

УДК 55(477) + 551.22 + 550.4

А.В. Митрохин¹, Е.А. Вишневская¹, В.А. Гаценко²,
Т.В. Митрохина¹, И.И. Михальченко², Л.В. Шумлянский²

¹ Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
03022, г. Киев, Украина, ул. Васильковская, 90
E-mail: mitrokhin.a.v@yandex.ua; genyvishnevskia@mail.ru; tanussa@ukr.net

² Институт геохимии, минералогии и рудообразования
им. Н.П. Семеново НАН Украины
03680, г. Киев-142, Украина, пр. Акад. Палладина, 34
E-mail: vera.gatsenko@ukr.net; alcoldan@i.ua; lshumlyansky@yahoо.com

ПЕТРОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И РУДОНОСНОСТЬ УЛЬТРАМАФИТОВЫХ ДАЕК НОВОУКРАИНСКОГО ДАЙКОВОГО ПОЛЯ (ИНГУЛЬСКИЙ МЕГАБЛОК УКРАИНСКОГО ЩИТА)

Изучены необычные ультрамафитовые дайки, интрузирующие гранитоиды Новоукраинского плутона (НП) в пределах Ингульского мегаблока Украинского щита. Совместно с более многочисленными дайками долерит-диабазовой формации ультрамафиты формируют Новоукраинское дайковое поле (НДП), локализованное в юго-западной части НП на северо-западном окончании Бобринецкого дайкового пояса. С целью уточнения геологической позиции и формационной принадлежности ультрамафитов НДП, а также определения условий их формирования и потенциальной рудоносности авторы выполнили всестороннее изучение минералого-петрографических и геохимических особенностей дайковых пород с применением методов оптической и электронной микроскопии, электронно-зондового микроанализа, ICP-MS анализа и "мокрой" химии. Установлено, что в отличие от ассоциирующих с ними представителей долерит-диабазовой формации, ультрамафиты НДП подвержены интенсивным постмагматическим изменениям: актинолитизации, биотитизации и альбитизации. Локальные проявления щелочного натрового метасоматоза в ультрамафитах НДП авторы связывают с процессами формирования ураноносных альбититов, распространенных в районе исследований. На основании этого возраст ультрамафитовых даек ограничивается интервалом времени между внедрением НП (2,03—2,04 млрд лет) и формированием ураноносных альбититов (1,81 млрд лет). Характерный для субщелочных магм реликтовый парагенезис мафических и акцессорных минералов, а также целый ряд геохимических характеристик свидетельствуют об изначально повышенной щелочности ультрамафитов НДП. Наряду с более древним возрастом принадлежность к субщелочной серии и определяемая ею петрографическая специфичность ультрамафитов НДП позволяют идентифицировать их как представителей отдельного формационного типа, принципиально отличного от дайковых образований долерит-диабазовой формации и не связанного с ними единым процессом магматической эволюции. Выявленная Ti-V металлогеническая специализация ультрамафитовых даек может иметь определенное промышленное значение при условии "срабатывания" природного механизма гравитационного фракционирования ильменита и титаномагнетита, могущего иметь место в более крупных интрузивных телах.

Ключевые слова: петрология, дайковые породы, ультрамафиты, ультрабазиты, Украинский щит.

Введение. Среди дайковых образований, интрузирующих кристаллический фундамент Ингульского мегаблока (ИМБ) Украинского щита (УЩ), особое место занимают дайковые породы ультрамафитового состава. Они упомина-

ются в целом ряде научных публикаций. Наиболее пристальное внимание среди них обычно привлекали кимберлиты и лампроиты [2, 4, 8—11]. Что касается остальных ультрамафитов, обычно именуемых пикритами [2], пикритовыми порфиритами [3] или же не совсем удачно — лампрофирами [1, 7, 12], большинство исследователей ограничиваются лишь упоминанием об их присутствии среди дайковых по-

© А.В. МИТРОХИН, Е.А. ВИШНЕВСКАЯ,
В.А. ГАЦЕНКО, Т.В. МИТРОХИНА,
И.И. МИХАЛЬЧЕНКО, Л.В. ШУМЛЯНСКИЙ, 2016

род ИМБ. Разрозненные данные об их петрографии, минералогии и химизме, приводимые в публикациях [1–3, 7, 11, 12], не дают представления об особенностях вещественного состава и потенциальной рудоносности этих пород. Неполнота данных об условиях залегания ультрамафитовых даек ИМБ, которой грешат отдельные научные публикации, усугубляется отсутствием элементарных географических привязок. Это крайне затрудняет понимание их геологической позиции в структуре региона. В связи с этим, авторами статьи изучены ультрамафитовые дайковые породы, вскрытые глубокими буровыми скважинами КГЭ № 46 Казенного предприятия "Кировгеология" в пределах сложного Новоукраинского гранитоидного плутона, расположенного на территории ИМБ. Предварительные исследования позволили идентифицировать их как субщелочные пикриты, в разной мере измененные низкотемпературными постмагматическими процессами. Геологические условия залегания и специфика вещественного состава ультрамафитов Новоукраинского дайкового поля (НДП) вкратце освещены в предыдущей авторской публикации [5].

Цель данной статьи — уточнение геологической позиции и формационной принадлежности ультрамафитовых даек, обнаруженных на площади Новоукраинского плутона (НП), а также определение условий их формирования и потенциальной рудоносности.

Фактический материал и методология исследований. Ультрамафиты выявлены авторами в керне скв. 5642, 5691, 5709, 5714, 5930, 5973, 6041, 6046, 6047, 6049, 6056, 6073, 6127, 6164, пробуренных в районе сел Сотницкая Балка и Каменный мост Новоукраинского р-на Кировоградской обл. (рис. 1). Образцы керна были исследованы с применением оптической и электронной микроскопии, электронно-микронзондового анализа, а также методов "мокрой" химии и *ICP-MS* анализа. Первичное изучение обычных и прозрачно-полированных шлифов выполнено на поляризационных петрографических микроскопах "Полам РП-1" и "*Nikon eclipse LV100Pol*", оснащенных приставками для минераграфических исследований в отраженном свете. Далее прозрачно-полированные шлифы были изучены в лаборатории ННИ "Институт геологии" Киевского национального университета имени Тараса Шевченко на растровом электронном микроскопе-микроана-

лизаторе РЕММА-202 с энергодисперсионным рентгеновским спектрометром "*Link systems*". Это позволило уточнить минеральный состав ультрамафитов, диагностировать рудные и акцессорные минералы, а также изучить химизм и микроструктурные особенности главных породообразующих минералов. Химический состав ультрамафитов в отношении главных петрогенных компонентов определен с помощью методов "мокрой" химии в лаборатории Института геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семененко НАН Украины. Для изучения микроэлементного состава применен *ICP-MS* анализ, выполненный в Таллинском техническом университете (Эстония).

Геологическая позиция ультрамафитов НДП.

По данным буровых работ установлено, что ультрамафиты слагают маломощные, 1–3 м, дайковые тела, интродуцированные в гранитоиды Новоукраинского плутона (рис. 1). Залегание даек изменяется от наклонного до субгоризонтального. Простираение наклонных даек обычно северо-западное, иногда — субмеридиональное, падение может быть как северо-восточным, так и юго-западным. На дневной поверхности ультрамафитовые дайки нигде не обнажаются. В результате бурения установлено, что вмещающими породами для них служат гранитоиды новоукраинского комплекса (PR_1ni). U-Pb изотопный возраст цирконов из гранитоидов PR_1ni варьирует в диапазоне 2025–2038 млн лет [10]. Эти цифры определяют нижнюю возрастную границу для времени внедрения изучаемых ультрамафитовых даек. Ниже будет показано, что верхнюю возрастную границу для этих даек можно ограничить временем формирования ураноносных альбититов Партизанского месторождения, датированных [10] с применением U-Pb изотопного метода по ураниниту в 1808 ± 27 млн лет. Авторами установлено, что ультрамафитовые дайки совместно с изученными ранее более многочисленными дайками оливиновых долеритов и габбро-долеритов формируют Новоукраинское дайковое поле (НДП), локализованное в западной части одноименного гранитоидного плутона на северо-западном окончании Бобринецкого дайкового пояса (БДП). БДП представляет собой протяженный ареал дайкового магматизма, простирающийся в северо-западном направлении на расстояние более 100 км вдоль линии населенных пунктов Новый Буг — Бобринец — Новоукраинка — Глodosы, рас-

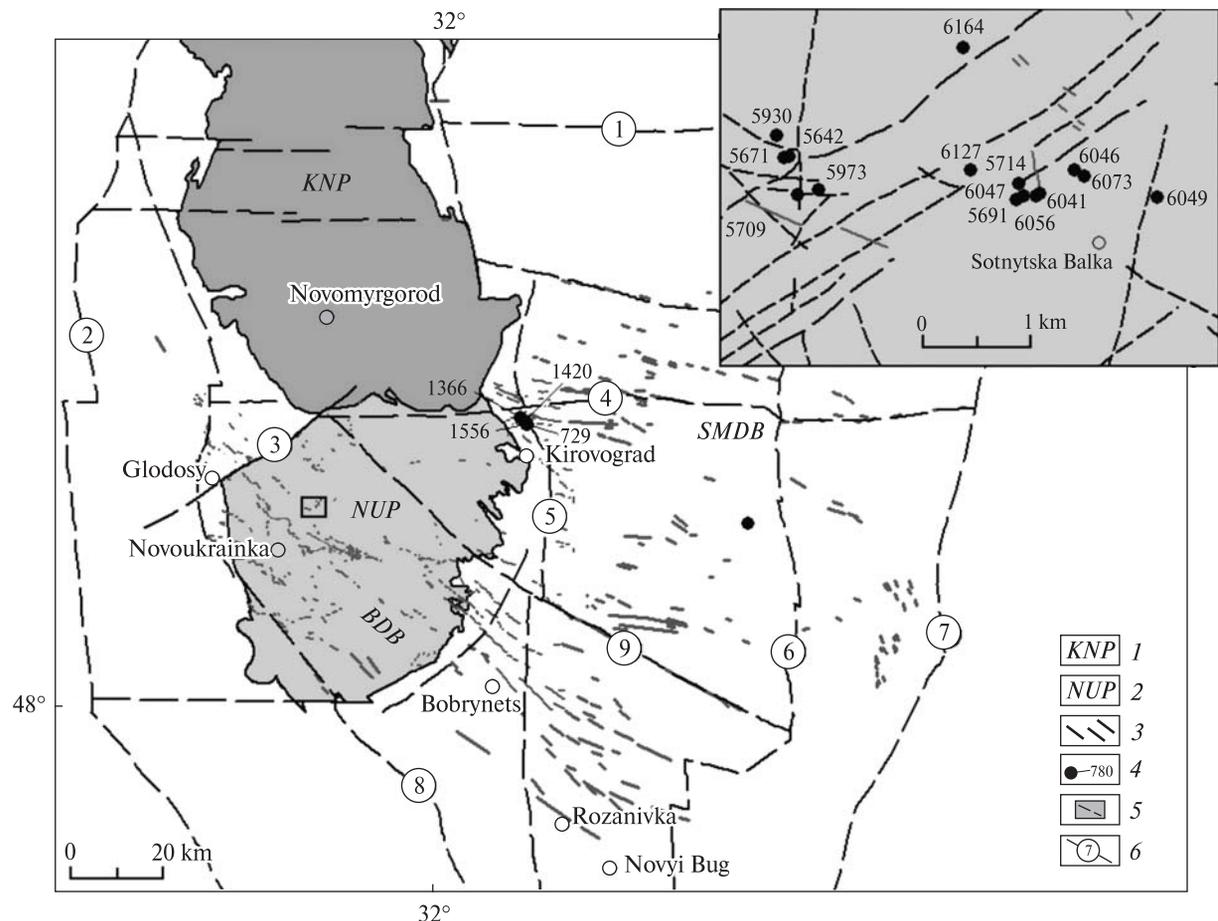


Рис. 1. Схема локализации ультрамафитовых даек Ингульского мегаблока Украинского щита: 1 — Корсунь-Новомиргородский плутон (PR_{1kn}); 2 — Новоукраинский плутон (PR_{1nu}); 3 — рои базит-ультрабазитовых даек (данные КП "Кировгеология"): SMDB — Субботско-Мошоринский дайковый пояс, BDB — Бобринецкий дайковый пояс; 4 — скважины, вскрывшие ультрамафитовые дайки и их номера; 5 — участок Новоукраинского дайкового поля, в пределах которого обнаружены ультрамафитовые дайковые породы, описанные в данной статье; 6 — глубинные разломы и их наименование (1 — Лукашевско-Тимошевский, 2 — Первомайский, 3 — Глодоский, 4 — Субботско-Мошоринский, 5 — Кировоградский, 6 — Западно-Ингулецкий, 7 — Криворожско-Кременчугский, 8 — Центральный, 9 — Долинский)

Fig. 1. Scheme for allocation of ultramafic dykes within the Ingul terrain of the Ukrainian Shield: 1 — Korsun-Novomyr-gorod Pluton (PR_{1kn}); 2 — Novoukrainka Pluton (PR_{1nu}); 3 — basic-ultrabasic dyke swarms (data of the GE "Kirov-geologiya"): SMDB — Subbotsi-Moshoryne Dyke Belt, BDB — Bobrynets Dyke Belt; 4 — boreholes that revealed the ultramafic dykes and their numbers; 5 — the part of the Novoukrainka dyke field within which the ultramafic dykes described in the article were revealed; 6 — deep faults and their names (1 — Lukashivka-Timoshivka, 2 — Pervomaysk, 3 — Glodosy, 4 — Subbotsi-Moshoryne, 5 — Kirovograd, 6 — West Ingulets, 7 — Kryvyi Rih-Kremenchug, 8 — Central, 9 — Dolyna)

положенных на территории Николаевской и Кировоградской областей Украины. Распространение и ориентация даек БДП контролируются Долинским и Центральным глубинными разломами. В распределении даек наблюдается неоднородность: на отдельных участках Бобринецкого пояса они концентрируются в дайковые поля, наиболее крупные среди которых — Розановское и Новоукраинское. Широко развитые в пределах этих полей дайки оливи-

новых долеритов и габбро-долеритов в предыдущей авторской публикации [5] идентифицированы как гипабиссальные представители долерит-диабазовой формации докембрия ИМБ УЩ, относящиеся к толеитовой серии, являющейся палеоаналогом континентальной плато-базальтовой (трапповой) ассоциации фанерозоя. Формационная принадлежность ультрамафитовых даек НДП, а также их возрастные и генетические взаимоотношения с представи-

телями долерит-диабазовой формации ИМБ до сих пор оставались невыясненными.

Минералого-петрографическая характеристика ультрамафитов НДП. Изучение шлифов по ультрамафитовым дайковым породам НДП позволило выделить среди них две разновидности: 1) ультрамафиты, умеренно измененные постмагматическими процессами и сохранившие реликтовые минеральные парагенезисы, а также реликтовую микроструктуру магматических пород; 2) ультрамафиты, подвергшиеся значительным постмагматическим изменениям. Палеотипный облик ультрамафитов НДП резко контрастирует с обычной кайнотипностью соседствующих с ними представителей долерит-диабазовой формации.

Образцы *ультрамафитов, умеренно измененных* постмагматическими процессами, были выявлены в керне скв. 6041, 6047, 6049 и 6127. В предыдущей авторской публикации [5] они идентифицированы как субщелочные пикриты. Это темные зеленовато-серые мелкозернистые породы массивного сложения, внешне напоминающие диабазы. Однако, в отличие от последних, они имеют ультрамафитовый состав, т. е. более чем на 90 % слагаются мафическими минералами (табл. 1). В лупу видно, что основную массу слагает агрегат удлиненно-призматических или игольчатых кристаллов зеленоватого амфибола размером от 0,1—0,5 до 1—1,5 мм. На их фоне также различимы столбчатые зерна темно-коричневого пироксена размером 0,2—2 мм. Спорадически присутствуют мелкие вкрапления сульфидов. Микроскопическими исследованиями установлено, что, несмотря на постмагматические преобразования, ультрамафиты сохраняют реликтовые микропорфировые и микролитовые структуры (рис. 2). Первично-магматический минераль-

ный парагенезис в них представлен фенокристами клинопироксена и флогопита, а также микролитами керсутита, ильменита, титаномагнетита и апатита.

Клинопироксен присутствует в образцах ультрамафитов из скв. 6041, 6047, 6049 и 6127. Его количественное содержание, 3—10 %, очевидно, занижено в полтора—два раза по причине частичной амфиболизации, а также вследствие механического выкрашивания части зерен в процессе изготовления шлифов. Обычно клинопироксен кристаллизуется в виде идиоморфных фенокристов столбчатого габитуса размером от 0,3 × 1 до 0,5 × 2 мм. Присутствуют также менее правильные фрагментированные зерна. И первые, и вторые частично замещаются волокнистым агрегатом бесцветного актинолита, насыщенным тонкодисперсной вкрапленностью сфена. В проходящем свете клинопироксен имеет характерную розовато-коричневую окраску, плеохроизм не заметен. В скрещенных николях цвета интерференции до синего второго порядка, $N_g - N_p = 0,020$, угол угасания $cN_g = 44^\circ$. В разрезах, перпендикулярных [001], наблюдается зональное угасание. С помощью микрозондового анализа установлено, что клинопироксены в изученных образцах ультрамафитов характеризуются относительно постоянным составом — это салиты $Wo_{45-48}En_{35-40}Fs_{14-19}$. От клинопироксенов из дайковых пород долерит-диабазовой формации они отличаются заметно более высокой известковистостью (рис. 3). При этом точки состава салитов концентрируются за пределами трендов, установленных для клинопироксенов из пород толеитовой серии. Несколько необычно, как для салита, высокое содержание TiO_2 (2—5 %) и Al_2O_3 (5—7 %) с максимальными значениями в центральной

Таблица 1. Минеральный состав ультрамафитов НДП

Таблица 1. Modal composition of ultramafic dyke rocks of NDF

Sample (depth, m)	6041 (407—413)	6047 (450—461)	6049 (412—421)	6127-1 (67—75)	6127-2 (67—75)
S, mm ²	296	380	267	367	236
<i>Mineral mode, %</i>					
Pyroxene	5.6	8.2	3.0	10.4	7.6
Actinolite	40.2	23.4	41.2	31.1	41.5
Biotite	38.9	25.8	37.1	36.8	30.9
Fe-Ti oxides	11.0	16.8	13.5	9.5	9.8
Albite	0.2	15.3	1.5	5.4	1.7
Other	4.1	10.5	3.7	6.8	8.5

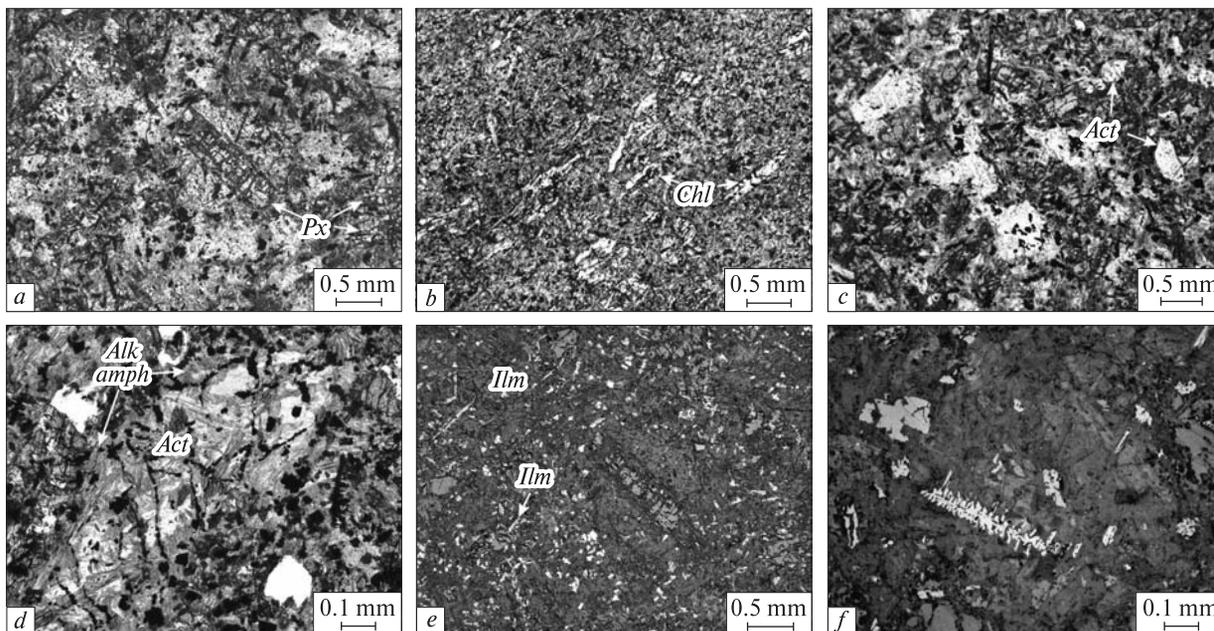


Рис. 2. Петрографические особенности ультрамафитов Новоукраинского дайкового поля. Реликтовая микропорфировая структура: а — длиннопризматические фенокристы клинопироксена в биотит-амфиболовой массе ультрамафита, скв. 6127, гл. 67—75 м; б — псевдоморфозы хлорита, предположительно развивающиеся по фенокристам Fe-Mg слюды, подчеркивают флюидальную текстуру ультрамафита, скв. 6046, гл. 349—363 м; в — псевдоморфозы актинолита по фенокристам неопознанного мафического минерала, скв. 6127, гл. 67—75 м; д — щелочной амфибол, кристаллизующийся в краевой части актинолитовых псевдоморфоз, скв. 6049, гл. 412—421 м; е, ф — реликтовая микролитовая структура основной массы ультрамафита распознается благодаря многочисленным скелетным микрокристаллам ильменита, скв. 6127, гл. 67—75 м. Фото шлифов под поляризационным микроскопом: а — д — проходящий свет, е, ф — отраженный свет

Fig. 2. Petrography of the Novoukrainka dyke field ultramafites. The relic microporphyratic texture: a — elongated prismatic phenocrysts of the monoclinic pyroxene, borehole No 6127, depth 67—75 m; b — the chlorite pseudomorph presumably after the Fe-Mg mica phenocrysts that stressed the fluidal structure of the ultramafite, borehole No 6046, depth 349—363 m; c — the actinolite pseudomorph after the phenocrysts of unidentified mafic minerals, borehole No 6127, depth 67—75 m; d — alkaline amphibole that crystallized at the marginal part of the actinolite pseudomorph, borehole No 6049, depth 412—421 m; e, f — relic microlitic texture of the ground mass of ultramafite that recognized because of numerous skeletal microcrystals of ilmenite, borehole No 6127, depth 67—75 m. The photos are taken under polarizing microscope: a — d — transparent light, e, f — reflected light

части зерен и минимальными — по периферии (табл. 2). Отметим, что высокая титанность клинопироксенов служит индикаторным признаком магматических пород повышенной щелочности. На принадлежность ультрамафитов НДП к субщелочной серии так-

же указывает присутствие в них фенокристов флогопита.

Перекристаллизованные фенокристы флогопита присутствуют в образцах ультрамафитов из скв. 6041, 6047, 6049. Таблитчатые выделения хлорита, наблюдаемые в интенсивно

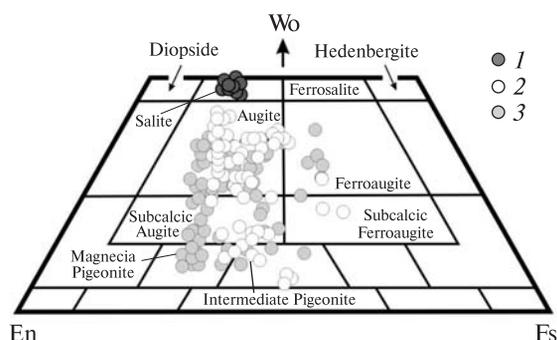


Рис. 3. Химический состав пироксенов из дайковых пород Ингульского мегаблока Украинского щита: 1 — пироксены из ультрамафитов Новоукраинского дайкового поля; 2, 3 — пироксены из дайковых пород долерит-диабазовой формации (2 — Новоукраинское дайковое поле, 3 — Розановское дайковое поле)

Fig. 3. Chemical composition of pyroxenes from dyke rocks of the Ingul terrain of the Ukrainian Shield: 1 — pyroxenes from ultramafites of the Novoukrainka dyke field; 2, 3 — pyroxenes from dyke rocks related to the dolerite-d diabase association (2 — Novoukrainka dyke field, 3 — Rosanivka dyke field)

измененном ультрамафите из скв. 6046 и придающие ему бластопорфировую структуру, очевидно, также образовались как псевдоморфозы по флогопиту. Содержание флогопитовых фенокристов во всех перечисленных случаях не превышает 10 %. Их первичная таблитчатая форма обычно в той или иной мере искажена деформациями, сопровождавшимися частичной перекристаллизацией фенокристов и образованием по ним бластопорфировых агрегатов флогопита. Судя по величине таких агрегатов, размер исходных вкрапленников флогопита мог достигать 1—1,5 мм. В то же время размер новообразованных индивидов флогопита, слагающих агрегат, составляет всего 0,1—0,5 мм. Тонкая сеть прожилков, сложенных мелкокристаллическим агрегатом оксидов железа, обычно наблюдаемая внутри бластопорфировых скоплений, очевидно, сви-

детельствует о нарушении первичного химического состава фенокристов флогопита. На это же может указывать наблюдаемое в отдельных образцах выделение новообразованного щелочного амфибола и сфена в непосредственной близости от флогопитовых агрегатов. Под микроскопом в проходящем свете флогопит окрашен в бледный зеленоватый цвет, что отличает его от Fe-Mg слюд, развитых в основной массе ультрамафитов. Микронзондовый анализ показал, что химический состав флогопита из бластопорфировых агрегатов обр. 6049 характеризуется умеренной железистостью ($X_{\text{Fe}} = 0,26—0,28$) и низкой титанистостью.

Первичный оливин ни в одном из изученных образцов ультрамафитов НДП не обнаружен. Однако во многих шлифах присутствуют своеобразные спутанно-волокнистые агрегаты актинолита, псевдоморфно замещающие фе-

Таблица 2. Представительные микронзондовые анализы пироксенов из ультрамафитов НДП

Table 2. Representative electron microprobe analyses of pyroxenes from ultramafic dyke rocks of NDF

Sample	6049						6127						6127n			
	13*	15	17*	18	20*	21	1*	3	10*	16	19*	22	19*	23	26*	28
<i>Weight percents</i>																
SiO ₂	45.11	46.27	43.33	45.12	42.97	45.17	44.79	47.09	43.16	45.82	45.19	45.51	45.60	45.83	45.43	45.64
TiO ₂	3.23	1.93	5.23	2.74	5.40	3.39	4.32	2.20	4.62	2.88	3.86	2.68	3.25	2.85	3.28	2.16
Al ₂ O ₃	5.77	5.31	6.96	5.83	6.82	5.93	6.06	5.85	7.59	6.33	6.12	6.59	5.48	5.51	5.77	5.77
FeO	10.52	11.75	9.97	11.07	9.89	10.71	8.89	9.75	9.38	10.13	9.04	10.15	9.47	9.57	8.84	10.05
MnO	0.14	0.18	0.05	0.20	0.14	0.17	0.15	0.21	0.21	0.17	0.04	0.05	—	0.20	0.15	0.07
MgO	12.56	12.39	12.06	12.77	11.89	11.94	13.11	12.51	12.77	12.42	13.34	12.44	13.39	13.22	13.24	13.12
CaO	22.67	22.04	22.41	22.27	22.72	22.68	22.44	22.30	21.99	22.18	22.36	22.18	22.78	22.82	23.23	22.96
Na ₂ O	—	0.13	—	—	0.18	—	0.24	0.09	0.28	0.07	0.04	0.40	0.04	—	0.07	0.23
<i>Formula units on 6 atoms of oxygen</i>																
Na	—	0.010	—	—	0.013	—	0.018	0.007	0.021	0.005	0.003	0.030	0.003	—	0.005	0.017
Ca	0.927	0.902	0.916	0.912	0.932	0.928	0.912	0.903	0.897	0.902	0.907	0.903	0.926	0.928	0.944	0.937
Mg	0.715	0.706	0.686	0.727	0.678	0.680	0.741	0.705	0.725	0.703	0.753	0.705	0.758	0.748	0.749	0.745
Mn	0.005	0.006	0.002	0.006	0.005	0.006	0.005	0.007	0.007	0.005	0.001	0.002	—	0.006	0.005	0.002
Fe	0.336	0.375	0.318	0.354	0.317	0.342	0.282	0.308	0.299	0.321	0.286	0.323	0.301	0.304	0.280	0.320
Ti	0.093	0.056	0.150	0.079	0.155	0.097	0.123	0.062	0.132	0.082	0.110	0.077	0.093	0.081	0.094	0.062
Al	0.260	0.239	0.313	0.263	0.308	0.267	0.271	0.261	0.340	0.283	0.273	0.295	0.245	0.246	0.258	0.259
Si	1.722	1.768	1.654	1.724	1.645	1.725	1.699	1.779	1.643	1.739	1.711	1.729	1.731	1.740	1.723	1.738
Total	4.058	4.062	4.039	4.065	4.053	4.045	4.051	4.032	4.064	4.040	4.044	4.064	4.057	4.053	4.058	4.080
<i>Compounds, %</i>																
Wo	46.7	45.3	47.7	45.6	48.2	47.4	47.0	47.0	46.5	46.7	46.6	46.7	46.6	46.7	47.7	46.8
En	36.1	35.5	35.7	36.4	35.1	34.8	38.2	36.7	37.6	36.4	38.7	36.5	38.2	37.7	37.9	37.2
Fs	17.2	19.2	16.6	18.0	16.7	17.8	14.8	16.4	15.9	16.9	14.7	16.8	15.2	15.6	14.4	16.1

Примечание. В нумерации образцов отражены номер скважины и глубина отбора, звездочкой отмечены анализы ядерных частей зерен.

Note. Numbers of boreholes and sampling depths are reproduced in the sample numeration. Grain core analyses are marked with asterisks.

нокристы какого-то мафического минерала (рис. 2, а). Идиоморфная короткопризматическая форма таких псевдоморфоз с хорошо различимыми шестиугольными сечениями весьма характерна для порфировых вкрапленников оливина. Микроскопическая вкрапленность оксидов и сульфидов железа, неоднородно распределяясь в объеме псевдоморфоз, придает им подобие петельчатой микроструктуры, свойственной оливинам. Необходимо отметить, что замещение оливина актинолитом — это достаточно необычное явление. Как известно, магниезальные оливины, характерные для многих ультрамафитовых пород, под действием насыщенных кремнеземом гидротермальных растворов в большинстве случаев замещаются водными силикатами магна — серпентином или тальком. Для замещения же оливина актинолитом, кроме привнесения воды и кремнезема, как минимум необходим значительный

привнос СаО. Или же замещению подвергся кальциевый представитель группы оливина — монтичеллит. Безусловно, нельзя исключать развитие актинолита по Са-Мg-Fe пироксенам или амфиболам, но морфология актинолитовых псевдоморфоз заметно отличается от присутствующих в шлифах салитов и керсутитов. Кроме того, достаточно часто актинолитовые псевдоморфозы ассоциируют со слабоизмененным клинопироксеном и даже образуют в нем идиоморфные включения.

Основная масса ультрамафитов сложена мелкокристаллическим лепидонематобластовым агрегатом новообразованных лучистых амфиболов и Fe-Mg слюд. К новообразованным минералам, очевидно, также принадлежат спорадически рассеянные в основной ткани выделения альбита, хлорита, сфена, кальцита, пирита и магнетита. Несмотря на сильную перекристаллизацию, в отдельных образцах ультрама-

Таблица 3. Представительные микрозондовые анализы керсутитовых амфиболов из ультрамафитов НДП
Table 3. Representative electron microprobe analyses of kaersutite amphiboles from ultramafic dyke rocks of NDF

Sample	6127n													
Spot	1	2	4	5	6	7	9	10	11	12	13	15	16	17
<i>Weight percents</i>														
SiO ₂	38.41	38.58	38.1	39.06	37.46	38.35	37.91	37.44	38.53	37.99	38.29	37.82	36.89	38.04
TiO ₂	5.66	5.16	6.87	6.03	6.86	5.02	6.34	6.3	5.99	6.71	5.5	5.28	6.11	5.52
Al ₂ O ₃	12.56	12.88	12.64	11.49	12.95	13.1	12.45	13.67	12.75	13.39	12.54	13.28	13.19	13.86
FeO	17.26	17.27	16.44	17.38	18.88	19.09	17.92	19.68	18.98	17.87	19.76	18.3	19.41	18.41
MnO	0.12	0.09	0	0.24	0.22	0.14	0.07	0.32	0.14	0.07	0.34	0.07	0.07	0.2
MgO	10.12	10.63	10.82	10.66	8.68	9.15	10.05	8.31	8.88	9.16	8.58	9.64	8.7	8.83
CaO	13.27	12.74	12.25	12.72	12.74	12.52	12.4	11.51	12.58	12.64	12.77	12.84	13.07	12.83
Na ₂ O	1.38	1.7	1.83	1.5	1.16	1.49	1.8	1.27	1.19	0.97	1.09	1.76	1.35	1.22
K ₂ O	1.22	0.95	1.05	0.93	1.06	1.14	1.07	1.49	0.95	1.21	1.11	1.01	1.2	1.1
<i>Formula units on 23 atoms of oxygen</i>														
Si	5.733	5.699	5.626	5.786	5.610	5.711	5.640	5.568	5.738	5.646	5.734	5.640	5.557	5.667
Al ^{IV}	2.210	2.242	2.200	2.006	2.286	2.289	2.183	2.396	2.238	2.345	2.213	2.334	2.342	2.333
Al ^{VI}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.101
Ti	0.635	0.573	0.763	0.672	0.773	0.562	0.709	0.705	0.671	0.750	0.620	0.592	0.692	0.619
Fe ³⁺	0.177	0.515	0.425	0.436	0.319	0.511	0.442	0.740	0.405	0.329	0.453	0.398	0.314	0.337
Fe ²⁺	1.978	1.619	1.605	1.717	2.046	1.867	1.787	1.708	1.959	1.892	2.021	1.884	2.131	1.957
Mn	0.015	0.011	0.000	0.030	0.028	0.018	0.009	0.040	0.018	0.009	0.043	0.009	0.009	0.025
Mg	2.252	2.341	2.382	2.354	1.938	2.031	2.229	1.842	1.971	2.029	1.915	2.143	1.954	1.961
Ca	2.122	2.016	1.938	2.019	2.044	1.998	1.977	1.834	2.007	2.013	2.049	2.051	2.110	2.048
Na	0.399	0.487	0.524	0.431	0.337	0.430	0.519	0.366	0.344	0.279	0.316	0.509	0.394	0.352
K	0.232	0.179	0.198	0.176	0.203	0.217	0.203	0.283	0.180	0.229	0.212	0.192	0.231	0.209
Total	17.754	17.682	17.660	17.625	17.584	17.645	17.699	17.483	17.531	17.521	17.577	17.752	17.735	17.610
Mg/(Mg + Fe ²⁺)	0.53	0.59	0.60	0.58	0.49	0.52	0.55	0.52	0.50	0.52	0.49	0.53	0.48	0.50

фитов НДП основная масса может сохранять реликтовую микролитовую структуру с первично-магматическими микролитами керсутита, ильменита, титаномагнетита, хромшпинелида и апатита. По результатам микронзондового исследования выявлены акцессорные концентрации пирротина, халькопирита, пентландита, циркона, бадделеита и монацита. Содержание последних трех минералов, а также концентрация апатита в несколько раз превышают наблюдаемые в породах долерит-диабазовой формации.

Керсутит обнаружен лишь в двух образцах ультрамафитов из скв. 6127. Несмотря на низкое содержание (менее 1 %), само его присутствие еще раз подтверждает повышенную щелочность ультрамафитов НДП. Керсутит кристаллизуется в основной массе ультрамафитов в виде длиннопризматических микролитов размером от $0,05 \times 0,5$ до $0,1 \times 0,7$ мм, а также формирует монокристаллические оболочки вокруг фенокристов клинопироксена. Часто индивиды керсутита сами окружены венцовыми оболочками бесцветного актинолита. В шлифах при выключенном анализаторе керсутит окрашен и плеохроирует в обычных для этого амфибола красно-коричневых тонах. В скрещенных николях он обнаруживает высокое двупреломление $N_g - N_p = 0,028$ и косое угасание с углами $cNg = 10 - 12^\circ$. Согласно данным микронзондового анализа, изученные керсутиты отличаются умеренной титанистостью, высокой глиноземистостью и пониженной щелочностью (табл. 3). При этом они характеризуются повышенной железистостью, занимая на классификационной диаграмме (рис. 4) промежуточное положение между полями керсутита и феррокерсутита.

Ильменит заметно преобладает среди рудных минералов ультрамафитов НДП. Во многих образцах его содержание достигает 10 % и выше. Однако микроскопические размеры зерен, $0,1 - 0,4$ мм, несколько снижают промышленную ценность этого минерала. Причудливая скелетная форма кристаллов ильменита (рис. 2, e), очевидно, указывает на быструю кристаллизацию, обусловленную переохладением расплава, что свойственно магматическим образованиям эффузивной и гипабиссальной фаций. Причем именно эта своеобразная "микролитовая" морфология ильменита позволяет идентифицировать субвулканические и гипабиссальные дайковые породы даже в наиболее измененных образцах. С помощью

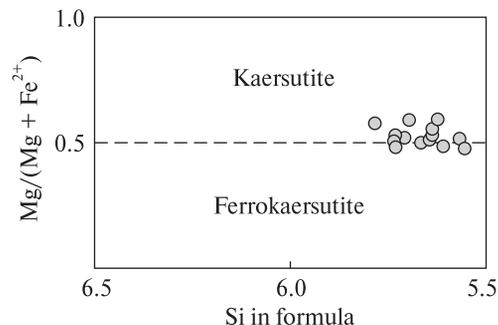


Рис. 4. Химический состав керсутитовых амфиболов из ультрамафитов Новоукраинского дайкового поля

Fig. 4. Chemical composition of the kaersutite amphiboles from ultramafites of the Novoukrainka dyke field

микронзондового анализа установлен состав изученных ильменитов: $\text{Pm}_{81-88}\text{Hem}_{8-16}\text{Py}_{3-4}$ (табл. 4). Их характерная особенность — высокое содержание гематитового минала и низкое — гейкилитового (<1 %).

Титаномагнетит — второй по распространенности рудный минерал ультрамафитов НДП. Он кристаллизуется в основной массе ультрамафитов, образуя идиоморфные микрокристаллы, а также скелетные микролиты размером $0,1 - 0,2$ мм. Для них характерно относительно однородное внутреннее строение без видимых структур распада. При этом химический состав изученных титаномагнетитов характеризуется достаточно высоким содержанием ульвошпинелевого минала — 25—57 % (табл. 5). Кроме титаномагнетита выявлен хромжелезистый шпинелид, требующий дальнейшего изучения.

Апатит — наиболее характерный акцессорный минерал ультрамафитов НДП. Его игольчатые микролиты размером $0,005 \times (0,1 - 0,2)$ мм неоднородно распределены в основной массе породы в виде многочисленных микроскопических включений в других минералах. При этом они явно тяготеют к скоплениям альбита и новообразованных Fe-Mg слюд.

Лучистые амфиболы актинолитового ряда — доминирующие новообразованные минералы в основной массе большинства образцов ультрамафитов НДП. По своим кристаллооптическим характеристикам они в целом подобны актинолиту, замещающему описанные выше фенокристы мафитовых минералов. В проходящем свете актинолит основной массы бесцветен или окрашен в бледно-зеленый оттенок. Обычная форма его выделений — это длиннопризматические до игольчатых кристаллы,

собранные в параллельно- и спутанно-волоконистые агрегаты. Часто они обнаруживают признаки механических деформаций, проявляющиеся в изгибе и расщеплении кристаллов. Результаты микрозондового анализа актиноли-

тов обычно указывают на незначительную примесь Al_2O_3 , Na_2O , K_2O и TiO_2 . В образцах ультрамафитов из скв. 6047 и 6049 наряду с актинолитом выявлены также щелочные Na-Ca амфиболы рихтеритового ряда. От актинолита

Таблица 4. Представительные микрозондовые анализы ильменитов из ультрамафитов НДП
Table 4. Representative electron microprobe analyses of ilmenites from ultramafic dyke rocks of NDF

Sample	6127										
Spot	23	24	25	32	38	39	40	42	44	45	46
<i>Weight percents</i>											
TiO ₂	48.22	47.31	46.2	44.9	46.83	45.29	46.17	48.15	46.65	47.77	44.45
Al ₂ O ₃	0.16	0.14	—	—	0.24	0.09	0.05	—	0.07	0.23	—
FeO	49	50.38	51.1	52.93	50.41	52.23	51.59	49.65	51.05	49.42	53.55
MnO	1.68	1.6	1.83	1.43	1.65	1.63	1.61	1.63	1.62	1.66	1.46
MgO	0.19	—	0.17	—	0.04	0.28	—	—	0.09	0.13	—
<i>Formula units on 3 atoms of oxygen</i>											
Fe ²⁺	0.875	0.867	0.830	0.820	0.851	0.811	0.838	0.880	0.848	0.867	0.809
Mn	0.036	0.034	0.039	0.030	0.036	0.034	0.034	0.035	0.035	0.036	0.031
Mg	0.007	—	0.007	—	0.002	0.010	—	—	0.003	0.005	—
Ti	0.917	0.898	0.876	0.853	0.890	0.855	0.876	0.915	0.884	0.908	0.842
Fe ³⁺	0.161	0.197	0.247	0.297	0.214	0.286	0.250	0.169	0.228	0.178	0.318
Al	0.005	0.004	—	—	0.008	0.003	0.002	—	0.002	0.007	—
<i>Compounds, %</i>											
Ilm	87.7	86.8	83.0	82.1	85.5	81.2	84.0	88.0	84.8	87.0	81.0
Hem	8.0	9.9	12.4	14.8	10.7	14.3	12.5	8.5	11.4	8.9	15.9
Gk	0.7	—	0.7	—	0.2	1.0	—	—	0.3	0.5	—
Py	3.6	3.4	3.9	3.0	3.6	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.1

Таблица 5. Представительные микрозондовые анализы титаномагнетитов из ультрамафитов НДП
Table 5. Representative electron microprobe analyses of Ti-magnetites from ultramafic dyke rocks of NDF

Sample	6127													
Spot	48	49	50	51	52	53	58	64	66	70	71	72	73	77
<i>Weight percents</i>														
TiO ₂	20.65	14.67	17.31	13.58	19.61	18.36	15.18	17.34	17.65	9.67	16.45	17.73	18.5	19.59
Al ₂ O ₃	—	0.01	0.24	0.19	0.07	0.02	0.15	0.29	0.11	0.15	—	0.11	0.44	0.01
FeO	78.07	83.56	80.97	85.26	79.19	80.02	83.4	81.03	80.99	88.44	81.92	80.79	78.66	79.04
MnO	0.7	0.35	0.42	0.22	0.39	0.55	0.22	0.39	0.41	0.11	0.55	0.59	0.32	0.51
MgO	—	0.34	0.24	—	—	0.3	—	0.12	—	0.49	0.32	—	0.7	0.04
<i>Formula units on 4 atoms of oxygen</i>														
Fe ²⁺	1.548	1.373	1.452	1.367	1.534	1.471	1.413	1.460	1.474	1.235	1.418	1.471	1.462	1.521
Mn	0.022	0.011	0.013	0.007	0.012	0.018	0.007	0.012	0.013	0.003	0.017	0.018	0.010	0.016
Mg	—	0.019	0.013	—	—	0.017	—	0.007	—	0.027	0.017	—	0.039	0.003
Ti	0.572	0.405	0.478	0.374	0.543	0.508	0.420	0.479	0.489	0.266	0.454	0.491	0.512	0.544
Fe ³⁺	0.857	1.191	1.033	1.243	0.908	0.987	1.153	1.029	1.019	1.462	1.094	1.015	0.958	0.916
Al	—	0.001	0.010	0.008	0.003	0.001	0.007	0.012	0.005	0.007	—	0.005	0.019	0.001
<i>Compounds, %</i>														
Usp	56.7	39.2	47.1	37.4	54.2	49.4	42.0	47.5	48.6	25.2	44.0	48.7	49.5	53.8
Mt	43.3	59.9	52.3	62.6	45.8	49.7	58.0	52.1	51.4	73.5	55.1	51.3	48.5	46.1

они отличаются окраской в одном николе, а также целым рядом других кристаллооптических характеристик. Под микроскопом в проходящем свете рихтерит плеохроирует от светло-синего по *Nr* до почти бесцветного по *Lg*. Некоторые окрашенные кристаллы обнаруживают зональность — светло-синяя окраска в центре переходит в бесцветную на периферии. В скрещенных николях рихтерит демонстрирует заметную дисперсию осей индикатрисы. В некоторых кристаллах наблюдаются полисинтетические двойники. Удлинение может быть как положительным, так и отрицательным, угасание косое под углом 15°. Судя по характеру выделений, кристаллизация рихтерита происходила позже актинолита. Само же его присутствие свидетельствует о наложенных процессах щелочного натрового метасоматоза, которым подверглись ультрамафиты НДП.

Новообразованные Fe-Mg слюды, развитые в основной массе ультрамафитов, представлены биотитом. Как правило, их количественное содержание уступает содержанию лучистых амфиболов. В отличие от фенокристов флогопита, биотит имеет более густую окраску в одном николе с заметным плеохроизмом в желтовато- или же зеленовато-коричневых тонах. Некоторая неоднородность окраски связана либо с наличием плеохроичных оболочек вокруг микровключений акцессориев, либо с частичным замещением гидрослюдами и хлоритом. Обычная форма выделения новообразованного биотита — мелкочешуйчатые агрегаты, развивающиеся в промежутках между волокнами амфибола, а также выполняющие микротрещины в фенокристах пироксена. Кроме них в ассоциации с альбитом кристаллизуются микроскопические пластинчатые индивиды густо плеохроирующей зеленовато-коричневой слюды.

Альбит в образцах ультрамафитов, умеренно измененных постмагматическими процессами, присутствует в ограниченном количестве. Его спорадические ксеноморфные зерна насыщены обильными микровключениями амфиболов, Fe-Mg слюд, сфена, рудных минералов и апатита. По данным микрозондового анализа, химический состав альбита из обр. 6127n—65,0 соответствует $Ab_{89-93}Or_{1-2} \times An_{6-9}$. В обр. ультрамафита 6049—412,0 альбит более натровый $Ab_{93-97}Or_{2-5}An_{1-2}$, что согласуется с присутствием в этой породе щелочного амфибола — рихтерита.

Образцы ультрамафитов с наиболее значительными постмагматическими изменениями установлены в керне скв. 5642, 5691, 5709, 5714, 5930, 5973, 6046, 6056, 6073, 6164. Эти породы практически утрачивают первичный минеральный состав, хотя в той или иной степени могут сохранять реликтовые порфиоровые и микролитовые микроструктуры. Новообразованные актинолит и биотит формируют лепидонематобластовую структуру основной ткани. В образцах ультрамафитов из скв. 6056, 6073 и 6164 заметно больше, чем во всех остальных, развивается альбитизация. Помимо основной ткани мелкокристаллический альбит и актинолит местами выполняют тонкие линейные трещины, пересекающие керн. А в ультрамафите из скв. 6056 совместно с альбитом и актинолитом присутствует щелочной амфибол, подобный рихтериту, описанному в образцах из скв. 6047 и 6049. Ильменит в процессе постмагматических изменений уступает место сфену. При этом весьма характерны своеобразные псевдоморфозы сфена, сохраняющие первичную форму скелетных кристаллов ильменита.

Таблица 6. Химические анализы ультрамафитов НДП
Table 6. Chemical analyses of ultramafic dyke rocks of NDF

Sample	6047	6049	6127-1	6127-2	6046
SiO ₂	39.55	40.14	40.56	39.92	38.79
TiO ₂	4.05	6.04	6.24	3.48	4.96
Al ₂ O ₃	10.65	6.38	7.47	9.56	8.45
Fe ₂ O ₃	12.83	9.88	4.22	3.62	13.03
FeO	4.9	5.43	12.08	12.24	3.72
MnO	0.19	0.19	0.21	0.2	0.2
MgO	13.04	16.95	15.7	16.16	15.42
CaO	6.83	5.56	6.41	7.28	6.2
Na ₂ O	1.45	0.6	0.83	0.42	0.6
K ₂ O	3	4.2	2.41	2.4	2.4
P ₂ O ₅	0.31	0.24	0.21	0.29	0.2
S	0.08	0.02	0.26	0.16	0.02
H ₂ O ⁻	0.36	1.19	0.72	0.23	1.76
LOI	3.11	2.92	3.11	3.69	4.14
Total	100.35	99.74	100.43	99.65	99.89

Примечание. Обр. 6047, 6049, 6127-1, 6127-2 представляют ультрамафиты, умеренно измененные постмагматическими процессами. Обр. 6046 подвергся значительным постмагматическим изменениям.

Note. The samples 6047, 6049, 6127-1, 6127-2 represent the moderately altered by postmagmatic processes ultramafic rocks. The sample 6046 was affected by substantial postmagmatic alteration.

Геохимические особенности ультрамафитов НДП. Валовый химический состав наименее измененных образцов ультрамафитов НДП соответствует ультраосновным породам с содержанием кремнезема 39,6—40,6 % (табл. 6). В отличие от типичных представителей гипабиссальных ультраосновных пород нормального ряда — пикритов, они характеризуются повышенной щелочностью (2,8—4,8 %) с заметным преобладанием K_2O над Na_2O . При этом все анализы ультрамафитов НДП в той или иной степени недосыщены кремнеземом, пересчет на *CIPW*-нормы дает от 19 до 36 % нормативного оливина. Но лишь в двух обр. 6047 и 6049 рассчитывается нормативный нефелин. Правда его низкое содержание, 1—2 %, а также низкий коэффициент агпаитности, $(K + Na)/Al = 0,53—0,87$, не позволяют даже эти породы отнести к щелочной серии. Следует отметить, что первичные отношения $SiO_2/(K_2O + Na_2O)$, $(K + Na)/Al$ и K_2O/Na_2O даже в наименее измененных образцах ультрамафитов НДП, очевидно, искажены постмагматическими изменениями, фиксируемыми в высоких значениях потерь при прокаливании (2,9—3,7 %). В связи с этим привлекает внимание высокое содер-

жание Al_2O_3 (6,4—10,7 %) и TiO_2 (5—6 %), установленное во всех изученных образцах ультрамафитов. Учитывая малую геохимическую "подвижность" алюминия и титана, можно ожидать, что на их первичные концентрации не повлияли низкотемпературные постмагматические процессы. Заметим, что для "нормальных" пикритов столь высокие глиноземистость и титанистость не характерны, но обычны в субщелочных ультрамафитах, например в слюдяных пикритах и кимберлитах. Таким образом, вывод о принадлежности изучаемых пород к субщелочной серии дополнительно подтверждается и петрохимическими данными. Ультрамафиты НДП характеризуются умеренно высокой магнезиальностью. Содержание MgO в наименее измененных образцах составляет 13—17 % и сопоставимо с суммарным содержанием FeO и Fe_2O_3 , но заметно превышает CaO . Индекс фракционирования $Mg/(Mg + Fe)$, колеблющийся в диапазоне 0,60—0,69, отражает умеренную магнезиальность главных мафических минералов — пироксенов, амфиболов и слюд. Как и следовало ожидать, эти цифры оказались несколько выше, чем установленные в дайковых породах долерит-диабазовой формации ИМБ. Индекс фракционирования в последних составляет всего 0,49—0,52 [6]. Высокая степень окисленности железа в образцах ультрамафитов 6047 и 6049, несомненно, связана со спецификой постмагматических процессов щелочного метасоматоза. Напомним, что именно в этих образцах кроме обычного альбита установлены щелочные $Na-Ca$ амфиболы рихтеритового ряда.

В отношении микроэлементов ультрамафиты НДП также демонстрируют определенное своеобразие состава (табл. 7). Почти все совместимые элементы (Cr , Ni , Co) в них характеризуются промежуточными концентрациями между характерными для ультраосновных и основных пород. Единственным исключением оказался V , содержание которого в ультрамафитах НДП заметно выше кларкового для ультраосновных и основных пород. В отличие от Ti , сконцентрированного главным образом в ильмените и в меньшей мере — в титаномагнетите, основным концентратором V служит титаномагнетит. Величина Ti/V отношения, изменяющаяся в диапазоне 72—73, близка к цифрам, характерным для континентальных базальтов субщелочной серии и значительно отличается от значений, свойственных конти-

Таблица 7. Результаты ICP-MS анализа ультрамафитов НДП

Table 7. Results of the ICP-MS analyses of ultramafic dyke rocks of NDF

Sample	6127-1	6127-2	Sample	6127-1	6127-2
Cr	791	868	Nd	34.8	32.9
Sc	24	23	Sm	7.08	7.01
V	412	379	Eu	2.13	2.02
Co	93.2	94.1	Gd	6.15	5.98
Ni	724	814	Tb	0.88	0.81
Cu	181.4	169.8	Dy	4.46	4.02
Zn	49	42	Ho	0.78	0.72
Ga	18.6	17.4	Er	1.95	1.88
Rb	78.1	85.1	Tm	0.25	0.22
Sr	290.2	179.8	Yb	1.50	1.43
Y	19.6	17.7	Lu	0.20	0.19
Zr	217.4	211.0	Hf	5.9	5.8
Nb	37.9	36.6	Ta	2.4	2.6
Mo	1.4	1.3	W	1.1	<0.5
Sn	3	2	Hg	0.23	0.04
Cs	1.1	1.2	Tl	0.5	0.5
Ba	394	364	Pb	5.9	5.3
La	27.8	25.6	Th	3.9	4.0
Ce	60.9	57.9	U	0.9	0.9
Pr	8.27	7.69			

Рис. 5. Распределение редкоземельных элементов в ультрамафитах Новоукраинского дайкового поля, нормированное к хондриту. Для сравнения также показано распределение РЗЭ в долеритах Розановского дайкового поля, относящихся к долерит-диабазовой формации Ингульского мегаблока (*Supplemental data for Chondrite* / Ed. by E. Anders and N. Grevesse / <http://earthref.org/GERM>)

Fig. 5. REE distribution in Novoukrainka dyke field ultramafites normalized to chondrite. Distribution of REE in the dolerites of Rosanivka dyke field that related to the dolerite-dabase association of Ingul terrain is also shown for comparison (*Supplemental data for Chondrite* / Ed. by E. Anders and N. Grevesse / <http://earthref.org/GERM>)

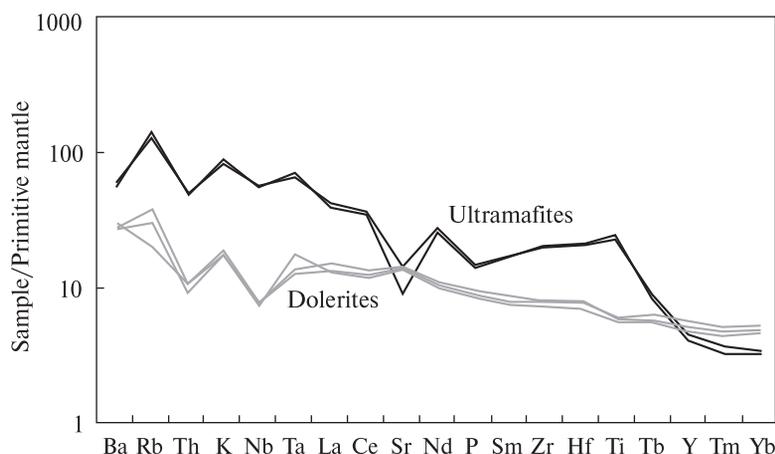
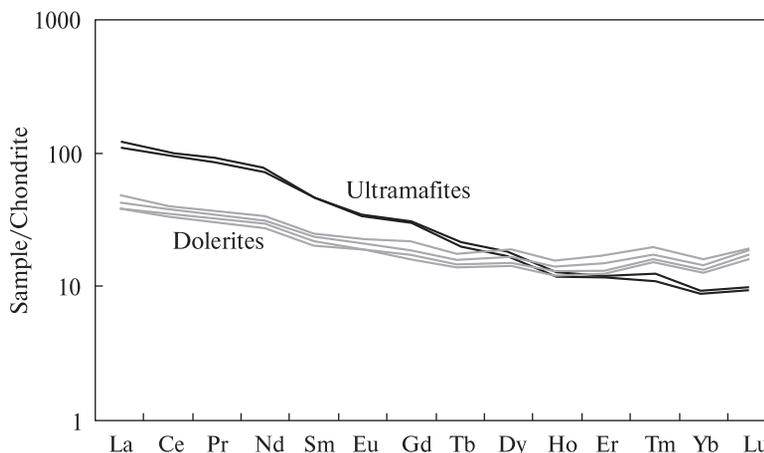


Рис. 6. Распределение несовместимых микроэлементов в ультрамафитах Новоукраинского дайкового поля, нормированное на примитивную мантию. Для сравнения также показано распределение несовместимых микроэлементов в долеритах Розановского дайкового поля, относящихся к долерит-диабазовой формации Ингульского мегаблока (*Supplemental data for Primitive Mantle* / Ed. by W. McDonough / <http://earthref.org/GERM>)

Fig. 6. Distribution of some incompatible elements in the Novoukrainka dyke field

ultramafites normalized to primitive mantle. Distribution of the incompatible elements in the dolerites of Rosanivka dyke field that related to the dolerite-dabase association of Ingul Terrain is also shown for comparison (*Supplemental data for Primitive Mantle* / Ed. by W. McDonough / <http://earthref.org/GERM>)

нентальным толеитам. Так, в дайковых породах долерит-диабазовой формации ИМБ, для которых доказана принадлежность к толеитовой серии, Ti/V отношение не превышает 37–38.

Достаточно специфично также поведение несовместимых элементов. Хондритнормированные графики демонстрируют заметное фракционирование редкоземельных элементов в ультрамафитах НДП (рис. 5). Суммарное содержание РЗЭ в 59–62 раза превышает хондритовое, при этом наблюдается интенсивное обогащение легкими лантаноидами по отношению к тяжелым $La/Yb_N = 12–13$, а также слабая отрицательная европиевая аномалия $Eu/Eu^* = 0,90–0,93$. Это отличает их от слабодифференцированных спайдер-диаграмм, присущих дайковым породам долерит-диабазовой

формации ИМБ. Привлекает внимание тот факт, что, несмотря на более "примитивные" значения индекса фракционирования $Mg/(Mg + Fe)$, ультрамафиты НДП, по сравнению с представителями долерит-диабазовой формации, обогащены практически всеми несовместимыми элементами, за исключением тяжелых лантаноидов и стронция. Их спайдер-диаграммы, нормированные на состав примитивной мантии, обнаруживают обогащение крупноионными элементами по отношению к высокозарядным с выразительными минимумами в области Ba, Th, Sr, P и максимумом в области Ti (рис. 6). Особенности конфигурации графиков РЗЭ, полученных для ультрамафитов и представителей долерит-диабазовой формации ИМБ (взаимное пересечение спайдер-диаграмм, не-

согласованность отдельных минимумов и максимумов, а также отсутствие общей тенденции в накоплении микроэлементов с разным уровнем "несовместимости"), практически исключают возможность единого процесса магматической эволюции для сравниваемых пород. Другими словами, ультрамафиты и оливиновые долериты БДП, очевидно, имели разные магматические источники и процессы их фракционирования происходили независимо.

Обсуждение результатов и выводы. Выполненные исследования позволяют выделить среди базит-гипербазитовых даек, интрузирующих кристаллический фундамент Ингульского мегаблока УЩ, особую группу *субщелочных ультрамафитовых даек*. Совместно с более многочисленными дайками оливиновых долеритов и диабазов они образуют Новоукраинское дайковое поле (НДП), локализованное в юго-западной части одноименного гранитного плутона на северо-западном окончании БДП. Своим более древним возрастом, а также минералого-петрографическими и геохимическими особенностями субщелочные ультрамафиты НДП существенно отличаются от других дайковых образований БДП, представленных преимущественно породами долерит-диабазовой формации. Нижняя возрастная граница формирования ультрамафитовых даек НДП определяется возрастом прорываемых ими гранитоидов НДП — палеопротерозой 2,03—2,04 млрд лет. Локальные проявления щелочного натрового метасоматоза, выявленные авторами в отдельных образцах ультрамафитов, вероятно, связаны с процессами формирования ураноносных альбититов, датированных палеопротерозойским возрастом 1,81 млрд лет. Соответственно, этой цифрой можно обозначить верхнюю возрастную границу внедрения ультрамафитовых даек.

Для определения формационной принадлежности ультрамафитов НДП особенно важно выяснение причин необычно высокой щелочности этих пород. Полученные результаты позволяют с уверенностью говорить, что высокое содержание K_2O и Na_2O в изученных образцах ультрамафитов лишь частично объясняется постмагматическими процессами щелочного метасоматоза. Характерный для субщелочных магм реликтовый парагенезис мафитовых и аксессуарных минералов (Ti-салит, флогопит, керсутит, ильменит, титаномагнетит, апатит, циркон, бадделеит, монацит), а также

целый ряд перечисленных выше геохимических характеристик свидетельствуют об изначально повышенной щелочности ультрамафитов. Принципиальная важность отнесения изученных ультрамафитовых даек к субщелочной магматической серии заключается в том, что эта особенность коренным образом отличает ультрамафиты НДП от даек долерит-диабазовой формации ИМБ, относимых к толейтовой серии. Наряду с более древним возрастом принадлежность к субщелочной серии и определяемая ею петрографическая специфичность ультрамафитов НДП позволяют идентифицировать их как представителей отдельного формационного типа (соответственно, отдельного интрузивного комплекса), принципиально отличного от дайковых образований долерит-диабазовой формации и не связанного с ними единым процессом магматической эволюции. В связи с этим возникает вопрос о наличии петрографических аналогов изученных ультрамафитов за пределами БДП. Можно предположить, что таковыми являются субщелочные ультрамафитовые дайки, вскрытые буровыми скважинами в центральной части ИМБ в пределах Субботско-Мошоринского дайкового пояса (рис. 1). Открытым остается вопрос о возможной связи ультрамафитов с мафитовыми дайковыми породами повышенной щелочности (субщелочными диабазами и камптонитами), известными как на площади Бобринецкого дайкового пояса, так и за его пределами. Более пристального внимания требует рудоносность ультрамафитов НДП и их возможных плутонических аналогов. Реликтовые микроструктурные особенности ультрамафитов НДП свидетельствуют о быстрой кристаллизации ультраосновного (основного?) расплава, пересыщенного MgO , FeO и TiO_2 на гипабиссальном или даже субвулканическом уровне глубинности. Общеизвестно, что такие условия не способствуют формированию магматогенных месторождений Fe-Ti окисно-рудных минералов. Тем не менее, выявленная Ti-V металлогеническая специализация ультрамафитовых даек может иметь определенное промышленное значение при условии "срабатывания" природного механизма гравитационного фракционирования ильменита и титаномагнетита, могущего иметь место в более крупных интрузивных телах. На решении этих вопросов и задач авторы планируют сконцентрировать свои дальнейшие исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бугаенко В.Н., Бернадская Л.Г., Бутурлинов Н.В. Каталог химических анализов платформенных дайковых и вулканогенных пород Украины. — Киев : Наук. думка, 1988. — 156 с.
2. Гейко Ю.В., Гурский Д.С., Лыков Л.И., Металиды В.С. Перспективы коренной алмазоносности Украины. — Киев-Львов : Центр Европы, 2006. — 200 с.
3. Гречишников Н.П., Коржнева Е.П., Крамар О.А., Щербак Д.Н. О возрасте дайковых пород Субботско-Мошоринской зоны разломов // Геол. журн. — 1980. — **40**, № 5. — С. 139—143.
4. Кирьянов Н.Н., Чернов В.Ю., Макивчук О.Ф. Кимберлиты Кировоградского геоблока Украинского щита // Геология і стратиграфія докембрію Українського щита : Тези доп. Всеукр. міжвід. нар. — К., 1988. — С. 96—98.
5. Митрохин А.В., Вишневецкая Е.А., Гаценко В.А., Михальченко И.И. Геологическая позиция и вещественный состав пикритов Новоукраинского дайкового поля (Ингульский мегаблок Украинского щита) // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. — 2014. — Вип. 67, № 4. — С. 33—37.
6. Митрохин А.В., Шумлянський Л.В., Вишневецкая Е.А. Петрография, геохимия и формационная принадлежность долеритов Бобринецкого дайкового пояса (Ингульский мегаблок Украинского щита) // Мінерал. журн. — 2015. — **37**, № 1. — С. 56—68.
7. Савченко Н.А., Бернадская Л.Г., Бутурлинов Н.В. Дайковые породы Украинского щита // Палеовулканизм Украины. — Киев : Наук. думка, 1984. — С. 17—91.
8. Цымбал С.Н., Кривдик С.Г., Кирьянов Н.Н., Макивчук О.Ф. Вещественный состав кимберлитов Кировоградского геоблока (Украинский щит) // Мінерал. журн. — 1999. — **21**, № 2/3. — С. 22—38.
9. Цымбал С.Н., Кривдик С.Г. Ксенолиты глубинных пород из кимберлитов Кировоградского блока (Украинский щит) // Мінерал. журн. — 1999. — **21**, № 2/3. — С. 97—111.
10. Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Лесная И.М., Пономаренко А.Н., Шумлянський Л.В. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Протерозой. — Киев : Наук. думка, 2008. — 240 с.
11. Щербак И.Б. Петрология Украинского щита. — Львов : ЗУКЦ, 2005. — 366 с.
12. Bogdanova S.V., Gintov O.B., Kurlovich D.M., Lubnina N.V., Nilsson M.K.M., Orlyuk M.I., Pashkevich I.K., Shumlyanskyy L.V., Starostenko V.I. Late Palaeoproterozoic mafic dyking in the Ukrainian Shield of Volgo-Sarmatia caused by rotation during the assembly of supercontinent Columbia (Nuna) // *Lithos*. — 2013. — **174**. — P. 196–216. — doi: 10.1016/j.lithos.2012.11.002.

Поступила 26.10.2015

REFERENCES

1. Bugayenko, V.N., Bernadskaya, L.G. and Buturlinov, N.B. (1988), *Catalogue of chemical analysis of platformal dyke and volcanic rocks of Ukraine*, Naukova dumka, Kiev, 156 p.
2. Geyko, U.V., Gursky, D.S., Lykov, L.I. and Metalidy, V.S. (2006), *Bedrock diamond prospects of Ukraine*, Centr Europe, Kiev-Lvov, 200 p.
3. Grechyshnikov, N.P., Korzhneva, E.P., Kramar, O.A. and Shcherbak, D.N. (1980), *Geol. Journ.*, Kyiv, Ukraine, Vol. 40 No 5, pp. 139-143.
4. Kirianov, N.N., Chernov, V.Yu. and Makivchuk, O.F. (1988), *Geology and Stratigraphy of Precambrian of Ukrainian Shield*, Abstr. vol. of the All Ukr. Interdepart. Conf., Kiev, Ukraine, pp. 96-98.
5. Mitrokhin, A.V., Vishnevskaya, E.A., Gatsenko, V.A. and Mihalchenko, I.I. (2014), *Visnyk of Kyiv Univ., Geology*, Kyiv, Ukraine, Vol. 67 No 4, pp. 33-36.
6. Mitrokhin, A.V., Shumlyanskyy, L.V. and Vishnevskaya, E.A. (2015), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Kyiv, Vol. 37 No 1, pp. 56-68.
7. Savchenko, N.A., Bernadskaya, L.G. and Buturlinov, N.B. (1984), *Paleovolcanism of Ukraine*, Naukova dumka, Kiev, pp. 17-91.
8. Tsymbal, S.N., Kryvdik, S.G., Kirianov, N.N. and Makivchuk, O.F. (1999), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Kyiv, Vol. 21 No 2-3, pp. 22-38.
9. Tsymbal, S.N. and Kryvdik, S.G. (1999), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Kyiv, Vol. 21 No 2-3, pp. 91-111.
10. Shcherbak, M.P., Artemenko, G.V., Lesnaya, I.M., Ponomarenko, O.M. and Shumlyanskyy, L.V. (2008), *Geochronology of the Early Precambrian of the Ukrainian Shield. Proterozoic*, Naukova dumka, Kiev, 240 p.
11. Shcherbakov, I.B. (2005), *Petrology of the Ukrainian Shield*, ZUKC, Lvov, 366 p.
12. Bogdanova, S.V., Gintov, O.B., Kurlovich, D.M., Lubnina, N.V., Nilsson, M.K.M., Orlyuk, M.I., Pashkevich, I.K., Shumlyanskyy, L.V. and Starostenko, V.I. (2013), *Lithos*, Vol. 174, pp. 196-216, doi: 10.1016/j.lithos.2012.11.002.

Received 26.10.2015

О.В. Митрохин ¹, Е.О. Вишневська ¹, В.О. Гаценко ²,
Т.В. Митрохіна ¹, І.І. Михальченко ², Л.В. Шумлянський ²

¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка
03022, м. Київ, Україна, вул. Васильківська, 90
E-mail: mitrokhin.a.v@yandex.ua;
genyvishnevskia@mail.ru; tanussa@ukr.net

² Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення
ім. М.П. Семененка НАН України
03680, м. Київ-142, Україна, пр. Акад. Палладіна, 34
E-mail: vera.gatsenko@ukr.net; alcoldan@i.ua;
lshumlyansky@yahoо.com

ПЕТРОЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА РУДОНОСНІСТЬ УЛЬТРАМАФІТОВИХ ДАЙОК НОВОУКРАЇНСЬКОГО ДАЙКОВОГО ПОЛЯ (ІНГУЛЬСЬКИЙ МЕГАБЛОК УКРАЇНСЬКОГО ШИТА)

Досліджені незвичайні ультраматові дайки, які інтродують гранітоїди Новоукраїнського плутону (НП) в межах Інгульського мегаблоку Українського щита. Разом із численнішими дайками долерит-діабазової формації ультрамафіти формують Новоукраїнське дайкове поле (НДП), локалізоване у південно-західній частині НП на північно-західному закінченні Бобринецького дайкового поясу. З метою уточнення геологічної позиції та формаційної приналежності ультрамафітів НДП, а також вивчення умов їх формування та потенційної рудоносності автори виконали всебічне вивчення мінералого-петрографічних та геохімічних особливостей дайкових порід із застосуванням методів оптичної та електронної мікроскопії, електронно-зондового мікроаналізу, ICP-MS аналізу та "мокрої" хімії. З'ясовано, що, на відміну від представників долерит-діабазової формації, які асоціюють з ними, ультрамафіти НДП підлягали інтенсивним постмагматичним змінам: актинолітизації, біотитизації та альбітизації. Локальні прояви лужного натрового метасоматозу в ультрамафітах НДП автори пов'язують з процесами формування ураноносних альбітитів, розповсюджених у районі досліджень. На підставі цього вік ультрамафітових дайок обмежується інтервалом часу між вкоріненням НП (2,03–2,04 млрд рр.) та формуванням ураноносних альбітитів (1,81 млрд рр.). Характерний для сублужних магм реліктовий парагенезис мафічних та акцесорних мінералів, а також низка геохімічних характеристик свідчать про первісно підвищену лужність ультрамафітів НДП. Разом із більш давнім віком приналежність до сублужної серії та обумовлена нею петрографічна специфічність ультрамафітів НДП дозволяють ідентифікувати їх як представників окремого формаційного типу, принципово відмінного від дайкових утворень долерит-діабазової формації та не пов'язаного з ними спільним процесом магматичної еволюції. Виявлена Ti-V металогенічна спеціалізація ультрамафітових дайок може мати певне промислове значення за умови "спрацювання" природного механізму гравітаційного фракціонування ільменіту та титаномагнетиту, що може мати місце у більших інтрузивних тілах.

Ключові слова: петрологія, дайкові породи, ультрамафіти, ультрабазити, Український щит.

Mitrokhin A.V. ¹, Vishnevskaya E.A. ¹, Gatsenko V.A. ²,
Mitrokhina T.V. ¹, Mihalchenko I.I. ², Shumlyansky L.V. ²

¹ Taras Shevchenko Kyiv National University
90, Vasylkivska Str., Kyiv, Ukraine, 03022
E-mail: mitrokhin.a.v@yandex.ua;
genyvishnevskia@mail.ru; tanussa@ukr.net

² M.P. Semenenko Institute of Geochemistry,
Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine
34, Acad. Palladina Pr., Kyiv-142, Ukraine, 03680
E-mail: vera.gatsenko@ukr.net;
alcoldan@i.ua; lshumlyansky@yahoо.com

PETROLOGY, GEOCHEMISTRY AND ORE POTENTIAL OF ULTRAMAFIC DYKES OF THE NOVOUKRAINKA DYKE FIELD (INGUL TERRAIN OF THE UKRAINIAN SHIELD)

The objects of the research are ultramafic dykes that intruded the Paleoproterozoic granites of the Novoukrainka Pluton (NP) within the Ingul terrain of the Ukrainian Shield. Along with more numerous dykes of the dolerite-diabase association these ultramafites form the Novoukrainka dyke field (NDF) that is located in the south-western part of the NP at the north-western end of the Bobrynets Dyke Belt. *The goal, data and methods of research.* The main goals of the research were the specification of the geological position and belonging to some rock association for NDF ultramafites, as well as, the determination of petrological condition of their formation and ore potential. The core samples were studied elaborating optical and electron microscopy, the electron probe microanalysis, ICP-MS methods and wet chemical analysis. *Obtained results and conclusions.* It is established that the NDF ultramafites in contrast to the rocks of the dolerite-diabase association were

subjected to intensive post-magmatic alteration including actinolitization, biotitization and albitization. Local manifestations of the alkaline Na metasomatism in the NDF ultramafites are attributed by authors to the processes of formation of U-bearing albitites that are common in the area. Therefore the age of the ultramafic dykes is limited by emplacement of the NP (2.03–2.04 Ga) and formation of the U-bearing albitites (1.81 Ga). Relict parageneses of mafic and accessory mineral that are characteristic of subalkaline magmas as well as a number of geochemical characteristics all testify to initially increased alkalinity of the NDF ultramafites. Along with the more ancient age, affinity to the subalkaline series and the petrographic specificity of the NDF ultramafites allow their identification as representatives of the separate dyke rock association that is essentially different from the dolerite-diorite association and that is not linked to the latter by a common process of magmatic evolution. The discovered Ti-V metallogenic specialization of the NDF ultramafites can represent a certain industrial interest provided by "operation" of the natural mechanism of gravitational fractionation of the ilmenite and a Ti-magnetite that able to take place in larger intrusive bodies.

Keywords: petrology, dyke rock, ultramafites, ultrabasites, the Ukrainian Shield.