

ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АМФИБОЛИТОВ УКРАИНСКОГО ЩИТА

А.Н. Омельченко¹, Л.Л. Томурко²

*1 – Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
03022, ул. Владимирская, 60, г. Киев, Украина*

*2 – Институт геохимии, минералогии и рудообразования имени Н.П. Семеновко НАН Украины
03680, просп. акад. Палладина, 34, г. Киев, Украина*

Проведено обобщение имеющихся в литературе, а также новых данных о геолого-петрографических и петрогеохимических особенностях амфиболитов Украинского щита. Показано, что протолитами этих пород могли служить как вулканические (толеитовые базальты), так и плутонические (габбро) породы. По составу амфиболиты рассматриваемой выборки относятся преимущественно к толеитовой петрохимической серии нормальной щелочности.

Ключевые слова: амфиболит, Украинский щит, петрохимия, амфибол, гранат, толеитовый базальт.

Вступление. Амфиболиты широко представлены на всей территории Украинского щита в разных по составу, стратиграфическому положению и возрасту метаморфических комплексах. Вопросом изучения амфиболитов занимались ведущие петрографы: В.Н. Чирвинский, Ю.Ю. Юрк, И.С. Усенко, Н.П. Семеновко, И.Б. Щербаков, М.А. Ярошук, В.В. Слипченко, Б.Г. Яковлев, Г.Л. Кравченко, В.Д. Колий, А.Я. Каневский и другие исследователи.

По имеющимся данным определений изотопного возраста, амфиболиты на Украинском щите относятся к докембрийским образованиям [11, 15, 42, 43, 45].

Объект исследований. В статье рассмотрены амфиболиты, входящие в состав тетеревской (Волынский мегаблок, в дальнейшем – ВМ); бугской (Днестровско-Бугский мегаблок – ДБМ); росинско-тикичской (Росинско-Тикичский – РТМ); ингуло-ингулецкой (Ингульский – ИМ); аульской серий (славгородской, базавлукской толщ, Среднеприднепровский – СПМ); новопавловской толщи (Орехово-Павлоградская шовная зона – ОПШЗ). В данной работе использованы опубликованные аналитические материалы ряда исследова-

телей [10, 12, 13, 26, 35–38, 40, 44, 45, 47], а также коллекции И.Б. Щербакова, В.В. Рябокonia.

Цель данной статьи – систематизация геолого-геохимических особенностей амфиболитов Украинского щита (УЩ) и выяснение некоторых вопросов их генезиса и протолитового состава.

Краткий геологический очерк. Амфиболиты, как правило, образуют пластовые, реже – линзовидные и дайкообразные тела, силлы, покровы невыдержанной мощности, изменяющейся по простиранию от десятков сантиметров до сотен метров и нескольких километров [3, 10, 26, 35, 40, 45 и др.]. Слагают ритмичные толщи, в которых происходит чередование амфиболитов с амфиболовыми, двупироксен-роговообманковыми, гиперстен-плагноклазовыми кристаллосланцами, иногда гранатсодержащими, гранат-биотитовыми, амфиболовыми, биотитовыми гнейсами, реже ультрабазитами, магнетитовыми кварцитами, мигматитами и чарнокитами, совместно с которыми иногда участвуют в образовании складчатых структур [35, 37, 40, 44, 45 и др.]. Встречаются также в виде останцев и ксенолитов во вмещающих породах [26, 45]. Контакты, как правило, согласные, изредка встречаются тела с небольшим угловым несогласием с вмещающими породами [35–38, 40].

Минералого-петрографические особенности. Согласно [24, 29, 49], амфиболит – это метаморфическая порода, состоящая, главным образом, из амфибола, плагиоклаза и минералов-примесей.

Амфиболиты УЩ представляют собой темно-серые, зеленовато-серые, зеленовато-коричневые, иногда почти черные мелко-, реже средне- и крупнозернистые породы. Текстура пород массивная, но нередко сланцеватая, полосчатая, последняя обусловлена неравномерным распределением темноцветных минералов. Структура грано-, гетеробластовая, нематогранобластовая, лепидогранобластовая, частично пойкилобластовая. И.С. Усенко описывал в породах реликты диабазовой, габбровой структур [35, 37].

Главный парагенезис амфиболитов: $\text{Hb} + \text{Pl}$ [23, 37, 40, 44, 45]. По минеральному составу среди них выделяются собственно амфиболиты (или плагиоклазовые амфиболиты), которые И.С. Усенко называл “нормальными”, состоящие из роговой обманки и плагиоклаза, пироксенсодержащие амфиболиты, в которых может присутствовать до 10 % пироксенов. Породы с более высоким содержанием пироксенов относятся к габбро-амфиболитам и амфибол-двупироксеновым гнейсам и кристаллосланцам. Гранатсодержащие и гранатовые разности распространены на территории УЩ весьма ограниченно. Выделяются также разновидности амфиболитов по наличию того или иного второстепенного минерала (окварцованные, биотитизированные, эпидотизированные, хлоритизированные и др.). Преобладающим развитием пользуются нормальные амфиболиты, в меньшей степени представлены пироксенсодержащие.

Таблица 1. Средний нормативный состав амфиболитов Украинского щита нормальной щелочности

Нормативные минералы	Район					
	ВМ	ДБМ	РТМ	ИМ	СПМ	ПМ
Quartz	4	1	4	6	2	2
Orthoclase	4	2	5	6	3	3
Albite	4	14	17	10	14	16
Anorthite	29	29	28	30	33	25
Diopside	15	11	8	5	10	14
Hedenbergite	10	7	5	3	6	6
Enstatit	16	16	14	18	15	17
Ferosilit	12	11	10	14	10	8
Forsterit	5	10	11	3	4	4
Fayalit	2	3	5	2	3	3
Ilmenite	2	2	2	2	2	2
Magnetite	3	5	6	5	5	7
Кол-во проб	5	64	32	18	44	30

Амфиболиты формировались преимущественно в условиях амфиболитовой фации метаморфизма. Некоторые разновидности (эпидотовые или содержащие кислый плагиоклаз и актинолит) возникли в более низкотемпературных условиях.

Имеют место разные точки зрения о существовании двух генетически разных типов пород – пара- и ортоамфиболитов. Однако надежные критерии разделения пород на данный момент отсутствуют. Тем не менее, исследования, проведенные ранее рядом ученых и направленные на реконструкцию первичного состава амфиболитов разных регионов УЩ, свидетельствуют об их преимущественной ортоприроде, поскольку исходным материалом для них могли быть, главным образом, изверженные породы основного состава, (габбро, диабазы, базальты и их туфы) [3, 6, 17, 24, 34, 35, 37, 41, 45, 46, 48]. И.С. Усенко на примере Побужья отмечал, что осадочные породы с таким соотношением главных породообразующих окислов (железа, магния, кальция, натрия, глинозема), какое имеет место в амфиболитах, не известны. Он считал, что по своему составу амфиболиты УЩ – это аналоги оливиновых габбро, платобазальтов и некоторых других базитов [35]. Однако точка зрения о возможном формировании параамфиболитов за счет мергелистых осадков, известняков, подвергшихся метасоматозу с привнесением кремния, алюминия, магния и железа, обосновывается рядом авторов [1, 18, 20, 24, 26, 32, 33, 45]. Согласно [18], амфиболиты этих двух типов “петрографически неразличимы”.

Состав амфиболитов, %: амфибол – 40–80 (в габбро-амфиболитах – 15–57), плагиоклаз – 23–45 (10–5). Пироксены в амфиболитах относятся к второстепенным реликтовым минералам, в габбро-амфиболитах – к главным, и представлены диопсидом (7 и 25, соответственно), реже гиперстеном (до 4 и 29, соответственно). В качестве второстепенных минералов присутствуют биотит, гранат (от единичных зерен до 3–4, реже до 15–25 % [26]), кварц, эпидот, клиноцоизит, хлорит, карбонат, реже встречаются микроклин и куммингтонит. В биотитизированных габбро-амфиболитах Среднего Побужья И.С. Усенко описал турмалин (11–16 %) [37].

В породах отсутствует модальный оливин. Лишь в единичных случаях реликты оливинов описаны И.С. Усенко и В.М. Венедиктовым в амфиболитах Приднестровья [4, 37], что подтверждается также и данными пересчетов химического состава этих пород на нормативный (табл. 1).

Нормативный оливин получен при пересчете химического состава преимущественно субщелочных разностей амфиболитов в количестве от 1–4 до 20–25 %.

Рудные минералы: магнетит, титаномagnetит, ильменит, пирит, пирротин, халькопирит, реже кубанит. Содержание их в амфиболитах, как правило, низкое – 0,5–3, реже – до 8–10 %. Высокое содержание рудных минералов, вероятно, было свойственно первичной породе, подвергшейся метаморфизму. Аксессуарные минералы: апатит (0,1–1,0 %), сфен, изредка ортит, монацит, циркон.

Пересчеты химического состава амфиболитов, как плагиоклазовых, так и пироксен- и гранатосодержащих, на нормативный, в общем отра-

жают модальный состав пород, если учесть, что вместо амфибола рассчитывались нормативные пироксены (гиперстен 5–37 %, диопсид 5–26 %). Нормативный кварц получается преимущественно в амфиболитах нормальной щелочности, т. е. исходные породы были нормально насыщены (либо слегка пересыщены) кремнекислотой (табл. 1). В субщелочных амфиболитах нормативный кварц отсутствует. При пересчете химического состава амфиболов также отсутствует нормативный кварц.

Амфибол в амфиболитах УЩ относится к кальциевой группе [15, 24, 35, 40, 45]. Образует призматические, изометричные, неправильные зерна. Иногда развивается по пироксену и содер-

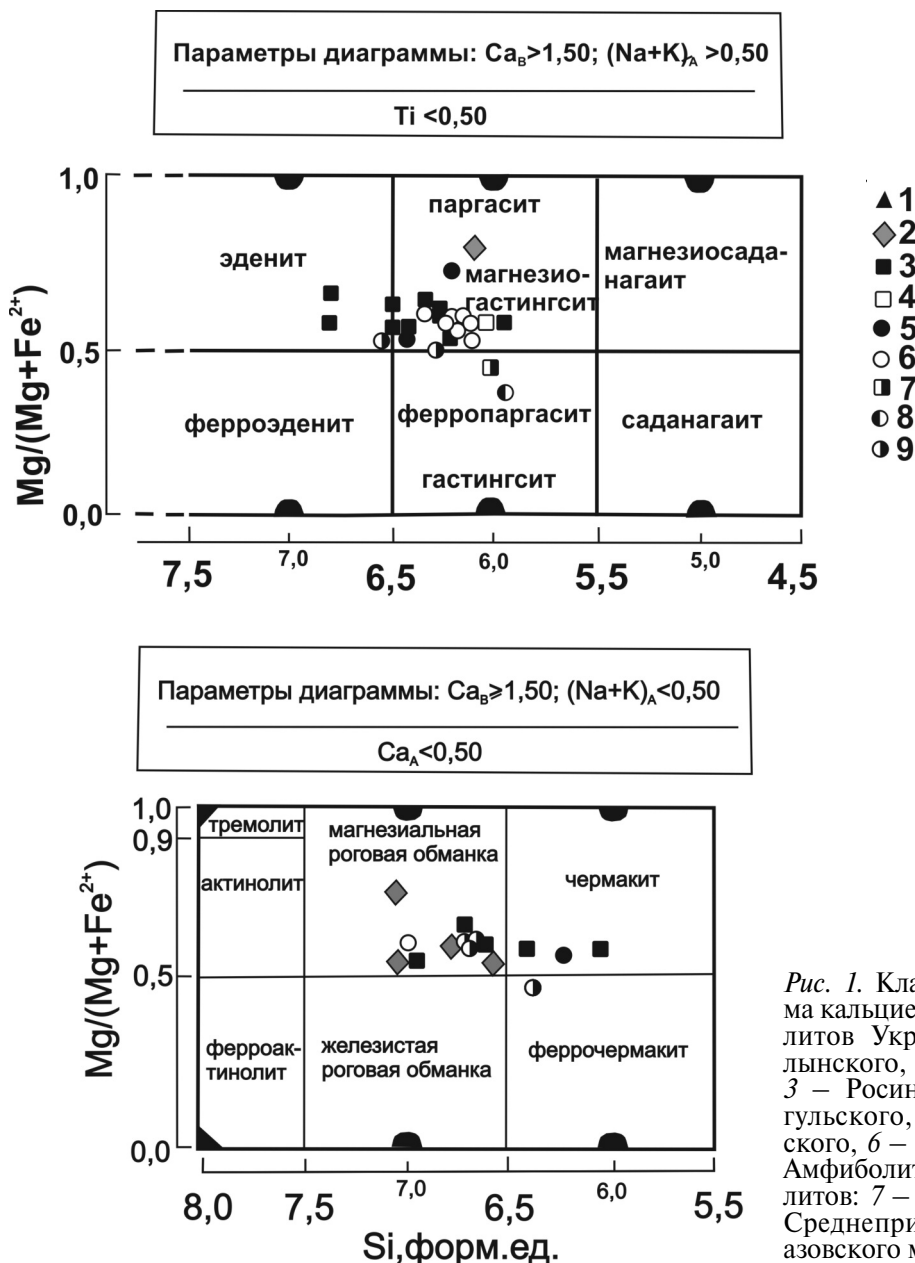


Рис. 1. Классификационная диаграмма кальциевых амфиболов из амфиболитов Украинского щита: 1 – Волынского, 2 – Днестровско-Бугского, 3 – Росинско-Тикичского, 4 – Ингульского, 5 – Среднеприднепровского, 6 – Приазовского мегаблоков. Амфиболиты из гранатовых амфиболитов: 7 – Росинско-Тикичского, 8 – Среднеприднепровского, 9 – Приазовского мегаблоков

жит его реликтовые включения круглой, овальной, тонкой линзовидной формы, а также пластинчатые выделения рудного минерала, пойкилитовые включения плагиоклаза, сфена, реже кварца.

Амфибол – бурая, зеленовато-бурая, зеленая, синевато-зеленая роговая обманка, реже – актинолит, тремолит. Часто светлоокрашенный актинолит развивается по темно-зеленой роговой обманке. Роговая обманка замещается биотитом, хлоритом, минералами группы эпидота. Железистость минерала колеблется в широких пределах ($f = 40–80\%$), что обусловлено разной железистостью вмещающих пород [45]. Замещение актинолитом приводит к понижению железистости ($f = 36–40\%$) амфибола [15, 26].

В нормальных амфиболитах славгородской толщи (аульская серия СПМ) встречается высокоглиноземистая ($Al_2O_3 = 14–15\%$, $K_2O = 0,1–0,3$, $TiO_2 = 0,4\%$) разновидность роговой обманки чермакитового типа ($f = 57\%$) (рис. 1) [26]. В аналогичных породах базавлукской толщи (аульская серия СПМ) амфибол представлен среднежелезистой разностью с умеренным содержанием

гастингситового и чермакитового компонентов [44]. В гранатсодержащих же амфиболитах базавлукской толщи амфибол характеризуется наиболее высокой железистостью ($f = 74–80\%$) и располагается в поле ферропаргасита (рис. 1).

В клинопироксеновых и нормальных амфиболитах западноприазовской серии и новопавловской толщи (ПМ) [40] состав амфибола меняется от эденита до гастингсита. В нормальных амфиболитах РТМ также встречается амфибол эденитового состава (рис. 1). Густо-зеленая или синевато-зеленая роговая обманка в metabazites осипенковской толщи (ПМ) соответствует феррочермакиту ($f = 60–65\%$, $TiO_2 = 0,56–1,14\%$) (рис. 1) [40].

Таким образом, по химическому составу амфиболы из амфиболитов УЩ соответствуют, главным образом, магнезиальным разностям минералов паргасит-гастингситового и роговообманкового рядов [25]. На классификационной диаграмме Si–Mg / (Mg + Fe²⁺) фигуративные точки амфиболов из пород ДБМ (в том числе и Приднестровья) располагаются преимущественно в поле магнезиальной роговой обманки, из пород РТМ,

Таблица 2. Средний состав амфиболитов Украинского щита и предполагаемых исходных пород

Компоненты	ВМ	ДБМ	РТМ	ИМ	СПМ	ПМ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	50,56	49,06	50,49	50,66	49,45	49,86	48,80	48,80	48,02	49,20	49,70	49,22	48,80	48,84	53,50	49,00
TiO ₂	1,03	1,20	1,22	1,18	0,86	0,96	1,37	1,13	1,47	1,50	1,10	1,50	1,60	1,39	0,80	0,60
Al ₂ O ₃	14,49	13,88	14,99	14,39	15,60	13,63	15,65	17,30	15,44	15,40	15,60	15,43	15,50	15,72	15,50	10,00
Fe ₂ O ₃	2,61	3,69	4,10	3,28	3,45	4,41	3,62	3,20	3,30	3,20	4,10	3,23	2,50	2,43	1,10	0,90
FeO	8,47	10,44	8,90	9,69	9,18	8,57	8,04	7,30	7,09	9,30	8,40	9,47	8,80	8,32	6,40	4,40
MnO	0,16	0,20	0,20	0,21	0,24	0,19	0,16	0,14	0,18	0,17	0,10	0,20	0,17	0,17	0,10	0,20
MgO	8,49	8,58	7,28	8,22	7,54	8,69	7,15	7,00	7,65	6,48	6,90	6,32	8,30	7,85	6,00	6,20
CaO	9,93	10,36	9,11	8,70	10,99	10,92	10,00	10,60	11,40	9,95	11,00	10,64	10,20	11,06	8,50	21,40
Na ₂ O	1,72	2,00	2,42	2,30	2,03	2,23	2,50	2,40	2,41	2,50	2,30	2,26	2,30	2,70	1,50	0,50
K ₂ O	2,08	0,46	1,10	1,23	0,56	0,66	0,85	0,90	0,27	0,85	0,70	0,76	0,70	0,23	4,70	0,10
P ₂ O ₅	0,28	0,11	0,19	0,12	0,09	0,14	0,16	0,30	0,16	0,15	0,10	0,15	0,23	0,14	0,20	0,20
Прочие	–	–	–	–	–	–	1,70	0,93	–	1,00	–	–	–	1,15	2,10	6,20
Сумма	99,82	99,98	100,00	99,98	99,99	100,26	100,00	100,00	97,39	99,70	100,00	99,18	99,10	100,00	100,40	99,70
<i>f</i>	20	24	21	22	21	22	20	19	20	20	21	21	21	20	14	12
<i>F</i> _{общ}	43	48	49	46	49	47	47	45	42	51	50	52	43	43	41	32
<i>F</i> _{ОК}	24	26	33	24	26	33	31	30	32	26	33	25	22	23	15	17
FeO*	11	14	13	13	12	13	11	10	10	12	12	12	11	11	7	5

Примечание. Средний состав амфиболитов приведен к 100 % по аналогии со средним составом основных пород, описанных в литературе. Волынский мегаблок (ВМ) – среднее 12 анализов, Днестровско-Бугский мегаблок (ДБМ) – среднее 72 анализа, Росинско-Тикичский мегаблок (РТМ) – среднее 50 анализов, Ингульский мегаблок – среднее 27 анализов, Среднеприднепровский мегаблок (СПМ) – среднее 55 анализов, Приазовский мегаблок (ПМ) – среднее 39 анализов. 1 – амфиболит, среднее по 25 регионам [2], 2 – габбро, среднее по 45 регионам [2], 3 – базальты океанические Na – серии, среднее 44 анализов [8], 4 – базальты платформенные, среднее по 23 регионам [2], 5 – траппы Сибирской платформы, среднее значение [19], 6 – траппы древних платформ, среднее значение [16], 7 – базальты толеитовые, среднее 230 анализов [2], 8 – базальты срединно-океанических хребтов, среднее 140 анализов [2], 9 – аргиллиты, среднее значение [24], 10 – мергели, среднее значение [10].

ИМ, СПМ и ПМ – в поле магнезиогастингита, единичные пробы – в поле эденита (РТМ) и чермакита (РТМ, СПМ) (рис. 1). Амфибол из гранатовых амфиболитов ПМ по составу также принадлежат к магнезиальным разновидностям. В единичных пробах пород из других районов амфибол представлен железистыми разновидностями – ферропаргаситом (РТМ, СПМ) и феррочермакитом (СПМ) (рис. 1).

Пироксены описаны в амфиболитах всех регионов УЩ. Представлены они редкими реликтовыми зернами, чаще в виде изометричных, неправильных включений в амфиболе, который подчас полностью их замещает [10, 15, 35, 38].

Клинопироксен имеет более широкое распространение, ортопироксен встречается реже (ДБМ, РТМ, ОПШЗ). Ортопироксен представлен гиперстеном ($f = 44\%$) [10, 35], в пироксеновых амфиболитах ОПШЗ менее железистой его разновидностью бронзитом ($f = 29\%$) [15]; клинопироксен – салитом, салит-авгитом, $f = 24–35\%$, авгитом ($f = 44\%$), диопсидом [9, 10, 15, 26, 35].

И.Б. Щербаков [45] среди амфиболитов выделял три типа пород: I – являющиеся продуктом переработки базитов гранулитовой фации в условиях амфиболитовой фации и содержащие реликты пироксенов, II – не содержащие признаков гранулитов (наиболее распространенные); III – связанные с массивами ультрабазитов. Таким образом, пироксенсодержащие амфиболиты следует рассматривать как продукт регрессивного метаморфизма исходных пород в условиях амфиболитовой фации.

Плаггиоклаз в амфиболитах образует таблитчатые, изометричные либо неправильные зерна, полисинтетические двойники не всегда совершенны и часто отсутствуют. Состав плаггиоклаза отвечает, главным образом, андезин-лабрадору (с колебанием количества анортитовой молекулы в пределах каждой разновидности минерала) [26, 35, 40, 45]. Преимущественно развит андезин. В гранатсодержащих амфиболитах – исключительно андезин (№ 45–50). В габбро-амфиболитах плаггиоклаз более основной – от лабрадора (№ 58–62) до битовнита (№ 71–75). В плаггиоклазовых амфиболитах РТМ, СПМ и ПМ представлен и олигоклаз. В биотитизированных амфиболитах развит альбит (№ 3–6). По плаггиоклазу развиваются минералы группы эпидота, мусковит, хлорит, карбонат.

Биотит [26, 34, 40, 45] развивается по амфиболу, интенсивно замещая его по трещинам и периферии зерен, при этом часто выделяются мелкие пластины магнетита. На контакте с грани-

тами процесс биотитизации проявляется весьма значительно, в результате количество биотита в породе может достигать 23–25%. Представлен бурой, красно-бурой, коричнево-бурой, зеленовато-бурой, светло-коричневой разновидностями.

Биотит низкотитанистый описан в плаггиоклазовых амфиболитах (РТМ ($\text{TiO}_2 = 2,65–2,77\%$, $f = 40–60\%$), ИМ ($\text{TiO}_2 = 3,27–3,59\%$, $\text{MgO} = 10,09–10,52$, $f = 54–55\%$), СПМ ($\text{TiO}_2 = 1,08–2,71\%$, $\text{MgO} = 10,15–13,19$, $f = 42–54\%$), в микроклинизированных разновидностях (ПМ – $\text{TiO}_2 = 0,93\%$, $\text{MgO} = 15,61$, $f = 35\%$). К среднетитанистому типу можно отнести красновато-бурый биотит из гранатсодержащих амфиболитов лысянской толщи РТМ ($\text{TiO}_2 = 2–3\%$, $f = 44–56\%$) и базавлукской толщи СПМ ($\text{TiO}_2 = 2,49–2,71\%$, $\text{MgO} = 10,15–13,19$, $f = 45–50\%$), довольно близких по составу [39].

Высокотитанистый биотит отмечен в габбро-амфиболитах Среднего Побужья, ($\text{TiO}_2 = 5,92\%$, $\text{MgO} = 14,26$, $f = 35\%$), в пироксенсодержащих амфиболитах новопавловской толщи ($\text{TiO}_2 = 4,3\%$, $\text{MgO} = 15\%$, $f = 37\%$). В последних помимо биотита установлен также высокотитанистый флогопит ($\text{TiO}_2 = 4,2\%$, $f = 24\%$) [15, 39].

Гранат в амфиболитах встречается не часто, однако гранатсодержащие разновидности упоминаются во многих районах УЩ [14, 26, 40, 44, 45]. Обычно его содержание незначительно – от единичных зерен до 3–4%, однако в амфиболитах базавлукской толщи (СПМ) количество его возрастает до 15–25%. Он представлен в пироксенсодержащих амфиболитах днестровско-бугской серии (ДБМ), новопавловской толщи (ОПШЗ), в безпироксеновых плаггиоклазовых породах росинско-тикичской серии (РТМ) и базавлукской толщи аульской серии (СПМ). Как отмечено в [30], гранат-роговообманковые метабазиты, в которых отсутствуют пироксены, на территории УЩ распространены незначительно.

Макроскопически гранат розовый, в шлифах бесцветный. Образует изометричные, неправильной формы трещиноватые зерна, часто испещренные включениями роговой обманки, пироксенов, плаггиоклаза, кварца, рудных минералов. Распределен в породе неравномерно, проявляется, главным образом, на контакте с мигматитами, чарнокитами, гранитами. Поэтому И.Б. Щербаков рассматривал его в качестве “типичного реакционного минерала” [44].

Гранат из амфиболитов разных регионов УЩ характеризуется однообразным компонентным

составом и представлен гроссуляр-альмандиновой разностью [14, 15, 30, 44]. Содержание альмандинового компонента колеблется в довольно близких пределах (51–65 %). Гроссуляра (14–35 %) больше в гранате из наиболее высококальциевых пород восточных регионов (СПМ, ОПШЗ). Спессартинового компонента немного (2–7 %), и содержание его выше (6–7,4 %) в породах с. Бужанка (РТМ), минимальное – в породах базавлукской толщи (СПМ). Высокое содержание пиропового компонента (15–28 %) в гранатах из амфиболитов Побужья и Приазовья свидетельствует о значительном давлении при их кристаллизации, что характерно для областей гранулитового метаморфизма. В иных районах содержание пироба в гранате низкое (3–8 %). Железистость граната высокая ($f = 79–94$ %). Гранат с наиболее высоким значением коэффициента железистости отмечен в беспироксеновых плагиоклазовых породах росинско-тикичской серии (РТМ, $f = 90$ %, $F_{\text{пор}} = 71$ %), базавлукской толщи аульской серии (СПМ, $f = 94$ %, $F_{\text{пор}} = 74$ %) и в пироксенсодержащих амфиболитах новопавловской толщи ОПШЗ ($f = 79–82$ %, $F_{\text{пор}} = 44–61$ %).

Кварц (0,5–10 %) формируется в породах в результате процессов гранитизации амфиболитов либо в процессе метаморфизма первичных насыщенных SiO_2 пород. Носит вторичный характер, заполняет межзерновые участки в виде гранулированной массы зерен.

По содержанию амфибола и кварца, согласно классификации И.Б. Щербакова [44], амфиболиты делятся на меланократовые, мезократовые (до 5 % кварца) и кварцевые (до 15 %) разности.

Апатит относится к сквозным акцессорным минералам амфиболитов. Содержание его незначительно – 0,5–1,0 %. Представлен крупными зернами в основной ткани породы, приуроченными к темноцветным минералам. Отдельные мелкие зерна в виде включений встречаются в пироксенах, амфиболе и биотите, в последнем окружены плеохроичными двориками. Многочисленные иголки апатита наблюдались в зернах плагиоклаза.

Рудные минералы по имеющимся материалам описаны в амфиболитах ДБМ, РТМ и ИМ. Представлены они как сингенетичными, так и более поздними вторичными образованиями по темноцветным минералам. Наиболее распространен магнетит (иногда до 7 %). Ильменит обычно имеет подчиненный характер, однако в ряде случаев он выступает как главный рудный минерал. Распределены довольно равномерно.

В породе чаще присутствуют две генерации магнетита. Магнетит I образует идиоморфные, изометричные, иногда со сглаженными углами зерна, как отдельные, так и агрегаты нескольких зерен, мономинеральные, либо с ильменитом. Приурочен к межзерновым участкам, амфиболу. Однороден, либо содержит эксклюзионные вросстки ильменита в виде пластин, линзочек, контурных новообразованиями шпинели, а также самостоятельные линзочки шпинели, их секут пластины ильменита.

Магнетит II формирует тонкозернистые дорожки по спайности и периферии зерен роговой обманки, которая развивается по пироксену. Однороден. Магнетит часто бывает окислен до маггемита. Иногда в результате роста фугитивности кислорода в магнетите по периферии зерен, по трещинам, на контакте с пластинами ильменита развиваются иголки гематита. В мелких зернах процесс мартитизации магнетита проявлен интенсивнее. Магнетит замещается пирит-марказитовым агрегатом.

Ильменит представлен таблитчатыми неправильными зернами. Однороден. По трещинам и периферии зерен лейкоксенизирован. Довольно часто зерна ильменита окружены каемочкой сфена. Магнетит и ильменит иногда содержат многочисленные включения таблитчатых, овальных зерен апатита.

Сульфиды, как правило, носят поздний, вторичный характер и в амфиболитах находятся всегда в подчиненном количестве. Пирротин и халькопирит, реже кубанит, образуют самостоятельные однородные изометричные или неправильные зерна, либо в срастании друг с другом приурочены к темноцветным минералам, оксидам, выполняют трещины в минералах. По пирротину, оксидам, темноцветным минералам развивается тонкозернистый агрегат марказита со слабым мозаичным погасанием, иногда с пиритом. Марказит наблюдается также в более крупных мономинеральных агрегатах.

Пирит развивается по темноцветным минералам с образованием петельчатой структуры. По пириту активно развивается халькопирит. Иногда марказит и халькопирит образуют тонкую каемку вокруг зерен ильменита, а также выполняют трещины в последнем.

Вокруг зерен темноцветных минералов в отдельных случаях наблюдаются тонкие каемочки лимонита. Лимонит образует псевдоморфозы по пириту, реликты которого в нем наблюдаются.

Магнетит и ильменит из амфиболитов ДБМ, РТМ и ИМ были проанализированы с помощью микрорентгеноспектрального зондового анализа на анализаторе JXA-733 фирмы JEOL (Япония) (Центр технического обслуживания НАН Украины, аналитик Соболев В.В.). В составе магнетита были установлены Ti, Al, Cr, Mn, Mg, Zn, Ni, ильменита Mn, Mg. По результатам химического анализа в магнетите определен также V.

Пересчет анализов на минералы показал невысокое содержание в магнетите, %: ульвошпинели (Fe_2TiO_4 – 1–1,4), шпинели ($(Mg,Fe)Al_2O_4$ – 0,5–3,5 %), магнезиоферрита ($MgFe_2O_4$ – 0,3–3,6), яковсита ($MnFe_2O_4$ – 0,1–2,5), хромита ($FeCr_2O_4$ – 0,1–1,6). В составе ильменита рассчитаны в незначительном количестве пирофанитовый ($MnTiO_3$ – 2,7–5,6) и гейкилитовый ($MgTiO_3$ – 0,1–1,5 %) компоненты.

Петрохимия. Петрохимическая классификация амфиболитов произведена в соответствии с [21, 22, 27, 28]. Поскольку данными о составе микроэлементов в полном объеме для всей выборки мы не располагаем, здесь рассмотрены только петрогенные элементы.

По характеру распределения петрогенных элементов амфиболиты УЩ описываемой выборки подобны между собой (табл. 2). Содержание кремнезема в амфиболитах колеблется в пределах 45–53 % при сумме щелочей ($Na_2O + K_2O$) от 0,64 до 4,3–4,5 %, которая в ряде случаев поднимается до 5–6 %. В среднем она составляет от 2,42 до 3,71 % ($Na_2O + K_2O$). К низкощелочным относятся амфиболиты ДБМ, СПМ и ПМ. Выше содержание щелочей в породах ВМ, РТМ и ИМ.

На петрохимической диаграмме $SiO_2 - (Na_2O + K_2O)$ (*TAS*) для химической классификации магматических (вулканических) пород [21, 27] фигуративные точки амфиболитов группируются вдоль линии, разделяющей субщелочные породы (субщелочные базальты и трахибазальты) и породы нормальной щелочности (базальты, долериты) (рис. 2). Амфиболиты формируют компактное облако точек, главным образом, в поле базальтов. Незначительное количество точек попадает в поля трахибазальтов и андезитобазальтов. Так, амфиболиты васильевской свиты ВМ относятся преимущественно к трахибазальтам, кочеровской – к базальтам. Часть проб амфиболитов ДБМ и СПМ

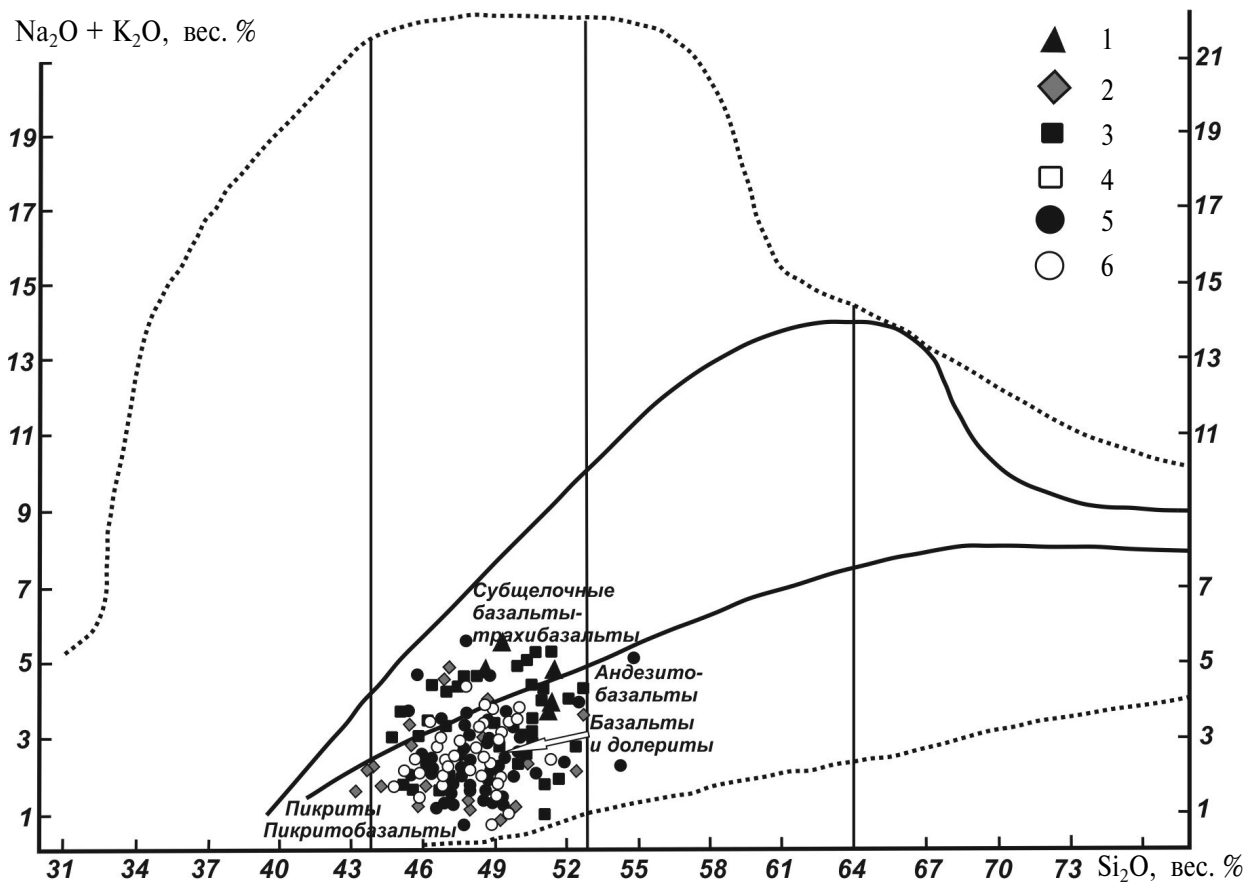


Рис. 2. Классификационная диаграмма $SiO_2 - (Na_2O + K_2O)$ для амфиболитов Украинского щита. Условные обозначения точек приведены в рис. 1

(в остальных районах единичные пробы) с пониженным значением суммы щелочей ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} < 1,5\%$) располагаются в поле основных пикробазальтов и пикродолеритов. В некоторых из этих проб отмечено довольно высокое содержания MgO (от 7 до 18 %). Однако реликты оливинов, как указано выше, в единичных случаях описаны И.С. Усенко и В.М. Венедиктовым лишь в амфиболитах Приднестровья [4, 37], фигуративные точки последних располагаются в полях базальтов и трахибазальтов.

Содержание Na_2O колеблется от 0,8–0,9 до 3,4–3,5 %, в редких случаях выше. По величине среднего значения Na_2O (1,72–2,42 %) амфиболиты УЩ подобны толеитовым базальтам, траппам древних платформ (табл. 2) [2, 7, 19]. Как правило, Na_2O преобладает над K_2O .

Содержание K_2O в амфиболитах УЩ от 0,1 до 1,3 %, в отдельных случаях достигает 2 и 5,0 %, что может быть результатом вторичных процессов или же их исходными породами могли быть трахибазальты. К наиболее низкокальциевым относятся

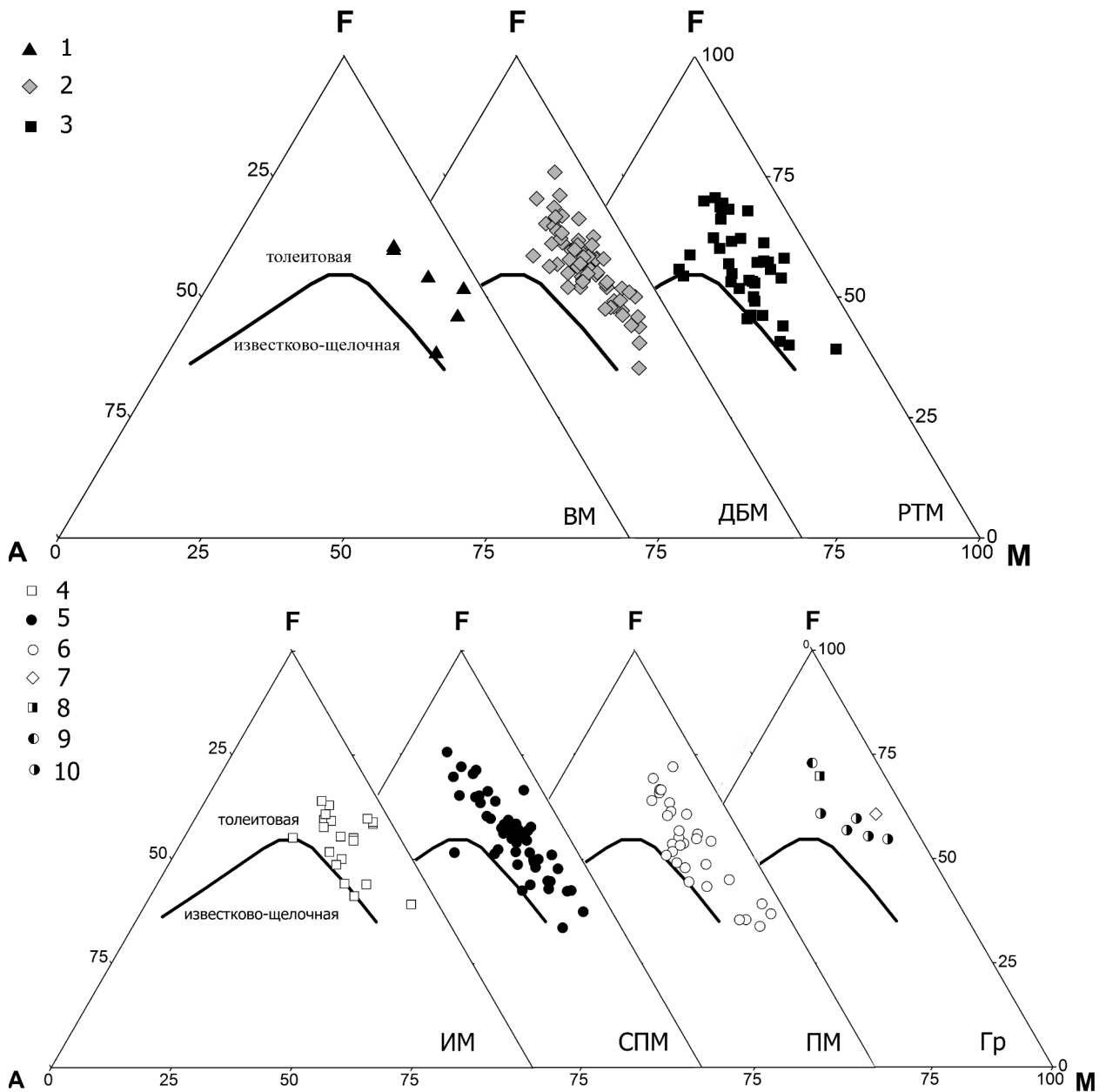


Рис. 3. Положение составов амфиболитов Украинского щита на диаграмме AFM . $A = \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, $F = \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$, $M = \text{MgO}$. Условные обозначения точек приведены в рис. 1, помимо этого гранатовые амфиболиты: 7 – Днестровско-Бугского, 8 – Росинско-Тикицкого, 9 – Среднеприднепровского, 10 – Приазовского мегаблоков. Тренд, разделяющий толеитовую и известково-щелочную серии, нанесен согласно *Irvine and Baragar*, 1971

амфиболиты гранулитогнейсовых (ДБ и П) и гранит-зеленокаменного (СП) мегаблоков (0,46; 0,66 и 0,56 % K_2O , соответственно), чем они близки к толеитовым базальтам, траппам древних платформ, траппам Сибирской платформы (табл. 2) [2, 19]. Выше содержание калия (1,10–1,23 % K_2O) в породах апогранулитового РТМ и амфиболито-гнейсового ИМ, аналогично базальтам трапповой формации древних платформ повышенной калиевости [19]. Наиболее высококалиевые амфиболиты описаны на территории ВМ (2,08 % K_2O), в частности, амфиболиты васильевской свиты (3,31 % K_2O) [3, 13]. Повышение суммарной щелочности пород происходит, главным образом, за счет K_2O . Увеличение содержания кремнезема и щелочей в ряде проб объясняется более поздними процессами гранитизации, окварцевания. Однако не исключено, что некоторые амфиболиты могли образоваться по породам типа андезибазальтов (т. е. с повышенным SiO_2).

Таким образом, среди амфиболитов УЩ преобладают породы нормальной щелочности, содержание щелочей в них отвечает составу базальтов.

Тип щелочности. На диаграмме $SiO_2 - Na_2O/K_2O$ фигуративные точки амфиболитов формируют растянутое поле от К- до Na-серии при довольно узком интервале кремнекислотности. Породы ДБМ, СПМ и ПМ относятся, преимущественно, к Na- и К-Na-сериям, РТМ и ИМ – К-Na-серии, ВМ – К-серии [21].

Толитовая и известково-щелочная серии. На диаграмме AFM , отражающей соотношение железа, магния и суммы щелочей (рис. 3), фигуратив-

ные точки практически всей выборки нормальных амфиболитов УЩ выстраиваются строго вдоль стороны FM треугольника, формируя отчетливые совокупности, обогащенные железом, в интервале от 50 до 75 % (от суммы трех компонентов диаграммы). Все точки располагаются вдоль толеитового тренда, указывая, таким образом, на толеитовый состав исходного расплава. Незначительное количество точек попадает в поле известково-щелочной серии. Таким образом, нормальные амфиболиты УЩ в преобладающем большинстве принадлежат к толеитовой геохимической серии пород.

Глиноземистость. Содержание Al_2O_3 в амфиболитах УЩ колеблется в пределах 12–16, реже – 21 % (РТМ и СПМ), и отвечает разным типам базальтов. При этом средние значения Al_2O_3 исследуемых пород значительно ниже, чем в приведенных в литературе данных для разных серий базальтов, за исключением амфиболитов СПМ, в которых содержание глинозема близко к траппам Сибирской платформы и толеитовым базальтам [2, 8, 19, 21]. По величине относительной глино-

Таблица 4. Средний состав гранатовых амфиболитов Украинского щита

Компонент	ДБМ	РТМ	СПМ	ПМ
SiO_2	43,66	53,63	54,54	48,19
TiO_2	0,60	2,05	3,22	0,96
Al_2O_3	14,04	12,96	12,07	14,07
Fe_2O_3	8,47	2,86	2,92	2,51
FeO	8,47	12,52	9,89	10,82
MnO	0,30	0,31	0,19	0,25
MgO	8,69	3,60	2,42	8,53
CaO	12,39	7,28	10,55	9,08
Na_2O	1,04	1,80	1,82	2,08
K_2O	0,65	1,10	0,59	0,57
P_2O_5	0,00	0,41	–	0,11
H_2O	–	–	0,05	–
Прочие	1,77	2,68	1,42	3,27
Сумма	100,08	101,20	99,68	100,44
f	26	21	18	23
$F_{общ}$	51	70	74	46
F_o	50	19	23	19
FeO^*	16	15	13	13

Примечание. Средний состав амфиболитов приведен к 100 % по аналогии со средним составом основных пород, описанных в литературе. ДБМ – гранатовый габбро-амфиболит, выше с. Завалье, обр. 31у [34], РТМ – гранатовый амфиболит, с. Бужанка, р. Гнилой Тикич, обр. 2507 [43], СПМ – гранатовый амфиболит, обр. Бз-165/2 [26], ПМ – гранатовый амфиболит, среднее 5 проб [15].

Таблица 3. Средний нормативный состав гранатовых амфиболитов УЩ нормальной щелочности

Нормативные минералы	Район			
	ДБМ	РТМ	СПМ	ПМ
Quartz	0	14	17	0
Orthoclase	4	7	4	1
Albite	6	14	16	11
Anorthite	34	26	23	33
Diopside	17	3	10	13
Hedenbergite	6	5	15	8
Enstatit	14	8	2	15
Ferrosilit	5	16	3	11
Forsterit	0	0	0	5
Fayalit	0	0	0	5
Ilmenite	1	4	6	2
Magnetite	13	4	4	3
Количество проб	1	1	1	5

земистости (al') амфиболиты УЩ относятся, преимущественно, к низкоглиноземистым ($al' < 0,75$, что особенно характерно для гранулитогнейсовых ДБМ и ПМ), в меньшей степени – умеренноглиноземистым ($al' = 0,75-1$, преобладают в СПМ), единичные пробы высокоглиноземистым ($al' = 1-2$) породам.

Титанистость. Амфиболиты нормальной щелочности по содержанию TiO_2 (от 0,5 до 1,5–1,8 %, в единичных случаях – до 3,22 %, при среднем значении 0,86–1,22 % TiO_2 , (табл. 2), относятся к низко- (СПМ и ПМ) и среднетитанистым (ВМ, ДБМ, РТМ и ИМ). Среднее содержание TiO_2 в амфиболитах УЩ значительно ниже тех средних

значений, которые приводятся в литературе, как для амфиболитов, так и для базальтов, вероятно здесь можно говорить о региональной особенности пород [19]. По среднему содержанию TiO_2 , а также величине отношения $(100 \times TiO_2/FeO^*)$ описываемые породы ближе всего к траппам Сибирской платформы (см. табл. 2) [2, 19]. По величине отношения $K_2O/TiO_2 < 0,8$ амфиболиты УЩ также принадлежат преимущественно толеитовой серии. Особенно это четко прослеживается для пород ДБМ. В ряде проб значение $K_2O/TiO_2 > 0,8$, что скорее всего отражает повышение содержания калия в породах в результате вторичных процессов. Таким образом, низко- и среднетита-

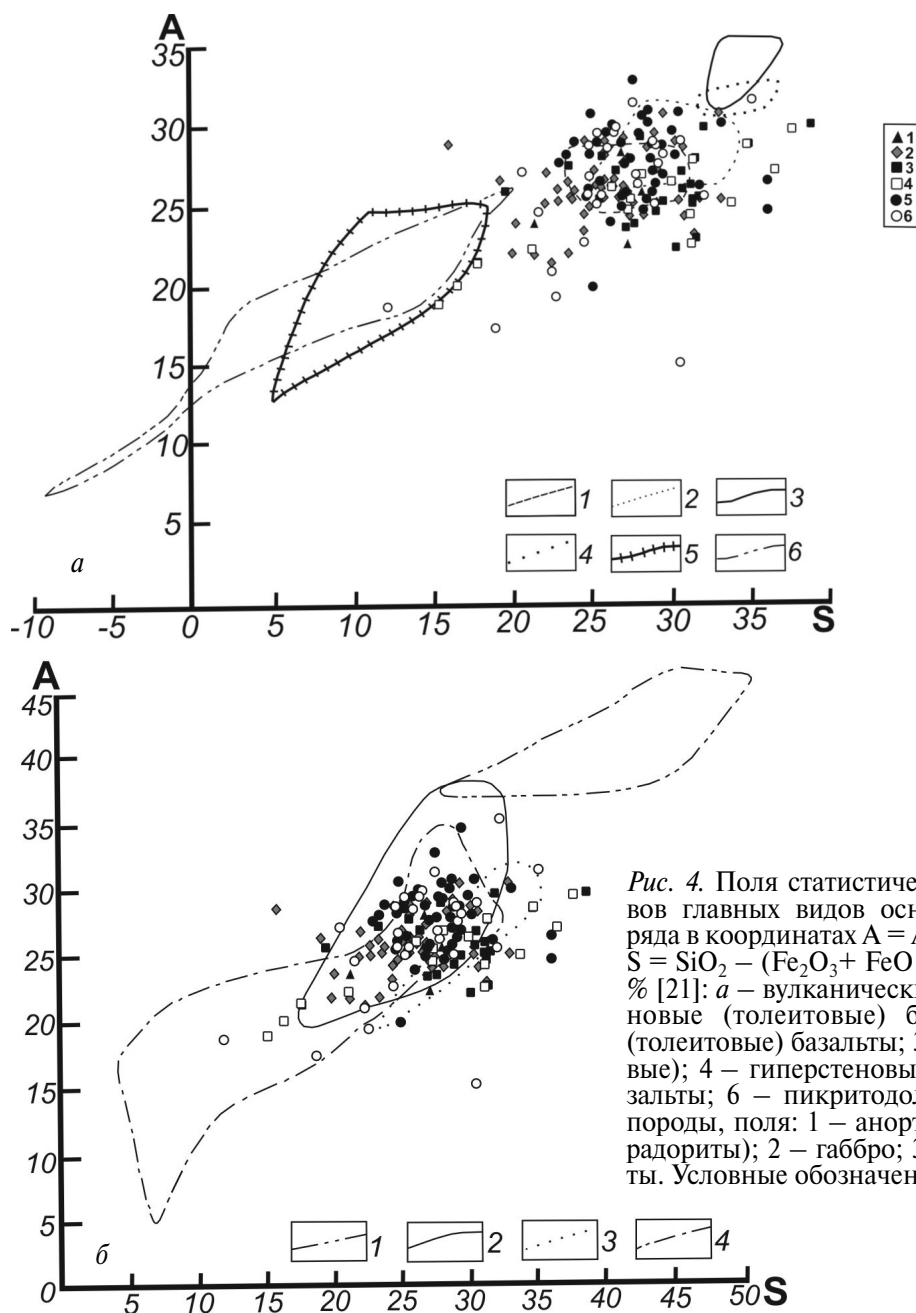


Рис. 4. Поля статистического распределения составов главных видов основных пород нормального ряда в координатах $A = Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O$ и $S = SiO_2 - (Fe_2O_3 + FeO + MgO + MnO + TiO_2)$; вес. % [21]: *a* – вулканические породы, поля: 1 – оливковые (толеитовые) базальты; 2 – собственно (толеитовые) базальты; 3 – лейкобазальты (толеитовые); 4 – гиперстенные базальты; 5 – пикритобазальты; 6 – пикритодолериты; *б* – plutonic породы, поля: 1 – анортозиты (битовнититы и лабрадориты); 2 – габбро; 3 – нориты; 4 – пироксениты. Условные обозначения точек приведены в рис. 1

нистые амфиболиты УЩ относятся к *толеитовой серии*.

Железистость ($F_{\text{общ}} = (\text{FeO} + 2\text{Fe}_2\text{O}_3) / (\text{FeO} + 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) \times 100$) амфиболитов УЩ колеблется в широких пределах 30–70 %, что наблюдалось для пород каждого блока при довольно узком диапазоне среднего значения $F_{\text{общ}} = 43\text{--}49$ %. Среднее суммарное содержание железа FeO^* составляет 11–14 % (см. табл. 2).

В среднем содержание железа (FeO , Fe_2O_3 , FeO^*) в амфиболитах УЩ близко к содержанию аналогичных пород в других регионах [2, 16], а также траппах Сибирской платформы, траппах древних платформ [2, 8, 19, 16]. В амфиболитах ВМ содержание железа ниже.

Степень окисленности (F_o) железа также имеет широкий диапазон значений от 3–5 до 65–75 %, и такая закономерность наблюдается для пород каждого мегаблока при близких средних значениях $F_o = 24\text{--}33$ % (табл. 2).

По **степени фемичности** f ($\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{TiO}_2$) изучаемые породы представлены в основном мелано- и мезократовыми ($f = 21\text{--}23$ и выше, и 16–21, соответственно) разностями, с преобладанием первых. Единичные пробы рассматриваемой выборки относятся к лейкократовым разностям ($f < 16$). Между содержанием Al_2O_3 (либо глиноземистостью a''), SiO_2 и лейкократовостью амфиболитов прослеживается четкая связь.

Следует отметить, что по средней величине коэффициентов, связанных с содержанием железа (FeO^* , $F_{\text{общ}}$, F_o , f), породы нормальной щелочности УЩ разных районов подобны (табл. 2). Тем не менее, на общем фоне амфиболиты ВМ наименее железистые, наименее окисленные и наиболее лейкократовые.

Аналогичные породы ДБМ наиболее железистые и, как следствие, наиболее меланократовые. Однако, не смотря на повышенную лейкократовость, в амфиболитах ВМ содержание MgO такое же, как и в большинстве амфиболитов других мегаблоков УЩ.

Магний. По содержанию MgO большинство амфиболитов УЩ относятся преимущественно к умеренно- (4–7 % MgO), в меньшей степени – к высокомагнезиальным (7–14 %, в единичных случаях до 16 % MgO) разностям. По величине среднего содержания MgO амфиболиты РТМ и СПМ ($\text{MgO} = 7,28\text{--}7,54$ %) аналогичны океаническим базальтам, остальные рассматриваемые породы УЩ ($\text{MgO} = 8,22\text{--}8,69$ %) – толеитовым базальтам [2, 19].

Кальций. Диапазон содержания CaO в амфиболитах УЩ составляет 4–14 %, реже от 2 до 16–18 %. По среднему содержанию CaO амфиболиты ДБМ, ПМ и СПМ подобны траппам Сибирской платформы и траппам древних платформ, ВМ, РТМ и ИМ платформенным базальтам (табл. 2) [2, 8, 20].

Фосфор. Содержание фосфора в амфиболитах незначительно от 0,01 до 0,3 % P_2O_5 , в единичных случаях повышается до 0,5–0,9 % P_2O_5 , при средних значениях 0,09–0,28 % P_2O_5 . По содержанию фосфора амфиболиты ДБМ, ИМ и СПМ близки к траппам Сибирской платформы, ПМ – траппам древних платформ и платформенным базальтам, ВМ – континентальным базальтам (табл. 2) [2, 19].

Амфиболиты описываемых комплексов УЩ отличаются от габбро более высоким содержанием Fe_2O_3 , FeO , MgO и пониженным Al_2O_3 . В.В. Слипченко [34] утверждал, что метабазиты Среднего Побужья вряд ли могут быть метаморфизованными аналогами габбро, поскольку устойчиво отличаются от последних, и по составу ближе всего к траппам древних платформ. Тем не менее, на диаграмме статистического распределения составов главных видов основных вулканических пород нормального ряда в координатах А и S ($A = \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, $S = \text{SiO}_2 - (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MgO} + \text{MnO} + \text{TiO}_2)$) амфиболиты УЩ (и Среднего Побужья, в частности) располагаются в полях толеитовых базальтов (рис. 4, а), а на диаграмме основных плутонических пород – в поле габбро (рис. 4, б). Следовательно, исходными породами для амфиболитов могли служить как габбро, так и толеитовые базальты.

Гранатосодержащие и гранатовые амфиболиты.

Как было отмечено выше, гранатовые амфиболиты на территории УЩ распространены незначительно [5, 14, 26, 35], но тем не менее упоминаются они во многих регионах. В литературе не приводятся ссылки о наличии граната в составе амфиболитов ВМ. Гранатовые амфиболиты упоминаются на территории ИМ, однако не приводятся аналитические данные о составе пород и минералов.

В гранатовых амфиболитах содержание SiO_2 от 44 до 55 % (среднее значение 50,35 % SiO_2), при сумме щелочей ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) от 1,53 до 4,10 %.

На классификационной диаграмме $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ (TAS) фигуративные точки гранатовых амфиболитов группируются в поле пород нормальной щелочности: амфиболит ДБМ – в поле

пикритов, РТМ и СПМ – в поле андезитов-базальтов, амфиболиты ПМ – в поле базальтов (рис. 2).

Содержание K_2O в амфиболитах УЩ от 0,49 до 1,10 %; Na_2O – 1,4–3,14 %. Na_2O преобладает над K_2O (табл. 3). Содержание щелочей в гранатовых амфиболитах ниже, чем в нормальных разностях. По типу щелочности амфиболиты ПМ относятся к Na-серии, остальные Na-K-серии, аналогично выше описанным.

Диаграмма АФМ (рис. 3) подтверждает толеитовый характер рассматриваемых пород аналогично нормальным амфиболитам.

Гранатовые амфиболиты меланократовые, низко- и умеренно глиноземистые породы Al_2O_3 (12–16 %), аналогично нормальным разностям.

По содержанию TiO_2 (0,60–1,24 %) эти породы низко- и среднетитанистые (аналогично нормальным амфиболитам). Высокое содержание TiO_2 отмечено в единичных случаях (3,22 % TiO_2 (СПМ) и 2,05 % TiO_2 (РТМ)).

Гранатовые амфиболиты в общем более железистые ($F_{общ} = 44–74$ %) (табл. 4). Степень окисленности железа ниже ($F_o = 13–31$ %), чем в нормальных амфиболитах. Исключение составляет амфиболит ДБМ ($F_o = 50$ %).

Таким образом, по петрохимическим особенностям гранатсодержащие и гранатовые амфиболиты УЩ близки нормальным амфиболитам.

Наблюдаемые вариации химического состава амфиболитов УЩ незначительны. Подобие состава пород разных мегаблоков свидетельствует о том, что метаморфизм исходных пород проходил без существенного привноса-выноса компонентов. Сопоставление состава амфиболитов УЩ с приведенными в литературе данными об аналогичных породах других регионов мира [2] также указывает на подобие их состава. Амфиболиты УЩ по составу наиболее близки к толеитовым базальтам, траппам Сибирской платформы и траппам древних платформ [2, 16, 19], отличие состоит в пониженном содержании Al_2O_3 и повышенном железе и магнии в описываемых породах, что служит и региональной особенностью описываемых пород.

Проведенные исследования показывают, что рассмотренные амфиболиты УЩ преимущест-

Литература

1. Батиевский Б.А., Луговая И.П. О природе материнской породы амфиболитов центральной части Украинского щита по данным изотопно-кислородного анализ. *Геол. журн.* 1978. 38, №3. С. 94–100.
2. Беус А.А. Геохимия литосферы. М.: Недра, 1981. 295 с.
3. Бухарев В.П. Эволюция докембрийского магматизма западной части Украинского щита. К.: Наук. думка, 1992. 152 с.
4. Венидиктов В.М. Докембрий Приднестровья и некоторые проблемы геологии Украинского щита. К.: Наук. думка, 1979. 226 с.

венно *нормальной щелочности* и по своему химическому составу принадлежат к толеитовой *петрохимической серии*.

Выводы. Обобщение полученных ранее данных, а также результаты новых исследований позволяют сделать такие выводы:

1. Амфиболиты УЩ преимущественно представляют собой метаморфизованные изверженные основные породы.

2. Амфиболиты УЩ по характеру распределения петрогенных элементов аналогичны среднему составу амфиболитов иных регионов мира.

3. Амфиболиты рассматриваемой выборки по своему химическому составу преимущественно нормальной щелочности и принадлежат к толеитовой петрохимической серии. Отличия их минерального состава обусловлены разными *PT*-условиями формирования.

4. Амфиболиты с повышенным содержанием K_2O и SiO_2 могли формироваться по основным эффузивам типа трахибазальтов и андезибазальтов или же быть продуктом преобразования (кашлишпатизация, окварцевание, гранитизация) нормальных амфиболитов (или исходных основных пород).

5. Амфиболы из амфиболитов УЩ по химическому составу соответствуют преимущественно магнезиальным разностям паргасит-гастингситового и роговообманкового рядов.

6. Гранатсодержащие амфиболиты, особенно их разновидности, в которых гранат имеет повышенное содержание пиропового минала, формировались при более высоком давлении и приурочены к более эродированным (Днестровско-Бугскому, Приазовскому) мегаблокам УЩ.

7. Исходными породами для амфиболитов УЩ могли служить как вулканические (толеитовые базальты), так и плутонические (габбро) породы. От габброидов они отличаются пониженным содержанием Al_2O_3 , повышенным железе и магния.

Авторы выражают благодарность д-ру геол.-мин. наук С.Г. Кривдику и д-ру геол. наук А.В. Дубине, д-ру геол. наук Е.Е. Шнюковой за помощь при подготовке данной статьи и ценные советы.

5. Гаценко В.О. Гранатові амфіболіти Голованівської шовної зони Українського щита. Сб. тез. Международ. науч. конф., посвящ. 90-летию ак. Н.П. Щербака: Геохронология и геодинамика раннего докембрия (3,6–1,6 млрд лет) Евразийского континента (Киев, 16–17 сентября 2014 г.). К.: Компринт, 2014. С. 34–35.
6. Геолого-геофизическая модель Немировско-Кочеровской шовной зоны Украинского щита. Под ред. А.В. Анциферова. Донецк: Вебер (Донец. отд.), 2009. 253 с.
7. Геохимия океанического и континентального магматизма. М.: Недра, 1980. 247 с.
8. Гоньшакова В.И., Осипов Б.В., Чижова И.А. О петрохимическом различии базальтов и долеритов нормальной щелочности. *Советская геология*. 1982. № 5. С. 77–86.
9. Егоров Ю.П. Химические составы горных пород, региональные кларки и геохимические фоны химических элементов Украинского щита. *Геол. журн.* 1985. **45**, № 2. С. 83–96.
10. Каневский А.Я. Распределение титана и железа в мафитах и метамафитах Среднего Побужья. *Геол. журн.* 1988. № 2. С. 97–101.
11. Каталог изотопных дат Украинского щита. Киев: Наук. думка, 1978. — 211 с.
12. Колий В.Д. Куммингтонит-роговообманковая амфиболитовая формация тетеревской серии. *Проблемы палео-вулканологических реконструкций и картирования в связи с вулканогенным рудообразованием*. Киев: Наук. думка, 1982. Ч. 1. С. 51–52.
13. Колий В.Д. Формации и стратиграфия нижнедокембрийских образований Волинского геоблока (Украинский щит). *Геол. журн.* 1983. № 6. С. 21–33.
14. Кравченко Г.Л. Природа Мангуської магнітної аномалії Південно-Східного Приазов'я. *Геол. журн.* 1961. № 4. С. 41–51.
15. Кравченко Г.Л., Кривдик С.Г., Бойко В.Л. Новые данные о составе древнейших пород новопавловского комплекса зоны Украинского щита. *Геохімія та рудоутворення*. 2007. Вип. 25. С. 15–37.
16. Кутюлин В.А. Проблемы петрохимии и петрологии базальтов. Новосибирск: Наука, 1972. 208 с.
17. Лазько Е.М., Кирилюк В.П., Лысак А.М. Геологические формации и проблемы стратиграфии нижнего докембрия Украинского щита. *Геол. журн.* 1984. **44**, № 2. С. 103–112.
18. Лесная И.М. Акцессорные минералы амфиболитов верховьев р. Рось. *Геол. журн.* 1975. **35**, № 6. С. 135–138.
19. Лутц Б.Г. Геохимия океанического и континентального магматизма. М.: Недра, 1980. 247 с.
20. Лысак А.М., Сиворонов А.А. Петрографо-геохимические особенности гнейсово-амфиболитовой формации бассейна р. Базавлук (Украинский щит). *Геол. журн.* 1976. **36**, № 6. С. 55–67.
21. Магматические горные породы. Классификация. Номенклатура. Петрография. М.: Наука, 1983. Ч. 1. 367 с.
22. Магматические горные породы. Основные породы. М.: Наука, 1985. 487 с.
23. Магматические горные породы. Эволюция магматизма в истории Земли. М.: Наука, 1987. 438 с.
24. Медведева И.Е. Амфиболиты: современные данные о вещественном составе и генезисе. *Геохимия. Минералогия. Петрография*. М., 1973. **7**. С. 100–143.
25. Номенклатура амфиболов: доклад подкомитета по амфиболом комиссии по новым минералам и названиям минералов Международной Минералогической Ассоциации (КНМНМ ММА). *ЗВМО*. 1997. № 6. С. 82–102.
26. Оrsa В.И. Гранитообразование в докембрии среднеприднепровской гранит-зеленокаменной области. К.: Наук. думка, 1988. 202 с.
27. Петрографічний кодекс України. К., 1999. 81 с.
28. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. С.-Пб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. 202 с.
29. Петрографический словарь. М.: Недра, 1981. 496 с.
30. Породообразующие гранаты Украинского щита. К.: Наук. думка, 1980. 175 с.
31. Рябоконт В.В., Щербаков И.Б. События Украинского щита и их генезис. К., 1977. 54 с. (Препр. ИГФМ АН УССР).
32. Сиворонов А.А., Малюк Б.И., Берзенин Б.З., Бобров А.Б., Воронова С.Г. Метаморфизованные вулканогенные формации реннедокембрийских зеленокаменных поясов Украинского щита. Статья 2. Петрохимия и генезис. *Геол. журн.* 1981. **41**, № 6. С. 19–28.
33. Сидоренко А.В., Теняков В.А., Розен О.М. и др. Пара- и ортоамфиболиты докембрия. Состояние проблемы и опыт анализа на примере амфиболитов Кольского полуострова. М.: Наука, 1972. 211 с.
34. Слипченко В.В. О генезисе метабазитов Среднего Побужья (по петрохимическим данным). *Геол. журн.* 1978. № 1. С. 113–121.
35. Усенко И.С. Архейские метабазиты и ультрабазиты Украинского кристаллического массива. К.: Изд-во АН УССР, 1953. 100 с.
36. Усенко И.С. Метабазиты Приднепровья (Петрографическая характеристика). К.: Изд-во Гос. ун-та им. Т.Г. Шевченко, 1948. 100 с.
37. Усенко И.С. Основные и ультраосновные горные породы бассейна Южного Буга. К.: Изд-во АН УССР, 1958. 143 с.
38. Усенко И.С. Основные и ультраосновные породы Западного Приазовья. К.: Изд-во АН УССР, 1960. 179 с.
39. Усенко И.С., Щербаков И.Б., Заяц А.П. Биотиты докембрия. К.: Наук. думка, 1972. 150 с.
40. Усенко И.С., Щербаков И.Б., Сироштан Р.И. и др. Метаморфизм Украинского щита. К.: Наук. думка, 1982. 306 с.
41. Фомин А. Б. Геохимия гипербазитов Украинского щита. К.: Наук. думка, 1984. 231 с.
42. Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Лесная И.М., Пономаренко А.Н. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Архей. К.: Наук. думка, 2005. 244 с.
43. Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Лесная И.М., Пономаренко А.Н., Шумлянський Л.В. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Протерозой. К.: Наук. думка, 2008. 239 с.

44. Щербаков И.Б. Петрография докембрийских пород центральной части Украинского щита. К.: Наук. думка, 1975. 279 с.
45. Щербаков И.Б. Петрология Украинского щита. Львов: Изд-во ЗУКЦ, 2005. 364 с.
46. Яковлев Б.Г. Изоморфизм и геохимические условия образования гранатов из железистых и основных пород Среднего Побужья. *Минералогический сборник*. 1976. № 30. Вып. 2. С. 21–30.
47. Ярошук М.А. Железорудные формации Белоцерковско-Одесской металлогенической зоны. К.: Наук. думка, 1983. 224 с.
48. Miyashiro A. Volcanic rock in Island Arcs and active continental margins. *Amer. J. Sci.* 1974. **274**. P. 321–343.
49. Robertson S. BGS Rock Classification Scheme. Vol.2. Classification of metamorphic rocks. *British Geological Survey Research Report*, RR 99-02. British Geological Survey, Keyworth, Nottingham NG 12 5GG, UK. 1999. 24 p.

References

1. Batievski, B.A., Lugovaya, I.P. (1978). *Geological journal*. [On the nature of the parental rock of amphibolites of central part of the Ukrainian shield according to the oxygen isotopic analysis]. **38**, № 3. P. 94-100 [Russian].
2. Beus, A.A. (1981). [Geochemistry of the Lithosphere]. Moscow: Nedra. 295 p. [Russian].
3. Bukharev, V.P. (1992). [The evolution of Precambrian magmatism in the western part of the Ukrainian shield]. Kiev: Nauk. dumka. 152 p. [Russian].
4. Venidiktov, V.M. (1979). [Pridnestrovie Precambrian geology and some problems of geology of the Ukrainian shield]. Kiev: Nauk. dumka. 226 p. [Russian].
5. Gatsenko, V.O. (2014). [The garnet amphibolites of Golovanov seam zone of the Ukrainian shield]. Abstracts of the International scientific conference devoted by 90th anniversary of ac. N. P. Shcherbaka: Geochronology and Geodynamics of the Early Precambrian (3,6-1,6 billion years) Eurasian continent. Kiev, 16-17 septeber 2014. Kiev. P. 34-35. [Ukrainian].
6. [Geological and geophysical model Nemirov-Kocharovskaya seam zone of the Ukrainian shield] (2009). A.V. Antsiferov, E.M. Sheremet, K.E. Esipchuk, V.A. Antsiferov, P.I. Pigulevski, S.N. Kulik, T.K. Burakhovich, S.G. Krivdik, V.N. Zagnitko, Yu.I. Nikolaev, I. Yu. Nikolaev, L.D. Setaya, V.V. Zyuyslsle, I.P. Nikitash. Donetsk. 253 p. [Russian].
7. [Geochemistry of oceanic and continental magmatism]. (1980). Moscow: Nedra. 247 p. [Russian].
8. Gonshakova, V.I., Osipov B.V., Chizhova I.A. (1982). *Sovetskaya geologiya*. [About petrochemical difference between basalt and dolerite alkalinity]. № 5. P. 77-86. [Russian].
9. Egorov, Yu.P. (1985). *Geological journal*. [The chemical compositions of rocks, regional clarkes and geochemical backgrounds of the chemical elements of the Ukrainian shield]. **45**, № 2. P. 83-96. [Russian].
10. Kanevski, A.Ya. (1988). *Geological journal*. [The distribution of titanium and iron in the mafic and metamafitic Middle Bug]. № 2. P. 97-101. [Russian].
11. [Catalogue isotopic dates of the Ukrainian shield]. (1978). Shcherbak, N.P., Zlobenko, V.G., Zhukov, G.V., Kotlovskaya, F.I., Polevaya, N.I., Komlev, L.V., Kovalenko, N.K., Nosok, G.M., Poshtarenko, V.M. Kiev: Naukova dumka. 211 p. [Russian].
12. Koli, V.D. (1982). *The Problems of paleovulkanologic reconstructions of Access and mapping in connection with volcanogenic ore formation*. Part 1. [Cumingtonite-hornblende amphibolite formation of Teterivskaya series]. Kiev: Nauk. dumka. P. 51-52. [Russian].
13. Koli, V.D. (1983). *Geological journal*. [Formations and stratigraphy of lower dokembrian formations Volyn geoblock (Ukrainian shield)]. № 6. P. 21-33. [Russian].
14. Kravchenko G.L. (2007). *Geological journal*. [The Nature of Manguska magnetic anomaly of South-East Priazov'ya]. № 4. P. 41-51. [Ukrainian].
15. Kravchenko, G.L., Krivdik, S.G., Boyko, L.V. (2007). *Geochemistry and ore formation*. [New data on the composition of the earliest rocks Novopavlovsk complex Orekhovo-Pavlograd zone of the Ukrainian shield]. **25**. P. 15-37. [Russian].
16. Kutolin, V.A. (1972). [Problems of petrochemistry and petrology of basalts]. Novosibirsk: Nauka. 208 p. [Russian].
17. Lazko, E.M., Kirilyuk, V.P., Lisak, A.M. (1984). *Geological journal*. [The geological formations and problems of stratigraphy Lower Precambrian Ukrainian Shield]. **44**, № 2. P. 103-112. [Russian].
18. Lesnaya, I.M. (1975). *Geological journal*. [Accessory minerals of amphibolites headwaters Ros]. **35**, № 6. P. 135-138. [Russian].
19. Lutts, B.G. (1980). [Geochemistry of oceanic and continental magmatism]. Moscow: Nedra. 247 p. [Russian].
20. Lisak, A.M., Sivoronov, A.A. (1976). *Geological journal*. [Petrographical and geochemical features of gneiss-amphibolite formations basin Bazavluk (Ukrainian shield)]. **36**, № 6. P. 55-67. [Russian].
21. [Igneous rocks. Classification. Nomenclature. Petrography]. Part 1. (1983). V.D. Andreena, V.A. Baskina, V.A. Bogatikov, M.B. Borodaevskaya, V.I. Gonshakova, L.S. Egorov, S.V. Efremova, V.I. Kovalenko, E.E. Lazko, B.A. Markovski, V.L. Masaitis, N.P. Mihailov, V.V. Nasedkin, P.N. Sobolev, T.L. Filippova, T.I. Frolova, R.M. Yashina. Moscow: Nauka. 367 p. [Russian].
22. [Igneous rocks. Basic rocks]. (1985). V.D. Andreena, V.A. Bogatikov, A.M. Borsuk, V.I. Gonshakova, Yu.I. Dmitriev, I.S. Krasivskaya, E.E. Lazko, A.K. Simon, M.K. Suhanov, A.A. Frih-Har, A.A. Tsvetkov, S.V. Chesnokov, E.V. Sharikov. Moscow: Nauka. 438 p. [Russian].
23. [Igneous rocks. Evolution of magmatism in the Earth's history]. (1987). V.D. Andreena, V.A. Baskina, V.A. Bogatikov, M.B. Borodaevskaya, V.I. Gonshakova, L.S. Egorov, S.V. Efremova, V.I. Kovalenko, E.E. Lazko, B.A. Markovski, V.L. Masaitis, N.P. Mihailov, V.V. Nasedkin, P.N. Sobolev, T.L. Filippova, T.I. Frolova, R.M. Yashina. Moscow: Nauka. 438 p. [Russian].

24. Medvedeva, I.E. (1973). [Geochemistry. Mineralogy. Petrography]. 7. [Amphibolites: current data on the material composition and the genesis]. Moscow. P.100-143.
25. [Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the Commission on New Minerals and mineral names of the International Mineralogical Association (CNMMN IMA)]. (1997). *Zapiski Vsesoyuznogo Mineralogicheskogo obshchestva*. № 6. P. 82-102.
26. Orsa, V.I. (1988). [Formation of Granites in the Precambrian in Srednepridneprovsky granite-greenstone region]. Kiev: Nauk. dumka. 202 p. [Russian].
27. [Petrographic Code of Ukraine] (1999). R.Ya. Belevtsev, V.A. Velikanov, Yu.L. Gasanov, K.E. Esipchuk, S.G. Krivdik, V.G. Molyavko, V.M. Skobelev, I.B. Shcherbakov, B.G. Yakovlev. Kiev. 81 p.
28. [Petrographic Code of Russia. Igneous, metamorphic, metasomatic, impact of education]. (2009). V.V. Zhdanov, A.E. Kostin, E.A. Kukhareno, E.A. Landa, I.I. Lukyanova, V.V. Masaitis, Z.D. Moskalenko, Yu.D. Pushkarev, L.N. Sharpenok. Sankt-Peterburg. 202 p. [Russian].
29. [Petrographic dictionary]. (1981). R.P. Petrov, A.M. Demin, A.I. Ezhova, V.I. Gonshakova, K.G. Stafeyev, V.D. Andreena, S.V. Efremova, E.E. Lazko, A.M. Barsuk. Moscow: Nedra. 496 p. [Russian].
30. [Rock-forming grenades Ukrainian shield]. (1980). I.S. Usenko, R.Ya. Belevtsev, T.G. Shcherbakova, B.G. Yakovlev, G.L. Kravchenko G.L., V.I. Orsa, K.E. Esipchuk, E.N. Golub, E.A. Nikulina, V.V. Slipchenko, V.S. Dudko, S.I. Tereshchenko, T.P. Homyak, V.M. Venidiktov. Kiev: Naukova dumka. 175 p. [Russian].
31. Ryabokon, V.V., Shcherbakov, I.B. (1977). [Sobits of Ukrainian shield and their genesis]. Preprint IGFMA AN of Ukraine. Kiev. 54 p.
32. Sivoronov, A.A., Maluk, B.I., Berzenin, B.Z., Bobrov, A.B., Voronova, S.G. (1981). *Geological journal*. [Metamorphosed volcanic formations of earlyprecambrian greenstone belts of the Ukrainian shield. Article 2. Petrochemical and genesis.]. 41, № 6. P. 19-28. [Russian].
33. Sidorenko, A.V., Tenyakov, V.A., Rozen, O.M., Zhuk-Pocheketov, K.A., Gorbachov, O.V. (1972). [Para- and ortoamfibolites of Precambrian. State of the problem and the experience of the analysis on the example of amphibolites of the Kola Peninsula.]. Moscow: Nauka. 211 p. [Russian].
34. Slipchenko V.V. (1978). *Geological journal*. [On the genesis of metabasites of the Middle Bug (by petrochemical data)]. №1. P. 113-121. [Russian].
35. Usenko, I.S. (1953). [Archean metabasites and ultrabasites Ukrainian crystalline massif]. Kiev. – 100 p.
36. Usenko, I.S. (1948). [Metabasites of Dnieper (petrographic character)]. Kiev. 100 p.
37. Usenko, I.S. (1958). [Basic and ultrabasic rocks of the basin of the Southern Bug]. 143 p.
38. Usenko, I.S. (1960). [Basic and ultrabasic rocks of the Western Azov Sea]. Kiev. 179 p.
39. Usenko, I.S., Shcherbakov, I.B., Zayats, A.P. (1972). [Biotites of Precambrian]. Kiev: Naukova dumka. 150 p. [Russian].
40. Usenko, I.S., Shcherbakov, I.B., Siroshtan, R.I., Belevtsev, R.Ya., Atingof, I.M., Shcherbakova, T.G., Polovko, N.I., Kravchenko, G.L., Yakovlev, B.G., Orsa, V.I., Venidiktov, V.M., Zultse, V.V., Hvorova, G.P., Bilinsraya, Yz.P., Piyar, U.K., Golub, E.N., Rokachuk, T.A., Esipchuk, K.E., Yaroshchuk, M.A., Nikulina, A.A., Kirillov, St.G., Skenzak, S.I., Stepchenko, S.B., Sharkin, O.P., Glevasski, E.B., Mineeva, V.N., Batievski, B.A. (1982). [The metamorphism of the Ukrainian shield]. Kiev: Nauk. dumka. 306 p. [Russian].
41. Fomin, A.B. [Geochemistry of ultramafic rocks of the Ukrainian shield]. Kiev: Naukova dumka. 231 p. [Russian].
42. Shcherbak, N.P., Artemenko, G.V., Lesnaya, I.M., Ponomarenko, A.N. (2005). [Geochronology Early Precambrian of the Ukrainian Shield. Arhean]. Kiev: Nauk. dumka. 244 p. [Russian].
43. Shcherbak, N.P., Artemenko, G.V., Lesnaya, I.M., Ponomarenko, A.N., Shumlanski, L.V. (2008). [Geochronology Early Precambrian of the Ukrainian Shield. Proterozoic]. Kiev: Nauk. dumka. 239 p. [Russian].
44. Shcherbakov, I.B. (1975). [Petrography of the Precambrian rocks of the central part of the Ukrainian shield]. Kiev: Nauk. dumka. 279 p. [Russian].
45. Shcherbakov, I.B. (2005). [Petrology of the Ukrainian shield]. Lvov: Izdatelstvo ZUKTs. 364 p.
46. Yakovlev, B.G. (2006). Mineralogical collection. [Isomorphism and geochemical conditions of formation of garnets from ferrous and basic rocks of the Middle Bug]. № 30. 2. P. 21-30. [Russian].
47. Yaroshchuk M.A. (1983). [Iron ore formation Belotserkovsko-Odessa metallogenic zone]. Kiev: Nauk. dumka. 224 p. [Russian].
48. Miyashiro, A. (1974). *Amer. J. Sci.* [Volcanic rock in Island Arcs and active continental marins]. 274. P. 321-343.
49. Robertson, S. (1999). [BGS Rock Classification Scheme. Vol.2. Classification of metamorphic rocks]. *British Geological Survey Research Report*, RR 99-02. British Geological Survey, Keywoth, Nottingham NG 12 5GG, UK. 24 p.

Омельченко А.М., Томурко Л.Л.

Петрохімічні особливості амфіболітів Українського щита.

Викладено узагальнення літературних, а також нових даних щодо геологопетрографічних та петрогеохімічних особливостей амфіболітів Українського щита. Показано, що протолітами цих порід могли бути як вулканічні (толеїтові базальти), так і плутонічні (габро) породи. За складом амфіболіти даної виборки належать переважно до толеїтової петрохімічної серії нормальної лужності.

Ключові слова: амфіболіт, Український щит, петрохімія, амфібол, гранат, толеїтовий базальт.

Omelchenko A.N., Tomurko L.L.

Petrochemical features of amphibolites of the Ukrainian shield.

A summary review of published information as well as of new data on the geological-petrographical and petrochemical peculiarities of amphibolites from the Ukrainian shield (USh) was carried out. *Entry.* Precambrian amphibolites are widely spread within the territory of Ukrainian shield in the metamorphic complexes of different composition, stratigraphic position and age. *Brief geological essay.* Amphibolites make stratum-shaped, rarely lens-shaped and dike-shaped bodies, sills, sheets of infinite thickness (0, n – n × 100 m). *Mineralogical and petrographical features.* Typical paragenesis of amphibolites is Hb + Pl. Plagioclase, pyroxene-containing and garnet-containing amphibolites are distinguished among them by mineral composition. Plagioclase amphibolites predominate while pyroxene-containing ones are less presented. Garnet amphibolites are spread in the USh territory insignificantly although being described in many areas. Amphiboles in amphibolites belong to the calcium group. Their chemical composition corresponds to magnesian differences of pargasite-gastingsite and hornblende sequences. Pyroxenes are represented by relict grains. Plagioclase corresponds mostly with andesine. The composition of garnet is grossular-almandine. Garnets from amphibolites of most eroded Dniester-Bug and Azov megablocks have a high content of pyrope component (15-28%), which testifies to the high pressure while crystallization and is typical for areas of granulite metamorphism. *Petrochemical features.* By average composition USh amphibolites are close to each other as well as to the amphibolites of other world regions. Amphibolites under investigation belong to tholeiitic petrochemical series of normal alkalinity according to their composition. Both volcanic (tholeiitic basalts) and plutonic (gabbro) rocks were proved to be the protoliths for studied amphibolites.

Keywords: amphibolite, Ukrainian shield, petrochemistry, amphibole, garnet, tholeiitic basalt.

Поступила 22.07.2016.