород и условиями их образования, а также тенденции смены состава пироксенов в истории становления Ильменогорского комплекса.

1. Магнезиально-железистые ортопироксены встречаются в метагипербазитах, самым обычным в этих породах является энстатит, и только в линзе, сложенной метакоматитом, главный минерал — алюмобронзит, содержащий около 10 % чермакитового минала.

2. Для известково-силикатных пород и продуктов их изменения характерны кальциевые пироксены:

а) в кальцифире описан зональный пироксен, ядро которого слагает авгит (фассаит) с 20 % клиноэнстатитового и 30 % эсенеитового миналов, края — диопсид;

б) в пироксен-плаггиоклазовых и пироксен-скаполитовых кристаллосланцах и метасоматитах встречаются близкие по составу салиты ($Ди_{0.6-0.8}$);

в) пироксен скарноидов обогащен геденбергитовым миналом ($Ди_{0.4}Гд_{0.4}$);

г) на контакте с кальцифиром, залегающим в ореоле влияния миаскитового массива (копь 15), пегматоидная пироксен-полевошпатовая порода содержит салит с очень небольшой примесью эгиринового минала ($Ди_{0.75}Эг_{0.05}$);

д) в фенитах по известково-силикатным породам появляются слабощелочные эгирин-авгиты ($Ди_{0.3-0.4}Гд_{0.3-0.4}Эг_{0.15-0.25}$);

е) близкий, но менее геденбергитовый состав имеет эгирин-диопсид в нефелин-плаггиоклазовом фените с северо-западного выклинивания массива ($Ди_{0.7}Эг_{0.3}$);

3. В породах базитового ряда диопсид известен в некоторых амфиболитах, в пироксен-скаполитовых продуктах базификации амфиболитов широко распространен салит. В меланократовых пироксен-амфиболовых фенитах по амфиболитам пи-

пироксены имеют Na-Ca состав. Они относятся к эгирин-диопсидам с небольшим колебанием состава.

4. Для лейкократовых щелочных пород свойственны эгирин-авгиты:

а) в лейкократовых антипертитовых фенитах подинтрузивной зоны, т.н. Центральной щелочной полосы, и в двуполевошпатовых лейкократовых фенитах контактов массива обычные пироксены эгирин-авгитового состава;

б) они являются также единственным или одним из главных темноцветных минералов в постмиаскитовых щелочных сиенитах и в породах жильной серии — сиенит-аплитах и пегматитах. Состав пироксенов во всех этих породах колеблется в сравнительно небольших пределах: $Di_{0.2-0.3}Gd_{0.1-0.3}Эг_{0.3-0.6}$.

5. В нефелинсодержащих породах массива пироксены также имеют эгирин-авгитовый состав: в пироксен-амфиболовом миаските ($Di_{0.1}Gd_{0.2}Эг_{0.5}Чер_{0.1}$), в сандыитах от $Эг_{0.2}$ до $Эг_{0.5}$. Следует заметить, что сообщество пироксенов миаскитов, сандыитов и других меланократовых пород массива — еще очень слабо исследованный объект.

6. Более щелочными являются пироксены анатектитовых граносиенитов, гранит-аплитов и пироксеновых гранитных пегматитов, причем от граносиенитов и гранит-аплитов к пегматитам уменьшается магнезиальность и увеличивается щелочность — до $Эг_{0.7-0.8}$.

7. К эгирину по номенклатуре, рекомендованной субкомитетом по пироксенам ММА, может быть отнесен только пироксен краевой пироксен-полевошпатовой зоны кварц-кальцитовой жилки, секущей пироксеновый сиенит. В нем содержание эгириново-го минала превышает 80 %.

Накопленные сведения о пироксенах позволяют составить следующие представления об эволюции их состава в процессе становления Ильменогорского комплекса:

Таким образом, главное направление эволюции состава пироксенов в процессе становления комплекса — от кристаллосланцев и продуктов их гранитизации к фенитам и миаскитам, следом за ними — к щелочным сиенитам и щелочным гранитам и, далее, к родственным с ними пегматитам последовательно увеличивается щелочность, а именно — в составе пироксенов возрастает доля эгириновой составляющей.

В кристаллосланцах присутствуют бесщелочные ортопироксены ряда энстатит-бронзит (в метагипербазитах и метакоматитах) и кальциевые клинопироксены ряда диопсид-ферросалит. В метасоматитах, по известково-силикатным породам и амфибо-

литам, связанным с гранитизацией, отмечаются также салиты. Возрастание щелочности связано с фенитизацией, интенсивность этого роста зависит от химического и минерального состава фенитов. В пироксенах фенитов по известково-силикатным породам доля эгиринового минала составляет 15—20 %, в меланократовых фенитах — амфиболитам — 25—40 %, тогда как в лейкократовых фенитах достигает 50 %. Пироксены миаскитов и щелочных сиенитов относятся к средней части поля эгирин-авгитов, а максимально щелочными пироксенами в комплексе являются пироксены самых поздних образований в нем — щелочных гранитных пегматитов и кварц-кальцитовых жилков, секущих щелочные сиениты.

Литература

Баженов А. Г., Иванов Б. Н., Кутепова Л. А., Левин В. Я., Роненсон Б. М., Утенков В. А. О вещественном составе пироксен-полевошпатовых пород северной части Ильменогорского комплекса // Щелочные, основные и ультраосновные комплексы Урала. Свердловск, 1976. С. 3—11

Баженов А. Г., Вализер Н. И., Рассказова А. Д. Алюмообронзит из метамагнитов Ильменогорского метаморфического комплекса // Уральский минералогический сборник № 1. Екатеринбург, 1993. С. 53—55.

Баженов А. Г., Звонарева Г. К., Иванов Б. Н., Кутепова Л. А., Попов В. А. Типохимизм гранатов Ильменогорского комплекса // Минералогия и петрография Южного Урала. Свердловск, 1978. С. 3—17.

Баженов А. Г., Иванов Б. Н., Постоев К. И. Анортитовые амфиболиты Ильменогорского комплекса // Магматизм и метаморфизм ультраосновных и щелочных пород Урала. Свердловск, 1978. С. 101—110.

Баженов А. Г., Кутепова Л. А., Щербакова Е. П. К систематике амфиболов Ильменогорского комплекса // Минералогические исследования эндогенных месторождений Урала. Свердловск, 1982. С. 78—92.

Белянкин Д. С. Очерки по петрографии Ильменских гор // Изв. С.-Пб. Политехн. ин-та, Мин. лаб. Т. 12. 1909. С. 135—166.

Бокий Г. Б., Гинзбург И. В. Систематика минеральных видов в семействе пироксенов // Рентгенография и молекулярная спектроскопия минералов. Тр. Ин-та геологии и геофизики, в. 610. Новосибирск, 1985. С. 12—35.

Варлаков А. С. К минералогии гипербазитов Ильменских гор // Минералогические исследования эндогенных месторождений Урала. Свердловск, 1982. С. 54—66.

Дир У. А., Хауи Л. А., Зусман Дж. Породообразующие минералы. Т. 2. М.: Мир. 1965. 406 с.

Доминиковский Г. Г. Петрография кристаллических сланцев средней части Ильменских гор // Ильменогорский комплекс магматических и метаморфических пород. Свердловск, 1971. С.130—147.

Доброхотова Е. С. Пироксены щелочного комплекса Среднего Урала // Минералы и минеральное сырье Урала. Екатеринбург, 1992. С. 38—45.

Заварицкий А. Н. Петрографические наблюдения в окрестностях Миасского завода // Записки Горн. ин-та. 1910. № 3. Вып. 1. С. 59—84.

Заварицкий А. Н. Интересный пример сиенит-пегматита из Ильменских гор // Вопросы минералогии, геохимии и петрографии. М-Л. Изд. АН СССР. 1946.

Зильберминц В. А. О некоторых минералах с Ильменских гор // Тр. С-Пб. об-ва ест., т. 35. 1912. С. 221—224.

Иванов Б. Н., Баженов А. Г., Кутепова Л. А., Кошевой Ю. Н. О двух типах пироксен-полевошпатовых пегматоидов северной части Ильменских гор // Минералогия и петрография Южного Урала. Свердловск, 1978. С. 42—48.

Карпинский А. П. О распространении в Ильменских горах пород с натриевыми пироксенами и о характере этих минералов // Зап. мин. об-ва, 1902, т. 39, вып. 2. С. 40—54.

Левин В. Я. Щелочная провинция Ильменских-Вишневых гор М.: Наука. 1974. 222 с.

Макарошкин Б. А., Макарошкина М. С. Об эгирине и чевкинците Урала // Вопросы геологии и геоморфологии Западной Сибири. Барнаул, Алт. изд-во. 1965. С. 3—10.

Минералы / Под ред. *Ф. В. Чухрова*. М., Наука, 1981. Т. 3, вып. 2. 314 с.

Минералы Ильменского заповедника / Под ред. *А. Н. Заварицкого*. Изд. АН СССР, М-Л., 1949. 660 с.

Панков Ю. Д. Ильменогорский метаморфический комплекс // Ильменогорский комплекс магматических и метаморфических пород. Свердловск, 1971. С. 61—123.

Поляков В. О., Баженова Л. Ф. К минералогии акцессорных редкоземельных фосфатов Ильменских гор // Минералогические исследования эндогенных месторождений Урала. Свердловск, 1982. С. 37—43.

Попов В. А., Попова В. И. Об относительном возрасте зон в метасоматитах // Проблемы минералогии Урала. Свердловск, 1976. С. 97—100.

Попова В. И., Баженова Л. Ф. Новые анализы акцессорных минералов группы пирохлора из пегматитов Ильменских гор // Материалы к топоминералогии Урала. Свердловск, 1986. С. 62—70.

Постоев К. И. Энстатит. Диопсид // Минералы Ильменского заповедника. М-Л., 1949. С. 255—259.

Расказова А. Д., Ленных В. И., Вализер Н. И. Кальцифиры и мраморы нижних толщ ильмено-вишневогорского комплекса // Ежегодник ИГГ УНЦ АН СССР-1985. Свердловск, 1986. С. 68—71.

Ротман Л. Э. Материалы к характеристике амфиболов и пироксенов пегматитовых жил Ильменских гор. Ч. 4 // Записки Ленинград. пед. ин-та. Л., 1956. С. 55—83.

Сущинский П. П. Некоторые минералогические наблюдения в Ильменских горах и Кыштымском округе Урала, произведенные летом 1899 г. // Тр. С-Пб. общ. ест. Т. 29, отд. геол. 1900. С. 21—46.

Утенков В. А., Андронов В. В. Кристаллические сланцы и мигматиты восточного обрамления ильменогорского комплекса // Минералогия и петрография Южного Урала. Свердловск. 1978. С. 49—68.

Яковлева М. Е. Авгит, эгириин-авгит и эгириин // Минералы Ильменского заповедника. М-Л, 1949. С. 259—264.

Morimoto N., Fabries J., Ferguson A. K., Ginsburg J. V., Ross M., Seifert F. A., Zussman J. Nomenclature of pyroxenes // Min. Mag. 1988. V. 52. P. 535—550.

32. Nomenclature of amphiboles: report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names // Canad. Mineral. 1997. V. 35. P. 219—246.