

<https://doi.org/10.15407/mineraljournal.41.02.079>

УДК 551.71:552.11/.13/.4

**В.П. Кирилюк, М.И. Богданова, Е.И. Савина**

Львовский национальный университет имени Ивана Франко

79005, г. Львов, Украина, ул. Грушевского, 4

E-mail: Kyrylyuk.V@i.ua

## ПЕТРОПАРАГЕНЕЗИСЫ И ВОЗМОЖНАЯ ПРИРОДА СУПЕРКРУСТАЛЬНЫХ ФОРМАЦИЙ ПОБУЖСКОГО ГРАНУЛИТОВОГО КОМПЛЕКСА (ЗАПАДНАЯ ЧАСТЬ УКРАИНСКОГО ЩИТА).

### Статья 2. Петропарагенезисы суперкрустальных формаций и типоморфные признаки петротипов

В предыдущей статье (Мінерал. журн. 2019. 41, № 1. С. 60—70) показано, что в побужском гранулитовом комплексе установлено семь главных петропарагенезисов — кинцигитовый, эндербито-гнейсовый, лейкогранулитовый, высокоглиноземисто-кварцитовый, мрамор-кальцифировый, кондалитовый и глиноземисто-базитовый, а также три второстепенных петропарагенезиса: кальцифир-кристаллосланцевый, магнетитсодержащий и metabазит-метаультрабазитовый. Каждый петропарагенезис включает два-четыре петротипа. *Состав и типоморфные признаки петротипов.* В этой статье дается описание характерных особенностей петротипов. В качестве наиболее удобных сопоставительных признаков петротипов использованы: а) положение пород в системе  $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ ; б) соотношение щелочей; в) коэффициенты Н.П. Семеновко; г) железистость и глиноземистость, а для отдельных групп пород еще и некоторые другие соотношения. Показано, что петропарагенезисы побужского комплекса отчетливо различаются не только наборами своих петротипов, но и характерными особенностями состава и строения составляющих пород. Эти особенности позволяют высказать предположение об исходной — вулканогенной или литогенной — природе петротипов. Выводы предварительные и могут быть уточнены и расширены путем рассмотрения происхождения петропарагенезисов в целом и всего исходного разреза побужского комплекса. Такие общие выводы будут приведены в третьей, заключительной статье этого цикла.

*Ключевые слова:* гранулитовый комплекс, суперкрустальная формация, петропарагенезис, петротип, типоморфные признаки.

**Предисловие.** Побужский гранулитовый комплекс Украинского щита, как и аналогичные комплексы других щитов, характеризуется чрезвычайным разнообразием входящих в него метаморфических пород, что отличает его от всех других нижнедокембрийских стратигенных метаморфических комплексов. В составе комплекса известны аналоги практически всех петрохимических групп неметаморфизованных литогенных и вулканогенных пород, что уже само по себе отражает своеобразные условия образования исходного разреза комплек-

са. Описание метаморфических пород с целью вещественной характеристики комплекса в целом или отдельных его подразделений и территориально разобщенных частей обычно проводится по петрографическим или петрохимическим группам без указания закономерностей их пространственного (парагенетического) нахождения или генетической связи. Нами предпринята попытка выделения и краткого описания именно парагенетически связанных групп пород, или *петропарагенезисов*, составляющих самостоятельные суперкрустальные формации побужского комплекса или входящих в их состав в качестве второстепенных членов. Как было показано в предыдущей ста-

© В.П. КИРИЛЮК, М.И. БОГДАНОВА,  
Е.И. САВИНА, 2019

тье [18], в составе побужского комплекса установлено семь главных и три второстепенных петропарагенезиса метаморфических пород. Главные петропарагенезисы составляют самостоятельные суперкрупные формации. Названия главных петропарагенезисов и суперкрупных формаций совпадают. Второстепенные петропарагенезисы входят в состав отдельных формаций как второстепенные члены, наряду с которыми в качестве второстепенных членов могут встречаться также главные члены других формаций побужского комплекса. Петропарагенезисы состоят из двух-четырёх петротипов, каждый из которых объединяет близкие по составу породы. Полный перечень пород, входящих в состав петротипов, приведен в предыдущей статье [18, с. 65–66, таблица]. Здесь в табл. 1 показаны только петропарагенезисы и петротипы формаций для общего представления о составе разреза побужского комплекса.

При такой систематике пород побужского комплекса в петропарагенезисы и петротипы разных суперкрупных формаций попадают сходные породы, ранее описанные совместно в составе петрографических и петрохимических групп метаморфических пород всего побужского комплекса. Такие сходные породы — это гиперстенсодержащие гнейсы и кристаллические сланцы, гранатсодержащие гнейсы, карбонатные породы и некоторые другие. Сравнительное изучение таких сходных пород, входящих в состав разных формаций, показывает, что они всегда имеют и отличительные особенности.

**Цель работы** — показать характерные особенности петропарагенезисов и петротипов, дающие возможность различать сходные породы разных формаций, или использовать их для установления исходной природы метаморфических пород, сочетание которых дает представление и о происхождении формации в целом.

**Петропарагенезисы и петротипы суперкрупных формаций побужского комплекса.** Известно большое количество различных анализов для метаморфических пород побужского комплекса. Однако для петрохимической характеристики петротипов нами использованы анализы лишь тех пород, для которых надежно установлена их принадлежность к определенным петропарагенезисам суперкрупных формаций. Средний химический состав ведущих петротипов, дающий о них общее пред-

ставление, приведен в табл. 2, а диапазон составов их ведущих компонентов показан на приводимых диаграммах. В качестве наиболее удобных сопоставительных свойств петротипов нами выбран достаточно простой набор признаков, дающий, тем не менее, хорошие результаты: а) положение пород в системе  $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ , как основы современной классификации магматических горных пород [22], б) соотношение щелочей, в) коэффициенты Н.П. Семененко [24], г) железистость и глиноземистость, а для отдельных групп пород еще и некоторые другие соотношения.

**Кинцигитовая формация.** Определяющим для кинцигитовой формации служит *кинцигитовый петропарагенезис*, охватывающий два петротипа — *глиноземистый метапелитовый* и *кристаллосланцевый*. Их парагенетическая связь устанавливается по совместному нахождению в составе кинцигитовой формации, в то время как отдельно, в других формациях, эти петротипы с их характерными — *типовыми* — признаками не встречаются. Так, кинцигитовые метапелиты, представленные обычно биотит-гранатовыми и гранат-биотитовыми плагиогнейсами и гнейсами, иногда с кордиеритом, силлиманитом, графитом, при отчетливом пластовом строении формации в целом, характеризуются, как правило, массивной внутрипластовой текстурой и равномернозернистой гранобластовой структурой. Структура отдельно взятых пластов изменяется от мелко- до среднекристаллической. Они имеют преимущественно плагиоклазовый состав и при широком диапазоне кислотности обладают близкими соотношениями компонентов на диаграмме  $A - C - FM$  Н.П. Семененко (рис. 1, б).

Несмотря на то, что наиболее распространенные породы формации — типичные метапелиты, средний состав которых показан в табл. 2 (петротип 1), по разным системам пересчетов они попадают в группы неопределенности или даже ортопород (рис. 1). В частности, на диаграмме  $A - C - FM$  члены этого петротипа образуют достаточно компактное поле на границе подгруппы железисто-магнезиально-алюмосиликатных пород и подгруппы щелочноземельно-алюмосиликатных пород орторяда. Однако основанием для отнесения метапелитового петротипа все-таки к парапородам является отчетливая направленность из-

менения в них соотношения  $\text{SiO}_2$  и суммы  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ , показанная на рис. 1, а. Поле метапелитов имеет отрицательный наклон, свидетельствующий об уменьшении содержания щелочей при увеличении кремнекислоты, хотя для всех магматических пород характерна прямая зависимость этих компонентов.

Кристаллосланцевый петротип представлен одним видом — биотит-гиперстеновыми кристаллическими сланцами, которые по содержанию  $\text{SiO}_2$  соответствуют базальтам, андезибазальтам и основным андезитам. От сходных гиперстенсодержащих пород других петропарагенезисов побужского комплекса они отличаются бесцветным маложелезистым неплеохроирующим гиперстеном, оранжевым биотитом, низкой общей железистостью, постоянным заметным преобладанием  $\text{MgO}$  над  $\text{CaO}$  и частой пересыщенностью глиноземом. Последнее качество, возможно, — признак пара-

генетической связи с метапелитами формации, хотя природа этой связи не ясна.

Петрохимические особенности биотит-гиперстеновых кристаллических сланцев (табл. 2, петротип 2) (см. также [20]), позволяют обособить их в группу метабазитов (скорее всего, метавулканитов) специфического состава, но недостаточны для более точной интерпретации их исходного состава. Повышенное, как правило, содержание магния, позволяет предположительно считать их наиболее кислыми дифференциатами ультраосновных магм.

В качестве второстепенных членов кинцигитовой формации очень редко встречаются кальцифировые, а в ее верхней части, переходной к эндербито-гнейсовой формации, появляются и постепенно увеличиваются в разрезе типичные породы этой вышележащей формации.

**Эндербито-гнейсовая формация** сложена преимущественно эндербито-гнейсовым петро-

Таблица 1. Петропарагенезисы и петротипы суперкрупных формаций побужского комплекса

Table 1. Petroparageneses and petrotypes of supercrustal formations of the Bug Area complex

Формации	Петропарагенезисы	Петротипы (среднее содержание в петропарагенезисе, %)
Кинцигитовая	Кинцигитовый	Глиноземистый метапелитовый (90) Кристаллосланцевый (10)
Эндербито-гнейсовая	Эндербито-гнейсовый Кальцифир-кристаллосланцевый (второстепенный)	Гнейсово-кристаллосланцевый (75) Кристаллосланцевый (25) (до 1 в формации)
Лейкогранулитовая	Лейкогранулитовый Карбонатно-железистый магнетитсодержащий (второстепенный) Метабазит-метаультрабазитовый (второстепенный)	Лейкогнейсовый (90) Высокоглиноземистый метапелитовый (10) (первые % в формации) (первые % в формации)
Высокоглиноземисто-кварцитовая	Высокоглиноземисто-кварцитовый	Высокоглиноземистый метапелитовый (20) Кварцитовый (55) Кристаллосланцевый (25)
Мрамор-кальцифировая	Мрамор-кальцифировый	Мраморный (15) Кальцифировый (85)
Кондалитовая	Кондалитовый	Метапелитовый графитсодержащий (45) Кальцифировый (30) Эвлизитовый (25)
Ритмично-слоистая глиноземисто-базитовая	Глиноземисто-базитовый	Метапелитовый (20) Гнейсовый (50) Кристаллосланцевый (30) Эвлизитовый (до 1)

Таблица 2. Средний химический состав главных членов (петрогипов) и валовой состав некоторых суперкрупных гранулитовых комплексов  
 Table 2. The average chemical composition of main members (petrotypes) and gross compositions of some supercrustal formations of the Bug Area granulite complex

Формация	Кинцигитовая		Эндербито-гнейсовая					Лейкогранулитовая						Высокоглино-земисто-кварцевая		Конда-литовая	Ритмично-слоистая глиноземисто-базитовая				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		16	17	18	19	20
Петрогип	68,10	54,79	66,77	61,95	47,75	16,10	39,80	58,40	72,92	58,96	53,91	60,16	47,87	69,61	56,06	95,77	57,32	74,25	66,22	47,97	58,24
SiO <sub>2</sub>	0,62	0,79	0,64	0,58	1,19	0,18	0,41	0,73	0,21	0,54	0,71	0,60	1,11	0,29	0,68	—	0,54	0,32	0,49	0,98	0,52
TiO <sub>2</sub>	14,80	15,88	14,91	15,39	14,49	3,46	6,49	15,16	14,35	16,93	28,61	16,14	15,61	15,36	28,03	1,55	16,55	13,84	15,56	13,14	6,75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,16	0,41	1,08	1,39	3,84	0,66	0,54	2,00	0,51	3,20	1,38	2,24	4,12	0,91	3,00	0,26	2,22	0,73	2,15	4,58	15,91
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,60	7,73	4,91	5,04	10,21	0,82	4,09	6,33	0,99	6,82	6,18	5,95	8,70	2,11	4,12	0,17	5,78	2,31	3,07	10,98	12,09
FeO	0,06	0,10	0,06	0,09	0,18	0,05	0,16	0,11	0,02	0,13	0,29	0,10	0,19	0,05	0,10	—	0,06	0,05	0,06	0,17	0,12
MnO	2,23	8,54	2,86	3,34	7,57	5,10	6,50	4,39	0,78	3,37	2,26	3,57	7,46	1,37	1,23	0,16	2,88	1,09	1,56	9,18	2,54
MgO	2,97	5,65	3,23	6,13	10,38	41,82	28,65	7,10	1,68	3,34	1,73	6,22	10,91	2,36	0,99	0,58	1,72	2,53	5,17	8,74	2,26
CaO	2,86	2,42	2,81	3,41	2,15	0,46	0,72	3,10	3,28	3,08	0,70	3,32	2,07	3,09	0,70	0,29	0,65	2,71	3,74	2,21	0,78
Na <sub>2</sub> O	1,68	1,46	1,65	1,61	1,18	0,84	0,38	1,51	4,10	2,42	1,75	1,28	0,48	3,59	2,23	0,14	5,11	2,26	1,72	0,55	0,31
K <sub>2</sub> O	0,04	0,18	0,06	0,14	0,06	0,16	0,12	0,12	0,13	0,07	0,16	0,08	0,05	0,13	0,15	0,69	0,24	0,11	0,10	0,22	0,20
H <sub>2</sub> O	0,05	0,44	0,08	0,12	0,11	0,02	0,27	0,12	0,07	0,02	0,02	0,14	0,06	0,06	—	—	0,07	—	—	—	—
P <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	0,08	—	0,07	0,08	0,19	29,94	7,76	0,11	0,06	0,04	—	—	0,12	0,05	—	—	1,10	—	—	—	—
CO <sub>2</sub>	0,03	0,05	0,04	0,26	0,03	0,43	0,46	0,21	—	—	0,28	—	0,06	0,01	—	—	0,64	—	—	—	—
SO <sub>3</sub>	0,09	1,03	0,99	0,90	1,15	—	3,78	0,97	0,65	1,18	1,92	0,77	0,90	0,76	3,20	0,14	5,00	0,33	0,51	1,30	0,63
П. п. п.	100,27	99,47	100,16	100,43	100,48	100,04	100,13	100,36	99,75	100,10	99,90	100,57	99,71	99,75	100,49	99,75	99,88	100,53	100,35	100,02	100,36
Сумма																					

Примечание. 1 — гранатосодержащие гнейсы (среднее из 20 ан.); 2 — гипертеносодержащие кристаллические сланцы (10 ан.); 3 — валовой состав (30 ан.); 4—8 — эндербито-гнейсовая формация: 4 — гипертеносодержащие плагиогнейсы и кристаллические сланцы (47 ан.); 5 — двупироксеновые основные кристаллические сланцы (20 ан.); 6 — мраморы и кальцифиры (27 ан.); 7 — диопсидосодержащие кристаллические сланцы (6 ан.); 8 — валовой состав (без карбонатных пород) (67 ан.); 9—14 — лейкогранулитовая формация: 9 — лейкократовые гнейсы (16 ан.); 10 — высокоглиноземистые (кордиеритосодержащие) гнейсы (6 ан.); 11 — высокоглиноземистые (силлиманитосодержащие) гнейсы (10 ан.); 12 — гипертеносодержащие плагиогнейсы и кристаллические сланцы (7 ан.); 13 — двупироксеновые основные кристаллические сланцы (8 ан.); 14 — валовой состав (47 ан.); 15, 16 — высокоглиноземисто-кварцевая формация: 15 — высокоглиноземистые силлиманитосодержащие гнейсы (25 ан.); 16 — кварциты (5 ан.); 17 — кондалитовая формация: высокоглиноземистые и глиноземистые (графитосодержащие) гнейсы (23 анализа); 18—21 — глиноземисто-базитовая формация: 18 — глиноземистые (гранатосодержащие) гнейсы и плагиогнейсы (9 ан.); 19 — гипертеносовые гнейсы и плагиогнейсы (9 ан.); 20 — основные кристаллические сланцы (9 ан.); 21 — эвлизиты (4 ан.).

Note. 1—3 — kinzigite formation: 1 — garnet-containing gneisses (average of 20 an.); 2 — hypersthene-containing mafic gneisses (10 an.); 3 — gross composition (30 an.); 4—8 — enderbite-gneiss formation: 4 — hypersthene-containing plagiogneisses and mafic gneisses (47 an.); 5 — bipyroxene basite crystal shales (20 an.); 6 — marbles and calciphyres (27 an.); 7 — diopside-containing mafic gneisses (6 an.); 8 — gross composition without carbonate rocks (67 an.); 9—14 — leukogranulite formation: 9 — leucocratic gneisses (16 an.); 10 — high-aluminous (cordierite-containing) gneisses (6 an.); 11 — high-aluminous (sillimanite-containing) gneisses (10 an.); 12 — hypersthene-containing plagiogneisses and mafic gneisses (7 an.); 13 — bipyroxene basite mafic gneisses (8 an.); 14 — gross composition (47 an.); 15, 16 — high-aluminous-quartzite formation: 15 — high-aluminous sillimanite-containing gneisses (25 an.); 16 — quartzites (5 an.); 17 — kondalite formation: high-aluminous and aluminous (graphite-containing) gneisses (23 an.); 18—21 — aluminous-basite formation: 18 — aluminous (garnet-containing) gneisses and plagiogneisses (9 an.); 19 — hypersthene gneisses and plagiogneisses (9 an.); 20 — basite mafic gneisses (9 an.); 21 — eulizites (4 an.).

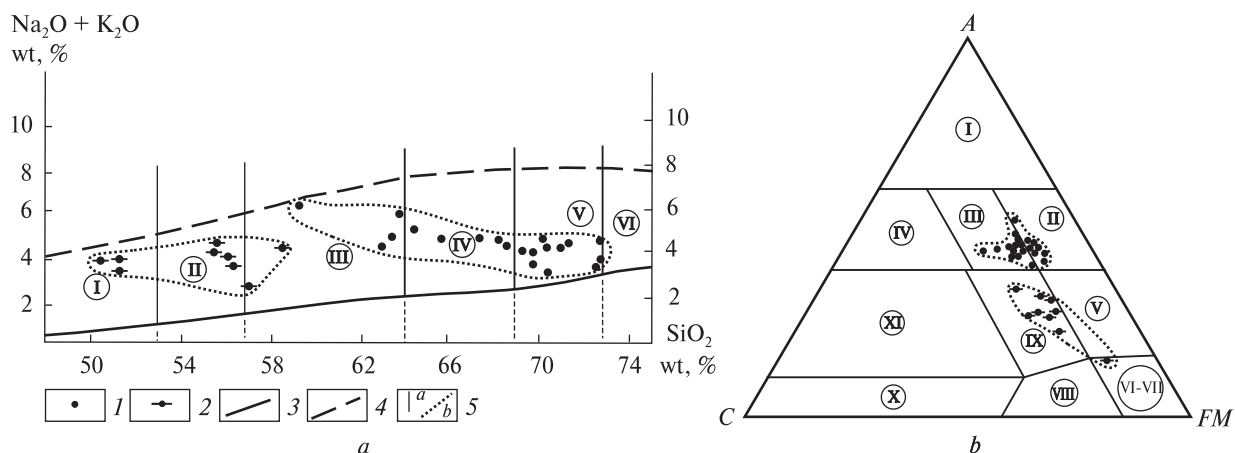


Рис. 1. Диаграммы петрохимических характеристик петротипов кинцигитовой формации побужского гранулитового комплекса: *a* — диаграмма  $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ , по [22]. 1, 2 — петротипы (они же на рис. *b*): 1 — метапелитовый: гранатсодержащие гнейсы, 2 — кристаллосланцевый: гиперстенсодержащие кристаллические сланцы и гнейсы; 3 — нижняя граница составов магматических пород, 4 — нижняя граница составов субщелочных пород; 5 — границы полей (*a* — горных пород по содержанию кремнезема; *b* — петротипов). Поля магматических пород (цифры в кружках): I — базальтов и габброидов; II — андезито-базальтов и диоритов; III — андезитов и кварцевых диоритов; IV — дацитов и гранодиоритов; V — риодацитов и гранитов; VI — риолитов и лейкогранитов; *b* — диаграмма  $A - C - FM$ , по [24]. Поля изохимических групп и подгрупп метаморфических пород (цифры на диаграмме): I — поле подгруппы собственно алюмосиликатных пород; II — подгруппа железисто-магнезиально-алюмосиликатных пород; III — поле подгруппы щелочноземельно-алюмосиликатных пород орторяда; IV — поле подгруппы известково-алюмосиликатных пород; V — группа глиноземисто-магнезиально-железисто-кремнистых пород; VI — поле группы железисто-кремнистых пород; VII — поле магнезиальных ультраосновных пород орторяда; VIII — поле группы щелочноземельно-малоглиноземистых ультраосновных пород орторяда; IX — поле группы щелочноземельно-глиноземистых основных пород орторяда; X — поле известково-карбонатной подгруппы щелочноземельно-известкового ряда; XI — поле глиноземисто-известковой подгруппы щелочноземельно-известкового ряда

Fig. 1. Diagrams of petro-chemical characteristics of petrotypes of the kinzigite formation of the Bug Area granulite complex: *a* — diagram  $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  (according to [22]). 1, 2 — petrotypes (also presented in Figure *b*): 1 — *metapelites*: garnet-containing gneisses, 2 — *mafic gneiss*: hypersthene-containing mafic gneisses and gneisses; 3 — lower boundary of magmatic rocks compositions, 4 — lower limit of subalkaline rocks compositions; 5, *a* — boundaries of separation of rocks per groups according to the silica content; *b* — field petrotypes of the formation. The circled numbers in the diagram indicate fields of magmatic rocks: I — basalts and gabbroids; II — andesite-basalts and diorites; III — andesites and quartz diorites; IV — dacites and granodiorites; V — rhyodacites and granites; VI — rhyolites and leucogranites; *b* — diagram  $A - C - FM$  (according to [24]). The figures on diagram mark the fields of isochemical groups and sub-groups of metamorphic rocks: I — fields of aluminous-silicates rocks sub-group; II — fields of iron-magnesian-aluminous-silicates rocks sub-group; III — fields of alkaline earth-aluminous-silicates sub-group rocks; IV — fields of lime-aluminous-silicates rocks sub-group; V — group of alumina-magnesian-iron-silicates rocks; VI — field of iron-silicates rocks group; VII — field of ortho-series of magnesian-ultrabasic rocks; VIII — field of ortho-series of aluminous ultrabasic rocks; IX — fields of ortho-series of alkaline earth-aluminous basite rocks; X — fields of lime-calc sub-group of alkaline-lime series; XI — field of aluminous-lime sub-group of aluminous-lime series

парагенезисом, который объединяет два петротипа: *гнейсово-кристаллосланцевый*, представленный гиперстенновыми, двупироксеновыми, роговообманково-двупироксеновыми плагиогнейсами и кристаллическими сланцами среднего состава, иногда биотитсодержащими, и *кристаллосланцевый*, объединяющий двупироксеновые и роговообманково-двупироксеновые основные кристаллические сланцы, редко пироксенсодержащие амфиболиты. Эти два петротипа почти полностью слагают эндербито-гнейсовую формацию, в нижней час-

ти которой с ними ассоциируют карбонатные породы, составляющие самостоятельный второстепенный *кальцифир-кристаллосланцевый петропарагенезис*.

Основанием для отнесения гиперстенсодержащих плагиогнейсов и кристаллических сланцев среднего состава к одному гнейсово-кристаллосланцевому петротипу может быть существование между ними постепенных переходов, а основные кристаллосланцы другого петротипа образуют в них пластовые тела с резкими границами. Это разделение на два

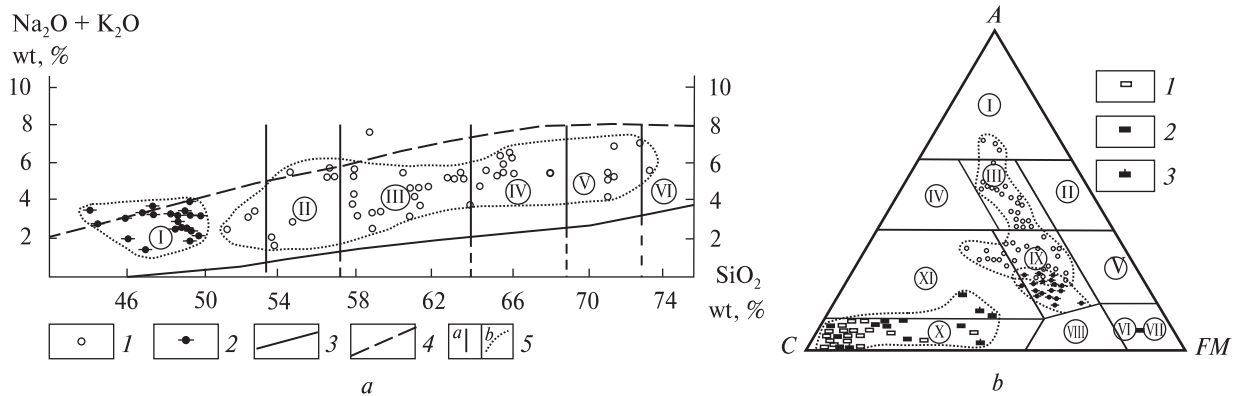


Рис. 2. Диаграммы петрохимических характеристик петротипов эндербито-гнейсовой формации побужского комплекса: *a* — диаграмма  $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ . 1, 2 — петротипы (они же на рис. *b*): 1 — гнейс-кристаллосланцевый: гиперстенсодержащие гнейсы и кристаллические сланцы; 2 — кристаллосланцевый: основные кристаллические сланцы. Остальные условные обозначения см. рис. 1, *a*; *b* — диаграмма  $A - C - FM$ . Второстепенный карбонатный петропарагенезис: 1 — мраморы, 2 — кальцифилы, 3 — диопсидсодержащие кристаллические сланцы. Остальные обозначения см. на рис. 2, *a*. Цифры в кружках на диаграмме обозначают поля изохимических групп и подгрупп метаморфических пород (рис. 1, *b*)

Fig. 2. Diagrams of petrochemical characteristics of petrotypes of enderbite-gneiss formation of the Bug Area complex: *a* — diagram  $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ : 1, 2 — petrotypes (also presented in Fig. *b*): 1 — gneiss-mafic gneiss: hypersthene-bearing gneisses and mafic gneisses; 2 — mafic gneiss: basite mafic gneisses. Others key-words are represented in Fig. 1, *a*; *b* — diagram  $A - C - FM$ . Secondary carbonate petroparagenesis: 1 — marbles, 2 — calciphyres, 3 — diopside-containing mafic gneisses. Others are mentioned in Fig. 2, *a*. The circled numbers on the diagram mark the fields of isochemical groups and sub-groups of metamorphic rocks (presented in Fig. 1, *b*)

петротипа видно и на приводимых диаграммах (рис. 2), особенно отчетливо на рис. 2, *a*, где основные кристаллические сланцы образуют отдельное компактное поле. Количественное соотношение главных петротипов в разрезе формации очень меняется — от примерно равного до преобладания гнейсово-кристаллосланцевого петротипа в большей части разреза. Структурным признаком парагенетической связи петротипов служит постоянное пластовое чередование составляющих их пород, как в пределах эндербито-гнейсовой формации, так и в переходных частях к соседним формациям.

В нижней части лейкогранулитовой формации, где наблюдается чередование эндербито-гнейсового и лейкогранулитового петропарагенезисов и достаточно надежно устанавливается подошва элементарных парагенезисов, выявляется гомодромная последовательность смены вверх по разрезу кристаллических сланцев плагиогнейсами. Такая же гомодромная последовательность характеризует и разрез эндербито-гнейсовой формации в целом. Вещественным признаком парагенетической связи может служить принадлежность обоих петротипов к метабазитовому (пересыщенные CaO) классу пород, что отличает их от подобных по облику кристаллических сланцев кинцигито-

вого петропарагенезиса. В них обычно заметно преобладает CaO над MgO в среднем в 1,5 раза (в молекулярном количестве). По этому признаку породы сходны с карбонатными образованиями эндербито-гнейсовой формации, хотя в последних это соотношение выше (в среднем около 6 : 1). Устойчивость эндербито-гнейсового петропарагенезиса нашла свое выражение в близости средних составов его членов, как в эндербито-гнейсовой, так и в лейкогранулитовой формациях (табл. 1, петротипы 4, 5 и 12, 13).

В петрохимическом отношении породы кристаллосланцевого петротипа соответствуют вулканитам толеитовой серии, а гнейсово-кристаллосланцевого — преимущественно вулканитам известково-щелочной серии, хотя некоторые кристаллические сланцы этого петротипа по своим характеристикам также отвечают толеитовой серии. Что же касается эндербито-гнейсовой формации в целом, то в настоящее время представление о ее вулканогенной природе практически общепринято, о чем свидетельствует и их положение на петрохимических диаграммах (рис. 2).

В этой связи возникает вопрос о природе карбонатных пород в составе формации, образующих ее самостоятельный второстепенный

карбонатный (кальцифир-кристаллосланцевый) петропарагенезис. Со времени их обнаружения в Верхнем Побужье, многие исследователи (Н.И. Безбородько, В.И. Лучицкий, Н.Т. Вадимов, Э.Б. Наливкина и др.) традиционно считали их производными осадочных пород. В основе этих представлений лежало сходство химического состава мраморов и кальцифиров эндербито-гнейсовой формации с метаморфизованными карбонатными осадочными породами (табл. 2, петротип б). Об этом же, по мнению ряда исследователей [10, 11, 25], свидетельствует изотопный состав углерода и кислорода карбонатов. В то же время, устойчивое сонахождение карбонатов с образованиями, имеющими вулканогенное происхождение, и некоторые минералогические и геохимические особенности дают возможность предполагать их эндогенную природу [2]. В пользу этого могут свидетельствовать частое присутствие в них циркона, не свойственное карбонатным породам других формаций, единичные находки бадделеита, повышенное содержание в отдельных пробах редкоземельных элементов. Карбонатные породы кальцифир-кристаллосланцевого петропарагенезиса, по данным В.Н. Загнитко и И.П. Луговой [11], четко отличаются по содержанию  $\delta^{13}\text{C}$  от карбонатных пород соседних кинцигитовой и лейкогранулитовой формаций, имеющих, скорее всего, первично литогенную природу.

Выяснение исходной природы карбонатных пород эндербито-гнейсовой формации затруднено в связи с отсутствием достоверных данных о формах их нахождения в формации. Наиболее крупные и пестрые по составу тела, достигающие 60 м вдоль ствола скважин, известны лишь по результатам бурения, а в коренных выходах обнажены только редкие и мелкие ксенолитоподобные включения в эндербитах, что уже отмечали многие исследователи [11, 26]. Это обстоятельство и в дальнейшем будет создавать трудности в определении структурного положения и генезиса карбонатных пород, хотя решение этих вопросов имеет не только научный интерес, но и практическое значение в связи с обнаружением связанных с ними проявлений ряда полезных ископаемых.

**Лейкогранулитовая формация.** Эта формация наиболее пестрая по породному составу. Основное содержание формации составляет главный *лейкогранулитовый петропарагенезис*. Кроме него в составе формации установлено

два самостоятельных второстепенных петропарагенезиса (табл. 1) — *карбонатно-железистый (магнетитсодержащий) и метабазит-метаультрабазитовый*. Оба петропарагенезиса составляют не более первых процентов объема формации. В качестве второстепенных членов формации по всему разрезу обнаружены породные тела гнейсово-кристаллосланцевого петропарагенезиса нижележащей эндербито-гнейсовой формации — гиперстенсодержащие плагиогнейсы и кристаллические сланцы.

В составе лейкогранулитового петропарагенезиса выделяются два петротипа: а) резко преобладающий *лейкогнейсовый петротип*, представленный лейкократовыми двуполевошпатовыми гнейсами (с незначительным содержанием, часто в виде единичных зерен на шлиф, биотита, граната и гиперстена), составляющими до 90 % объема петропарагенезиса, б) *высокоглиноземистый метапелитовый петротип*, который составляет до 10 % объема и включает как кордиеритсодержащие гнейсы и кристаллические сланцы (с гранатом, гиперстеном и шпинелью), так и графит-гранат-силлиманитовые гнейсы и кристаллические сланцы. Члены этого петротипа распределены по разрезу неравномерно, образуют прослой (мощностью в первые метры) и пачки (достигающие десятков метров). Иногда с ними ассоциируют маломощные (дециметры — первые метры) прослой кварцитов.

Из общих петрохимических и минералогических особенностей, которые могут служить вещественным признаком парагенетической связи пород лейкогнейсового петропарагенезиса, можно отметить преобладание  $\text{K}_2\text{O}$  над  $\text{Na}_2\text{O}$  и, как следствие, постоянное присутствие наряду с плагиоклазом ортоклаз-пертита. Все породы часто обогащены магнетитом (до 1 % и более).

Что касается пород высокоглиноземистого метапелитового петротипа, то в нем объединены две группы пород, или два подтипа, различающиеся как по петрографическим, так и по петрохимическим признакам. Одна группа представлена гранат- и кордиеритсодержащими гнейсами и кристаллическими сланцами, другая — силлиманитсодержащими породами. Оба подтипа образуют изолированные поля на диаграмме  $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  (рис. 3, а), а также четко различаются по содержанию  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , составляющим 12—20 вес. % в кордиеритсодержащей группе и 21—38 вес. % в силлима-

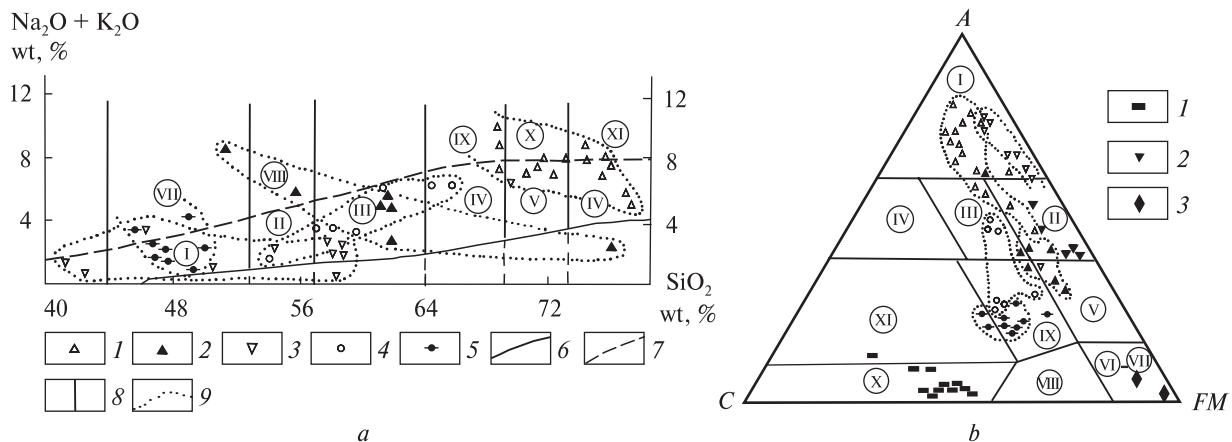


Рис. 3. Диаграммы петрохимических характеристик петротипов лейкогранулитовой формации побужского комплекса: *a* — диаграмма  $SiO_2 - (Na_2O + K_2O)$ : 1–3 — петротипы главного (лейкогранулитового) петропарагенезиса: 1 — лейкогнейсовый: лейкократовые гнейсы; 2, 3 — высокоглиноземистый метапелитовый (2 — гранат- и кордиеритсодержащие породы, 3 — силлиманитсодержащие гнейсы и кристаллические сланцы); 4, 5 — петротипы второстепенного (эндербито-гнейсового) петротипа (4 — гнейсово-кристаллосланцевый: гиперстенсодержащие гнейсы и кристаллические сланцы; 5 — кристаллосланцевый: основные кристаллические сланцы); *b* — нижняя граница распространения составов магматических горных пород; 7 — нижняя граница распространения составов субщелочных горных пород; 8 — границы разделения горных пород на группы по содержанию кремнезема; 9 — поля наиболее распространенных членов формации. I–VI — поля магматических пород (цифры в кружках, см. рис. 1, *a*); VII — субщелочные базальты и габброиды; VIII — трахиандезито-базальты и субщелочные диориты, монзониты; IX — трахидациты и кварцевые сиениты; X — трахириодациты и субщелочные граниты; XI — трахириолиты и субщелочные лейкограниты; *b* — диаграмма  $A - C - FM$ . 1–3 — породы карбонатно-железистого (магнетитсодержащего) петропарагенезиса: 1 — кальцифиры, 2 — высокоглиноземистые породы, 3 — магнетитсодержащие породы. Остальные обозначения пород те же, что на рис. 3, *a*. Поля изохимических групп и подгрупп метаморфических пород (цифры в кружках, см. рис. 1, *b*)

Fig. 3. Diagrams of petro-chemical characteristics of petrotypes of leucogranulite formation of the Bug Area complex: *a* — diagram  $SiO_2 - (Na_2O + K_2O)$ : 1–3 — main petrotypes: 1 — leucogneiss; 2, 3 — high-aluminous metapelites (2 — garnet- and cordierite-containing subtype, 3 — sillimanite-containing gneisses and mafic gneisses); 4, 5 — secondary petrotypes (4 — gneiss- mafic gneiss: hypersthene-containing gneisses and mafic gneisses, 5 — mafic gneiss: basite mafic gneisses); *b* — lower boundary of distribution of magmatic rocks; 7 — lower boundary of distribution of sub-alkaline igneous rocks; 8 — boundaries of separation rocks per groups according to the silica content; 9 — fields of petrotypes formation. The circled numbers on the diagram indicate the fields of igneous rocks: I–VI — key- words are presented in Fig. 1, *a*; VII — subalkaline basalt and gabbro, VIII — trachyandesite-basalt and subalkalines diorite, monzonite, IX — trachydacite and quartz syenite, X — trachyrhyodacite and sub-alkaline granites, XI — trachyrhyolite and sub-alkaline leucogranites; *b* — diagram  $A - C - FM$ . 1–3 — rocks of carbonate-ferruginous (magnetite-containing) petroparagenesis: 1 — calciphyres, 2 — high aluminous rocks, 3 — magnetite ferrous rocks. Others are shown in Fig. 3, *a*. The circled figures on the diagram denote the fields of isochemical groups and subgroups of the metamorphic rocks (Fig. 1, *b*)

нитсодержащей. При таких очевидных различиях их объединение в одном петротипе обусловлено относительно невысоким (до 10 %) их общим содержанием в составе петропарагенезиса и формации в целом, а также трудностями их визуального разделения в процессе полевых наблюдений.

Существенно кварцево-полевошпатовый состав преобладающих в формации членов лейкогнейсового петротипа не дает оснований для однозначного определения природы отдельно взятых пород по их петрохимическому составу. Эти образования в равной мере могут считаться как производными кислых вулканитов нормального и субщелочного ряда (рис. 3,

*a*), так и осадков аркозового состава (рис. 3, *b*). Однако, как видно из рис. 3, *a*, поле составов лейкократовых гнейсов на диаграмме  $SiO_2 - (Na_2O + K_2O)$  имеет хоть и не очень четкий, но тот же, что и для гнейсов кинцигитовой формации, отрицательный наклон по отношению к общему направлению изменения составов вулканитов, что свидетельствует о более вероятной литогенной природе этого петротипа. Подтверждением этого служит и доминирующий пластовый характер залегания лейкократовых гнейсов, и наличие в них прослоев высокоглиноземистых образований и кварцитов, первично осадочное происхождение которых не вызывает сомнений. Такого же мнения



о наиболее вероятной первичной осадочной природе лейкократовых гнейсов придерживались большинство исследователей, которые занимались их изучением и картированием [4, 5, 7, 9 и др.]. Следует обратить внимание, что поля обоих подтипов высокоглиноземистого метапелитового петротипа также занимают поперечное положение по отношению к общему тренду состава вулканических пород (рис. 3, а).

Членами второстепенного *карбонатно-железистого петропарагенезиса* лейкогранулитовой формации служат разнообразные по минеральному составу рудные (магнетитсодержащие) и безрудные кальцифиры, карбонатно-магнетитовые руды, а также силикатно-магнетитовые, часто гранатсодержащие породы (эвлизиты, магнетитовые, магнетит-пироксеновые кварциты и другие). Они не образуют самостоятельных мощных тел. Их размер составляет от дециметров до первых десятков метров, они находятся в частом пластово-линзовом чередовании с породами эндербитового гнейсово-кристаллосланцевого и лейкогранулитового петропарагенезисов и приурочены к нижней части лейкогранулитовой формации. Площади развития этого петропарагенезиса отмечены отчетливыми магнитными аномалиями. В пределах Среднего Побужья и сопредельных территорий известно свыше 150 магнитных аномалий интенсивностью свыше 5000 гамм [1, 23], из них несколько десятков детально обследованы [29, 30]. Эти образования подробно охарактеризованы в ряде работ [3, 23, 31]. Все исследователи рассматривают эту ассоциацию как глубокометаморфизованные и метасоматически измененные исходные хомогенно-глинистые осадки. Однако, судя по специфическому составу и пограничному положению ассоциации между метавулканогенной эндербитогнейсовой и металитогенной лейкогранулитовой формациями, этот магнетитсодержащий петропарагенезис, скорее всего, имеет своеобразную и более сложную исходную природу.

К верхней части лейкогранулитовой формации приурочены тела, принадлежащие еще к одному второстепенному *метабазит-метаультрабазитовому петропарагенезису*. Они представлены ультраосновными перидотитовыми и пироксенитовыми (метаультрабазиты) и основными двупироксеновыми и роговообманково-пироксеновыми (метабазиты) кристаллическими сланцами. Впервые такое структурное положение этих образований в верхней

части разреза было установлено Г.Г. Виноградовым и А.Я. Древиным [8], который выделял их в качестве самостоятельной верхней свиты в разрезе Среднего Побужья. Однако, как было показано позднее [15, 16], они не составляют самостоятельного стратиграфического подразделения, а образуют разрозненные залежи в верхней части лейкогранулитовой формации. К числу таких образований относятся, в частности, Каменоватский и Южно-Завальевский массивы, установленные еще Г.Г. Виноградовым [5], среди мигматизированных лейкократовых гнейсов, которые согласно перекрываются высокоглиноземисто-кварцитовая формацией (кошаро-александровской свитой).

Образования, относимые к метабазит-метаультрабазитовому петропарагенезису, изучены многими исследователями, но наиболее детально охарактеризованы А.Я. Каневским и А.Б. Фоминым [13, 14]. Среди них выявлены как согласные, так и секущие тела. По мнению всех исследователей, все они имеют магматическую природу. Что касается согласных тел, то среди них возможны как пластовые интрузии, так и первичные вулканические залежи. Некоторые исследователи склонны были выделять среди них метаморфизованные перидотитовые, пироксенитовые и базальтовые коматиты [12]. Однако, в любом случае, очевидно, что в отличие от карбонатно-железистого петропарагенезиса, который каким-то образом петрогенетически возможно и связан с формированием литогенной лейкогранулитовой формации, метабазит-метаультрабазитовый петропарагенезис генетически никак с ней не связан, а лишь сопряжен во времени с формированием ее верхней части.

**Высокоглиноземисто-кварцитовая формация.** В составе этой формации уверенно выделяют три петротипа (табл. 1): а) *высокоглиноземистый метапелитовый*, объединяющий биотит-гранат-силлиманитовые и силлиманитовые гнейсы и кристаллические сланцы (кварцсодержащие и полевошпатовые), часто с графитом; б) *кварцитовый*, представленный мономинеральными, полевошпатовыми и силлиманитовыми кварцитами, в) *кристаллосланцевый*, в состав которого входят двупироксеновые, а также роговообманково-пироксеновые основные кристаллические сланцы и пироксенсодержащие амфиболиты.

Два первых образуют единый высокоглиноземисто-кварцитовый петропарагенезис, сос-

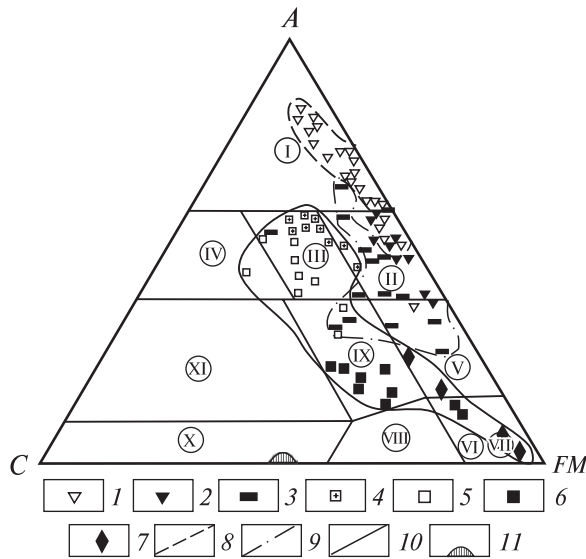


Рис. 4. Диаграмма  $A - C - FM$  пород суперкрупных формаций верхней части разреза побужского комплекса: 1 — высокоглиноземисто-кварцитовая формация: высокоглиноземистые гнейсы и кристаллические сланцы; 2, 3 — кондалитовая формация: 2 — силлиманитсодержащие гнейсы и кристаллические сланцы, 3 — биотитовые и графит-биотитовые гнейсы и кристаллические сланцы; 4–7 — ритмично-слоистая глиноземисто-базитовая формация: 4 — гранатовые гнейсы, 5 — гиперстенные плагиогнейсы, 6 — двупироксеновые основные кристаллические сланцы, 7 — эвлизиты; 8–11 — контуры полей формаций (8 — высокоглиноземисто-кварцитовой, 9 — кондалитовой, 10 — глиноземисто-базитовой, 11 — мрамор-кальцифировой). Поля изохимических групп и подгрупп метаморфических пород (цифры в кружках, рис. 1, б)

Fig. 4. Diagram  $A - C - FM$  of rocks of supercrustal formations of the upper part of the Bug Area complex section: 1 — high-aluminous quartzite formation: high-aluminous gneisses and mafic gneisses; 2, 3 — khondalite formation: 2 — sillimanite-containing gneisses and mafic gneisses, 3 — biotite and graphite-biotite gneisses and mafic gneisses; 4–7 — rhythmically-layered aluminous-basite formation: 4 — garnet gneisses, 5 — hypersthene plagiogneisses; 6 — bipyroxene basite mafic gneisses, 7 — eulysite; 8–11 — contours of the fields of formations (8 — high-aluminous-quartzite, 9 — khondalite, 10 — aluminous-basite; 11 — marble-calciphyre). The circled figures on the diagram denote the fields of the isochemical groups and subgroups of the metamorphic rocks (Fig. 1, b)

ставляющий около 75 % объема формации и определяющий ее название. Они сравнительно равномерно распределены в разрезе и находятся в отношении объемов высокоглиноземисто-метапелитового и кварцитового петротипов примерно как 1 : 3. Их парагенетическая связь проявлена в ритмичном чередовании высокоглиноземистых пород и кварцитов в виде пластов мощностью в десятки метров пород

отдельных петротипов или пачек переслаивания такой же мощности с преобладанием пород одного из них. Нижний компонент ритмов, судя по основанию формации, сложен высокоглиноземистыми породами, которые вверх по разрезу сменяются кварцитами. Вещественным подтверждением парагенетической связи служит наличие в обеих группах пород силлиманита, свидетельствующего об их высокой глиноземистости. Высокоглиноземистые породы по составу близки к сходным породам лейкогранулитового петропарагенезиса.

Литогенная природа высокоглиноземисто-кварцитового петропарагенезиса не вызывает сомнений. Для кварцитов (табл. 2, петротип 16) признаком этого является их минеральный состав, для высокоглиноземистых пород (табл. 2, петротип 15) — их состав и положение в полях подгрупп собственно алюмосиликатных и железисто-магнезиально-алюмосиликатных пород на диаграмме  $A - C - FM$  (рис. 4). Поэтому следует заметить, что характер связи в составе высокоглиноземисто-кварцитовой формации столь же очевидных по своей природе первично вулканогенных кристаллических сланцев с высокоглиноземистыми породами и кварцитами не ясен. И, тем не менее, их сочетание представляется закономерным и подтверждается постоянством сонахождения этих пород не только в составе высокоглиноземисто-кварцитовой формации побужского комплекса, но и в ее геолого-формационном аналоге — верхнеалданской свите алданского комплекса [27], в чем один из авторов имел возможность убедиться при изучении ее разреза на р. Алдан.

**Мрамор-кальцифировая формация.** Единственный петропарагенезис, определяющий как название этой формации, так и особенности ее состава, — мрамор-кальцифировый. Он объединяет два петротипа — кальцифировый, члены которого слагают ~80–85 % и мраморный, составляющий около 15–20 % объема петропарагенезиса. Первый из них представлен почти полностью серпентинизированными оливин-доломит-кальцитовыми и оливин-кальцитовыми кальцифирами, второй — чистыми доломитовыми мраморами. Породы обоих петротипов в указанных соотношениях достаточно равномерно распределены в разрезе формации. Мощность прослоев составляет от нескольких сантиметров до 20–30 м. Породы отчетливо переслаиваются, нередко наблюдается

ритмичное чередование с залеганием мраморов в основании ритмов, постепенными переходами между мраморами и кальцифирами внутри ритмов, благодаря появлению в мраморах и направленному увеличению вверх по разрезу содержания оливина. Ритмы заканчиваются резкой верхней границей между кальцифирами и мраморами вышележащего ритма.

С учетом характера переслаивания мраморов и кальцифиров и их состава, первично литогенная природа петропарагенезиса представляется очевидной. Его важнейшая петрохимическая особенность — постоянное, близкое к доломитовому, соотношение молекулярных количеств СаО и MgO, как в мраморах, так и в кальцифирах, составляющее около 1 : 1. Такое соотношение было выявлено В.В. Смирным [25] на основании обработки более 700 химических анализов карбонатных пород мрамор-кальцифировой формации. Этот признак — не только выражение парагенетической связи всех пород, но их типоморфный признак, отличающий карбонатные породы мрамор-кальцифировой формации от сходных образований кальцифир-кристаллосланцевого петропарагенезиса эндербито-гнейсовой формации. Кроме того, карбонатные породы этих формаций различаются по составу аксессуарных минералов и их геохимическими особенностями [2], а также изотопному составу углерода и кислорода [11]. На диаграмме  $A - C - FM$  карбонатные породы мрамор-кальцифировой формации образуют изолированное поле вблизи стороны  $A - C - FM$ , относящееся к известково-карбонатной подгруппе пород щелочноземельно-известкового ряда (рис. 4). Сюда же попадают и карбонатные породы кондалитовой формации.

**Кондалитовая формация** охватывает три петротипа: а) *метапелитовый графитсодержащий*, б) *кальцифировый*, в) *эвлизитовый*. Несмотря на то, что формация на всю мощность вскрыта карьером, объемные соотношения петротипов определить можно лишь ориентировочно в связи с изменяющейся мощностью слоев и частым их разлинзованием. Объемное соотношение пород, относящихся к разным петротипам, по отдельным скважинам существенно различно. Входящие в состав первого из петротипов глиноземистые гнейсы и кристаллические сланцы с таким высоким содержанием графита не имеют аналогов ни в одной из формаций побужского комплекса. Карбонатные

породы, представленные преимущественно кальцифирами, близки к породам подстилающей мрамор-кальцифировой формации. Сочетание двух типов углеродсодержащих пород — карбонатных и силикатных с графитом — наиболее характерная особенность *кондалитового петропарагенезиса*. Эта сокращенная карбонатно-графитовая ассоциация, без эвлизитов, встречается уже в самой верхней, подкарбонатной части высокоглиноземисто-кварцитовой формации, в связи с чем их раньше часто рассматривали как одну толщу, выходы которой якобы расположены на разных крыльях синклинальной структуры.

Весьма своеобразными, не требующими дополнительных отличительных признаков, выглядят породы эвлизитового петротипа, характерной особенностью которых служит их бесполовшпатовый состав и почти повсеместное присутствие магнетита. Специфический состав и соседство этих пород с карбонатными обусловило то, что они долгое время назывались "скарноидами", хотя со скарнами не имеют ничего общего по своей природе.

И минеральный, и петрохимический состав всех петротипов кондалитовой формации резко отличает их от магматических образований и не оставляет сомнений в исходной литогенной природе всей формации. Однако при этом, в силу контрастного состава петротипов, в формировании особенностей каждого из них какую-то роль, вряд ли существенную, могли играть и сопровождающие метаморфизм обменные метасоматические (биметасоматические) процессы с участием  $CO_2$ .

**Ритмично-слоистая глиноземисто-базитовая формация.** Характерный глиноземисто-базитовый петропарагенезис известен только в составе этой формации. Он включает четыре петротипа: а) *метапелитовый*, представленный гранатовыми, биотит-гранатовыми и силлиманит-гранатовыми гнейсами; б) *гнейсовый*, объединяющий гиперстеновые и двупироксеновые гнейсы и плагиогнейсы, связанные постепенными переходами с кристаллическими сланцами среднего состава; в) *кристаллосланцевый* — двупироксеновые, роговообманково-пироксеновые и гранат-амфибол-пироксеновые основные кристаллические сланцы, имеющие, как правило, четкие границы с остальными членами формации, но при этом занимающие закономерное положение в ритмах; г) *эвлизитовый* — бесполовшпатовые магнетит-двупи-

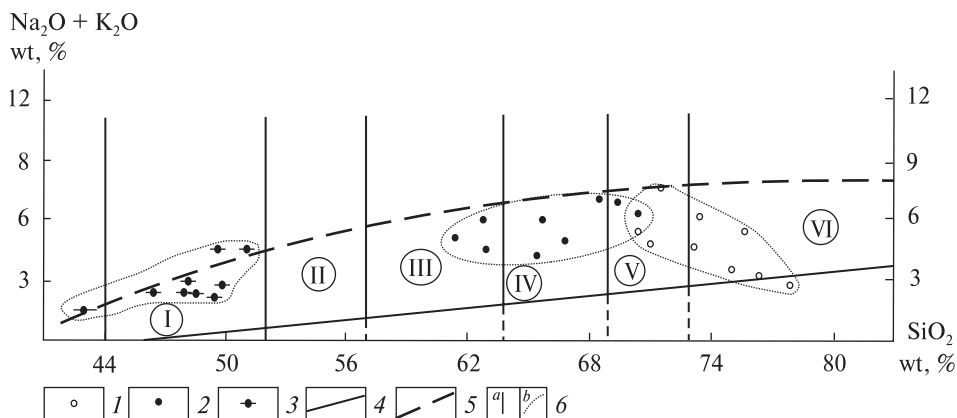


Рис. 5. Диаграмма  $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  главных членов глиноземисто-базитовой формации побужского гранулитового комплекса: 1–3 – петротипы (1 – метапелитовый: гранатые гнейсы; 2 – гнейсовый: гиперстеновые гнейсы и кристаллические сланцы; 3 – кристаллосланцевый: основные кристаллические сланцы); 4 – нижняя граница составов магматических пород; 5 – верхняя граница составов магматических пород нормального ряда; 6, a – границы разделения горных пород на группы по содержанию кремнезема; b – поля основных членов формации. I–VI – поля магматических пород (цифры в кружках, см. рис. 1, a)

Fig. 5. Diagram  $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  of main members of the aluminous-basite formation of the Bug Area granulite complex: 1–3 – petrotypes (1 – metapelites: garnet gneisses; 2 – gneiss: hypersthene gneisses and mafic gneisses; 3 – mafic gneiss: basite mafic gneisses); 4 – lower boundary of magmatic rocks; 5 – upper limit of compositions of the normal series magmatic rocks; 6, a – the boundaries of separation of rocks per groups according to the silica content; b – the field of main members of the formation. The circled numbers on the diagram indicate the fields of igneous rocks: I–VI – key-words are presented in Fig. 1, a

роксен-гранат-кварцевые, магнетит-гиперстен-гранат-кварцевые, магнетит-гранат-кварцевые породы и магнетитовые кварциты.

Парагенетическая связь компонентов этого петропарагенезиса подтверждается многократным повторением в разрезе ритмов разных размеров (от метровых до стометровых), представленных следующей последовательностью в ритмах (снизу вверх): гранатые гнейсы → гиперстеновые гнейсы → пироксеновые основные кристаллические сланцы → эвлизиты. Петропарагенезис представлен как в полном (четырёхкомпонентном), так и в сокращённом (двухкомпонентном, гиперстеновом кристаллосланцево-гнейсовом) видах, что позволяет различать в составе формации две четырёхкомпонентные и две двухкомпонентные субформации или толщи [17].

Глиноземисто-базитовый петропарагенезис в полном четырёхкомпонентном виде уже визуально, по своему породному сочетанию и внешнему виду в обнажениях, диагностируется настолько отчетливо, что даже не требует дополнительных типоморфных признаков. В этом нет особой необходимости еще и потому, что площадь развития глиноземисто-базитовой формации на участке с. Хашеватое – пгт Завалье, судя по ее структурному положению, а именно приуроченности к ядру крупной ре-

гиональной синклинорной структуры, является единственной на Побужье территорией распространения этой формации. И все же, некоторые из особенностей пород, составляющих формацию, следует назвать, поскольку они несут ряд характерных признаков, отличающих их от подобных пород других формаций.

Состав главных членов формации, кроме эвлизитов, показан на диаграмме  $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  (рис. 5). Основные кристаллические сланцы, образуют на диаграмме изолированное поле, подтверждая тем самым их резкие границы с другими членами формации. По общему составу, отвечающему щелочноземельно-глиноземистым основным породам орторяда (рис. 4), и характеру залегания – это исходные вулканиты.

Гранатые гнейсы метапелитового петротипа, как и другие глиноземистые породы побужского комплекса, на диаграмме  $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  образуют поле с отрицательным наклоном, что свидетельствует об их наиболее вероятной литогенной природе. Внешне они отличаются от сходных по составу и названию пород метапелитового петротипа кинцигитовой формации. Они, как правило, светлоокрашенные, белесого или кремового цвета, в отличие от серых гнейсов кинцигитовой формации. Гнейсы характеризуются, как уже отме-

чалось ранее [30, с. 43], неравномернозернистым, часто порфиробластовым строением, с крупными (1 см и более) выделениями граната. Структура часто гранулитовая, обусловленная вытянутыми в поперечных срезах пластинчатыми зернами кварца. Такая структура не характерна для пород кинцигитовой формации. Гранатовые гнейсы глиноземисто-базитовой формации обычно двуполевошпатовые, в отличие от плагиогнейсов кинцигитовой формации.

Что касается гнейсового петротипа, то на ряд петрографических и петрофизических отличий гиперстенсодержащих гнейсов Хщевато-Завальевского района, входящих в состав глиноземисто-базитовой формации, и Голованевско-Первомайского района, относящихся к эндербито-гнейсовой формации, ранее указывали И.Б. Щербаков [28] и Г.Х. Димитров [7]. Недавно четкие отличия гиперстенсодержащих гнейсов глиноземисто-базитовой формации, обнажающихся в карьерах Казачий Яр и Одесский, и сходных пород окрестностей г. Гайворон, принадлежащих эндербито-гнейсовой формации, показали И.М. Лесная и В.Б. Соболев [21]. По их данным эти образования, которые они называют "эндербитами гайворонского комплекса", "различаются как по облику, химическому составу, геохимии, так и по составу и изотопному возрасту цирконов". В эндербитах из карьеров Казачий Яр и Одесский, в отличие от эндербитов Гайворонского карьера, установлены более низкие содержания  $\text{SiO}_2$  (66,14 и 72,61 % соответственно), и более высокие —  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (16,14 и 13,8 % соответственно). Для них характерны и более высокие значения содержания хрома, никеля и ванадия. Различаются по облику, а также по содержанию урана и гафния цирконы сравниваемых образований.

Мы специально остановились на различиях гиперстеновых гнейсов эндербито-гнейсовой и глиноземисто-базитовой формаций, которые отмечали разные исследователи, в связи с

тем, что принадлежат к разным суперкрустальным формациям, они все еще объединяются в стратиграфической схеме Украинского щита [19] и на геологических картах [6] в составе одной тывровской свиты. Между тем, именно на основании характерного петропарагенезиса, глиноземисто-базитовая формация уже давно была выделена как отдельная суперкрустальная формация побужского комплекса, а в качестве стратиграфического подразделения — как самостоятельная сальковская свита [15, 16, 20].

**Заключение.** Как видно из приведенного описания, петропарагенезисы побужского комплекса отчетливо различаются не только наборами своих петротипов, но и характерными особенностями состава и строения представляющих их пород. Кроме того, особенности состава петротипов позволяют сделать выводы об их исходной — вулканогенной или литогенной — природе. Эти выводы предварительные и могут быть уточнены и расширены в ходе рассмотрения происхождения петропарагенезисов в целом и всего исходного разреза побужского комплекса. Такие общие выводы изложены нами в третьей, заключительной статье этого цикла.

Выше были показаны лишь некоторые типоморфные признаки петротипов суперкрустальных формаций побужского гранулитогнейсового комплекса, число которых, по нашему мнению, может быть при необходимости значительно увеличено в ходе целенаправленных сравнительных исследований сходных пород разных суперкрустальных формаций. Одна из таких необходимостей в условиях ограниченной обнаженности фундамента Украинского щита — установление принадлежности вскрытых скважинами отдельных пород той или иной формации соответствующему ей стратиграфическому подразделению. Возможно также выявление типоморфных признаков петропарагенезисов в связи с установлением их металлогенической специализации и другими конкретными задачами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Белевцев Я.Н., Епатко Ю.М., Веригин М.И. Железорудные месторождения докембрия Украины и их прогнозная оценка. Киев: Наук. думка, 1981. 232 с.
2. Билонижка П.М., Геренчук Н.К., Зубова С.Н., Кирилук В.П., Лашманов В.И., Мартынова С.С. Сравнительная характеристика карбонатных пород из разновозрастных докембрийских формаций западной части Украинского щита. *Проблемы осадочной геологии докембрия*. М.: Наука, 1981. Вып. 6. С. 86—89.
3. Богатырев В.Ф., Быстревская С.С., Ионис Г.И. К вопросу образования карбонатно-магнетитовых руд юго-западной части Украинского щита в связи с развитием зон тектоно-магматической активизации. *Геол. журн.* 1977. 37, № 6. С. 18—27.

4. Вендиктов В.М. Докембрий Приднестровья и некоторые проблемы геологии Украинского щита. Киев: Наук. думка, 1978. 162 с.
5. Виноградов Г.Г. О генезисе пироксеновых гнейсов и некоторых вопросах стратиграфии докембрия Среднего Побужья. *Петрография докембрия Русской платформы*. Киев: Наук. думка, 1970. С. 352—357.
6. Державна геологічна карта України. Центральноукраїнська серія. М-35-XXXVI (Гайворон). 1 : 200 000 / В.В. Кислюк, В.В. Зюльцле, З.М. Дорковська, Л.В. Гук, В.В. Бондаренко, Г.Й. Чернецька, Л.П. Нікітіна, Г.В. Кислюк. Київ, 2011. 115 с.
7. Димитров Г.Х. Чарнокитовая формация Среднего Побужья. Киев: 1977. 56 с. (Препринт ИГФМ АН УССР).
8. Древин А.Я. Структура, стратиграфия Среднего Побужья и поисковые критерии на силикатный никель: автореф. дис... канд. геол.-мин. наук. Киев, 1966. 23 с.
9. Древин А.Я. Опыт изучения докембрия Среднего Побужья на основе литолого-структурного метода. *Проблемы осадочной геологии докембрия*. М.: Недра, 1967. Вып. 2. С. 88—96.
10. Загнитко В.Н. Изотопный состав кислорода и углерода карбонатных пород Верхнего Побужья и их генезис. *Докл. АН УССР. Сер. Б*. 1978. № 11. С. 963—966.
11. Загнитко В.Н., Луговая И.П. Изотопная геохимия карбонатных и железисто-кремнистых пород Украинского щита. Киев: Наук. думка, 1989. 315 с.
12. Злобенко И.Ф., Каневский А.Я., Металиди С.В. Коматииты Среднего Побужья (Украинский щит). *Сов. геология*. 1983. № 9. С. 103—108.
13. Каневский А.Я. Ультраосновные породы Среднего Побужья (формации, минералого-петрографические, петрохимические особенности и металлоносность): автореф. дис... канд. геол.-мин. наук. Киев, 1976. 16 с.
14. Каневский А.Я., Фомин А.Б. Хромитовые гипербазиты Среднего Побужья. *Сов. геология*. 1973. № 12. С. 115—124.
15. Кирилюк В.П. Стратиграфия докембрия западной части Украинского щита (на формационной основе). Статья 1. Стратиграфические комплексы докембрия и формации раннего архея. *Геол. журн.* 1982. 42, № 3. С. 88—103.
16. Кирилюк В.П. Стратиграфия докембрия западной части Украинского щита (на формационной основе). Статья 2. Формации позднего архея и протерозоя и сводная стратиграфическая схема. *Геол. журн.* 1982. 42, № 4. С. 30—41.
17. Кирилюк В.П. Побужский гранулитовый комплекс. *Гранулитовые структурно-формационные комплексы Украинского щита — европейский стратотип*. Львов: ЗУКЦ, 2010. С. 8—63.
18. Кирилюк В.П., Богданова М.И., Савина Е.И. Петропарагенезисы и возможная природа суперкрупных формаций побужского гранулитового комплекса (западная часть Украинского щита). Статья 1. Общие сведения и породный состав петропарагенезисов. *Мінерал. журн.* 2019. 41, № 1. С. 60—70. doi:https://doi.org/10.15407/mineraljournal.41.01.060
19. Кореляційна хроностратиграфічна схема раннього докембрію Українського щита (схема та поясн. зап.) / К.Ю. Єсипчук, О.Б. Бобров, Л.М. Степанюк, М.П. Шербак, Є.Б. Глеваський, В.М. Скобелев, А.С. Дранник, М.В. Гейченко. Київ: УкрДГРІ, НСК України, 2004. 30 с.
20. Лазько Е.М., Кирилюк В.П., Сиворонов А.А., Яценко Г.М. Нижний докембрий западной части Украинского щита (возрастные комплексы и формации). Львов: Вища шк., 1975. 239 с.
21. Лесная И.М., Соболев В.Б. Гетерогенность эндербитов гайворонского комплекса Украинского щита. *Тез. докл. Междунар. науч. конф. (27 мая — 1 июня 2013)*. Киев, 2013. С. 86—87.
22. Магматические горные породы. Классификация, номенклатура, петрография / Е.Д. Андреева, В.А. Баскина, О.А. Богатиков и др. М.: Наука, 1983. Ч. 1. 367 с.
23. Половко Н.И., Бондарева Н.М., Костюченко В.С., Мельничук Э.В., Богатырев В.Ф., Ионис Г.И. Провинции железисто-кремнистых формаций западной части Украинского щита. *Железисто-кремнистые формации Украинского щита*. Киев: Наук. думка, 1978. С. 217—253.
24. Семененко Н.П. Метаморфизм подвижных зон. Киев: Наук. думка, 1966. 298 с.
25. Смирный В.В. Закономерности минерального состава мраморов и кальцифиров тетерево-бугской свиты (Украина). *Материалы по петрографии и геологии месторождений полезных ископаемых*. Ленинград, 1968. С. 179—190. (Тр. ВСЕГЕИ, Нов. серия, Т. 121, вып. 1).
26. Сукач В.С. Вещественный состав и особенности генезиса карбонатных пород докембрия западной части Украинского щита (Верхнее Побужье, среднее течение р. Тетерев): автореф. дис... канд. геол.-мин. наук. Киев, 1994. 26 с.
27. Травин Л.В. Петрохимические и формационные особенности архейских метаосадочных образований центральной части Алданского щита. *Литология и полезные ископаемые*. 1977. № 3. С. 115—126.
28. Шербаков И.Б. Петрология докембрийских пород центральной части Украинского щита. Киев: Наук. думка, 1975. 279 с.
29. Ярошук М.А. Железорудные формации Белоцерковско-Одесской металлогенической зоны (западная часть Украинского щита). Киев: Наук. думка, 1983. 224 с.
30. Ярошук М.А., Богатырев В.Ф., Епатко Ю.М. Железорудные формации западной части Украинского щита. *Геол. журн.* 1982. 42, № 3. С. 48—60.

31. Ярошук М.А., Богатырев В.Ф., Ионис Г.И. Особенности формирования железорудных месторождений в породах гранулитовой фации Белоцерковско-Одесской зоны. *Метаморфогенное рудообразование низкотемпературных фаций и ультраметаморфизма*. М.: Наука, 1981. С. 264–278.

Поступила 25.07.2018

## REFERENCES

1. Belevtsev, Ya.N., Epatko, Yu.M. and Verigin, M.I. (1981), *Precambrian iron-ore deposits of Ukraine and anticipating estimation of them*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 232 p.
2. Bilonizhka, P.M., Gerenchuk, N.K., Zubova, S.N., Kyrylyk, V.P., Lashmanov, V.I. and Martynova, S.S. (1981), *Problemy osadochnoy geologii dokembriya*, Vyp. 6, Nauka, Moscow, RU, pp. 86-89.
3. Bogatyryev, V.F., Bystrevskaya, S.S. and Ionis, G.I. (1977), *Geol. zhurn.*, Vol. 37, No. 6, Kyiv, UA, pp. 18-27.
4. Venidiktov, V.M. (1978), *Precambrian of Dniester Area and some geological issues of Ukrainian shield*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 162 p.
5. Vinogradov, G.G. (1970), *Petrographiya dokembriya Russkoy platformy*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, pp. 352-357.
6. Kyslyuk, V.V., Zyuysle, V.V., Dorkovska, Z.M., Guk, L.V., Bondarenko, V.V., Chernetska, G.Y., Nikitina, L.P. and Kyslyuk, G.V. (2011), *Derzhavna geologichna karta Ukrainy, Arkush M-35-XXXVI (Gayvoron), Tsentralnoukraisna seria, 1: 200 000*, Kyiv, UA, 115 p.
7. Dimitrov, G.H. (1977), *Charnockitic formation of the Middle Bug Area*, Preprint Inst. Geokhimii i Fiziki Mineralov Akad. nauk UkrSSR, Kyiv, UA, 56 p.
8. Drevin, A.Ya. (1966), *Structure, stratigraphy of the Middle Bug Area and prospecting criteria on silicious Nicol*, Abstr. dis. cand. geol.-mineral. sci., Kyiv, UA, 23 p.
9. Drevin, A.Ya. (1967), *Problemy osadochnoy geologii dokembriya*, Vyp. 2, Nedra, Moscow, RU, pp. 88-96.
10. Zagnitko, V.N. (1978), *Dokl. Akad. Nauk UkrSSR, Ser. B*, No. 11, Kyiv, UA, pp. 963-966.
11. Zagnitko, V.N. and Lugovaya, I.P. (1989), *Isotopic geochemistry of carbon-bearing and ferrite rocks of Ukrainian shield*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 315 p.
12. Zlobenko, I.F., Kanevskiy, A.Ya. and Metalidi, S.V. (1983), *Sovetskaya geologiya*, No. 9, Moscow, RU, pp. 103-108.
13. Kanevskiy, A.Ya. (1976), *Ultrabasic rocks of the Middle Bug Area (formations, petrographical, petrochemical aspects and metal content)*, Abstr. dis. cand. geol.-mineral. sci., Kyiv, UA, 16 p.
14. Kanevskiy, A.Ya. and Fomin, A.B. (1973), *Sovetskaya geologiya*, No. 12, Moscow, RU, pp. 115-124.
15. Kyrylyuk, V.P. (1982), *Geol. zhurn.*, Vol. 42, No. 3, Kyiv, UA, pp. 88-103.
16. Kyrylyuk, V.P. (1982), *Geol. zhurn.*, Vol. 42, No. 4, Kyiv, UA, pp. 30-41.
17. Kyrylyuk, V.P. (2010), *Granulitovye strukturno-formatsionnye komplekсы Ukrainского schita - evropeyskiy stratotip*, ZUKTC press, Lviv, UA, pp. 8-63.
18. Kyrylyuk, V.P., Bogdanova, M.I. and Savina, E.I. (2019), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 41, No. 1, Kyiv, UA, pp. 60-70. doi: <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.41.01.060>
19. Yesypchuk, K.Yu., Bobrov, O.B., Stepanyuk, L.M., Shcherbak, M.P., Glevaskiy, E.B., Skobelev, V.M., Drannik, V.S. and Geichenko, M.V. (2004), *Correlated chronostratigraphic scheme of Early Precambrian of the Ukrainian Shield (scheme and explanatory note)*, NSC Ukraine, UkrDGRI, Kyiv, UA, 30 p.
20. Lazko, E.M., Kyrylyuk, V.P., Sivoronov, A.A. and Yatsenko, G.M. (1975), *Lower Precambrian of the western part of the Ukrainian shield (age complexes and formations)*, Vyshcha shkola, Lvov, UA, 239 p.
21. Lesnaya, I.M. and Sobolev, V.B. (2013), *Tez. dokl. Mezhdunar. nauch. konf., 27 maia - 1 iyunia 2013, M.P. Semenenko IGMOF of NAS of Ukraine*, Kyiv, UA, pp. 86-87.
22. Andreeva, E.D., Baskina, V.A., Bogatkov, O.E. and et al. (1983), *Magmatic rocks. Classification, nomenclature, petrography*, Pt 1, Nauka, Moscow, RU, 367 p.
23. Polovko, N.I., Bondareva, N.M., Kostyuchenko, V.S., Melnichuk, E.V., Bogatyryev, V.F. and Ionis, G.I. (1978), *Zhelezisto-kremnistye formatsii Ukrainского schita*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, pp. 217-253.
24. Semenenko, N.P. (1966), *Metamorphism of the mobile belts*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 298 p.
25. Smirnyiy, V.V. (1968), *Materialy po petrografii i geologii mestorozheniy poleznyh iskopaemyh, Tr. VSEGEI, novaya seriya*, Vol. 121, Vyp. 1, Leningrad, RU, pp. 179-190.
26. Sukach, V.S. (1994), *Material composition and specific features of genesis of the carbon-bearing rocks of Precambrian of the western part of Ukrainian Shield*, Abstr. dis. cand. geol.-mineral. sci., Kyiv, UA, 26 p.
27. Travin, L.B. (1977), *Litologiya i poleznye iskopaemye*, No. 3, Moscow, RU, pp. 115-126.
28. Scherbakov, I.B. (1975), *Petrology of Precambrian rocks of the central part of Ukrainian Shield*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 279 p.
29. Yaroshchuk, M.A. (1983), *Iron-ore formations of Belaya Tserkov-Odessa metallogenic zones (western part of Ukrainian Shield)*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 224 p.
30. Yaroshchuk, M.A., Bogatyryev, V.F. and Epatko, Yu.M. (1982), *Geol. zhurn.*, Vol. 42, No. 3, Kyiv, UA, pp. 48-60.
31. Yaroshchuk, M.A., Bogatyryev, V.F. and Ionis, G.I. (1981), *Metamorphogenic ore formation of the low-temperature facies and ultra metamorphism*, Nauka, Moscow, RU, pp. 264-278.

Received 25.07.2018

*В.П. Кирилюк, М.І. Богданова, Е.І. Савіна*

Львівський національний університет імені Івана Франка

79005, м. Львів, Україна, вул. Грушевського, 4

E-mail: Kyrylyuk.V@i.ua

**ПЕТРОПАРАГЕНЕЗИСИ ТА МОЖЛИВА ПРИРОДА СУПЕРКРУСТАЛЬНИХ  
ФОРМАЦІЙ ПОБУЗЬКОГО ГРАНУЛІТОВОГО КОМПЛЕКСУ  
(ЗАХІДНА ЧАСТИНА УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА)**

Стаття 2. Петропарагенезиси суперкрустальних  
формацій і типоморфні ознаки петротипів

У попередній статті (Мінерал. журн. 2019. **41**, № 1. С. 60—70) показано, що в побузькому гранулітовому комплексі встановлено сім головних петропарагенезисів — кінцигітовий, ендербіто-гнейсовий, лейкогранулітовий, високоглиноземисто-кварцитовий, мрамур-кальцифіровий, кондалітовий і глиноземисто-базитовий, а також три другорядні петропарагенезиси: кальцифір-кристалосланцевий, магнетитвмісний і метабазит-метаультрабазитовий. Кожний петропарагенезис включає два-чотири петротипи. У цій статті надано опис характерних особливостей петротипів. Як найзручніші порівняльні ознаки петротипів використано: а) положення порід у системі  $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ ; б) співвідношення лугів; в) коефіцієнти М.П. Семененка; г) залізистість і глиноземистість, а для окремих груп порід ще й деякі інші співвідношення. Показано, що петропарагенезиси побузького комплексу чітко розрізняються не лише за набором петротипів, але й за характерними особливостями складу й будови порід, що їх презентують. Ці особливості дають змогу висловити припущення про їхню вихідну — вулканогенну чи літогенну — природу. Висновки є попередніми. Вони можуть бути уточнені й розширені під час розгляду походження петропарагенезисів в цілому і усього вихідного розрізу побузького комплексу. Такі загальні висновки наведено в третій, заключній статті цього циклу.

*Ключові слова:* гранулітовий комплекс, суперкрустальна формація, петропарагенезис, петротип, типоморфні ознаки.

*V.P. Kyrylyuk, M.I. Bogdanova, E.I. Savina*

Ivan Franko National University of Lviv

4, Grushevskogo Str., Lviv, Ukraine, 79005

E-mail: Kyrylyuk.V@i.ua

**PETROPARAGENESES AND POSSIBLE ORIGIN  
OF THE BUG AREA GRANULITE COMPLEX SUPERCrustal  
FORMATIONS (WESTERN PART OF UKRAINIAN SHIELD).**

Article 2. Petroparageneses of the supercrustal  
formations and typomorphic features of petrotypes

*Introduction.* In the previous article (*Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 41, No. 1, pp. 60-70) it was shown that seven main petroparageneses are found in the granulite complex: kinzigite, enderbite-gneiss, leucogranulite, high-aluminous-quartzite, marble-calciphyre, khondalite and aluminous-basite and three minor petroparageneses: calciphyrite-shale, magnetite-containing and metabasite-meta-ultrabasite. Each petroparagenesis includes two to four petrotypes. *Composition and typomorphic features of petrotypes.* This article describes the characteristic features of petrotypes. The most convenient features used to compare petrotypes are: a) position of rocks in the system  $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ ; b) the ratio of alkalis; c) M.P. Semenenko's factors; d) iron and aluminum content, and for some groups of rocks, there are also additional ratios. It is shown that the petroparageneses of the Bug Area complex is distinctly distinguished not only by the sets of its petrotypes, but also by the characteristic features of the composition and structure of the rocks representing them. These features allow us to make an assumption about their initial — volcanogenic or lithogenic — nature of petrotypes. The conclusions are preliminary. They can be refined and extended when considering the origin of petroparageneses in general and the entire initial section of the Bug Area complex in particular. Such general conclusions are given in the 3<sup>rd</sup>, final article.

*Keywords:* granulite complex, supercrustal formation, petroparagenesis, petrotype.