

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
УЛЬТРАОСНОВНЫХ И ОСНОВНЫХ
ИНТРУЗИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ
УКРАИНСКОГО ЩИТА**

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МЕТОДИКИ И ТЕХНИКИ РАЗВЕДКИ

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ УССР
ТРЕСТЫ ДНЕПРОГЕОЛОГИЯ И КРИВБАССГЕОЛОГИЯ

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Научно-исследовательский институт геологии

Днепропетровского ордена Красного Знамени государственного университета

им. 300-летия воссоединения Украины с Россией

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УЛЬТРАОСНОВНЫХ И ОСНОВНЫХ ИНТРУЗИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ УКРАИНСКОГО ЩИТА

(В СВЯЗИ С ОЦЕНКОЙ ИХ НИКЕЛЕНОСНОСТИ)

1532



ЛЕНИНГРАД
«НЕДРА»
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
1976



Геохимические особенности ультраосновных и основных интрузивных комплексов Украинского щита (в связи с оценкой их никеленосности). Л., «Недра», 1976. 152 с. (М-во геологии СССР. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т методики и техники разведки). Авт.: З. А. Бурцева, М. М. Ильвицкий, Р. В. Колбанцев и др.

Работа посвящена описанию геолого-петрографических и петрогеохимических особенностей ультраосновных и основных пород пяти разновозрастных интрузивных комплексов Украинского кристаллического щита (УКЩ). В соответствии с принятой для УКЩ стратиграфической схемой характеристика ультраосновных и основных пород дана для каждого интрузивного комплекса в возрастной последовательности от раннеархейских до среднепротерозойских. На основании сопоставления установленных геолого-петрографических и петрогеохимических особенностей пород этих комплексов сформулированы критерии, которые могут свидетельствовать о потенциальной сульфидной никеленосности интрузивных комплексов или отдельных массивов ультраосновных и основных пород.

Книга предназначена для геологов, занимающихся геологическим картированием, детальным изучением интрузий ультраосновного и основного состава для поисков рудных месторождений, и в первую очередь месторождений сульфидных медно-никелевых руд.

Табл. 75, ил. 15, список лит. 121 назв.

Научные редакторы: **Н. И. Сафронов, Н. П. Иванов**

Авторы: З. А. Бурцева, М. М. Ильвицкий, Р. В. Колбанцев,
З. И. Танатар-Бараш, М. И. Веригин

ПРЕДИСЛОВИЕ

В связи с растущими потребностями в никелевом сырье в настоящее время главное внимание уделяется поискам магматических месторождений сульфидных медно-никелевых руд, генетически и пространственно связанных с интрузиями ультраосновных и основных пород. При этом наибольший интерес для поисков представляют экономически освоенные районы европейской части СССР, и в первую очередь территория Украинского кристаллического щита (УКЩ).

В пределах УКЩ широко развиты массивы ультраосновных и основных пород. С корой выветривания некоторых из них связаны рудопоявления и промышленные месторождения силикатного никеля. Возможность обнаружения новых подобных месторождений при последующих исследованиях вполне вероятно в процессе как изучения имеющихся массивов, так и выявления ранее неизвестных. Увеличить запасы никеля на Украине можно главным образом за счет обнаружения месторождений сульфидных медно-никелевых руд, и в первую очередь богатых сплошных руд.

В массивах ультраосновных и основных пород УКЩ месторождения сульфидных медно-никелевых руд до сих пор не известны. Для повышения качества и геолого-экономической эффективности геологопоисковых работ на никель, а также глубинности исследований в настоящее время возникает необходимость применения (наряду с геолого-геофизическими) комплекса геохимических методов. Среди последних важная роль принадлежит методу оценки потенциальной никеленосности массивов по их петрохимическим и геохимическим особенностям. Применение этого метода целесообразно как при мелко- и среднемасштабном геологическом картировании докембрийских образований УКЩ, так и при более детальных геологопоисковых работах на отдельных массивах ультраосновных и основных пород.

Как установлено для никеленосных провинций (Кольский полуостров, Норильский район и Воронежская антеклиза), массивы, с которыми связаны месторождения сульфидного никеля, отличаются от безрудных повышенным содержанием ряда характерных для медно-никелевых руд элементов и их спутников и некоторыми петрохимическими параметрами. Однако для этих регионов наме-

чаются несколько разные разбраковочные критерии как по набору элементов, так и по их величинам [7, 15, 19, 65, 77]. Выработанные для различных геологических провинций геохимические критерии разбраковки массивов ультраосновных и основных пород на потенциально никеленосные и безрудные мало увязываются и нередко являются противоречивыми, что затрудняет их использование для оценки никеленосности массивов, расположенных в слабо изученных безрудных районах.

Первые исследования по установлению практического применения геохимического метода оценки ультраосновных и основных массивов для поисков сульфидных медно-никелевых руд в районах, где подобные месторождения еще не известны, проведены авторами на территории УКЩ. За основу принято сопоставление геохимических особенностей массивов изучавшихся комплексов УКЩ как между собой, так и с аналогичными по составу массивами никеленосных провинций СССР.

Установлено, что разновозрастные интрузивные комплексы ультраосновных и основных пород УКЩ обладают определенными петрохимическими и геохимическими особенностями, которые могут свидетельствовать о степени их возможной никеленосности. Методика геохимических исследований и критерии оценки потенциальной никеленосности ультраосновных и основных массивов неизбежно должны быть приспособлены к особенностям рассматриваемого района.

Характеристике петрохимических и геохимических особенностей ультраосновных и основных пород интрузивных комплексов УКЩ в связи с оценкой их потенциальной никеленосности и посвящена настоящая работа. В основу ее положены результаты опытно-методических исследований 1964—1966 гг. Всесоюзного научно-исследовательского института методики и техники разведки и трестов Днепрогеология, Кривбасгеология, Киевгеология, Артемгеология, а также многолетние исследования Научно-исследовательского института геологии Днепропетровского ордена Красного Знамени государственного университета им. 300-летия воссоединения Украины с Россией.

В составлении работы принимали участие со стороны ВИТР З. А. Бурцева, Р. В. Колбанцев; от Днепропетровского университета М. И. Ильвицкий, З. И. Танатар-Бараш; от Министерства геологии УССР М. И. Веригин.

Большая помощь в выполнении работ по применению геохимического метода для оценки потенциальной никеленосности ультраосновных — основных массивов Украины получена от П. Ф. Надежина, М. И. Струева, В. С. Попова, С. Т. Борисенко, Ф. М. Швец-Шуста, Ю. Б. Басса, И. А. Гаева и других, которым авторы благодарны. Авторы весьма признательны за ценные указания д-ру геолого-минералогических наук Н. И. Сафронову.

ГЕОЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ, ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УЛЬТРАОСНОВНЫХ И ОСНОВНЫХ ПОРОД ИНТРУЗИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ

На территории Украинского щита интрузивные комплексы ультраосновных и основных пород имеют широкое распространение. Они встречаются почти во всех сравнительно детально изученных районах щита.

Большинство массивов ультраосновных и основных пород выявлены при проведении геологопоисковых работ на хромитовые и окисно-силикатно-никелевые руды [28, 50, 55, 67, 86 и др.]. Последующие детальные исследования массивов выполнены для выяснения их стратиграфического положения, возраста, внутреннего геологического строения, петрохимических и геохимических особенностей, а также для оценки их рудоносности [17, 18, 33, 68, 72—75, 83, 84, 86, 92, 95, 99—101, 109 и др.].

В настоящее время есть несколько схем классификации интрузивных комплексов ультраосновных и основных пород [26, 27, 33, 40, 41, 52, 73, 74, 103—108 и др.]. Нами на основании структурно-геологических, минералого-петрографических, петрохимических и геохимических данных принято формационное расчленение ультраосновных и основных пород на пять комплексов, возникших в различные этапы развития Украинского щита (см. рис. 1, табл. 1).

К первому (наиболее раннему) этапу развития относится внедрение ультраосновных и основных пород геосинклинального типа, среди которых по возрасту, геолого-петрографическим и петрохимическим особенностям выделяются следующие комплексы.

1. Архейский комплекс ультраосновных пород Среднего Приднепровья. Для пород этого комплекса характерна высокая магнезиальность, никеленосность и кобальтоносность. Судя по среднему составу пород и коэффициенту $M:F > 7$, они являются производными перидотитовой магмы [40, 41].

2. Раннепротерозойский комплекс ультраосновных и основных пород Побужья. Петрохимическая и геохимическая характеристики (общая высокая железистость пород, $M:F < 7$) указывают на происхождение пород этого комплекса за счет основной магмы [86, 103—108].

Во второй, платформенный этап развития УКЩ образовались более молодые (средний протерозой) ультраосновные и основные породы, слагающие три крупных территориально резко разобобщенных комплекса пород.

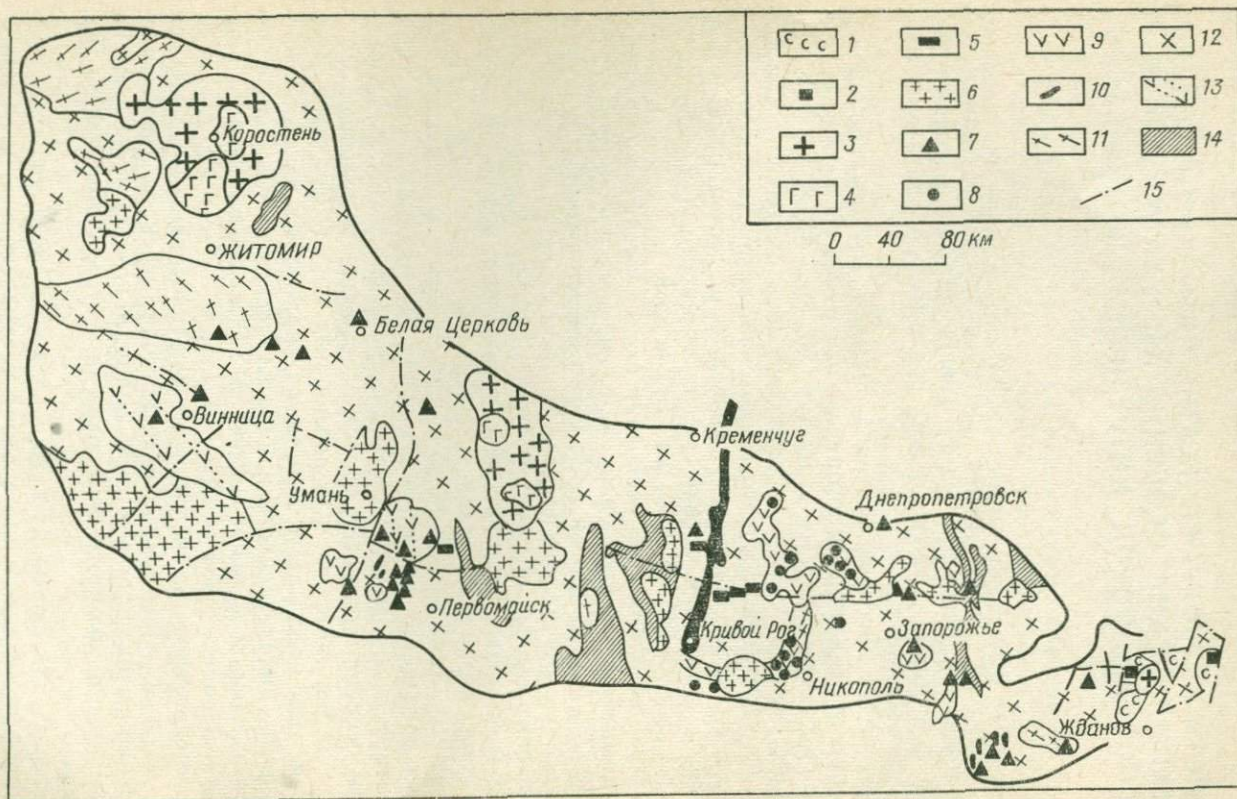


Рис. 1. Размещение интрузивных комплексов ультраосновных и основных пород УКЩ.

Средний протерозой: 1 — щелочные породы Октябрьского массива; 2 — ультраосновные и основные породы Октябрьского массива; 3 — граниты рапакиви; 4 — ультраосновные и основные породы Коростенского плутона; 5 — ультраосновные породы Девладовской зоны разломов.
 Ранний протерозой: 6 — граниты и их мигматиты; 7 — ультраосновные породы Побужья.
 Архей: 8 — ультраосновные и основные породы Среднего Приднепровья; 9 — осадочно-вулканогенные породы конкско-верховцевской серии; 10 — железистые породы криворожской серии; 11 — метасоматические граниты; 12 — кировоградские и житомирские граниты и их мигматиты; 13 — чарнокиты; 14 — биотитовые, амфиболовые и другие гнейсы; 15 — тектонические нарушения.

Таблица 1

Классификация ультраосновных и основных пород Украинского щита по М. М. Ильвицкому [40]

Возраст		Архей (3,5—2,6 млрд. лет)						Ранний протерозой (2,6—1,9 млрд. лет)			Средний протерозой (1,9—1,6 млрд. лет)						
Тектонический цикл		Геосинклинальный									Платформенный						
Регионы		Среднее Приднепровье						Побужье	Приазовье	Девладовская зона разломов		Северо-западная часть УКЩ	Приазовье				
Район, массив		Сурский	Верховцевский	Никопольский	Кодакский	Славгородский	Белозерский			Орехово-Павлоградский	Девладовский	Терновский	Коростенский	Октябрьский			
Морфология тел		Субмеридиональные крутопадающие пластообразные и линзовидные интрузивные массивы									Субширотные крутопадающие дайки		Линзы и полосы	Центральные интрузии			
Состав ультраосновных массивов		Серпентинизированные дуниты и перидотиты, серпентиниты, талько-карбонатные, хлоритовые и амфиболовые породы, жильные пироксениты						Серпентинизированные, амфиболитизированные перидотиты и пироксениты, серпентиниты, хлоритовые, амфиболовые, талько-карбонатные породы, габбро-нориты, габбро			Перидотиты, пироксениты, габбро-перидотиты, троктолиты, габбро-нориты, габбро		Габбро-перидотиты, пироксениты	Перидотиты, пироксениты, габбро, габбро-сиениты, нефелиновые сиениты			
Средние значения петрохимических характеристик (по Н. Д. Соболеву) и NiO	2с b x y z h Cr : Al M : F NiO	1,2 62,5 1,6 19,1 79,3 51,5 28,9 8,25	1,2 63,8 0,9 12,0 87,1 42,0 29,7 8,85	2,3 61,5 6,2 16,1 77,7 40,7 14,4 8,64	2,8 58,7 10,1 27,2 62,7 32,6 12,8 8,20	1,3 60,6 2,0 29,7 68,3 48,4 33,0 7,43	2,3 60,5 4,7 24,7 70,6 44,4 15,6 5,03	6,8 51,9 28,0 37,0 35,0 33,4 — 4,1	3,9 56,9 12,3 31,9 55,8 36,9 12,1 5,62	1,9 60,1 1,6 30,9 67,5 48,7 10,3 7,6	(1,3—7,9)	(1—10,8)	(6,6—9,5)	5,4 53,8 13,3 45,9 40,8 17,6 6,4 5,27	3,5 59,8 11,1 17,4 71,5 31,8 10,6 5,85	3,6 49,1 60,0 35,9 4,1 8,0 — 0,6	3,6 54,8 35,6 22,2 42,2 28,6 10,2 4,05
Доля главных разновидностей исходных пород, %	дуниты гарцбургиты лерцолиты верлиты энстатиты вебстериты	19,5 77,9 1,3 1,3 — —	51,3 46,2 — 2,5 — —	25,0 50,1 18,7 6,2 — —	— 60,0 20,0 10,0 — 10,0	16,7 75,0 — — 8,3 —	5,0 85,0 10,0 — — —	— — — — — —	9,7 51,6 16,2 3,2 12,9 6,4	— — — — — —	0,18 0,24 0,18	0,18	0,20	— — — — — —	Доли %	Доли %	
Средний состав		Оливиновый гарцбургит			Гарцбургит			Лерцолит	Гарцбургит	Гарцбургит	Лерцолит						
Железистость оливина		7—9,3			8,5—13,0			11,3—13,3	18,5	16—16,5							

3. Комплекс ультраосновных и основных пород Девладовской зоны разломов.

4. Ультраосновные и основные породы Коростенского плутона.

5. Комплекс ультраосновных и основных пород Октябрьского массива.

Среднепротерозойские ультраосновные и основные породы этих комплексов отличаются повышенной железистостью ($M:F < 7$), что позволяет отнести их к производным основной магмы [107]. От комплексов ультраосновных и основных пород геосинклинального типа они отличаются большей дифференцированностью пород, слагающих массивы, и иногда отчетливо выраженной генетической связью их с гранитоидами и щелочными породами.

Ниже приведены геолого-петрографическая и петрогеохимическая характеристики интрузивных комплексов ультраосновных и основных пород от более древних к молодым. При описании каждого комплекса даны краткие сведения о его изученности, структурно-тектоническом положении, геологическом строении, петрографическом составе, метаморфизме слагающих пород и их рудоносности. Подробно охарактеризованы петрохимические и геохимические особенности пород этих комплексов.

АРХЕЙСКИЙ КОМПЛЕКС УЛЬТРАОСНОВНЫХ ПОРОД СРЕДНЕГО ПРИДНЕПРОВЬЯ

Архейский комплекс ультраосновных пород Среднего Приднестровья представлен большим количеством массивов, приуроченных к архейским осадочно-вулканогенным толщам внутренних (Верховцевский, Сурский, Чертомлыкский, Конкский, Белозерский и др.) и внешних (Криворожско-Кременчугский и Орехово-Павлоградский) синклиналиев в пределах Приднестровского антиклинария (рис. 2).

Эти массивы изучаются параллельно с детальным структурно-геологическим картированием осадочно-вулканогенных толщ, а также в связи с поисками месторождений никелевых руд, хромита, асбеста и талько-магнезитового сырья.

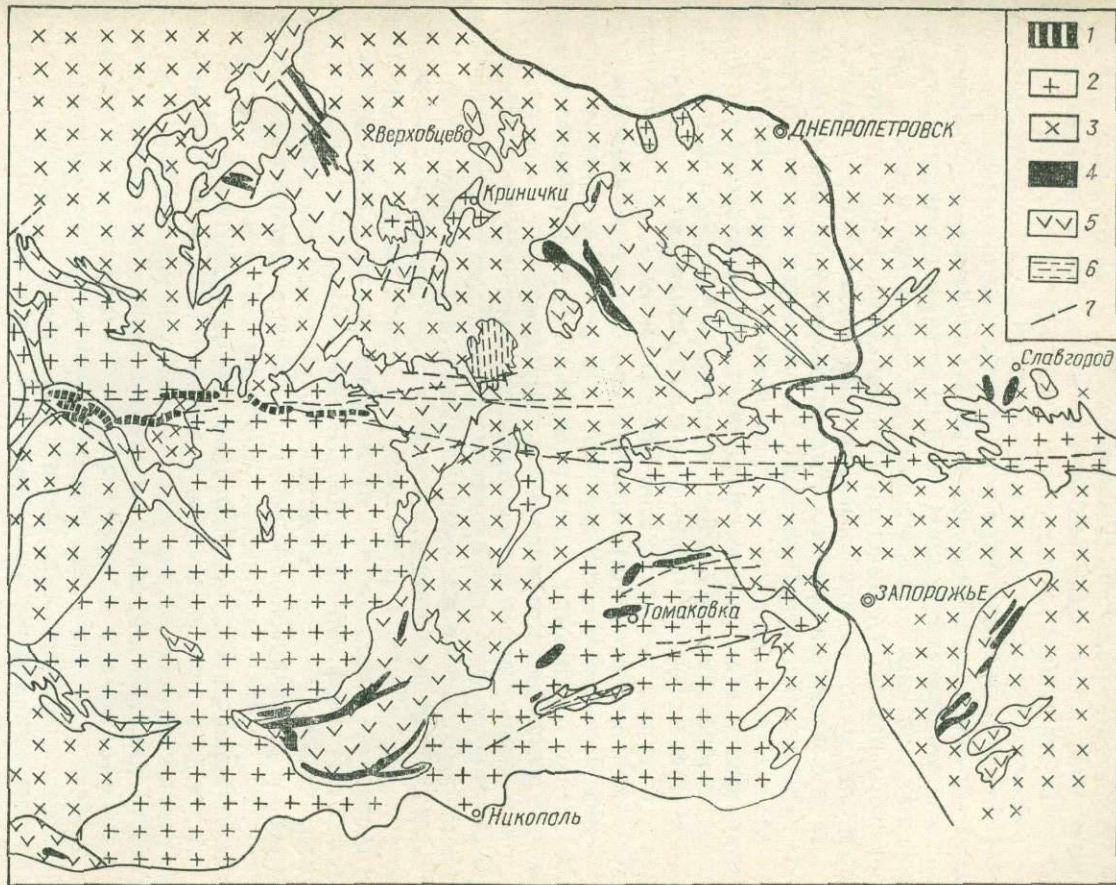
Массивы ультраосновных пород встречаются во всех районах развития осадочно-вулканогенных толщ, слагающих синклиналиевые зоны. Они залегают в виде согласных пластовых или линзовидных тел, приуроченных к зонам контактов отдельных пачек пород, под-свит или свит. В Криворожско-Кременчугской синклиналиевой зоне они встречаются преимущественно в нижней метабазитовой свите, в Конкско-Белозерской и других зонах — во всех трех свитах осадочно-вулканогенных образований.

Архейский возраст ультраосновных пород ($> 2,9$ млрд. лет) подтверждается определениями абсолютного возраста пород конкско-верховцевской серии (2,6—3,0 млрд. лет) и цирконов докриворожских мигматитов (2,85 млрд. лет) [48, 59, 101].

Массивы ультраосновных пород, как правило, представляют собой одиночные маломощные пластообразные тела. Реже они об-

Рис. 2. Схематическая геологическая карта Среднего Приднепровья.

Средний протерозой: 1 — перидотиты, пироксениты, габбро-нориты, габбро Девладовской зоны разломов. Ранний протерозой: 2 — днепровские граниты и их мигматиты. Архей: 3 — кировоградские граниты и их мигматиты; 4 — серпентиниты, дуниты, перидотиты, пироксениты и их метаморфические разности; 5 — амфиболиты и сланцы конкско-верховцевской серии; 6 — биотитовые, амфиболовые и другие гнейсы; 7 — тектонические нарушения.



разуют группу массивов (Приворотный и Кадакский в Криворожском районе) или массивы большой мощности и протяженности. Ширина отдельных массивов от 50 до 500 м, длина от 2,25 до 25 км.

Поскольку массивы залегают согласно с вмещающими породами, то они имеют преобладающее субмеридиональное простирание и крутое падение в зависимости от структуры вмещающих пород на запад или восток. Исключение составляют массивы Криворожского района (Кодакский, Приворотный), которые образуют форму дуги, обращенной выпуклой стороной к северо-востоку.

В зависимости от размеров массивы имеют различное внутреннее геологическое строение и состав слагающих их пород. Незначительные по мощности и протяженности тела представляют исключительно актинолито-тремолитовыми, талько-карбонатными, талько-хлоритовыми породами и сланцами. Более крупные массивы характеризуются отчетливо выраженным зональным строением. Центральные части этих массивов сложены преимущественно серпентинитами с участками серпентинизированных перидотитов и пироксенитов, которые по направлению к краевым частям постепенно сменяются талько-карбонатными, карбонато-тальковыми и актинолито-тремолитовыми породами.

В массивах наблюдаются жилы гранитов, на контакте с которыми серпентиниты, как правило, переходят в хлоритовые породы. Зональное строение массивов отражает первоначальную дифференциацию от перидотитов, слагающих центральные части массивов, до пироксенитов. В архейских ультраосновных породах известны месторождения и рудопроявления железо-кобальто-никелевых руд и антофиллит-асбеста (Петровский массив), проявления хризотил-асбеста и сульфидной кобальто-медно-никелевой минерализации (Варваровский массив), сульфидного пирито-пирротинохалькопиритового оруденения (Правдинский массив), месторождения талько-магнезитов (Правдинский массив).

Из всех участков развития архейского комплекса ультраосновных пород Среднего Приднепровья наиболее хорошо изучены Сурский, Верховцевский, Никопольский и Белозерский районы. Ультраосновные породы двух первых районов имеют много общего, а последних — отличаются рядом особенностей геологического положения, петрографического состава и химизма. В связи с этим характеристика пород описываемого комплекса приведена раздельно для трех районов.

Сурский и Верховцевский районы

Геолого-петрографическая характеристика

Ультраосновные породы в Сурском и Верховцевском районах слагают ряд массивов, залегающих среди осадочно-вулканогенных толщ архея или в зонах их контакта с нижнепротерозойскими гранитоидами.

В основном это согласные пластообразные или линзообразные тела северо-западного, близкого к меридиональному простирания, размером до $1,2 \times 20$ км. Из них наиболее крупными и детально изученными являются в Верховцевском районе Варваровский массив, в Сурском — Правдинский, Петровский и Карнауховский. Все они сложены в основном различными по минеральному составу серпентинитами с реликтами дунитов и перидотитов, карбонато-талковыми, талько-карбонатными и хлоритовыми породами, реже амфиболитами.

Серпентинизированные дуниты и перидотиты макроскопически темно-зеленого или зеленовато-серого цвета, мелкозернистые, массивные, содержащие тонкие прожилки карбоната, офита и магнетита.

Под микроскопом наблюдаются оливин — 0—45, хромшпинелид — 0—2,5, лизардит и хризотил — 39—99, антигорит — 2—15, офит — 0—6, хризотил-асбест — 0—1, хлорит — 0—3, брусит — 0—30, карбонат — 0—7, магнетит — 1,5—12%.

Структуры решетчатые, петельчатые (в случае преобладания лизардита) и чешуйчатые, пластинчатые или игольчатые (при антигоритизации).

Серпентиниты представлены двумя разностями — антигорито-лизардито-хризотиловыми и антигоритовыми серпентинитами. Это светлые, зеленовато-серые или зеленые массивные породы со светло-зелеными участками брусита, тонкопрожилковой и пылевой вкрапленностью магнетита. Отмечаются единичные зерна сульфидов, размерами до 0,5 мм.

Минеральный состав серпентинитов: оливин — 0—10, лизардит и хризотил — 10—75, антигорит — 5—78, офит — 0—60, хризотил-асбест — 0—1,5, брусит — 0—30, магнетит — 2—10, хромшпинелид — 0—9, карбонат — 0—10, антофиллит — 0—2, хлорит — 0—10%, сульфиды — единичные зерна.

Структура петельчатая, ячеистая, сложносетчатая, чешуйчатая, волокнистая.

Антигоритовые серпентиниты представлены плотными породами от светлого зеленовато-серого до темно-зеленого и черного цвета. Иногда наблюдается пятнистая окраска и неясновыраженное полосчатое строение, обусловленное чередованием магнетитовых и офитовых прожилков. На контактах с дайками кислых пород пронизаны сетью тонких магнетитовых, магнетито-сульфидных и сульфидных прожилков.

Под микроскопом устанавливаются антигорит — 73—100, лизардит и хризотил — 0—25, офит — 0—15, хризотил-асбест — 0—20, хлорит — 0—3, тальк — 0—35, брусит — 0—30, карбонат — 0—50, хромшпинелид — 0—5, магнетит — 0,5—15%. Структура антигоритовых серпентинитов игольчатая, листоватая, чешуйчатая.

Ниже приведено описание породообразующих минералов серпентинизированных дунитов, перидотитов и серпентинитов.

Оливин образует реликтовые угловатые зерна (0,3—0,4 мм), сохранившиеся при серпентинизации более крупных зерен (2—2,5, иногда до 5 мм) овальной формы, часто с хорошо выраженной спайностью. Форма и размеры первоначальных зерен оливина устанавливаются по одновременному угасанию мелких реликтовых зерен, реликтово-псевдоморфной структуре магнетита и различному двупреломлению псевдоморфоз серпентина по отдельным зернам оливина. Местами с периферии мелких реликтовых зерен оливина развивается оторочка брусита или магнетита. Иногда зерна оливина почти полностью замещаются магнетитом или бруситом. Химический состав и показатели преломления оливинов приведены в табл. 2.

Большинство геологов приняло выделение среди серпентинов lizardита, хризотила и антигорита. Детальные рентгеновские,

Таблица 2

Химический состав и показатели преломления оливинов

Оксиды, катионы и показатели преломления	Номер анализа								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	38,63	39,88	36,06	38,34	38,36	39,10	37,01	37,61	37,33
TiO ₂	0,14	0,00	0,00		Следы		Не обнаружены		
Al ₂ O ₃	0,61	0,48	1,50	0,97	0,47	0,77	2,13	1,03	1,52
Cr ₂ O ₃	0,37	—	0,02	0,07	0,05	0,14	0,18	0,29	0,44
Fe ₂ O ₃	1,19	0,36	2,57	2,21	0,90	1,98	1,25	1,83	0,91
FeO	6,46	6,80	10,62	4,88	7,17	12,20	7,75	6,68	6,25
MnO	0,12	0,13	0,03	—	—	—	0,14	0,14	0,26
CaO	0,39	0,14	0,42	0,14	0,20	0,17	0,35	0,42	0,42
MgO	49,09	50,54	46,78	50,50	50,64	44,66	47,06	49,00	48,27
NiO	0,54	0,30	0,20	0,25	0,38	0,20	0,56	0,28	0,96
CoO	0,01	0,032	0,037	0,028	0,023	0,014	0,036	0,036	0,030
H ₂ O ⁻	0,07	0,00	0,18	0,10	—	—	0,20	0,20	—
П. п. п.	1,82	—	0,58	2,98	1,81	1,27	3,69	3,31	3,64
Сумма	99,44	98,662	98,997	100,47	100,00	100,504	100,356	100,826	100,03
Mg	1,891	1,870	1,870	1,898	1,850	1,740	1,768	1,893	1,871
Fe ²⁺	0,131	0,143	0,193	0,086	0,150	0,258	0,146	0,133	0,125
Ni	0,0125	0,0062	0,0044	0,004	0,0085	0,0045	0,014	0,0071	0,025
Co	0,00023	0,00066	0,00082	0,0006	0,0005	0,00033	0,00093	0,00095	0,0008
Mn	0,0030	0,0028	0,00066	—	—	—	0,0037	0,0038	0,0073
Si	0,975	0,989	0,965	1,005	0,997	1,000	1,031	0,983	0,984
n _g	1,700	1,688	1,700	1,6865	1,686	1,703	1,693	1,692	1,688
n _p	1,665	1,652	1,667	1,652	1,653	1,6585	1,664	1,664	1,660

Примечание. 1—3—Сурский район, Правдинский массив; 4—6—Сурский район, Петровский массив; 7—9—Верховцевский район, Варваровский массив. 1—скв. 12250, обр. 114; 2—там же, обр. 145; 3—там же, обр. 212; 4—скв. 10310, обр. 184; 5—там же, обр. 520; —там же, обр. 475; 7—скв. 10046, обр. 4034; 8—там же, обр. 4045; 9—там же, обр. 4086.

Знак «—» в табл. 2 и последующих означает отсутствие данных.

электронномикроскопические и петрографические исследования серпентиновых минералов проведены В. Р. Артёмовым [3, 4], И. М. Лашневым [60], Р. В. Қолбанцевым [53] и другими.

В. Р. Артёмов с фреатической серпентинизацией гипербазитов связывает образование петельчатого лизардита (лизардитизация первого этапа). Лизардитизация второго этапа выражается в замещении зерен оливина, расположенных в ячейках петель лизардита первой генерации.

Лизардит является главным породообразующим минералом. Он развит в виде тонких псевдопоперечно-волокнистых шнурочков, выделяющихся по трещинам в оливине и образующих петельчатую, сетчатую или ячеистую структуру. Мощность шнуров сотые доли миллиметра, изредка достигает 0,1 мм. В петлях лизардита первой генерации присутствует лизардит второй генерации, реликтовые зерна оливина, реже брусит и карбонат.

Лизардит в шлифе бледно-зеленый с низкими цветами интерференции и отрицательным удлинением, иногда почти изотропный. Двупреломление лизардита повышается в поперечно-волокнистых разностях, наблюдаемых в трещинах оливина. Химический состав и показатели преломления лизардитов ультраосновных пород Сурского и Верховцевского районов Среднего Приднепровья приведены в табл. 3.

Данные табл. 2, 3 устанавливают некоторые зависимости величин показателей преломления лизардита от генетических типов пород и главным образом от железистости замещаемого им оливина. Для геосинклинальных ультрабазитов Сурского и Верховцевского районов характерны магнизиальные оливины, по которым развивается лизардит с показателями преломления ($n_g = 1,562 \div 1,570$; $n_p = 1,556 \div 1,562$). Лизардит, образующийся по более железистому оливину из пород других комплексов (Терновская дайка), имеет показатели преломления $n_g = 1,577$; $n_p = 1,570$. Таким образом, по показателям преломления лизардита можно приблизительно определить железистость исходного оливина, имеющего важное значение для генетических построений [45].

Антигорит в виде бесцветных пластинчатых, игольчатых или листоватых зерен образуется по лизардиту и хризотилу. Зерна антигорита иногда достигают размеров $0,05 \times 0,3$ мм. Отмечается антигорит двух генераций — мелкочешуйчатый, мелкоигольчатый первой генерации и крупнолистоватый второй генерации. По антигориту в зонах контактного гидротермального метаморфизма развивается хлорит, тальк, карбонат. Окраска антигорита бледно-зеленая, почти бесцветная. Показатели преломления антигорита: $n_g = 1,558 \div 1,569$; $n_p = 1,553 \div 1,563$; $n_g - n_p = 0,004 \div 0,008$. Химизм антигоритов иллюстрируется табл. 3.

Офит постоянно присутствует в лизардитовых и других разностях серпентинитов в виде тонких прожилков. Выделяются бесструктурные офиты коллоидального сложения, с облачным погасанием, и поперечно-волокнистые, изредка продольно-волокнистые.

Таб
Химический состав и показатели

Оксиды, катионы, показатели преломления	Номер						
	1	2	3	4	5	6	7
	Лизардит		Лизардит с примесью			Лизардит	Лизар
		антигорита	хризотила	антигорита	Лизардит	антигорита	
SiO ₂	33,05	33,10	38,00	38,08	33,97	33,20	35,17
TiO ₂	0,05	0,14	0,21	Следы	0,14	Следы	Следы
Al ₂ O ₃	3,02	2,55	3,47	0,43	1,52	0,78	1,08
Cr ₂ O ₃	0,25	0,02	0,37	—	0,08	0,08	0,09
Fe ₂ O ₃	1,94	3,69	2,89	2,49	3,57	3,13	3,25
FeO	1,14	1,72	1,72	1,86	1,65	1,87	0,86
MnO	0,12	0,02	0,54	0,54	0,12	0,12	0,08
CaO	0,22	0,56	0,16	0,14	0,24	0,21	0,17
MgO	41,75	38,26	37,60	40,16	41,31	41,23	41,28
NiO	0,24	0,22	0,15	0,28	0,20	0,18	0,20
CoO	0,01	0,01	0,004	0,01	0,02	0,024	0,020
K ₂ O	0,03	0,48	0,10	—	0,03	0,10	—
Na ₂ O	0,24	0,27	0,27	—	0,08	0,27	—
P ₂ O ₅	0,32	0,08	0,10	0,20	0,11	0,09	0,09
SO ₃	0,19	(S) 0,11	(S) 0,06	—	0,45	0,25	—
CO ₂	2,04	(As) 0,02	(As) 0,01	—	—	—	—
H ₂ O ⁺	—	(V ₂ O ₅) 0,02	(V ₂ O ₅) 0,03	(V ₂ O ₅) 0,04	—	—	—
H ₂ O ⁻	0,58	1,20	2,42	0,96	1,03	1,27	1,40
П. п. п.	17,17	17,73	12,37	14,06	15,98	17,19	16,14
Сумма	100,32	100,20	100,47	99,25	100,50	99,99	99,83
Mg	5,46	5,42	5,50	5,76	5,63	5,72	5,65
Ni	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Co	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002
Fe ²⁺	0,08	0,17	0,10	0,15	0,11	0,15	0,07
Mn	0,01	0,002	0,04	0,05	0,01	0,01	0,007
Fe ³⁺	0,13	0,33	0,19	0,02	0,22	0,10	0,25
Al	0,25	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00
Сумма	5,951	5,943	6,002	6,001	5,992	6,002	5,999
Si	3,80	3,61	3,74	3,83	3,72	3,77	3,82
Ti	—	0,02	0,015	0,00	0,01	0,00	0,00
Al	0,16	0,36	0,21	0,05	0,19	0,10	0,14
Fe ³⁺	0,04	0,00	0,00	0,17	0,08	0,17	0,01
Сумма	4,00	3,99	3,97	4,05	4,00	4,04	3,97
O	9,96	10,00	9,97	10,05	9,99	10,04	9,97
ОН ⁻	8,40	8,00	8,01	8,00	7,95	8,00	8,00
n _g	1,560	1,564	1,567	1,564	1,5675	1,567	1,5675
n _p	1,5545	1,559	1,562	1,556	1,555	1,561	1,559
f (общая железистость, %)	4,38	8,44	4,83	5,27	6,78	6,84	5,51

Примечание. 1 — Карнауховский массив, обр. 1032; 2, 3 — Правдинский массив, 4086, 4254 и 4262; 10, 11 — Карнауховский массив, обр. 1047 и 1001; 12—14 — Правдинский

лица 3
преломления серпентинов

анализа	Номер															
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17						
	лит с примесью			Антигорит с примесью			Антигорит			Хризотил-асбест		Хризотил-воффит				
хризотила и антигорита	лизардита	хризотила	хризотила и антигорита	лизардита	хризотила											
36,01	34,55	37,10	37,33	41,48	40,11	38,50	36,58	34,92	37,30							
0,00	0,00	0,04	0,04	0,35	0,015	0,037	0,00	0,00	0,21							
0,53	0,23	0,22	0,12	0,26	0,52	0,64	2,26	2,16	0,37							
0,21	0,002	0,31	0,20	0,01	0,11	0,12	0,08	0,10	Следы							
2,74	2,18	2,10	3,05	0,02	0,31	0,20	2,38	1,97	0,57							
0,85	1,11	0,71	1,58	1,43	5,17	6,17	1,09	0,97	1,29							
0,09	0,13	0,06	0,11	0,03	0,02	0,068	0,05	0,09	0,14							
0,14	0,82	3,24	2,68	0,32	0,32	0,26	0,14	0,14	3,15							
42,57	44,23	38,70	38,18	41,06	38,70	38,54	41,84	43,30	40,94							
0,20	0,28	0,22	0,20	0,10	0,20	0,23	0,076	0,076	0,05							
0,022	0,028	0,07	0,01	0,01	0,016	0,016	0,011	0,011	0,044							
0,08	0,00	0,03	0,02	1,20	—	—	0,07	0,08	0,11							
0,25	0,10	0,21	0,36	0,28	—	—	0,32	0,26	0,11							
0,13	0,00	0,35	0,16	0,17	—	—	0,00	0,00	0,33							
0,09	0,13	0,05	0,17	—	—	—	0,12	0,08	0,15							
—	—	4,18	3,06	(As) 0,01	3,81	3,29	—	—	—							
—	—	—	—	(V ₂ O ₅) 0,03	10,89	12,08	—	—	—							
0,46	0,39	0,47	0,59	0,07	0,04	0,08	0,28	0,06	0,04							
16,01	16,91	11,86	12,59	13,04	—	—	14,76	15,78	15,76							
100,382	101,09	99,93	100,45	99,87	100,231	100,231	100,057	99,997	100,564							
5,64	5,67	5,83	5,74	5,84	5,53	5,44	5,72	5,91	5,91							
0,03	0,02	0,02	0,015	0,01	0,019	0,019	0,006	0,006	0,004							
0,003	0,003	0,006	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,004							
0,07	0,10	0,05	0,13	0,11	0,49	0,523	0,09	0,08	0,11							
0,008	0,01	0,005	0,01	0,01	0,002	0,005	0,005	0,008	0,01							
0,22	0,19	0,009	0,11	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00							
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00							
5,971	5,993	5,920	6,006	5,97	6,042	5,989	6,012	6,005	6,038							
3,90	3,93	3,90	3,86	3,96	3,90	3,93	3,74	3,68	3,89							
0,00	0,00	0,001	0,001	0,02	0,001	0,002	0,00	0,00	0,016							
0,07	0,03	0,03	0,015	0,02	0,035	0,04	0,26	0,27	0,045							
0,00	0,00	0,07	0,13	0,00	0,013	0,005	0,00	0,15	0,045							
3,97	3,96	4,001	4,00	4,00	3,949	3,977	4,00	4,10	3,996							
9,94	9,95	9,90	10,00	9,95	9,83	9,84	10,00	10,10	10,03							
8,00	8,05	8,03	8,00	8,00	8,00	8,40	7,92	8,03	8,00							
—	—	1,565	1,564	1,566	—	—	1,560	—	—							
—	—	1,559	1,558	1,562	—	—	1,558	—	—							
4,89	4,87	2,17	6,06	1,85	8,34	8,84	4,51	3,74	2,33							

обр. 145 и 212; 4 — Петровский массив, обр. 23; 5—9 — Варваровский массив, обр. 4034, 4045, массив, обр. 196, III и VIII; 15—17 — Варваровский массив, обр. 4070, 4082 и 4055.

Мощность прожилков 0,1—0,2, реже 1—1,2 мм. Офит встречается в поперечно-шестоватых прожилках магнетито-карбонатного состава мощностью 0,3—0,5 мм.

Офит в зонах гидротермальной переработки серпентинитов ассоциирует с хризотил-асбестом, бруситом и карбонатом. Наиболее распространены одиночные светло-зеленые прожилки поперечно-волокнистого офит-асбеста, в зальбандах которых переотложен магнетит и мелкие вкрапленники сульфидов. Местами офит-асбест оталькован.

Антигорито- и лизардито-хризотило-офитовые серпентиниты иногда содержат до 35—60% офита. Оптические константы офитов: $n_g = 1,556 \div 1,569$; $n_p = 1,561 \div 1,562$; $n_g - n_p = 0,005 - 0,008$.

Хризотил-асбест образует одиночные прожилки, мощностью от 0,1 до 10 мм, иногда ассоциирующие с немалитом, офитом, карбонатом и магнетитом; короткие выклинивающиеся прожилки, сохранившиеся от антигоритизации; одиночные прожилки поперечно-волокнистого строения с ленточной структурой. Содержание немалита в хризотил-асбесте, определенное по термическому анализу, иногда достигает 15—20%. Показатели преломления хризотил-асбеста: $n_g = 1,559 \div 1,561$; $n_p = 1,550 \div 1,558$. Удлинение положительное.

Химические анализы чистого хризотил-асбеста пересчитаны на кристаллохимические формулы (табл. 3). Как видно из табл. 3, лизардиты и хризотилы с примесью микроантигорита ультраосновных пород Сурского и Верховцевского районов по содержанию Fe^{2+} (0,03—0,27) и Fe^{3+} (0,13—0,33) отличаются от лизардитов ультраосновных пород других комплексов [Fe^{2+} (0,40—0,42); Fe^{3+} (0,24—0,26) форм. ед.].

Основное различие между отдельными минералами — лизардитами, хризотилами, хризотил-асбестами и офитами — последовательное уменьшение в этом ряду Fe^{2+} (соответственно 0,33—0,17—0,05). Микроантигориты первой генерации отличаются преобладанием Fe^{3+} (0,35—0,42) над Fe^{2+} (0,05—0,18). Перекристаллизованные антигориты второй генерации почти или совсем не содержат Fe^{3+} при колебаниях Fe^{2+} от 0,11 до 0,42—0,52 форм. ед. Антигориты с высоким содержанием Fe^{2+} принадлежат к сильно карбонатизированным антигоритовым серпентинитам линзообразных включений в крупных залежах талько-карбонатных пород. Повышенное парциальное давление углекислого газа приводит к восстановлению в антигорите части Fe^{3+} до Fe^{2+} .

Хромшпинелид — реликтовый минерал, местами сохранившийся при серпентинизации. Он образует крупные (0,3—0,5 мм, иногда до 1,5 мм) изометричные зерна коричневатого-красного или темно-коричневого цвета, разбитые сетью трещин. Хромшпинелид с периферии и по трещинам зерен замещается магнетитом. Вокруг скопления зерен магнетита, образованных по хромшпинелиду, иногда наблюдается мелкочешуйчатая хлоритовая кайма, возникающая за счет выноса из хромшпинелида алюминия.

Средняя микротвердость хромшпинелида равна 1200 кгс/мм² при колебании от 1155 до 1277 кгс/мм².

Магнетит в лизардитовых и лизардито-хризотилowych серпентинитах образует несколько генераций: 1) зернистые агрегаты, развитые по хромшпинелиду; 2) «петельчатый» магнетит, образующий оторочки вокруг хромшпинелида; 3) пылеобразные скопления. В антигоритовых разностях серпентинитов магнетит первой и второй генерации прорастает иголочками антигорита. В ультраосновных породах магнетит наблюдается также в виде шестоватых агрегатов в прожилках офито-карбонато-магнетитового, хризотил-асбесто-магнетитового реже сульфидно-магнетитового состава.

Количество магнетита в серпентинитах составляет 2—15%. Наибольшее его количество отмечается в антигоритовых серпентинитах. Размер зерен магнетита колеблется от 0,02 до 0,05 мм.

Результаты пересчетов химических анализов магнетитов на нормативный состав и кристаллохимические формулы сопоставлены с данными рентгеновских исследований. Выделено несколько генетических типов магнетитов ультраосновных пород в зависимости от степени их метаморфизма.

В серпентинитах присутствует магнетит, который характеризуется повышенным содержанием магнезиоферрита, треворита и маггемита. Характерно низкое значение отношения $Fe^{2+} : Fe^{3+}$ (0,422) в магнетитах из хризотилowych и смешанных серпентинитов, а также отсутствие магния и повышенное содержание никеля и кобальта в магнетитах из антигоритовых серпентинитов, офитовых и хризотил-асбестовых прожилков.

В талько-карбонатных породах выделяются два типа магнитных фракций: новообразования магнетита и магнетиты с реликтами хромшпинелида. Магнетиты первого типа характерны для талько-карбонатных пород, образующихся по серпентинитам, второго — талько-карбонатных пород, приуроченных к тектонически ослабленным зонам.

Для магнетитов хлоритовых пород характерным является повышенное содержание титана и алюминия, преобладание двухвалентного железа над трехвалентным ($Fe^{2+} : Fe^{3+} = 0,539$) и относительно высокое значение параметра элементарной ячейки ($8,384 \pm \pm 0,001 \text{ \AA}$).

Магнетиты из антофиллитизированных серпентинитов и серпентино-антофиллитовых пород характеризуются повышенным содержанием титана и магния при низких значениях никеля, кобальта, алюминия и хрома. Для магнетитов описываемых пород характерен переход части Fe^{2+} в Fe^{3+} . Недостаток Fe^{2+} в магнетите, особенно при серпентинизации, компенсируется магнием, никелем и кобальтом. В соответствии с изменением состава уменьшается или увеличивается элементарная ячейка магнетита [39].

В серпентинитах наблюдается промежуточная фаза между хромшпинелидом и магнетитом, впервые исследованная в 1940 г.

Г. Горнингером. Промежуточная фаза между рудообразующим хромшпинелидом и магнетитом — ферроферрихромшпинелид — отнесена М. Д. Желязковой-Панайотовой [35] к первично-магматическим образованиям. Методом микрорентгеноспектрального анализа в последнее время исследованы метаморфические изменения рудообразующего [115] и акцессорного [63] хромшпинелида.

Касаясь проблемы никеленосности гидротермальных магнетитов из серпентинитов, П. Рамдор [80] признает возможность замещения в магнетите FeO на NiO, которое может достигать 11—29,7%, вследствие чего образуется почти идеальный треворит $NiFe_2O_4$, или допускает обогащение магнетита никелем с образованием аварунитовых концентраций преимущественно для магнетита из внешних оторочек хромшпинелида. Сведения о никельсодержащих магнетитах из серпентинизированных ультраосновных пород приведены в ряде работ [16, 21, 34, 35, 39, 42, 66, 93, 114, 116, 119].

Микрорентгеноспектральными исследованиями [48] установлено, что при метаморфизме акцессорного хромшпинелида образуется оторочка никельсодержащего магнетита и промежуточная зона, содержащая только железо и хром (ферритхромит). В центре зерна сохраняется реликт хромшпинелида; алюминий и магний интенсивно выносятся при метаморфизме хромшпинелида и их содержание в промежуточной зоне ниже чувствительности микроанализатора. Никеленосный магнетит, образующийся по ферритхромиту, содержит 0,9% никеля и почти не содержит хрома, алюминия и магния. Пылеватый и тонкопрожилковый магнетит, образующийся при серпентинизации оливина, по составу аналогичен никельсодержащему магнетиту из оторочек по хромшпинелиду на первых стадиях серпентинизации.

Талько-карбонатные породы — это продукт гидротермальной переработки ультраосновных пород. Между серпентинитами и талько-карбонатными породами наблюдаются постепенные переходы, причем реликты серпентина сохраняются почти повсеместно. Маломощные мономинеральные тальковые прожилки являются более поздними образованиями.

Талько-карбонатные породы представлены серыми, местами светло-серыми или темно-серыми массивными породами, в случае преобладания талька — сланцеватыми. Они слагаются карбонатом (магнезит, доломит) — 40—99, тальком — 0,5—60, серпентином — 0—5, хлоритом — 0—3, магнетитом — 0—7%. Структура в зависимости от минерального состава — гранолепидобластовая, лепидогранобластовая, порфиробластовая.

Хлорито-карбонатно-тальковые породы прослеживаются в приконтактовых частях талько-магнезитовых залежей, ассоциируя с актинолититами. Макроскопически они плотные, серого цвета с зеленоватым оттенком и едва заметной сланцеватостью. Содержат многочисленные тонкие прожилки карбоната, расположенные как по сланцеватости, так и секущие ее. Под микроскопом наблюда-

ется тальк — 46—49, серпентин — 0—10, хлорит — 2—33, карбонат (магнезит, доломит) — 20—88, магнетит — 0—5%. Структура гра-нолепидобластовая.

Тремолито-хлорито-тальковые, тремолито-талько-карбонатные и талько-хлорито-актинолитовые породы прослежены в зонах переработки ультраосновных пород гидротермальными растворами. Это светло-зеленые горные породы, среди основной хлорито-тальковой массы которых выделяются крупные, бесцветные, лучистые кристаллы тремолита. Минеральный состав: тальк — 6—62, хлорит — 7—25, тремолит — 20—89, карбонат (магнезит, доломит) — 0—30, сфен и ильменит — 0—4%. Структура нематолепидобластовая, гранолепидобластовая.

Антофиллитовые породы — массивные, крепкие, зеленовато-серого цвета. В свежем изломе наблюдаются сноповидные выделения белого лучистого антофиллита (до 5 мм), приобретающего местами зеленоватый оттенок. Наблюдается образование антофиллит-асбеста. Под микроскопом устанавливается антофиллит, серпентин, хлорит, карбонат, магнетит. Структура нематобластовая, текстура сноповидная.

Актинолититы — тремолититы — плотные, крепкие, изредка рассланцованные породы зеленовато-серой и светло-зеленой окраски, однородные, мелко- и среднезернистого сложения, местами плейчатой текстуры. Они сложены актинолитом или тремолитом, хлоритом, ильменитом и лейкоксенном. Изредка встречаются карбонат и редкие зерна альбита. Неравномерно и в слабой степени наблюдается процесс хлоритизации. Структура нематобластовая, гетеробластовая.

Прохлорито-тремолитовые породы широко развиты вблизи контактов с талько-карбонатными породами. Это зеленовато-серые, массивные или сланцеватые, средне- и мелкозернистые породы с прожилками и скоплениями карбоната. Под микроскопом устанавливается тремолит — 43—89, прохлорит — 3—48, рудный минерал — 0—20, карбонат — 0—30, альбит — 0—17, цоизит 0—10, кварц — 0—2%. Структура лепидонематобластовая, гетеробластовая, фибробластовая.

Хлорито-антофиллит-актинолитовые породы сложены актинолитом — 60—63, антофиллитом — 10—15, хлоритом — 20, сфеном — 1—1,5, рудными минералами до 1%. Структура лепидонематобластовая.

Серпентино-талько-карбонато-антофиллит-актинолитовые породы — это плотные, крепкие, неравномернозернистые породы, иногда брекчиевидного облика. Окраска пятнистая. В брекчиевидных разностях основная масса породы сложена тонкочешуйчатым тальком, лучистыми кристаллами антофиллита и актинолита, размерами до 5×15 мм. Изредка заметны скопления зерен магнетита. В состав пород входят актинолит, антофиллит, хризотил, антигорит, реликты пироксена, тальк, хлорит, карбонат, магнетит. В участках преобладания амфиболов структура нематобластовая. Гра-

нобластовая структура характерна для слоев, сложенных карбонатом, решетчатая — серпентином и лепидобластовая — тальком.

Альбитизированные, флогопитизированные, эпидотизированные и окварцованные амфиболовые породы прослеживаются в виде вытянутых зон различной мощности, ассоциирующих с залежами талько-магнезита. Макроскопически темно-зеленого цвета массивного сложения. Местами наблюдается неясно выраженная сланцеватая текстура. На плоскостях сланцеватости выделяются крупные сноповидные кристаллы амфибола и скопления сульфидов. Породы рассечены тонкими (2—10 мм) прожилками, выполненными кварцем, плагиоклазом, хлоритом, флогопитом и карбонатом.

Минеральный состав пород колеблется в широких пределах: тремолит — 27—88, актинолит — 31—84, плагиоклаз — 0—55, цоизит и эпидот — 0—25, флогопит — 0—30, хлорит — 0—64, карбонат — 0—7, кварц — 0—22, гранат — 0—2, рудные — 0—10%. Структура лепидонематобластовая, гранонематобластовая, гломеробластовая, пойкилобластовая.

Хлоритовые породы. Выделяется несколько генетических типов хлоритовых пород, главными из которых являются: 1) хлоритовые породы, образующиеся по антигоритовым серпентинитам в зонах контакта с гранитными дайками, и 2) хлоритовые породы, слагающие периферические части массивов ультраосновных пород.

Среди хлоритовых пород по минеральному составу различаются: мономинеральные, с магнетитом, оталькованные и карбонатизированные, с амфиболом и др.

Пироксениты. В ультраосновных породах встречены серпентинизированные, амфиболизированные и карбонатизированные пироксениты, образующие жилы, различные по мощности и протяженности. Пироксениты темно-серого цвета, массивного сложения. В их состав входят: ромбический и моноклинный пироксены — 40—80, амфиболы — 10—20, антигорит — 0—30, карбонат — 2—15, магнетит — 3—8%. Структура панидиоморфнозернистая, с участками гранолепидобластовой.

Минералого-петрографическое изучение пород Сурского и Верховцевского районов позволяет выделить ряд последовательных стадий метаморфического их преобразования. Для выяснения баланса привноса — выноса вещества при различных процессах метаморфизма — серпентинизации, образования талько-карбонатных, хлорито-талько-карбонатных, серпентино-карбонато-тальковых и хлорито-актинолитовых пород выполнены химические анализы и определены относительная плотность и пористость по имеющимся разновидностям пород.

Химические анализы по атомно-объемному методу В. А. Рудника [81] пересчитаны на количество ионов в $10\,000\ kX^3$ (табл. 4). В процессе метаморфизма ультраосновных пород происходит систематический вынос никеля в ряду от серпентинизированных дунитов до талько-карбонатных пород с последующим привносом (перераспределением) никеля и серы в хлорито-талько-карбонат-

ных, серпентино-хлорито-карбонато-тальковых и особенно хлорито-актинолитовых породах. Привнос серы с образованием сульфидов никеля сопровождается в некоторых случаях привносом фосфора.

Исследуя процессы привноса — выноса вещества при метаморфизме ультраосновных пород, необходимо отметить перераспределение никеля при эпигенетических процессах, которые, характеризуясь мобилизацией серы, приводят к образованию эпигенетических сульфидных никелевых концентраций. Элементом-индикатором при этих процессах является, по-видимому, фосфор.

А. Г. Бетехтин [5] считает, что никель легко переходит из кислородных никельсодержащих соединений (оливин, серпентин) в сернистые. Видимо, этим объясняется образование сульфидного медно-никелевого оруденения Правдинского массива. Исследованиями [49, 50] установлены его минералого-геохимические особенности, условия локализации и некоторые поисковые критерии. Выделено два генетических типа медно-никелевого оруденения: 1) халькопирито-пирротиновое; 2) полидимито-маухерито-пентландитовое.

Халькопирито-пирротиновое оруденение приурочено к амфиболовым и хлорито-амфиболовым породам, слагающим в пределах массива несколько зон северо-западного простираения мощностью от 10—20 до 100—200 м, элементы залегания которых совпадают с элементами залегания ультраосновной интрузии.

Выделяются следующие морфологические типы халькопирито-пирротинового оруденения: вкрапленно-прожилковый, одиночные прожилковые и пленочные выделения по расщеплению и трещинам пород, шлировые и гнездовые выделения в плагиомикроклиновых и микроклиновых прожилках.

Вкрапленно-прожилковый тип оруденения приурочен к интенсивно окварцованным и альбитизированным участкам амфиболовых пород. Сульфиды образуют густую сеть различно ориентированных прожилков, вкрапленность, шлировые выделения и содержатся в количестве от 5 до 60% объема породы. Мощность прожилков обычно не превышает 5—8 мм. Размеры сульфидных зерен колеблются от десятых долей миллиметра до 1,5—2 мм.

Наиболее распространенными в данном типе сульфидного оруденения являются халькопирит и пирротин, реже наблюдается пирит. В небольших количествах встречены борнит, ковеллин, сфалерит. Мощность рудных зон составляет 0,5—3,2 м, с содержанием меди от 0,5 до 7,6%. В руде установлены золото, серебро, кобальт, никель и другие элементы.

В халькопирите наблюдаются включения пентландита, подтвержденные рентгеновским анализом. Пирротин представлен смесью моноклинной и гексагональной модификаций с преобладанием гексагонального пирротина. Химические анализы сульфидных фракций из халькопирито-пирротиновых зон Правдинского массива показывают, что содержание железа в них меняется от

Таблица 4

Пересчет химических анализов ультраосновных пород

Правдинского массива по атомно-объемному методу В. А. Рудника

Окислы, катионы, анионы	Номер анализа				анализа				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	38,44	33,33	35,59	35,18	35,28	29,42	28,72	42,70	47,38
TiO ₂	0,05	0,16	0,09	0,22	0,16	0,06	0,04	0,07	0,35
Al ₂ O ₃	0,88	0,59	0,53	1,37	1,32	0,89	2,26	4,69	3,44
Cr ₂ O ₃	0,20	0,72	0,03	0,18	0,22	0,39	0,69	0,41	0,13
Fe ₂ O ₃	1,38	6,87	5,62	4,71	2,74	2,49	1,30	2,16	6,17
FeO	8,02	3,39	1,66	3,55	5,32	5,71	7,30	4,37	11,44
MnO	0,09	0,12	0,05	0,08	0,07	0,12	0,13	0,11	0,23
MgO	49,25	39,92	39,03	37,91	37,02	33,64	32,62	26,97	17,21
CaO	0,32	0,88	0,57	0,45	0,51	1,33	0,88	4,68	8,32
NiO	0,35	0,25	0,21	0,13	0,12	0,05	0,08	0,10	0,38
Na ₂ O	—	0,08	0,12	0,14	0,13	0,30	0,08	0,75	0,27
K ₂ O	—	0,10	0,27	0,26	0,27	0,07	0,04	0,09	0,07
SO ₃	—	0,15	0,07	0,08	0,08	0,07	0,09	0,45	1,72
P ₂ O ₅	—	0,13	0,07	0,12	0,03	0,05	0,04	0,05	0,20
CO ₂	0,00	4,00	1,62	4,00	5,17	22,20	22,00	7,75	1,48
H ₂ O ⁻	0,12	0,75	0,77	0,04	0,04	0,05	0,08	0,08	0,10
H ₂ O ⁺	0,97	9,37	13,50	11,50	11,50	3,16	3,53	4,52	1,35
Сумма	100,07	100,81	99,80	99,92	99,98	100,00	100,88	99,95	100,24
Плотность	3,20	2,68	2,61	2,74	2,74	2,95	2,96	2,86	3,14
Средняя плотность	—	2,56	2,38	2,57	2,66	2,86	2,93	2,76	3,05
Пористость	—	4,47	9,05	6,32	3,14	2,90	1,18	3,50	2,86
Si	123,100	85,581	85,095	90,713	94,080	84,280	84,367	118,025	144,781
Ti	0,096	0,308	0,129	0,495	0,320	0,103	0,071	0,115	0,825
Al	0,330	1,542	1,521	4,334	4,160	3,096	7,942	15,272	12,294
Cr	0,500	1,460	0,057	0,371	0,464	0,877	1,588	0,896	0,312
Fe ³⁺	3,330	13,261	10,045	8,978	5,440	5,504	2,624	4,462	14,129
Fe ²⁺	21,400	7,247	3,300	7,663	11,840	13,558	18,003	10,126	29,250
Mn	0,173	0,216	0,072	0,124	0,112	0,241	0,282	0,199	0,605
Mg	235,000	152,658	138,764	145,512	146,880	143,534	142,718	111,220	78,354
Ca	1,098	2,467	1,492	1,238	1,440	4,059	2,824	13,944	27,158
Ni	0,905	0,540	0,402	0,263	0,256	0,120	0,194	0,215	0,917
Na	—	0,493	0,631	0,743	0,736	1,720	0,565	3,984	1,615
Ca	—	0,308	0,775	0,805	0,864	0,241	0,141	0,299	0,257
S	—	0,293	0,129	0,155	0,160	0,138	0,194	0,930	9,872
P	—	0,308	0,201	0,310	0,096	0,172	0,141	0,165	0,367
C	0,00	14,032	5,309	14,087	18,720	86,860	88,250	29,216	6,165
H	23,360	173,167	227,450	198,887	205,568	61,232	70,811	84,925	29,727
O	295,998	475,047	457,845	487,371	506,168	550,683	564,619	509,255	525,314
Сумма	705,290	928,928	933,517	962,049	997,304	956,418	985,334	903,248	881,942

Примечание. 1 — дунит; 2 — серпентинизированный дунит; 3 — лизардитовый нит; 6 — талько-карбонатная порода; 7 — хлорито-талько-карбонатная порода; 8 — серпенти-

нит; 4 — антигоритовый серпентинит; 5 — оталькованный антигоритовый серпенти-
но-хлорито-карбонато-тальковая порода; 9 — хлорито-актинолитовая порода.

30,46 до 57,90, меди 0,3—15,85, никеля 0,26—0,86, кобальта 0,08—0,56, серы 17,77—36,89%. Пирротин, взятый из скв. 25170 на глубине 118,5—118,7 м, имеет следующий химический состав, %: Fe—57,90; Cu—0,30; Ni—0,44; Co—0,43; S—36,89; SiO₂—3,22. После исключения силикатной части анализа установлена следующая структурная формула пирротина: (F_{0,985}Ni_{0,006}Co_{0,006}Cu_{0,003})S.

Генетически халькопирито-пирротинное оруденение Правдинского массива связано с ультраосновными и основными породами, о чем свидетельствует наличие реликтов основного плагиоклаза в альбитизированных амфиболовых породах и постоянное присутствие никеля, кобальта, хрома и титана.

Полидимито-маухерито-пентландитовое оруденение представлено халькопирито-пентландитовой, халькопирито-полидимито-пентландитовой, халькопирито-маухерито-пентландитовой, пентландито-никельпиритовой, миллеритовой минеральными ассоциациями и контролируется тектоническими зонами северо-западного простирания.

В Правдинском массиве наиболее широко распространен вкрапленно-прожилковый тип никелевого оруденения, наиболее характерный для брекчированных зон талько-карбонатных и серпентино-талько-карбонатных пород. Распределение сульфидных минералов неравномерное как по простиранию, так и по падению рудных зон. Содержание их колеблется от единичных зерен до 20—30%. Для карбонатизированных антигортитовых серпентинитов характерны вкрапленно-гнездовые выделения сульфидов в секущих карбонатных и серпофито-карбонатных прожилках.

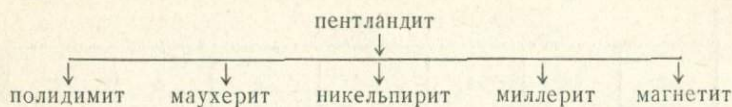
В массиве выявлено несколько рудных зон мощностью 0,15—1,6 м, прослеженных с большими перерывами по простиранию на 100—200 м.

Содержание никеля в них меняется от 0,16 до 12,48%. Пентландито-полидимитовая сульфидная фракция из скв. 25270 имеет следующий химический состав, %: Ni—38,0; Co—4,20; Cu—0,60; Fe—10,91; S—38,8; As—0,036. Химический состав пентландита, %: Fe—33,31; Ni—28,00; Co—0,96; S—32,09; структурная формула пентландита: (Fe_{4,77}Ni_{3,82}Co_{0,13})_{8,72}S_{8,00}.

Рассчитаны параметры элементарной ячейки никелевых сульфидов, которые у пентландита меняются от 10,000 до 10,026 Å, полидимита — от 9,4393 до 9,453 Å. Пониженные значения параметров ячейки пентландита и полидимита можно объяснить повышенным содержанием никеля и кобальта в составе никелевых сульфидов Правдинского ультраосновного массива. Х. Штрунц [111] приводит для пентландита $a_0 = 10,04$ Å, кобальтпентландита $a_0 = 9,969$ Å. По данным Э. Н. Елисева [31] размер ячейки пентландита меняется в пределах 10,02—10,06 Å, П. Рамдора [79]—10,03 Å.

Основным сульфидным минералом в данном типе оруденения является пентландит, который в гидротермальную стадию замещается полидимитом, маухеритом и другими минералами.

Устанавливается следующая схема преобразования сульфидного никелевого оруденения:



Более поздним минералом в зонах сульфидной минерализации является карбонат, выполняющий трещины в полидимите. В зонах брекчирования, вмещающих никелевое оруденение, процесс карбонатизации и оталькования проходил непосредственно по первичным ультрабазитам, на что указывает сохранение в них слабо метаморфизованного акцессорного хромшпинелида. Следовательно, поиски сульфидного никелевого оруденения следует увязывать с тектоническими зонами, заложенными в период становления массива.

Петрохимическая характеристика пород

Петрохимические особенности ультраосновных пород Сурского и Верховцевского районов детально изучены. В распоряжении авторов имеется более 150 силикатных химических анализов, что позволяет дать петрохимическую характеристику каждого массива в отдельности. Химический состав типовых разностей пород приведен в табл. 5.

Результаты петрохимических пересчетов по методу Н. Д. Соболева даны в табл. 6, 8, 10, 11.

Эти данные свидетельствуют о достаточно однородном составе анализируемых горных пород. Более детальный анализ позволяет выявить, что значения параметра b , отражающего относительное количество атомов оснований, входящих в состав простых силикатов, для всей серии анализируемых пород укладываются в небольшом интервале.

По величине виртуальных характеристик выявляется высокое значение параметров z по сравнению с y . Судя по небольшой величине параметра x , моноклинный пироксен полностью отсутствует или содержится в незначительных количествах. По средним величинам виртуального оливина, ромбического и моноклинного пироксенов усредненный состав материнских ультраосновных пород Карнауховского массива соответствует оливиновому гарцбургиту.

Распределение различных типов ультраосновных пород Карнауховского массива, определенных по классификационной диаграмме, представлено в табл. 7, из которой видно, что среди родоначальных пород Карнауховского массива преобладают перидотиты (гарцбургиты, оливиновые гарцбургиты, лерцолиты, верлиты), составляющие 81,5%, в подчиненном количестве развиты дуниты. Ультраосновные породы массива полностью серпентинизи-

Таблица 5
Химический состав главных разновидностей ультра основных пород Среднего Приднепровья

Оксид	Номер анализа																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
SiO ₂	33,57	33,81	34,76	33,55	29,32	34,93	35,40	36,60	36,68	25,33	25,17	34,98	44,12	39,06	47,59	23,43	51,86
TiO ₂	0,07	0,14	Следы	0,00	0,16	0,13	0,17	0,12	0,21	0,05	0,25	0,10	0,07	0,42	0,35	0,06	0,40
Al ₂ O ₃	0,38	1,28	0,29	0,47	0,23	0,39	0,27	0,99	2,12	1,47	1,80	4,29	3,01	3,35	3,45	24,06	0,14
Cr ₂ O ₃	—	0,12	0,01	0,08	0,78	0,35	0,23	0,26	0,44	0,28	0,89	0,38	0,44	0,43	0,13	0,06	0,31
Fe ₂ O ₃	4,42	4,78	6,09	5,62	13,62	5,14	7,44	3,38	7,00	0,99	2,96	1,97	6,98	7,20	6,20	4,19	3,36
FeO	2,15	2,73	1,72	2,51	6,69	2,29	2,94	2,37	4,16	5,81	5,38	5,10	10,34	4,88	11,48	3,01	4,74
MnO	0,82	0,08	0,024	0,11	0,16	0,12	0,01	0,07	0,12	0,15	0,14	0,12	1,53	0,07	0,23	0,40	0,21
MgO	41,34	41,05	38,62	41,60	35,70	35,94	38,24	41,15	35,79	33,18	34,50	25,86	18,42	31,69	17,29	10,29	20,88
CaO	0,42	0,21	0,56	0,41	0,41	3,47	0,31	0,07	0,42	3,74	0,42	8,33	3,10	0,28	8,36	12,82	13,72
NiO	0,35	0,30	0,25	0,25	0,30	0,23	0,34	0,10	0,18	0,05	0,05	0,12	0,18	0,18	0,38	0,19	0,02
CoO	0,02	0,024	0,012	0,029	0,028	0,03	0,03	0,02	0,02	0,007	0,007	0,011	0,001	0,02	0,027	0,02	0,01
CuO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,019	—	—	0,416	—	—
Na ₂ O	—	0,07	0,08	0,08	0,33	—	—	0,40	0,29	—	—	0,21	0,27	0,21	0,27	0,27	—
K ₂ O	—	0,08	0,20	0,00	0,00	—	—	0,20	0,21	—	—	0,08	0,02	0,20	0,07	0,24	—
P ₂ O ₅	0,15	0,05	0,13	0,07	0,47	—	—	0,17	0,17	—	—	0,08	—	0,15	0,20	—	—
V ₂ O ₅	0,06	—	0,013	—	—	—	—	—	0,02	—	—	0,005	0,02	Следы	0,045	—	—
As	—	—	0,01	—	—	—	—	0,01	0,08	—	—	0,03	0,01	0,06	0,004	—	—
SO ₃	—	0,09	0,05	0,09	0,09	—	—	0,07	0,10	0,14	0,027	0,40	0,16	(S) 0,04	—	0,15	—
H ₂ O ⁻	1,46	0,91	1,00	1,11	0,87	0,49	0,88	0,58	0,02	0,03	0,06	0,07	0,05	0,32	0,10	0,69	0,13
CO ₂	—	—	—	—	—	4,86	—	0,80	2,40	26,20	26,45	14,00	—	—	1,48	—	—
П. п. п.	14,09	13,85	15,71	15,84	13,55	11,35	14,17	13,92	11,96	3,10	2,39	3,77	11,41	11,26	2,37	20,23	4,39
Сумма	99,30	99,67	99,52	100,32	100,72	99,72	100,43	100,48	99,93	100,527	100,49	99,92	100,131	99,82	100,442	100,21	100,17

Примечание. 1, 3, 9—12, 15—Сурский район, Правдинский массив; 6, 16—Сур 17—Верховцевский район, Варваровский массив. 1—скв. 12250, обр. 114, хризотило-лизардитовый серпентинит; 4—скв. 10011, обр. 4262, антигоритово-лизардитовый серпентинит с 20% магнетита; 6—скв. 8790, обр. 1047, хризотило-антигоритовый серпентинит; 7—скв. 25165, гл. 86,5 м антигоритовый серпентинит; 8—скв. 10310, 12250, обр. 196—антигоритовый серпентинит; 10—скв. 25183, обр. 4793, талько-карбонатная тальковая порода; 11—та же порода, скв. 25184, обр. 4841; 12—скв. 25170, обр. 4312, хлорито-карбонатско-скв. 12235, обр. 3, серпентинизированный, карбонатизированный, амфиболлизированный перикрбонато-хлоритовая порода; 17—скв. 10032, гл. 237,0 м амфиболлизированный пироксенит.

ский район, Карнауховский массив; 8, 13, 14—Сурский район, Петровский массив; 2, 4, 5, товый серпентинит с реликтами оливина; 2—та же порода, скв. 10046, обр. 4034; 3—скв. хризотило-лизардитовый серпентинит с бруситом; 5—скв. 10011, обр. 4254, брусито-хризотитовый серпентинит; 7—скв. 25165, гл. 86,5 м антигоритовый серпентинит; 8—скв. 10310, 12250, обр. 196—антигоритовый серпентинит; 10—скв. 25183, обр. 4793, талько-карбонатная тальковая порода; 13—скв. 12072, обр. 828, карбонато-антофиллитовая порода; 14—дотит; 15—скв. 25170, обр. 4349, хлорито-актинолитовая порода; 16—скв. 8736, обр. 1003,

Таблица 6
Петрохимические особенности пород Карнауховского массива

Значение	Параметр								
	<i>s</i>	<i>2c</i>	<i>b</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>M : F</i>	<i>h</i>	Cr : Al
Минимальное	32,8	0,1	58,4	0	0	50,9	4,4	25,8	1,3
Максимальное	41,4	6,3	66,3	11,6	49,1	98,8	13,1	89,3	100,0
Среднее	36,6	2,2	62,3	1,56	20,3	78,1	8,1	56,3	34,3

Таблица 7
Распределение исходных пород Карнауховского массива

Порода	Количество определений	Частота встречаемости, %
Дунит	7	14,9
Оливиновый гарцбургит	17	36,2
Оливиновый лерцолит	1	2,1
Оливиновый верлит	1	2,1
Гарцбургит	21	44,7
Сумма	47	100

рованы, что отражается в большой величине среднего коэффициента серпентинизации (табл. 5).

Высокая магнезиальность пород, преобладание апоперидотитовых разностей серпентинитов, сравнительно высокое среднее значение коэффициента *M:F* (8,1; с верхней границей до 13,1) и параметров *b* и *2c*, соответственно равных 62,3 и 2,2%, низкое содержание титана и щелочей, а также относительно высокое содержание никеля (0,31% NiO) позволяют сопоставлять ультраосновные породы Карнауховского массива с альпинотипными гипербазитами Кавказа, центральной и восточной полосы Урала, Западного и Восточного Саяна и Алтая, Центрального Казахстана и других районов [70, 71, 88].

Для установления петрохимических особенностей ультраосновных пород Правдинского массива использовано 24 химических анализа серпентинизированных ультраосновных пород и серпентинитов (табл. 8). Среднее содержание виртуального оливина, моноклинного и ромбического пироксена позволяет считать материнские породы Правдинского массива оливиновыми гарцбургитами. Распределение отдельных типов ультраосновных пород Правдинского массива представлено в табл. 9, из которой видно преобладание в массиве гарцбургитов.

Таблица 8

Петрохимические особенности пород Правдинского массива

Значение	Параметр								
	<i>s</i>	<i>2c</i>	<i>b</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>M : F</i>	<i>h</i>	Cr : Al
Минимальное	33,5	0,2	57,8	0	0,6	59,1	5,2	8,0	0
Максимальное	39,0	3,2	66,0	3,2	39,2	97,7	11,4	61,3	87,5
Среднее	36,07	1,24	62,7	1,71	17,6	80,7	8,15	41,54	22,5

Таблица 9

* Распределение исходных пород Правдинского массива

Порода	Количество определений	Частота встречаемости, %
Дунит	7	29,1
Оливиновый гарцбургит	8	33,4
Гарцбургит	9	37,5
Сумма	24	100,0

Установленное химическими анализами повышенное содержание магния, пониженное кальция, алюминия, титана и обычное для ультраосновных пород содержание хрома и никеля, а также данные петрохимических пересчетов и преобладание в составе исходных пород перидотитов позволяют считать ультраосновные породы Правдинского массива производными перидотитовой магмы.

Петрохимическая характеристика ультраосновных пород Петровского массива дана на основании пересчета 6 химических анализов серпентинитов, результаты которых приведены в табл. 10. Числовая характеристика *b* меняется в узких пределах и совпадает со значениями *b* для перидотитов из альпинотипных гипербазитов Кавказа, Урала, Западных и Восточных Саян и других районов СССР.

Таблица 10

Петрохимические особенности пород Петровского массива

Значение	Параметр								
	<i>s</i>	<i>2c</i>	<i>b</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>M : F</i>	<i>h</i>	Cr : Al
Минимальное	34,2	0,7	61,4	0,2	6,4	73,9	7,1	41,1	0
Максимальное	37,2	4,1	64,1	2,4	24,6	91,2	11,5	62,7	22,2
Среднее	35,6	1,7	62,7	1,3	15,9	82,8	9,5	51,0	11,6

Средние содержания виртуального моноклинного и ромбического пироксенов, оливина и небольшие их колебания позволяют считать материнские ультраосновные породы Петровского массива оливиновыми гарцбургитами. Величина коэффициента $M:F$ указывает на принадлежность исследуемых горных пород к производным перидотитовой магмы.

Таким образом, высокое содержание магния, малое количество щелочей, титана и характерный состав материнских пород, представленных оливиновыми гарцбургитами, позволяет относить серпентиниты Петровского массива к производным глубинной перидотитовой магмы.

Ультраосновные породы Сурского района (Карнауховский, Правдинский, Петровский массивы) обнаруживают единообразие петрохимических характеристик и состава материнских пород, представленных оливиновыми гарцбургитами и собственно гарцбургитами при подчиненном количестве дунитов.

Петрохимическая характеристика ультраосновных пород Верховцевского района основывается на пересчетах 44 химических анализов серпентинизированных дунитов и перидотитов, серпентинитов и жильных пироксенитов. Пределы колебаний и средние значения петрохимических характеристик приведены в табл. 11.

Таблица 11
Петрохимические особенности пород Верховцевского района

Значение	Параметр								
	s	$2c$	b	x	y	z	$M:F$	h	$Cr:Al$
Минимальное	32,3	0,1	58,0	0	0	59,2	4,2	21,0	3,1
Максимальное	39,2	4,8	66,8	4,4	38,9	100,0	12,6	54,8	95,0
Среднее	35,0	1,3	63,8	0,84	12,04	87,13	8,85	42,0	29,7

Верхний предел основной числовой характеристики b достигает 66,8%, что характерно для дунитов. Средний виртуальный минеральный состав отвечает оливиновым гарцбургитам. Выделяется группа жильных пироксенитов (5 анализов), для которых значения $M:F$ колеблются от 4,5 до 5,5, а значения характеристики b — от 49,5 до 57,5%. При нанесении результатов петрохимических пересчетов на классификационную диаграмму выяснилось, что исходными породами серпентинитов Верховцевского района являются дуниты, оливиновые гарцбургиты, собственно гарцбургиты и верлиты (табл. 12). Характерной особенностью серпентинитов Верховцевского района является их аподунитовая и апогарцбургитовая природа.

Таблица 12

Распределение исходных пород Верховцевского района

Порода	Количество определений	Частота встречаемости, %
Дунит	20	51,3
Оливиновый гарцбургит	13	33,4
Гарцбургит	5	12,8
Верлит	1	2,5
Сумма	39	100,0

Петрохимический анализ позволяет отнести ультраосновные породы Верховцевского района к производным перидотитовой магмы.

Геохимическая характеристика пород

В Сурско-Верховцевском районе геохимические особенности ультраосновных пород наиболее подробно изучены для Варваровского и Правдинского массивов. Породы этих массивов охарактеризованы большим количеством различных видов анализов пород и отдельных минералов, позволяющих достаточно достоверно судить о их геохимических особенностях. Из имеющихся данных здесь приведены лишь результаты количественного спектрального и химического анализов, обладающих наибольшей точностью (см. табл. 13—20).

Анализ материалов показывает, что для ультраосновных пород описываемых массивов характерными элементами-примесями являются никель, кобальт, медь, мышьяк, ртуть, висмут и олово.

В наименее измененных разновидностях пород, представленных серпентинизированными дунитами, содержание элементов-примесей более или менее постоянно (см. табл. 13, 14). В табл. 13, 14 и последующих K_k — коэффициент концентрации означает отношение средних содержаний элементов в данных породах к среднему содержанию тех же элементов в типовых породах по А. П. Виноградову. При этом среднее количество никеля составляет около 0,32%, что в 1,5—2 раза превышает кларк для ультраосновных пород. Содержание меди также выше кларка, в то время как количество кобальта несколько ниже.

Мышьяк, ртуть, висмут и олово присутствуют, как правило, в количествах, значительно превышающих кларковые.

Серпентинизация пород не оказывает существенного влияния на содержание элементов-примесей, в то время как при карбонатизации и отальковании пород наблюдается заметное уменьшение количества никеля, кобальта и повышение содержания меди, что обусловлено, видимо, перераспределением этих элементов между

Таблица 15

Содержания никеля, кобальта и меди в породах Сурско-Верховцевского района (по количественному спектральному анализу), %

Массив	Порода	Количество определений	CNi	K _K	C _{Co}	K _K	C _{Cu}	K _K
Варваровский	Серпентинизированный дунит	4	0,365	1,8	0,0142	0,71	0,0047	2,3
	Серпентинит с реликтами оливина	4	0,335	1,7	0,0140	0,70	0,0053	2,6
	Антигоритовый и хризотило-антигоритовый серпентинит	6	0,322	1,6	0,0150	0,75	0,0048	2,4
	Карбонатизированный серпентинит	1	0,350	1,7	0,015	0,75	0,010	5,0
	Талько-карбонатная порода	5	0,246	1,2	0,0124	0,62	0,0072	3,6
	Карбонато-тальковая порода	2	0,180	0,90	0,0094	0,47	0,011	5,5
	Ультраосновные породы, слабо метаморфизованные (в среднем)	15	0,339	1,7	0,0145	0,72	0,0049	2,4
Правдинский	Серпентинизированный дунит	5	0,317	1,6	0,0182	0,91	0,0025	1,2
	Серпентинит	8	0,312	1,6	0,0151	0,75	0,0024	1,2
	Карбонатизированный серпентинит	7	0,284	1,4	0,0130	0,65	0,0024	1,2
	Карбонато-тальковая и талько-карбонатная порода	6	0,239	1,2	0,0110	0,55	0,0067	3,3
	Ультраосновные породы, слабо метаморфизованные (в среднем)	13	0,312	1,6	0,0163	0,81	0,0024	1,2

минеральными фазами. Никель и кобальт концентрируются в магнетите, медь преимущественно в сульфидах.

Отмеченные различия содержаний элементов-примесей в породах, метаморфизованных в разной степени, также видны и при сопоставлении содержаний в них серы и сульфидного никеля. Как видно из табл. 15, для ультраосновных пород Сурского и Верховцевского районов характерны высокие содержания серы, значительно превышающие кларк. Содержания серы резко отличные для разных пород. Однако строгой закономерности в распределении серы в зависимости от метаморфизма пород установить не всегда удается. Если в породах Варваровского массива отчетливо наблюдается зависимость концентрации серы от степени метаморфизма пород (наибольшая в талько-карбонатных породах), то в Правдинском массиве это выражено нечетко.

Таблица 14

Содержания элементов-примесей в породах Сурско-Верховцевского района (по высокочувствительному спектральному анализу)

Массив	Порода	Количество определений	10 ⁻¹ %		10 ⁻² %		10 ⁻³ %		10 ⁻⁴ %		10 ⁻⁵ %	
			CaS ₂	K _K	CHg	K _K	CGe	K _K	CBi	K _K	CSn	K _K
Варваровский	Серпентинизированный дунит и перидотит	6	3,16	6,3	3,3	33	1,63	0,163	5,5	55	19,5	3,9
	Серпентинит	44	7,15	14,3	—	—	—	—	—	—	17,0	3,4
	Талько-карбонатная порода	16	27	5,4	—	—	—	—	7,5	75	6,17	1,28
Правдинский	Серпентинит, частично серпентинизированный дунит	38	2,5	5	6,6	66	1,07	0,107	4,9	49	11,4	2,7
	Серпентинит, оталькованный и карбонатизированный	34	3	6	5,88	58,8	0,52	0,052	2	20	8,76	1,75
	Карбонато-тальковая порода	17	3,33	6,7	1,17	11,7	3,17	0,317	—	—	10,7	2,1

Таблица 15

Содержание серы в породах Сурского и Верховского районов (по химическому анализу)

Массив	Порода	Количество определений	CS, %	K _K
Варваровский	Серпентинизированный дунит	3	0,049	4,9
	Серпентинит с реликтами оливина	2	0,031	3,1
	Серпентинит	1	0,043	4,3
	Талько-карбонатная порода	2	0,129	12,9
Правдинский	Серпентинизированный дунит	2	0,1037	10,37
	Серпентинит с реликтами оливина	2	0,2153	21,53
	Серпентинит	1	0,3088	30,88
	Серпентино-карбонатная порода	2	0,0935	9,35
	Серпентино-карбонато-тальковая порода	1	0,0669	6,69

Никель в ультраосновных породах описываемых районов входит главным образом в состав серпентина и труднорастворимых окислов. Содержание сульфидного никеля незначительно и составляет, как правило, 11—25%, реже 45% от общего его количества в породе (табл. 16). Установить более или менее четкую закономерность распределения сульфидного никеля затруднительно. Не исключено, что такие различия связаны с влиянием более поздней

Таблица 16

Результаты фазового химического анализа пород Сурского и Верховцевского районов

Массив	Порода	Количество определений	C _{Ni} , %		Отношение содержания сульфидного никеля к валовому, %
			валового	сульфидного	
Варваровский	Серпентинизированный дунит	3	0,269	0,075	28
	Серпентинит с реликтами оливина	2	0,290	0,055	19
	Серпентиниты и серпентинизированные дуниты	5	0,279	0,065	23
	Серпентинит (выветрелый)	1	0,275	0,070	25
	Талько-карбонатная порода	2	0,215	0,040	18
Правдинский	Сильно серпентинизированный дунит (15—20% оливина)	1	0,193	0,03	15
	Сильно серпентинизированный дунит (30—35% оливина)	1	0,202	0,03	14
	Антигорито-лизардитовый серпентинит с реликтами оливина	1	0,120	0,03	25
	Антигоритовый серпентинит	1	0,264	0,024	9
	Антигоритовый серпентинит (магнетит + хромит 10%)	1	0,350	0,04	11
	Антигорито-лизардитовый серпентинит с реликтами оливина (магнетит + хромит 10—15%)	1	0,322	0,07	21
	Антигорито-карбонатная порода (магнетит + хромит 15—20%)	1	0,350	0,16	45
	Антигорито-карбонатная порода	1	0,270	0,03	11
	Антигорито-карбонато-тальковая порода	1	0,135	0,03	22

сульфидной минерализации, наблюдаемой в зонах рассланцевания массивов.

Как показывают анализы отдельных минералов (табл. 17, 18), основным минералом-концентратором элементов-примесей в сер-

Таблица 17

Содержание элементов-примесей в минералах ультраосновных пород Варваровского массива, %

Порода	Минерал	C _{Ni}	C _{Co}	C _{Cu}	C _{Cr}	C _{Ti}	C _V	C _{Zn}
Серпентинит	Оливин	0,40	0,030	0,0012	0,16	0,000	0,0001	0,017
	Серпентин	0,29	0,027	0,0007	0,11	0,004	0,0001	0,001
	Магнетит	0,78	0,036	0,0013	0,24	0,0017	0,0010	0,17
Талько-карбонатная порода	Тальк (обычный)	0,58	0,012	—	—	—	—	—
	Тальк (голубовато-зеленый)	3,2	—	—	—	—	—	—
	Карбонат	0,05	—	—	—	—	—	—
	Магнетит	0,44	0,033	—	—	—	—	—
	Пирит	—	0,060	—	—	—	—	—

Таблица 18

Содержание элементов-примесей в минералах ультраосновных пород
Петровского массива, %

Минерал	$C_{Cr_2O_3}$	C_{TiO_2}	C_{MnO}	C_{NiO}	C_{Co}	$C_{Cu} \cdot 10^{-3}$	$C_{Zn} \cdot 10^{-3}$	C_V	$C_{Ga} \cdot 10^{-4}$
Оливин	0,26 (3)	0,04 (3)	0,13 (3)	0,32 (4)	0,024 (4)	8,4 (4)	13 (3)	0,0002 (4)	0 (3)
Серпентин	0,25 (3)	0,045 (6)	0,103 (6)	0,22 (3)	0,024 (3)	3,5 (7)	5 (6)	0,0003 (7)	0 (6)
Магнетит	0,60 (5)	0,15 (6)	0,402 (6)	1,03 (6)	0,102 (6)	10,0 (12)	67 (11)	0,021 (1)	0,7 (12)
Антофиллит	0,20 (1)	0,06 (1)	0,46 (1)	0,21 (1)	0,032 (1)	5,2 (3)	20 (2)	0,0005 (2)	0 (2)
Хлорит	0,25 (4)	0,16 (4)	0,32 (4)	0,30 (4)	0,003 (4)	0,3 (4)	22 (4)	0,004 (3)	1,2 (4)
Пирит	—	—	—	0,35 (1)	0,007 (1)	8 (2)	15 (2)	0 (2)	1,5 (2)

Примечание. Cr_2O_3 , TiO_2 , MnO , NiO и Co — по данным химического анализа; Cu , Zn , Ga и V — по данным спектрального анализа. В скобках указано количество определений.

пентинитах, серпентинизированных дунитах и перидотитах является магнетит. Содержание в нем никеля в 2—5 раз превышает его количество в породе, кобальта — в 1,5—4 раза, меди — в 2—10 раз, цинка — примерно в 1,3, иногда в 100 раз. Если учесть, что содержание магнетита в серпентинитах низкое (от 1 до 10%, в среднем 5,8%), а серпентина превышает 90%, то основным носителем элементов следует считать серпентин. Из табл. 19, 20 видно, что на долю серпентина приходится 84% никеля, 87,6% меди и 90,7% кобальта от общего количества этих металлов, содержащихся в породе.

Таблица 19

Баланс никеля, меди, кобальта по минералам в серпентинитах Варваровского массива, %

Минерал	Содержание минерала	Содержание никеля	Количество никеля, приходящееся на минерал	Содержание никеля в минерале от общего содержания в породе	Содержание меди, 10^{-1}	Количество меди, приходящееся на минерал, 10^{-4}	Содержание меди в минерале от общего содержания в породе	Содержание кобальта в минерале	Количество кобальта, приходящееся на минерал, 10^{-3}	Содержание кобальта в минерале от общего содержания в породе
Оливин	1,6	0,40	0,006	1,9	12	0,19	2,6	30	0,48	1,7
Серпентин	92,6	0,29	0,268	84,0	7	6,48	87,6	27	25,00	90,7
Магнетит	5,8	0,78	0,045	14,1	13	0,75	9,8	36	2,09	7,6
Сумма	100,0		0,319	100,0		7,42	100,0		27,57	100,0

Таблица 20

Баланс NiO, CoO, TiO₂, Cr₂O₃, Cu, Zn по минералам в серпентинитах Петровского массива

Минерал	Содержание минерала в породе, %	Доля окислов и элементов, содержащихся в минералах, от общего количества в породе, %					
		NiO	CoO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	Cu	Zn
Серпентин	83,9	64,1	68,3	74,5	80,8	77,4	42,2
Магнетит	8,6	31,8	29,5	25,5	19,2	22,6	57,8
Карбонат	7,5	4,1	2,2	—	—	—	—
Сумма	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

По подсчетам В. А. Стульчикова из общего количества никеля в серпентинитах Варваровского массива на долю силикатов приходится 59—74%, магнетит концентрирует от 7 до 38%, а сульфиды от 3 до 5% никеля.

Из табл. 19, а также при сопоставлении химических составов оливина и серпентина (табл. 17) видно, что по химическим анализам серпентинитов нельзя составить достаточно полного впечатления о содержании элементов в исходных породах (и, следовательно, в родоначальном магматическом расплаве). Более достоверно изучение состава оливина, которое, однако, не дает возможности судить о количестве хрома и алюминия, концентрирующихся главным образом в хромшпинелидах. Сравнение данных по составу оливина и серпентинитов указывает на снижение содержания большинства элементов при серпентинизации, но значительного выноса компонентов не происходит. Показательно, что при понижении абсолютного содержания большинства элементов, отношения их содержаний (1000 NiO:MgO, Ni:Co) меняются незначительно.

Никопольский район

Геолого-петрографическая характеристика

Массивы ультраосновных пород Никопольского района залегают среди пород конкско-верховцевской серии в виде пластообразных тел или останцов среди гранитоидов.

Серпентиниты образуют несколько массивов в районе с. Усть-Каменки и к юго-востоку от ст. Чертомлык. Более метаморфизованные разности ультраосновных пород образуют самостоятельные тела в районе с. Алексеевки, к северу от с. Шолохово, в окрестностях с. Богдановки и др. Простирание массивов субширотное или субмеридиональное.

Ультраосновные породы Никопольского района представлены метаморфизованными разностями: серпентинизированными гарцбургитами, карбонатизированными, оталькованными серпентини-

тами, амфиболизированными серпентинитами, серпентино-карбонато-талковыми и хлоритовыми породами, тремолититами.

Серпентинизированные гарцбургиты представляют собой массивную породу среднезернистого сложения, зеленовато-серой окраски. Минеральный состав: оливин (50—55%), ортопироксен (15—17%), хризотил (12—15%), антигорит (2—3%), тальк (3—4%), хлорит (2—3%), хромшпинелид (0,5—1%), магнетит (0,5—1%), карбонат (2—3%). Структура гранобластовая, петельчатая.

Оливин развит в виде крупных сильнотрещиноватых зерен неправильно угловатой формы, размерами от 0,25—0,30 до 2—2,5 мм, и представлен форстеритом с содержанием Fe_{6-10} .

Оптические константы форстерита: $n_g = 1,696$; $n_m = 1,669$; $n_p = 1,656$; $n_g - n_p = 0,040$. Угол $2V = 88^\circ$.

Ромбический пироксен образует крупные призматические кристаллы без ясных конечных граней. По поперечным трещинам отдельности наблюдается замещение лизардитом. Судя по оптическим константам [$n_g = 1,678$; $n_m = 1,674$; $n_p = 1,669$; $2V = (74 \div 82)^\circ$], он относится к бронзиту (Fe_{22-24}).

Лизардит присутствует в виде тонких и более грубых прожилков поперечно-волоконистого и скрытокристаллического сложения. Окраска бледно-зеленая ($n_g = 1,565$; $n_p = 1,558$). Удлинение отрицательное. Образуется за счет оливина и пироксена, местами полностью замещающая их.

Хромшпинелид развит в виде единичных крупных зерен изометричной либо правильной октаэдрической формы, размерами до 1,5—1,8 мм, красновато-бурого цвета.

Магнетит образует тонкую оторочку вокруг зерен оливина, замещенных серпентином, реже — отдельные мелкие кристаллы октаэдрического облика.

Оталькованные, карбонатизированные серпентиниты — плотные, темно-зеленого и темно-серого цвета, мелкочешуйчатозернистого сложения, в различной степени карбонатизированные, оталькованные и местами хлоритизированные.

Минеральный состав: бастит, лизардит, антигорит, актинолит, хлорит, тальк, карбонат, хромит, магнетит. Структура сложносетчатая, петельчатая, лепидобластовая, порфиробластовая. Лизардит (петельчатый серпентин) обычно преобладает и образует тонкие и более широкие жилки сложнополосчатого и сетчатого сложения. Окраска светло-бурая, местами бледно-зеленая. Содержание NiO в нем колеблется от 0,10 до 0,34%, что обусловлено первичным составом оливина.

Антигорит наблюдается в серпентинитах в виде обособленных участков, состоящих из мелких чешуек. Заметно волнистое погасание. Показатели преломления $n_g = 1,569$; $n_p = 1,563$; $n_g - n_p = 0,006$, удлинение положительное. Антигорит, как правило, замещается тальком.

Хлорит встречается в виде чешуек, бесцветный, ($n_g = n_m = 1,607$; $n_p = 1,603$). По содержанию Si и Mg отвечает прохлориту.

Тремолитизированные серпентиниты. В их состав входят: оливин, амфибол, хлорит, серпентин, офит, карбонат, магнетит. Структура сетчатая, порфиробластовая. Оливин имеет следующие оптические константы: $n_g=1,688$; $n_p=1,657$; $n_g-n_p=0,031$; $2V=84^\circ$.

Тремолит развит в виде сильно раздробленных реликтовых зерен, местами с ясным шестоватым сложением. Бесцветный, угол погасания $cNg=18^\circ$; $n_g=1,664$; $n_p=1,632$; $n_g-n_p=0,032$.

Серпентино-карбонато-тальковые и серпентино-талько-карбонатные породы массивные, чешуйчато-зернистого сложения. Окраска пород меняется в зависимости от содержания главных породообразующих минералов от зеленовато-серой до темно-серой. По мере увеличения содержания талька порода становится жирной на ощупь. Минеральный состав серпентино-карбонато-тальковых пород: серпентин (13—15%), хлорит (1—2%), тальк (44—46%), карбонат (25—30%), магнетит (7—8%). Структура гранолепидо-бластовая, лепидогранобластовая.

Тальк развит в виде сплошных мелкочешуйчатых масс, среди которых выделяются местами скопления более крупночешуйчатого сложения. Плеохроизм от бесцветного по n_p до бледно-зеленого по n_g ; $n_g=1,589$; $n_p=1,543$; $n_g-n_p=0,046$.

Карбонат присутствует в виде мелкозернистых масс, реже прожилков среди талька, бесцветный. Выделяется два карбоната: магнетит и кальцит. Оптические константы магнетита: $n_o=1,702$; $n_e=1,507$; $n_o-n_e=0,195$.

Хлоритовые породы в зависимости от содержания главных породообразующих минералов представлены следующими разновидностями: хлорито-карбонатная, хлорито-тальковая, хлорито-амфиболовая, серпентино-хлоритовая.

Хлорито-карбонатная порода представлена основной мелкозернистой массой карбоната, среди которой выделяются скопления хлорита серебристо-зеленого цвета. Содержание карбоната 73—75%, хлорита 25—27%.

Хлорит (пеннин) образует хорошо выраженные чешуйки. Плеохроизм резко выражен: от почти бесцветного по n_p до густо-зеленого по n_g , $n_g=n_m=1,576$; $n_p=1,571$; $n_g-n_p=0,005$. Местами заметно замещение карбонатом. Карбонат (брейнерит) доминирует. Образует сплошные неравномерно-зернистые массы и метельчатые агрегаты с зубчатыми очертаниями, $n_o=1,710$; $n_e=1,519$.

Хлорито-тальковый сланец состоит из талька (84—86%), карбоната (3—4%), хлорита (6—7%), магнетита (2—3%) и сульфидов (0—2%).

Хлорито-амфиболовая порода сложена тремолитом, хлоритом, карбонатом и магнетитом. Структура нематобластовая, зернистая.

Преобладает тремолит, который развит в виде крупных шестоватых кристаллов ($n_g=1,638 \div 1,644$; $n_p=1,610 \div 1,618$; $n_g-n_p=0,025 \div 0,028$). Угол погасания $cNg=20 \div 25^\circ$.

Хлорит представлен прохлоритом, образующим крупные бесцветные чешуйки с совершенной спайностью. Развивается за счет

тремолита $n_m = 1,606$, цвета интерференции нормальные, удлинение отрицательное. Иногда появляется зеленый хлорит, развитый в виде пятнистых масс, образующихся по бесцветному прохлориту.

Серпентино-хлоритовая порода сложена хлоритом крупно- и мелкочешуйчатого сложения, среди которого выделяются обособленные реликтовые участки серпентинита и редкие крупные чешуйки талька. Хлорит представлен двумя разновидностями: прохлоритом крупно- и мелкочешуйчатого сложения и рипидолитом с аномальными синими цветами интерференции.

Хлоритовые породы — массивные, зеленовато-серого цвета, неравночешуйчатого сложения, состоящие из прохлорита, лизардита, антигорита, магнетита, циркона. От серпентино-хлоритовых разновидностей пород отличаются преобладанием прохлорита над другими минералами.

Химический состав породообразующих минералов пород Никопольского района приведен в табл. 21.

Петрохимическая характеристика пород

Петрохимическая характеристика ультраосновных пород Никопольского района приведена по результатам пересчета химических анализов серпентинитов по методу Н. Д. Соболева (табл. 22). Средний химический состав серпентинитов дан в табл. 23.

Средние значения виртуальных содержаний минералов позволяют считать материнские породы серпентинитов Никопольского района оливиновыми гарцбургитами. Коэффициент $M:F$ изменяется в широких пределах.

Результаты петрохимических пересчетов распределились на классификационной диаграмме следующим образом (табл. 24).

Данные табл. 24 свидетельствуют о преимущественно перидотитовом составе исходных пород для серпентинитов Никопольского района.

Характер распределения титана, никеля, кобальта, низкая глиноземистость и высокая магнезиальность, значения числовых петрохимических характеристик и преобладание среди исходных пород перидотитов позволяют отнести ультраосновные породы Никопольского района к производным глубинной перидотитовой магмы.

Белозерский район

В пределах Конкско-Белозерской структурно-фациальной зоны выделяются три участка развития ультраосновных пород: Белозерский, Конкский и Славгородский.

Наиболее широко ультраосновные породы развиты в Белозерском районе, где они изучались В. Д. Ладиевой [57—59], Г. Ф. Гузенко, Л. И. Коршевер и К. Ф. Щербаковой [25], З. И. Танатар-Бараш [95, 99, 100]. Здесь самым крупным является Белозерский массив, расположенный в 75 км к юго-западу от г. Запорожья.

Таблица 21

Химический состав главных породообразующих минералов пород Никопольского района

Оксиды, катионы	Номер анализа			
	1	2	3	4
SiO ₂	40,15	34,76	40,34	33,27
TiO ₂	0,00	0,14	0,00	0,54
Al ₂ O ₃	0,43	1,52	0,64	12,18
Cr ₂ O ₃	0,202	0,08	0,072	0,03
Fe ₂ O ₃	0,71	3,57	3,05	8,60
FeO	6,31	1,65	2,11	2,28
MnO	0,13	0,12	0,11	0,02
CaO	0,14	0,24	0,27	0,00
MgO	50,89	41,31	38,36	29,95
NiO	0,33	0,20	0,33	0,15
CoO	0,023	0,020	0,028	0,015
Na ₂ O	0,87	0,08	0,12	0,78
K ₂ O	0,23	0,03	0,03	0,07
SO ₃	0,10	0,25	0,06	0,00
P ₂ O ₅	0,25	—	—	0,06
H ₂ O ⁺	0,21	—	—	—
H ₂ O ⁻	0,00	1,03	0,27	0,08
П.п.п.	—	15,98	14,46	12,65
Сумма	100,975	100,98	100,250	100,675
Si	1,00	3,96	3,93	3,26
Ti	0,000	0,01	0,000	0,04
Al ^{IV}	—	0,03	0,07	0,70
Al ^{VI}	—	0,01	0,00	0,60
Fe ³⁺	—	0,28	0,22	0,63
Fe ²⁺	0,12	0,21	0,17	0,18
Mn	0,003	0,01	0,01	0,00
Mg	1,82	5,35	5,56	4,38
Ni	0,008	0,02	0,03	0,01
OH	—	8,00	8,00	7,90
<i>f</i> общ. %	6,19	8,39	6,56	15,6

Примечание. 1 — оливин, массив Новое, скв. 16321, обр. 3290; 2 — лизардит, тот же образец; 3 — антигорит, массив Апостолово, скв. 21072, обр. 2094; 4 — хлорит, массив Апостолово, скв. 21417, обр. 3262.

Таблица 22

Петрохимические особенности пород Никопольского района

Значение	Параметр								
	<i>s</i>	<i>2c</i>	<i>b</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>M:F</i>	<i>h</i>	<i>Cr:Al</i>
Минимальное	33,3	0,2	56,4	0,0	0,2	54,4	4,4	7,0	0,1
Максимальное	39,1	7,4	66,3	25,3	35,3	99,1	14,6	60,9	25,0
Среднее	36,1	2,35	61,5	6,2	16,1	77,7	8,64	40,7	14,4

Таблица 23

Химический состав ультраосновных пород Никопольского района

Оксиды	Номер анализа							
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	39,78	36,32	36,32	36,48	35,89	36,73	39,27	35,86
TiO ₂	0,00	0,18	0,00	0,33	0,09	0,09	0,00	0,13
Al ₂ O ₃	1,67	0,47	0,23	1,61	0,47	1,17	2,22	2,36
Cr ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	0,52
Fe ₂ O ₃	3,97	3,48	1,75	6,04	9,47	0,78	3,29	5,97
FeO	3,15	3,65	4,76	8,89	5,18	10,22	7,60	3,70
MnO	0,05	0,16	0,09	0,16	0,16	0,16	0,16	0,13
MgO	37,18	39,93	45,50	27,68	34,00	35,73	31,47	32,87
CaO	0,54	0,54	0,41	2,24	0,54	0,54	2,72	3,50
Na ₂ O	0,31	0,87	0,08	0,10	0,07	0,26	0,23	0,38
K ₂ O	0,42	0,07	0,00	0,05	0,13	0,00	0,03	—
P ₂ O ₅	0,05	0,05	0,00	0,15	0,06	0,07	0,14	0,018
SO ₃	0,25	0,28	0,62	0,19	0,22	0,21	0,17	—
H ₂ O ⁻	0,05	0,18	0,18	—	—	—	0,23	—
П. л. п.	13,21	14,36	9,05	15,73	14,34	14,22	12,68	13,90
Сумма	100,63	100,54	99,49	99,85	100,62	100,18	100,21	99,338

Примечание. 1 — серпентинит, Усть-Каменка, скв. 8, обр. 3276; 2 — серпентинит, Усть-Каменка, скв. 8 обр. 3287; 3 — серпентинизированный перидотит, Новое, скв. 16321, обр. 3290; 4 — оталькованный серпентинит, Высокополье, скв. 420, обр. 4243; 5 — серпентинит, Апостолово, скв. 21417, обр. 3267; 6 — амфиболитизированный серпентинит, Александровка, скв. 21072, обр. 3094; 7 — серпентинит, Кодак, скв. 2812, обр. 3002; 8 — серпентинит, Кодак, скв. 277.

Таблица 24

Распределение исходных пород Никопольского района

Порода	Количество определений	Частота встречаемости, %
Дунит	4	25,0
Оливиновый гарцбургит	4	25,0
Оливиновый лерцолит	1	6,25
Оливиновый верлит	1	6,25
Лерцолит	2	12,5
Гарцбургит	4	25,0
Сумма	16	100,0

Геолого-петрографическая характеристика

Белозерский массив приурочен к зоне контакта метабазитов и сланцев, слагающих Южно-Белозерскую синклиналь. По форме это пластообразное тело субмеридионального простирания шириной

1—2,5 км и протяженностью 16—20 км. Внутреннее строение массива сравнительно однородно. Он сложен серпентинитами, которые в центральной части массива содержат маломощные прослои — реликты серпентинизированных перидотитов (гарцбургитов, лерцолитов) и пироксенитов (вебстеритов, диаллагитов). По направлению к крайвым частям массива в серпентинитах появляются прослои карбонато-тальковых, талько-карбонатных и актинолитотремолитовых пород, приуроченных к зонам тектонических нарушений. К северу и западу от Белозерского массива встречаются более мелкие массивы, представленные главным образом талько-карбонатными сланцами.

Среди ультраосновных пород, слагающих массивы Белозерского района, выделяются: серпентинизированные перидотиты (гарцбургиты, лерцолиты), пироксениты (вебстериты, диаллагиты), серпентиниты, карбонато-тальковые и талько-карбонатные породы (листвениты), актинолититы-тремолититы и хлорититы.

Серпентинизированные перидотиты имеют ограниченное распространение. Макроскопически они имеют серо-темно- и желтовато-зеленую окраску, мелкозернистые, плотные. Физические свойства их меняются в значительных пределах в зависимости от степени серпентинизации: плотность от 3,16 до 2,78 г/см³ (у сильно измененных разностей); относительная плотность — 2,74—3,16 г/см³; пористость — 1,4—4,2%.

В состав перидотитов входят оливин, энстатит, клиноэнстатит, диопсид-авгит или пижонит-авгит, хромшпинелид, лизардит, изредка антигорит и бастит, актинолит, тремолит, карбонат, магнетит, хлориты. Структура панидиоморфнозернистая, псевдоморфная.

Оливин образует зерна угловатой и округлой формы, разбитые густой сетью жилок, выполненных лизардитом, реже карбонатом и тальком. Размер зерен оливина колеблется от 0,1 до 0,4 мм. Зерна бесцветны. Угол $2V=86\div 88^\circ$; $n_g=1,692\div 1,702$; $n_m=1,668\div 1,682$; $n_p=1,658\div 1,664$; $n_g-n_p=0,034\div 0,038$. Судя по оптическим константам, оливин имеет состав Fa_{8-13} . Химический состав его приведен в табл. 25.

В перидотитах наблюдаются все стадии замещения оливина лизардитом, реже — антигоритом, бруситом, тальком, карбонатом.

Энстатит образует удлиненные призматические кристаллы размеров от 1—2 до 5—6 мм. Бесцветный, изредка слегка буроватый. Он имеет угол погасания $cNg=0^\circ$, иногда $8-10^\circ$, $n_g=1,667$; $n_m=1,662$; $n_p=1,658$; $n_g-n_p=0,009$; $2V=82^\circ$, что соответствует энстатиту состава Fs_{5-6} . В неизменном виде энстатит встречается редко, чаще замещается баститом и лизардитом.

Клиноэнстатит (пижонит) встречается в виде удлиненных призматических кристаллов. Бесцветный, местами буровато-серый. Угол погасания $cNg=26^\circ$; $n_g=1,710$; $n_m=1,668$; $n_p=1,685$; $n_g-n_p=0,025$. Характерным является малый угол $2V=26^\circ$, что позволяет отнести минерал к пижониту.

Пижонит-авгит наблюдается в виде крупных и мелких кристаллов призматического облика, без ясных конечных граней, а также в виде мелких реликтовых зерен ($n_g=1,688 \div 1,692$; $n_m=1,667 \div 1,668$; $n_p=1,659 \div 1,661$; $n_g-n_p=0,029 \div 0,031$). Изредка наблюдаются простые двойники. Угол $2V=55 \div 59^\circ$, $cNg=39 \div 42^\circ$.

Пироксениты разделяются на два типа: сильно серпентинизированные, входящие в состав массивов, и жильные более позднего возраста.

В пироксенитах первого типа установлен моноклинный пироксен — диопсид-авгит, энстатит и в незначительном количестве оливин. Из вторичных минералов присутствуют серпентин, актинолит, тремолит, хлорит, тальк и магнетит.

Диопсид-авгит обычно преобладает. Он образует призматические кристаллы буровато-серой окраски, отчетливо наблюдается диаллаговая отдельность. Угол погасания $cNg=42 \div 43^\circ$; $n_g=1,702$; $n_p=1,672$; $n_g-n_p=0,030$. Угол $2V=60 \div 62^\circ$.

Жильные пироксениты, имеют следующий состав: моноклинный пироксен — диопсид или диопсид-авгит, энстатит, гранат, эпидот, цоизит, хризотил, хлорит, карбонат, амфибол. Структура их идиоморфозернистая или порфиробластовая.

Гранато-эпидотовые пироксениты залегают среди серпентинитов отдельными участками.

Эпидот развит в виде мелкозернистых агрегатов и крупных призматических кристаллов, различно ориентированных. Окраска буровато-серая ($n_g=1,775$; $n_p=1,735$; $n_g-n_p=0,040$). Угол $2V=78 \div 80^\circ$. Химический анализ его приведен в табл. 15. Эпидот развивается по пироксену, реже амфиболу и частично по плагиоклазу.

Гранат присутствует в единичных зернах до 20—30%. Окраска кремво-розовая. Сильно трещиноват, разбит на отдельные зерна. Хорошо заметно зональное строение и аномальное двупреломление. По трещинкам развиваются кальцит и пелитоморфное вещество.

Серпентиниты представляют собой плотные, вязкие породы всевозможных оттенков зеленого цвета. Наиболее характерна зеленовато-серая окраска. Часто видна мелкая вкрапленность, скопления зерен и тонкие прожилки магнетита. Сложены они минералами группы серпентина: лизардитом, баститом, антигоритом и офитом, которые составляют 85—95% объема породы. В серпентинитах постоянно присутствует оливин, пироксен, хромшпинелид и магнетит. Из вторичных минералов развиты хлориты (прохлорит, рипидолит), карбонаты (магнезит, брейнерит), тальк, изредка брусит, амфиболы тремолито-актинолитового ряда, сульфиды железа и никеля.

В зависимости от содержания лизардита и антигорита выделяются: лизардитовые, антигоритовые и лизардито-антигоритовые разновидности. Структуры серпентинитов весьма разнообразны. В лизардитовых разновидностях преобладают петельчатая и сетчатая струк-

Оксиды, катионы	Номер анализа						7	8	9	10	11	12	13	14
	1	2	3	4	5	6								
SiO ₂	40,24	41,68	50,64	48,80	51,34	39,78	38,61	41,61	41,37	62,66	61,80	0,67	—	39,30
TiO ₂	0,12	0,14	0,22	0,33	0,19	0,10	0,25	0,03	0,35	0,08	0,10	—	—	1,48
Al ₂ O ₃	—	—	1,68	9,29	4,87	0,24	0,90	2,37	3,33	0,16	0,00	0,10	—	20,01
Cr ₂ O ₃	0,14	0,02	0,08	0,30	0,26	0,18	0,08	—	0,26	0,22	0,00	0,91	—	0,12
Fe ₂ O ₃	—	—	3,85	1,66	2,84	4,00	6,14	2,15	5,29	0,74	0,56	70,30	—	11,68
FeO	12,06	7,17	2,01	6,60	6,17	0,57	2,78	1,70	1,72	0,22	0,28	26,98	1,89	1,14
MnO	0,30	0,67	0,34	0,18	0,22	0,37	0,16	0,13	0,63	0,10	0,36	0,32	1,01	0,41
CaO	0,36	—	19,20	18,03	11,76	1,40	—	0,56	0,28	0,10	0,40	—	23,51	21,16
MgO	46,74	50,24	21,03	13,42	19,33	40,20	38,47	38,48	34,26	30,46	31,00	0,17	25,58	2,75
NiO	0,04	0,08	0,01	0,008	0,01	0,08	0,05	—	0,16	0,03	0,00	0,13	0,09	0,02
Na ₂ O	—	—	0,36	0,50	0,36	0,12	0,15	0,19	0,12	0,10	0,55	0,11	—	0,18
K ₂ O	—	—	0,12	0,12	0,20	0,29	0,18	0,06	0,27	0,17	0,15	—	—	0,12
SO ₃	—	—	—	—	—	—	—	0,09	—	—	—	—	—	0,03
P ₂ O ₅	—	—	—	—	—	—	—	0,03	—	—	—	—	—	—
CO ₂	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,00	0,48	—	47,92	—
H ₂ O ⁺	—	—	—	1,10	2,10	12,60	12,20	—	—	4,78	4,61	—	—	1,90
H ₂ O ⁻	0,14	—	0,06	0,22	0,18	0,18	—	0,29	0,37	0,14	0,00	—	—	0,02
П.п.п.	—	—	—	—	—	—	—	12,31	11,91	—	—	—	—	—
Сумма	100,14	100,00	99,60	100,55	99,83	100,11	99,97	100,00	100,32	99,96	100,29	99,69	100,00	100,32
Si	1,00	1,00	1,88	1,81	7,21	3,85	3,72	3,90	3,90	3,98	3,99	0,00	—	3,00
Ti	—	—	—	0,01	—	0,02	0,01	—	—	—	0,005	—	—	0,09
Al ^{IV}	—	—	0,12	0,18	0,79	0,12	0,27	0,10	0,10	0,02	0,00	—	—	—
Al ^{VI}	—	—	0,00	0,23	0,00	0,00	0,01	0,17	0,26	0,00	0,00	0,04	—	0,97
Cr	—	0,00	0,00	0,01	—	—	—	—	0,02	0,01	0,00	0,22	—	—
Fe ³⁺	—	—	0,05	0,06	0,30	0,19	0,16	0,16	0,38	0,03	0,03	16,28	—	0,70
Fe ²⁺	0,16	0,13	0,04	0,20	0,73	0,10	0,03	0,14	0,14	0,01	0,02	7,09	0,04	0,08
Mn	—	—	0,01	—	0,02	0,01	0,03	0,01	0,05	—	0,02	0,09	0,02	0,03
Mg	1,83	1,35	1,11	0,77	4,04	5,70	5,77	5,42	4,82	2,93	2,96	0,00	—	0,03
Ni	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	—	0,01	0,00	0,00	0,03	—	—
Ca	—	—	0,17	0,73	1,77	—	—	—	—	—	—	—	0,77	1,80
Na	—	—	0,02	0,03	0,10	—	—	—	—	—	—	—	—	—
OH ⁻	—	—	—	—	2,00	8,00	8,00	8,00	8,00	2,00	1,99	—	—	—
f _{общ.} %	8,04	6,56	7,50	25,2	20,3	4,84	3,19	5,25	9,75	1,35	1,41	99,5	(CO ₃) 2,00	1,15
													3,94	96,4

Примечание. 1 — оливин, скв. 253, обр. 1280; 2 — оливин, скв. 253, обр. 1277; 3 — скв. 120, обр. 1070; 6 — лизардит, скв. 69, обр. 1181; 7 — лизардит, скв. 253, обр. 1280; 8 — антигортальк, скв. 248, обр. 1313; 12 — магнетит, скв. 234, обр. 1036; 13 — доломит, скв. 120, обр.

диопсид-авгит, скв. 123, обр. 1151; 4 — пижонит-авгит, скв. 213, обр. 1124; 5 — актинолит, рит, скв. 80, обр. 7; 9 — антигорит, скв. 120, обр. 1060; 10 — тальк, скв. 111, обр. 1137; 11 — 1064; 14 — эпидот, скв. 424, обр. 1017.

туры, в антигортальных — чешуйчатая, пластинчатая, радиально-лучистая.

Антигорит распространен наиболее часто. Размер чешуек 0,1—0,2 мм, изредка до 0,5 мм. Бледно-зеленый, бесцветный. Удлинение минерала всегда положительное. Показатели преломления колеблются: $n_g = n_m = 1,567 \div 1,573$; $n_p = 1,560 \div 1,567$; $n_g - n_p = 0,06 \div 0,011$; $2V = -60 \div -75^\circ$. Химический состав антигортальных дан

в табл. 25. На кривых нагревания антигортальных выделяется один эндотермический эффект в интервале $720-765^\circ \text{C}$.

Лизардит присутствует в виде тонких прожилков псевдоволонистого сложения, причем «волокна» обычно ориентированы перпендикулярно к стенкам прожилков. В средней части прожилков часто наблюдается тонкая просечка, вдоль которой располагается магнетит или аморфный серпентин. Лизардит образует петельча-

тую и сложносетчатую структуры. Внутри петель заметные выделения аморфного серпентина и реликты оливина, пироксена, реже амфибола и карбоната. Окраска лизардита бледная зеленовато-желтая ($n_g=1,560\div 1,566$; $n_p=1,555\div 1,561$; $n_g-n_p=0,004\div 0,005$). Минерал оптически положительный, удлинение отрицательное. Химические анализы лизардитов приведены в табл. 25.

Лизардит образуется по оливину, реже пироксену, в свою очередь замещаясь антигоритом, карбонатом, тальком.

Бастит встречается редко. Представляет собой псевдоморфозу по ромбическому пироксену. Развита в виде порфирированных идиоморфных кристаллов с совершенной спайностью. Цвет серебристо-серый, золотистый либо бесцветный. Размер кристаллов от долей миллиметров до 2×6 мм. Удлинение положительное. $n_g=1,571$; $n_m=1,567$; $n_p=1,559$; угол $2V=70^\circ$. Часто бастит переходит в бесцветный хлорит с аномальными лилово-красными и коричневыми цветами интерференции; замещается антигоритом.

Офит образует мелкие жилки, встречающиеся самостоятельно или совместно с хризотил-асбестом. Мощность жилок колеблется от 1—2 до 2—3 мм. Наиболее характерно выделение офита в зонах разлома в виде тонких корочек. Макроскопически окраска меняется от темно-, сине-зеленой и зеленовато-голубой до почти бесцветной с желтоватым оттенком; под микроскопом окраска бледно-зеленая, почти бесцветная. Форма выделения офита — волокнистая, сферолитовая, скрытокристаллическая ($n_g=1,564\div 1,574$; $n_p=1,552\div 1,569$; $n_g-n_p=0,005\div 0,012$). Удлинение положительное.

Хлорит в серпентинитах представлен прохлоритом и рипидолитом. Прохлорит крупночешуйчатого сложения. Цвет по N_g бледно-зеленоватый, по N_p — бесцветный ($n_g=1,618$, $n_p=1,613$; $n_g-n_p=0,005$). Удлинение отрицательное, цвета интерференции буровато-серые.

Рипидолит выделяется в виде тонкочешуйчатых масс среди серпентина. Окраска бледно-зеленая, цвета интерференции серо-синие ($n_g=1,583$; $n_p=1,578$; $n_g-n_p=0,005$). Минерал оптически отрицательный, удлинение положительное.

Магнетит является постоянным компонентом серпентинитов. Количество его меняется в широких пределах, в среднем составляет 4—6%. Магнетит образовался как за счет первичных хромшпинелидов, так и за счет высвобождения железа из силикатов. В отраженном свете среди магнетита заметны включения мелких зерен хромшпинелида. Средняя микротвердость магнетита равна 643 кгс/мм².

При действии HCl травится, выявляя зональное строение. Размер элементарной ячейки магнетита колеблется от 8,384 до 8,398 Å, что обусловлено примесью хромшпинелидов.

Хромшпинелид является первичномагматическим минералом. В лизардитовых разностях он присутствует в заметном количестве, а в антигоритовых — в виде реликтовых зерен. Форма зерен изометричная. В отраженном свете — серый, отражательная спо-

способность 14%. Микротвердость колеблется от 959 до 1730 кгс/мм², в среднем 1264 кгс/мм². Изредка наблюдаются желто-бурые цвета внутренних рефлексов; кислотами не травится; наблюдается зональное сложение.

Брусит встречается часто, содержание его колеблется в широких пределах от единичных зерен до 8—10%. Он развит среди основной лизардито-антигоритовой массы в виде отдельных скоплений и тонких прожилков. Бесцветный. Спайность весьма совершенна ($n_e=1,581$; $n_o=1,562$; $n_e-n_o=0,019$). Минерал одноосный, положительный, удлинение отрицательное. На кривых нагревания серпентинитов часто появляется бруситовая остановка при температуре 405—425° С, на дебаеграммах также заметны характерные линии брусита (d/n : 4,7; 2,36; 1,79; 1,189).

Талько-карбонатные и карбонато-тальковые породы образовались в результате изменения серпентинитов. Между серпентинитами и талько-карбонатными породами наблюдаются постепенные переходы.

Главными минералами являются тальк, магнезит, доломит. Структура пород гранолепидобластовая, порфиروبластовая, гранонематолепидобластовая. Тальк образует мелкочешуйчатые и листоватые агрегаты с размерами чешуек от сотых долей миллиметра до 1,2 мм. Расположены чешуйки беспорядочно. Часто заметны псевдоморфозы талька по серпентину, бруситу, оливиину, пироксенам, амфиболам ($n_g=1,582 \div 1,590$; $n_p=1,532 \div 1,546$; $n_g-n_p=0,040 \div 0,050$). На кривых нагревания талька заметен один эндотермический эффект в интервале 925—975° С. Химический состав талька дан в табл. 25.

Параметры элементарной ячейки талька: $a=5,29$; $b=9,174$; $c=18,60$ Å.

Карбонаты развиты в виде сплошных зернистых масс, а также порфиروبластов. Размер последних достигает 2 мм. По минеральному составу карбонаты неоднородны. Среди них выделяются магнезит (брейнерит), доломит и реже — кальцит.

Магнезит (брейнерит) встречается чаще всего. Бесцветный, $n_o=1,700 \div 1,713$; $n_e=1,505 \div 1,522$; $n_o-n_e=0,191 \div 0,195$. На кривых нагревания хорошо выражен эндотермический эффект 620—665° С. На дебаеграммах магнезитов заметны сильные линии с d/n : 2,737; 2,489; 2,101; 1,931; 1,873; 1,696; 1,404; 1,353; 1,333; 1,066, что соответствует маложелезистому магнезиту.

Доломит широко развит в талько-карбонатных породах. Для него характерны крупные ромбоэдрические кристаллы и зерна, а также сплошные массы. Бесцветный либо буровато-серый. Характерны полисинтетические двойники ($n_o=1,679 \div 1,686$; $n_e=1,502 \div 1,512$). Кривые нагревания дают две резко выраженные эндотермические остановки с максимумами при 740—760 и 920—930° С. Химический состав доломитов приведен в табл. 25.

Магнетит (в отличие от магнетита серпентинитов) в значительной степени окислен и изменен. Форма выделения — правильной

формы кристаллы и мелкие, неравномерно распределенные зерна. Пересчет на минеральный состав химического анализа (табл. 25) показал наличие магнетита (91,6%) и гематита (8,4%). Появление гематита связано с процессами оталькования. Исследованный магнетит характеризуется низким содержанием NiO (0,13%).

Тремолито-актинолитовые породы развиты широко в виде выдержанных прослоев и линзовидных тел, расположенных как в толще талько-карбонатных пород, так и на границе с вмещающими породами. Сложены актинолитом, тремолитом, реже антофиллитом (90—92% объема породы). В значительном количестве присутствует ильменит и титаномagnetит. Вторичные минералы представлены хлоритом, серпентином, карбонатом, эпидотом, тальком. Структура — нематобластовая, призматическизернистая.

Актинолит и тремолит образуют призматические и игольчатые кристаллы, реже волокнистые асбестовидные массы. Спайность по призме. Иногда заметны двойники. Окраска в зависимости от содержания FeO изменяется от бесцветной до светло-зеленой. Преобладают бесцветные разности ($n_g = 1,635 \div 1,644$; $n_p = 1,617 \div 1,621$; $n_g - n_p = 0,018 \div 0,023$). Угол погасания cNg колеблется в двух пределах: 14—17° и 20—22°. Угол $2V = 84 \div 88^\circ$. Общая железистость 10—12%. По оптическим данным амфиболы следует отнести к маложелезистому актинолиту или даже к тремолиту. Образуются за счет пироксенов, реликты которых иногда сохраняются.

На кривой нагревания заметен один эндотермический эффект при 1015°С. Химический анализ актинолита см. в табл. 25.

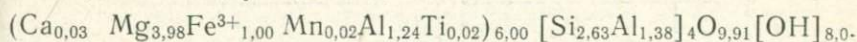
Антофиллит развит в виде удлиненных и лучистых кристаллов, различно ориентированных. Спайность совершенная. Наблюдаются полисинтетические двойники ($n_g = 1,650$; $n_p = 1,638$). Угасание прямое. Встречается совместно с актинолитом. Иногда встречаются асбестовидные разности антофиллита.

Хлорит развит широко. Формы выделения — чешуйчатая, пятнистая ($n_g = 1,584$, $n_p = 1,578$). Плеохроизм резко выражен: по Ng — густо-зеленый, по Np — светло-желтый. Оптический знак минерала отрицательный. Цвета интерференции нормальные. Представлен клинохлором. Образуется за счет актинолита.

Хлорититы развиты в виде полос и линзовидных тел. Они являются приконтактовыми оторочками оталькованных серпентинитовых массивов, возникших под действием диабазовых даек. Мощность прослоев хлорититов невелика. Хлорититы обладают темно-зеленым цветом, плотным, мелко- и тонкочешуйчатым сложением, обычно массивны, местами рассланцованы. Сложены хлоритом, цоизитом, актинолитом, магнетитом, ильменитом. Структура лепидобластовая.

Плеохроизм хлорита ясно выражен: по Np — светло-желтый, по Ng — зеленый, цвета интерференции коричневые, удлинение отрицательное ($n_g = 1,620$; $n_p = 1,614$; $n_g - n_p = 0,006$). На кривой нагревания наблюдается эндотермический эффект при 625°С и резко выраженный экзотермический эффект при 855°С. Такой ха-

рактер кривой указывает на железистомagneзиальный состав хлорита. Кристаллохимическая формула хлорита, рассчитанная по катионам, имеет следующий вид:



Петрохимическая характеристика пород

Петрохимические особенности ультраосновных пород Белозерского района установлены на основании 20 химических анализов серпентинитов Белозерского и Михайловского массивов [95], результаты пересчетов которых по методу Н. Д. Соболева даны в табл. 26. Химический состав основных разновидностей ультраос-

Таблица 26

Петрохимические особенности пород Белозерского и Михайловского массивов

Значение	Параметр								
	<i>s</i>	<i>2c</i>	<i>b</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>M : F</i>	<i>h</i>	Cr : Al
Минимальное	34,5	0,6	56,1	1,0	6,1	52,6	3,3	20,3	0
Максимальное	39,9	7,1	64,2	13,1	43,8	90,2	6,7	71,7	75,0
Среднее	37,2	2,3	60,5	4,7	24,7	70,6	5,0	44,4	15,6

новных пород дан в табл. 27. Основные числовые характеристики *2c* и *b* находятся в пределах, установленных для перидотитов.

Средние значения виртуальных содержаний минералов характеризуют материнские ультраосновные породы Белозерского и Михайловского массивов как промежуточные разновидности между гарцбургитами и оливиновыми гарцбургитами. Коэффициент *M : F* меняется от 3,3 до 6,7 и в среднем составляет 5,0, что позволяет считать ультрабазиты Белозерского массива производными габбровой магмы.

Для выяснения состава материнских пород Белозерского и Михайловского массивов результаты петрохимических пересчетов наносились на классификационную диаграмму, анализ которой приведен в табл. 28.

Таким образом, в пределах Белозерского и Михайловского массивов преобладают перидотиты — 95%. Дуниты находятся в подчиненном количестве — 5,0% и, по-видимому, не характерны.

Геохимическая характеристика пород

Для геохимической характеристики ультраосновных пород Белозерского района использованы результаты спектральных и химических анализов.

Как видно из табл. 29, в серпентинитах Белозерского массива присутствует весь комплекс характерных для ультраосновных по-

Таблица 27

Химический состав ультраосновных пород Белозерского района

Окислы	Номер анализа														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SiO ₂	31,88	35,96	36,44	37,80	40,18	19,28	32,00	41,46	55,74	46,16	46,20	47,58	48,12	29,42	26,71
TiO ₂	0,10	0,12	0,23	0,16	0,19	0,16	0,13	0,28	0,23	0,04	0,25	0,06	0,23	0,44	0,19
Al ₂ O ₃	0,14	1,75	1,02	1,25	1,27	3,93	2,00	20,04	1,85	5,86	2,85	5,57	1,00	16,65	21,86
Cr ₂ O ₃	0,60	—	—	0,25	0,12	0,62	0,34	0,06	—	0,03	—	0,03	—	0,02	Следы
Fe ₂ O ₃	7,06	6,44	12,92	5,49	5,25	15,85	6,83	4,39	7,19	3,97	11,74	8,28	10,12	5,94	1,11
FeO	2,15	3,26	2,29	5,02	5,16	3,15	6,67	8,90	0,72	12,01	7,03	4,20	4,88	16,37	12,78
MnO	0,30	0,13	0,35	0,64	0,16	1,20	Следы	0,55	0,13	0,38	0,42	0,11	0,18	0,22	0,21
MgO	40,20	39,24	35,09	34,65	35,03	10,68	31,05	9,51	28,41	16,92	17,66	19,64	18,85	17,39	23,67
CaO	0,84	0,14	0,50	1,18	0,25	20,40	2,20	0,84	0,25	9,85	9,18	10,57	10,64	3,22	0,98
NiO	0,28	0,56	—	0,22	0,08	0,26	Следы	0,05	—	0,05	—	0,03	—	0,05	0,05
CoO	—	0,005	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,01	0,02
Na ₂ O	0,40	0,21	0,12	0,35	0,09	0,50	0,16	1,37	—	0,21	0,12	0,03	0,10	0,01	0,54
K ₂ O	0,23	0,018	0,10	0,13	0,12	0,26	0,14	7,03	—	0,72	0,02	0,12	0,12	0,02	0,48
P ₂ O ₅	—	0,057	—	—	—	—	0,014	—	—	—	—	—	—	—	—
CO ₂	1,82	1,57	—	—	—	17,91	10,20	—	—	0,40	—	0,32	—	0,30	0,56
H ₂ O ⁻	1,55	0,16	0,06	0,10	0,28	—	Нет	0,17	0,03	0,20	0,27	0,03	0,14	0,07	0,07
H ₂ O ⁺	12,28	10,58	10,94	12,22	10,96	6,15	8,20	5,09	5,20	3,62	3,39	2,87	4,77	8,71	11,24
SO ₃	—	0,069	—	—	0,29	—	0,18	—	—	0,03	—	0,08	—	0,92	0,02
Сумма	99,83	100,27	100,06	99,46	99,43	100,35	100,11	99,74	99,75	100,45	99,13	99,42	99,15	99,76	100,49

Примечание. 1 — хризотилитовый серпентинит с реликтами оливина, скв. 253, гл. 551,7 м; 2 — антигоритово-хризотилитовый серпентинит, скв. 69, гл. 282,5 м; 3 — антигоритовый серпентинит, скв. 115, гл. 291,5 м; 4 — антигоритовый серпентинит, скв. 252, гл. 331,16 м; 5 — антигоритовый серпентинит, скв. 131, гл. 289,8—290,65 м; 6 — серпентинито-талыко-карбонатная порода, скв. 273, гл. 400,5 м; 7 — серпентинито-талыко-карбонатная порода, скв. 244, гл. 281,3 м; 8 — флогопито-тремолито-талыковая порода, скв. 244, гл. 393,6 м; 9 — окварцованная серпентинито-талыковая порода, скв. 111, гл. 370,44 м; 10 — актинолитит, скв. 426, гл. 447,0 м; 11 — актинолитит, скв. 116, гл. 378,0 м; 12 — актинолитит, скв. 429, гл. 436,8 м; 13 — актинолитит, скв. 120, гл. 474,95 м; 14 — хлоритит, скв. 429, гл. 432,4 м; 15 — хлоритит, скв. 429, гл. 453,75 м.

Таблица 28

Распределение исходных пород в Белозерском и Михайловском массивах

Порода	Количество определений	Частота встречаемости, %
Дунит	1	5,0
Оливиновый гарцбургит	3	15,0
Оливиновый лерцолит	2	10,0
Гарцбургит	14	70,0
Сумма	20	100,0

род элементов, а также ряд элементов-примесей — мышьяк, висмут, олово. При этом содержания никеля, меди, мышьяка, висмута и олова довольно значительные, выше кларка для данного типа пород. Концентрация серы также повышена (табл. 30).

В карбонатно-тальковых и талько-карбонатных породах количество элементов в несколько раз ниже кларковых, что объясняется перераспределением элементов между минеральными фазами пород, имевшее место в процессе интенсивной миграции вещества при метаморфизме.

Большая часть элементов-примесей концентрируется в магнетите, а никель и в серпентине (табл. 31). Содержание сульфидного никеля в породах весьма низкое — 0,5% от его валового количества (табл. 30), что является характерным отличием пород Белозерского района от ультраосновных пород других комплексов Украинского щита.

Рассмотрев характеристики ультраосновных пород архейского комплекса Среднего Приднепровья можно заключить, что среди них по химизму различаются две группы. Одна из них включает породы Конкско-Белозерской зоны, другая — породы Верховцевского, Сурского и Никопольского районов. Породы первой группы отличаются повышенной железистостью и резким преобладанием среди исходных пород перидотитов. Для пород второй группы характерен более магниезный состав и значительная роль среди исходных пород дунитов (15—51%). Существенные различия отмечены и в содержании элементов-примесей.

РАННЕПРОТЕРОЗОЙСКИЙ КОМПЛЕКС УЛЬТРАОСНОВНЫХ И ОСНОВНЫХ ПОРОД ПОБУЖЬЯ

Ультраосновные и основные породы широко распространены в районе Побужья от г. Гайворона на северо-западе до г. Первомайска на юго-востоке. После обнаружения в 1932 г. около с. Завалье Ю. Г. Дубягой [30] выходов ультраосновных пород с хромитовой рудой детальные исследования в этом районе проводили И. С. Усенко, Л. Г. Ткачук, Г. М. Коровниченко, Ю. И. Половин-

Таблица 29

Содержания элементов-примесей в породах Белозерского массива (по количественному и высокочувствительному спектральным анализам)

Порода	Количество определенных	C _{Ni} , %		C _{Co} , %		C _{Cu} , %		C _{Cr} , %		C _V , %		C _{Zn} , %		C _{As} , %		C _{Вп} , %		C _{Sn} , %	
		K _K	K _K	K _K	K _K	K _K	K _K	K _K	K _K	K _K	K _K	K _K	K _K	K _K	K _K	K _K	K _K		
Серпентинит	48	0,272	1,4	0,0118	0,59	0,0095	4,7	0,117	0,59	0,0012	0,25	0,0015	0,52	2,85	5,7	3,89	38,9	8,41	1,68
Карбонато-тальковая и талькокарбонатная породы	37	0,054	0,27	0,0041	0,21	0,00025	0,1	0,116	0,58	0,0025	0,5	0,0014	0,52	Не определены					

Таблица 30

Результаты фазового химического анализа пород Белозерского массива

Порода	Количество определенных	C _{Ni} , %		Отношение сульфидного никеля к валовому, %	C _S , %	K _K
		Валовый	Сульфидный			
Серпентинит	4	0,209	0,001	0,5	0,057	5,7

Таблица 31

Содержание элементов-примесей в минералах серпентинизированных перидотитов и серпентинитов Белозерского массива (по данным полуколичественного спектрального, частично химического анализов), %

Минерал	Количество определенных	C _{Ni}	C _{Co}	C _{Cu}	C _{Cr}	C _{Ti}	C _V	C _{Zn}	C _{Ga}	C _{Mn}
Оливин	1	0,03	Не определены		0,10	0,07	Не определены			0,23
Пироксен	1	0,01	0,001	0,003	0,20	0,17	0,002	0,010	0,002	0,14
Магнетит	3	0,15	0,010	0,035	0,61	0,35	0,004	0,005	0,001	0,25
Серпентин	3	0,23	0,005	0,0006	0,05	0,019	0,0008	0,007	—	0,10
Актинолит	1	0,006	0,006	0,020	0,06	0,30	0,003	—	0,002	0,24
Тальк	1	0,012	0,020	0,0006	0,07	0,05	0,002	0,010	—	0,18

кина, Ю. С. Лебедев, И. Б. Щербаков. В последующие годы многочисленные массивы ультраосновных и основных пород и связанные с ними месторождения хромитов и силикатного никеля изучены Г. Г. Виноградовым, А. Я. Древиным, Н. Т. Вадимовым, А. Я. Каневским, А. Б. Фоминым и другими.

Геологическое строение Побужья характеризуется наличием выступов архейского фундамента, разделенных зонами развития отложений раннепротерозойской геосинклинали. Первые представляют собой глыбы и ядра антиклинорий, сложенные породами, прогрессивно метаморфизованными и гранитизированными в условиях гранулитовой фации, позднее испытывшими диафторез и повторную гранитизацию в условиях амфиболитовой фации. Раннепротерозойские вулканогенно-осадочные толщи отлагались в зонах северо-западного простирания среди многочисленных выступов архейского фундамента прибортовой части геосинклинали. Вдоль этих же зон в раннем протерозое внедрились ультраосновные и основные интрузии (2,2 млрд. лет). Возраст интрузий подтверждается абсолютным возрастом вторичных роговых обманок из метабазитов верхней и средней свит (2,15—2,16 млрд. лет), а также верхним пределом времени процесса чарнокитизации основных пород нижней свиты (2,2—2,29 млрд. лет).

Вулканогенно-осадочные толщи и интрузивные породы ультраосновного и основного состава претерпели прогрессивный региональный метаморфизм амфиболитовой фации и гранитизацию. Время этого метаморфизма и одновременного ему диафтореза архейских образований устанавливается в пределах 1900—2160 млн. лет.

Геолого-петрографическая характеристика

Массивы ультраосновных и основных пород приурочены к синклинальным структурам II—IV порядков. Вмещающие породы представлены гнейсами, амфиболитами, габбро-амфиболитами, часто мигматизированными, а также гранитами. Большинство массивов прикрыты чехлом рыхлых отложений. Обычно массивы имеют линзообразную и пластообразную форму и небольшие размеры от 20×200 до 600×7000 м. Наиболее крупными из них и детально изученными являются Капитановский, Тарноватский, Первомайский, Деренюхинский, Липняговский и Кумаровский массивы. Залегают массивы, как правило, согласно с вмещающими толщами. Преобладающее их простирание 310—340°, падение на северо-восток или юго-запад под углами 75—85°.

Большинство массивов сложено серпентинитами, содержащими редкие прослои менее измененных ультраосновных и основных пород. Ряд массивов (Тарноватский, Липняговский) имеет отчетливо выраженное дифференцированное строение. Для них характерна тонкая перемежаемость различных по составу и степени изменения ультраосновных и основных пород. В районе г. Первомайска ши-

роко развиты массивы, представленные только основными породами.

Среди ультраосновных пород Побужья по первичному минеральному составу выделяются дуниты, перидотиты (гарцбургиты, лерцолиты, реже — верлиты), оливиновые пироксениты, пироксениты (бронзититы, гиперстениты, вебстериты, диаллагиты), породы основного состава — габбро, габбро-нориты, нориты, анортозиты.

Дуниты имеют ограниченное распространение. Макроскопически это темно-серые, почти черные, мелкозернистые или среднезернистые породы, в которых повсеместно наблюдаются тончайшие прожилки карбоната. Они сложены почти нацело оливином — Fs_{8-13} . В качестве примеси присутствует ромбический пироксен — Fs_{10} и хромшпинелид, представленный железистым алюмохромитом.

Перидотиты макроскопически не отличаются от дунитов, с которыми нередко перемежаются и связаны постепенными переходами, чаще встречаются в виде прослоев в серпентинитах.

Главными породообразующими минералами их являются оливин — Fs_{8-14} (10—26%), энстатит и бронзит, реже гиперстен — Fs_{9-22} (3—61%), диопсид — He_{9-24} , содержание которого варьирует в пределах 13—65%, и рудные минералы (главным образом, хромшпинелид, магнетит, пирротин, пирит, халькопирит, пентландит, нередко шпинель — плеонаст). Из вторичных минералов обычно присутствуют серпентины, амфиболы, магнетит, флогопит, хлорит, тальк, карбонаты. В зависимости от относительного содержания ромбического и моноклинного пироксенов выделяются верлиты, гарцбургиты и лерцолиты, которые по внешнему виду совершенно неразличимы. Структура пород панидиоморфнозернистая или гипидиоморфнозернистая.

Пироксениты еще менее распространены, образуя маломощные полосы и линзы в перидотитах и серпентинитах, с которыми связаны постепенными переходами.

Макроскопически это темно-серого цвета, мелко- или среднезернистые породы, тонкополосчатой текстуры. Они сложены бронзитом или гиперстеном — Fs_{12-24} (46—76%), диопсидом (8—28%), оливином (12—20%) и зеленой шпинелью — плеонастом (3—65%). В зависимости от преобладания одного из перечисленных минералов различается ряд разновидностей пород — оливиновые пироксениты, гиперстениты, вебстериты, диаллагиты. Из второстепенных минералов в этих породах присутствуют серпентины, амфиболы, магнетит, флогопит, биотит, тальк, гранат, карбонаты. Акцессорные минералы представлены зеленой шпинелью, пирротинном, пиритом, пентландитом, гранатом и апатитом. Структура пород гипидиоморфнозернистая или панидиоморфнозернистая.

Основные породы — габбро, габбро-нориты, нориты и габбро широко развиты в пределах описываемых массивов. Они образуют слои мощностью до десятков метров или полностью слагают отдельные тела.

Главные породообразующие минералы неизменных разностей пород этого ряда представлены гиперстеном — Fs_{25-52} , диопсидом — Hed_{12-33} и плагиоклазом — лабрадор-битовнитом, реже анортитом. В качестве акцессорных минералов присутствуют магнетит, ильменит, титаномагнетит, апатит, сфен, циркон, гранат, пирит, пирротин, халькопирит, пентландит, миллерит. Метаморфизованные разности основных пород представлены габбро-амфиболитами и амфиболитами, ультраосновных — преимущественно серпентинитами.

Серпентиниты имеют наиболее широкое распространение в массивах Побужья. Макроскопически это зеленовато-серые, темно-серые или пятнистые породы, мелкозернистые, иногда с отдельными порфиризовидными кристаллами пироксена, массивные, как правило, содержащие большое количество тончайших прожилков карбоната, офита, реже хризотил-асбеста. Они состоят почти нацело из серпентина, представленного антигоритом и лизардитом (95—97%). В незначительных количествах присутствуют оливин (до 5%), бастит, шпинель, амфибол, брусит, карбонаты, хлорит, тальк, магнетит, пирит и пирротин. Структура серпентинитов петельчатая, сетчатая, листоватая.

Для Побужских массивов характерно наличие своеобразных оливино-карбонатных пород, в которых наряду с минералами, свойственными перидотитам и серпентинитам (оливин, серпентин, магнетит), присутствуют кальцит (до 60%), флогопит (до 15%) и, как правило, сульфиды (до 3%). Эти породы приурочены к зонам контактов массивов ультраосновных пород с гранитами.

Наблюдаемые в ультраосновных породах сплошные хромитовые руды имеют оливино-пироксено-хромитовый состав. Характерна повышенная железистость рудообразующих хромшпинелидов.

С ультраосновными и основными породами Побужья связаны хромитовые месторождения, месторождения и рудопроявления сульфидного и силикатного никеля и вермикулита. Наиболее важное значение имеют железисто-охристые и окисно-силикатные никелевые руды коры выветривания, содержащие до 0,9% никеля.

Большое разнообразие пород, слагающих массивы Побужья, связывается А. Я. Каневским, А. Б. Фоминым и другими [52, 67, 110] с процессами дифференциации интрузий двух магматических формаций: гипербазитовой и габбро-перидотитовой. К первой отнесены массивы, сложенные дунитами, перидотитами и пироксенитами, для которых характерен более магнезиальный состав породообразующих минералов, ко второй — дифференцированные массивы более сложного состава (от дунитов до анортозитов).

Следует отметить, что вопрос о формационной принадлежности докембрийских интрузивных пород вообще сложен, а для Побужья однозначному решению этого вопроса, в частности, создает серьезные препятствия то обстоятельство, что породы исследуемых массивов испытали после своего образования метаморфизм амфиболитовой фации и региональную гранитизацию. Естественно, что эти

процессы сопровождались не только фазовыми превращениями, но и весьма значительным перераспределением вещества. Следовательно, не только о генетических взаимоотношениях пород, но и о деталях их первоначального минерального и химического состава можно судить лишь со значительной долей приближения. Возможно, что особенности химизма пород некоторых массивов Побужья следует связывать с действием метаморфизма и метасоматоза.

Петрохимическая характеристика пород

Петрохимические особенности ультраосновных и основных пород Побужья изучали многие исследователи [67, 99, 103, 105, 106, 109]. Большинство считает, что ультраосновные и основные породы Побужья являются дифференциатами базальтовой магмы. При этом в качестве одного из основных доказательств такой точки зрения приводятся петрохимические особенности пород.

В табл. 32 сведены средние химические составы главнейших петрографических разновидностей ультраосновных и основных пород Побужья, рассчитанные на основании 137 силикатных анализов пород, заимствованных из работ [52, 105 и др.]. Подсчитаны также средние составы серпентинитов 8 массивов для сравнения их между собой.

При анализе петрохимических особенностей ультраосновных и основных пород Побужья (табл. 32, 33, рис. 3) обнаружены большие вариации химического состава, обусловленные присутствием в характеризуемых массивах разнообразных пород — от дунитов до анортозитов. От первых ко вторым наблюдается обычный ряд изменения содержания породообразующих окислов: уменьшение количества окиси магния, хрома и повышение содержания кремнезема, глинозема, окислов кальция, натрия, титана. В то же время для всех пород характерна повышенная железистость, а для ультраосновных — относительно высокие содержания алюминия, кальция, щелочей.

Указанные особенности химизма пород не противоречат приведенным выше сведениям о составе породообразующих минералов.

Особенности соотношений между породообразующими окислами находят отражение и в петрохимических характеристиках. Судя по табл. 32, 33 и диаграмме (рис. 3), ультраосновные породы Побужья, по сравнению с типовыми породами по Р. Дэли, оказываются несколько более кислыми (пониженное значение параметра b), содержат больше кальция, алюминия и более железисты (величина $M:F$ меньше, чем у типовых пород). Повышенная глиноземистость отражается в большем значении параметра $2c$, по сравнению с типовыми породами, а повышенное содержание кальция сказывается на увеличении содержания виртуального клинопироксена.

Породы основного состава по сравнению с типовыми характеризуются большей величиной коэффициента b и соответственно

меньшей — коэффициента s . Они обогащены анортитовым компонентом и обеднены щелочами.

Сравнение отдельных массивов Побужья по составу преобладающих в них серпентинитов обнаруживает относительно небольшие вариации (табл. 32, 33). На диаграмме (рис. 3) точки средних составов серпентинитов располагаются довольно кучно, благодаря незначительным колебаниям коэффициента b , размещаясь между типовыми лерцолитом и гарцбургитом. Исключение составляют

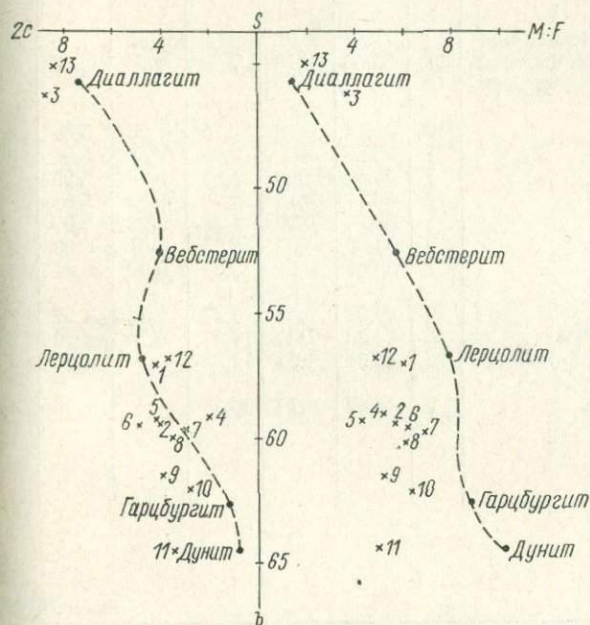


Рис. 3. Петрохимическая диаграмма ультраосновных пород Побужья и Приазовья (по Н. Д. Соболеву).

Породы Побужья: 1 — перидотиты; 2 — серпентиниты; 3 — пироксениты. Серпентиниты массивов: 4 — Демоярский; 5 — Капитановского; 6 — Липовеньковского; 7 — Первомайского; 8 — Деренюхинского; 9 — Каменоватского; 10 — Липняговского; 11 — Тарноватского. Породы Приазовья: 12 — перидотиты; 13 — пироксениты.

серпентиниты Тарноватского массива, соответствующие по значению b дуниту. Несколько пониженной величиной коэффициента $2c$ (по сравнению с типовыми перидотитами) выделяется Демоярский массив.

По величине z состав серпентинитов также довольно однороден. Отличаются от других лишь серпентиниты Каменоватского массива, обладающего резко повышенным значением параметра z . Среди ультраосновных пород Побужья преобладают перидотиты (71%), а пироксениты (19,3%) и дуниты (9,7%) занимают подчиненное положение. Средний виртуальный минеральный состав отвечает гарцбургитам. По среднему значению коэффициента $M:F$ (5, 6) исследуемые породы соответствуют производным основной магмы, однако верхний предел значения $M:F$ (10,8) свидетельствует о присутствии среди них гипербазитов, производных ультраосновной магмы, что подтверждено исследованиями [28, 67]. Значения коэффициента серпентинизации указывают, что среди ульт-

Химический состав
Таблица 32

Номер анализа	Порода	Количество определений	Химический состав					
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO
1	Серпентинит апохромитовый	17	11,97	0,21	13,65	31,45	7,83	10,20
2	Серпентинит апоперидотитовый, в том числе серпентинит массивов:	95	35,03	0,13	3,04	0,74	6,03	3,56
3	Капитановского	19	37,14	0,12	2,85	1,26	5,34	3,28
4	Первомайского	2	35,80	—	2,09	0,58	5,55	3,30
5	Липняговского	7	33,52	Следы	1,85	0,75	6,23	3,38
6	Деренюхинского	12	35,11	0,15	2,70	0,35	5,50	2,26
7	Демовярского	2	38,10	0,20	1,48	0,23	6,97	4,48
8	Липовеньковского	9	35,09	0,06	3,38	1,01	6,00	3,80
9	Терноватского	7	33,57	0,11	2,60	0,39	6,82	3,92
10	Каменоватского	—	—	—	—	—	—	—
11	Пироксенит	19	45,98	0,35	7,47	0,34	4,67	6,03
12	Габбро-норит и норит	11	48,20	1,00	14,37	0,20	4,20	8,13
13	Габбро- и габбро-амфиболит	12	45,87	1,03	13,34	0,31	4,69	8,58
14	Анортозит	2	41,62	0,73	29,35	—	3,95	4,06

пород Побужья

MnO	MgO	NiO	CoO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	П.п.п.	H ₂ O	Сумма	1000 NiO : MgO
0,29	16,60	0,21	0,004	1,70	0,21	0,04	0,04	0,36	4,26	0,39	99,414	12,6
0,18	30,72	0,21	0,002	5,63	0,26	0,17	—	0,47	12,54	1,26	100,002	6,8
0,14	32,44	0,20	—	4,64	0,14	0,10	0,003	0,47	12,54	1,26	100,002	6,8
0,18	32,88	0,23	—	3,00	Следы	0,026	0,04	0,55	12,37	0,99	101,586	6,2
0,14	33,38	0,31	—	4,45	0,13	0,03	0,029	0,47	14,40	0,96	100,029	9,3
0,15	32,67	0,28	—	3,17	0,10	0,05	0,05	0,43	13,94	0,95	99,86	8,6
—	31,86	0,18	Следы	3,98	0,69	0,00	0,01	0,43	11,33	0,12	100,06	5,6
0,13	33,36	0,21	—	3,45	0,23	0,08	—	0,91	12,65	—	100,00	6,3
0,18	29,03	0,26	—	5,54	0,10	0,04	—	0,13	17,31	—	100,00	9,0
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,191	21,44	0,13	0,003	7,93	0,49	0,15	0,07	0,57	2,70	0,62	99,134	6,1
0,191	9,75	0,02	—	9,93	1,46	0,47	0,05	0,35	2,25	0,20	100,771	2,1
0,287	12,84	0,097	—	10,08	1,02	0,35	0,04	0,68	1,76	0,23	101,104	7,6
0,11	2,02	—	—	14,78	1,48	0,98	—	0,26	1,48	—	100,82	—

Числовые характеристики

Номер анализа	По Н. Д. Соболеву							
	M : F	2c	s	b	x	y	z	h
1	—	—	—	—	—	—	—	—
2	5,7	4,2	47,4	59,4	41,2	1,7	57,1	43,0
3	6,8	4,2	36,5	59,3	34,1	6,8	59,1	42,5
4	6,8	3,1	37,2	59,7	26,9	6,0	67,1	42,5
5	6,3	2,9	34,9	62,2	32,7	—	67,3	48,0
6	6,1	3,6	36,4	60,0	25,2	10,7	64,1	37,0
7	5,2	2,0	38,9	59,1	24,4	18,5	57,1	41,0
8	6,2	4,8	35,6	59,6	27,7	7,2	65,1	41,8
9	4,9	2,6	31,9	64,5	38,9	—	61,1	44,3
10	5,2	3,9	34,6	61,5	4,5	13,0	32,5	53,5
11	3,7	8,9	45,0	46,1	53,2	44,0	2,8	26,0
12	1,1	—	—	—	—	—	—	—
13	1,3	—	—	—	—	—	—	—
14	0,3	—	—	—	—	—	—	—

По А. Н. Заварицкому							
a	c	b	s	f'	m'	a : c	n
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
1,2	1,7	48,1	49,0	18,3	67,4	0,71	84,2
3,8	8,3	32,0	55,9	35,4	50,9	0,46	83,9
2,6	7,7	37,9	51,8	31,9	56,0	0,34	82,1
5,9	21,1	14,0	59,0	63,3	29,6	0,28	68,6

раосновных пород Побужья имеются как неизменные или слабо серпентинизированные разности ($h=3,9\%$), так и полностью серпентинизированные ($h=71,1\%$).

Геохимическая характеристика пород

Геохимические особенности описываемого комплекса ультраосновных и основных пород приведены на основании изучения Кумаровского, Капитановского, Липняговского, Демовярского и Деренюхинского массивов. Для этих массивов имеются данные количественного и высокочувствительного спектральных анализов на халькофильные элементы, фазового химического анализа на никель и химического определения серы, приведенные в табл. 34—37.

Анализ показывает, что характерными элементами-примесями для пород Побужья являются никель, кобальт, медь, сера, олово, германий, мышьяк, висмут и серебро. Содержания этих элементов в породах зависят от первичного минерального состава пород и от степени их метаморфизма.

Судя по данным количественного спектрального анализа (табл. 34), содержания никеля, кобальта и меди в зависимости от состава пород колеблются в значительных пределах. Каждый из этих элементов содержится в больших количествах в ультраосновных породах, чем в основных. В табл. 34 приведены средние содержания никеля, кобальта и меди в породах Побужья.

Таблица 34

Содержание никеля, кобальта и меди в породах Побужья (по количественному спектральному анализу), %

Порода	Количество определений	C_{Ni}	K_K	C_{Co}	K_K	C_{Cu}	K_K
Перидотит	3	0,23	1,15	0,0118	0,59	0,078	39,0
Амфиболитизированный и серпентинизированный перидотит	6	0,22	1,10	0,0116	0,58	0,0348	17,4
Пироксенит	1	0,21	1,05	0,010	0,50	0,025	12,5
Амфиболитизированный и серпентинизированный пироксенит	5	0,195	0,97	0,0114	0,57	0,0274	13,7
Серпентинит	16	0,306	1,53	0,0144	0,72	0,0121	6,05
Карбонатизированный серпентинит	5	0,224	1,14	0,0131	0,66	0,0118	5,9
Габбро-норит, норит	5	0,0226	1,4	0,00648	1,20	0,0228	2,3
Амфиболитизированный габбро-норит, норит	5	0,0356	2,2	0,00772	1,70	0,0308	3,08
Анортозит	2	0,027	1,6	0,0040	0,80	0,049	4,9
Габбро-амфиболит	1	0,028	1,7	0,0076	1,70	0,009	0,9
Хромитовая руда	1	0,28	1,4	0,031	1,55	0,002	1,0
Ультраосновные породы в целом	32	0,253	1,26	0,0128	0,64	0,0269	13,45

Анализ коэффициентов концентрации показывает, что никель присутствует во всех разновидностях пород Побужья в количествах, равных кларку или несколько превышающих его. Содержания кобальта в ультраосновных породах ниже кларкового (в 1,5—2 раза), а в основных породах — близки к кларковому, иногда с некоторым превышением. У меди во всех случаях обнаружены повышенные по сравнению с кларковыми содержания, причем коэффициент концентрации ее возрастает от габбро-норитов, серпентинитов и пироксенитов к перидотитам от 2,3 до 39,0. Содержания меди в ультраосновных породах колеблются в значительных пределах. В габбро-норитах медь распределена более равномерно, чем никель и кобальт.

Ультраосновные и основные породы Побужья в целом характеризуются высокими содержаниями серы (табл. 35), что, видимо, следует связывать с повсеместно развитой в Побужье наложенной пиритизацией пород.

Таблица 35

Содержание серы в породах Побужья (по химическому анализу)

Порода	Количество определений	C _S , %	K _K
Перидотит	3	0,93	92,8
Пироксенит	3	0,87	86,6
Серпентинит	3	0,24	24,2
Габбро и габбро-норит	3	2,50	83,5

Наряду с никелем, кобальтом, медью и серой в породах Побужья в заметных количествах присутствуют олово, германий, мышьяк, висмут и серебро (табл. 36). Ультраосновные породы характеризуются высоким содержанием мышьяка, олова и висмута. Из них олово и висмут концентрируются главным образом в пироксенитах, а серебро — в серпентинитах.

Для сравнения различных массивов Побужья высчитаны коэффициенты концентрации никеля, кобальта и меди по отношению к местным кларкам. За местный кларк принято среднее содержание элементов-примесей в ультраосновных породах в целом для Побужья. Учитывая резкое различие массивов по набору слагающих их пород, содержания никеля, кобальта и меди в них можно сопоставить по наиболее распространенной разновидности их — серпентинитам и лишь для ряда массивов по перидотитам и пироксенитам (табл. 37).

Содержания никеля и особенно кобальта в ультраосновных породах разных массивов (табл. 37) колеблются незначительно. Более высоким, чем в других массивах, содержанием никеля характеризуется Деренюхинский массив. Повышенное количество меди отмечено в породах Липняговского и Демовярского массивов.

Таблица 36

Средние содержания элементов-примесей в породах Побужья, 10^{-4} %
(по высокочувствительному спектральному анализу)

Порода	Количество определений	C_{As}		C_{Ge}		C_{Bi}		C_{Sn}		C_{Ag}	
		K_K	K_K	K_K	K_K	K_K	K_K	K_K	K_K		
Перидотит	9	5,11	10,2	0,0977	0,09	0,0333	33,3	0,977	1,50	0,00138	0,27
Амфиболизированный и серпентинизированный перидотит	29	1,01	2,02	0,1590	0,015	0,167	167	1,67	3,30	0,0182	0,36
Пироксенит и оливиновый пироксенит	5	3,00	6,00	0,1900	0,19	1,200	1200	1,74	3,50	0,0120	0,20
Амфиболизированный и серпентинизированный пироксенит и оливиновый пироксенит	17	2,58	5,16	0,1050	0,10	0,3870	387	1,30	2,60	0,0200	0,40
Серпентинит	56	3,26	6,52	0,0742	0,07	0,2360	236	0,820	1,60	0,1090	2,18
Карбонатизированный серпентинит	17	4,70	9,40	0,0370	0,03	0,1650	165	0,590	1,20	0,0629	1,26
Габбро-норит, частью габбро и норит	10	5,12	2,56	0,1190	0,12	—	—	0,850	0,70	—	—
Амфиболизированный габбро-норит, частью габбро и норит	21	2,76	1,38	0,2200	0,14	1,610	230	1,50	1,00	0,0498	0,49
Анортозит	3	3,33	1,66	0,1660	0,11	0,0660	9	0,266	0,17	—	—
Хромитовая руда	2	1,50	3,00	0,0300	0,03	—	—	0,125	0,25	0,0250	0,50

Таблица 37

Сравнение ультраосновных массивов Побужья по содержанию в них никеля, кобальта и меди, % (по данным количественного спектрального анализа)

Массив	Порода	C_{Ni}	K_K	C_{Co}	K_K	C_{Cu}	K_K
Кумаровский	Серпентинит	0,315	1,57	0,0132	0,66	0,007	3,5
Капитановский	Серпентинит	0,240	1,20	0,0128	0,64	0,0153	7,6
	Амфиболизированный и серпентинизированный пироксенит	0,280	1,40	0,011	0,55	0,008	4,0
Липняговский	Серпентинит	0,302	1,51	0,0158	0,79	0,009	4,5
	Перидотит	0,265	1,37	0,0130	0,65	0,022	11,0
	Амфиболизированный и серпентинизированный пироксенит	0,200	1,00	0,0123	0,61	0,032	16,0
Демовярский	Серпентинит	0,285	1,42	0,014	0,70	0,0135	6,7
	Перидотит	0,208	1,04	0,0111	0,55	0,0608	30,4
	Амфиболизированный и серпентинизированный пироксенит	0,096	0,48	0,0089	0,44	0,0330	16,5
Деренюхинский	Серпентинит	0,337	1,68	0,0153	0,76	0,0113	5,6
	Перидотит	0,240	1,20	0,012	0,60	0,013	6,5

Установленные закономерности распределения элементов-примесей в неизмененных ультраосновных и основных породах Побужья близки к результатам исследований А. Б. Фомина [110]. По его данным перидотиты Капитановского и Липняговского массивов обладают по сравнению с остальными повышенными содержаниями никеля, а перидотиты Каменоватского — пониженными. В значительной степени это, видимо, объясняется разной ролью в массивах гарцбургитов, лерцолитов и верлитов, средние содержания никеля в которых в целом для Побужья составляют соответственно 0,20; 0,14 и 0,12% [110].

Никель в породах описываемых массивов Побужья присутствует главным образом в силикатной форме. Количество сульфидного никеля составляет 16—41% от общего содержания никеля в породе (табл. 38). При этом содержания сульфидного никеля в основных породах разных массивов практически равны. Более четкие различия получаются при сравнении содержаний сульфидного никеля в ультраосновных породах — серпентинитах изученных массивов. Наибольшее количество сульфидного никеля наблюдается в серпентинитах Демовярского и Капитановского массивов (35 и 41%).

Подчиненная роль сульфидного никеля в исследуемых породах подтверждается и сведениями о содержании никеля в главных породообразующих минералах ультраосновных и основных пород Побужья [52, 109, 110]. Количество никеля в оливине составляет

Таблица 38

Результаты фазового химического анализа пород Побужья, %

Массив	Порода	Количество определенных	C _{Ni}		Отношение сульфидного никеля к валовому
			Валовый	Сульфидный	
Капитановский	Карбонатизированный серпентинит	2	0,25	0,08	35
	Пироксенит	1	0,127	0,02	16
Липняговский	Серпентинит	1	0,127	0,02	16
	Пироксенит	1	0,053	0,02	38
	Норит	2	0,14	0,047	24
Деренюхинский	Серпентинизированный перидотит	1	0,254	0,016	6
	Серпентинит	1	0,230	0,06	26
	Лейкократовый габбро-норит	1	0,023	0,004	18
Демоварский	Перидотит	1	0,085	0,02	24
	Карбонатизированный серпентинит	1	0,220	0,09	41
	Габбро-амфиболит	1	0,162	0,03	18

в среднем 0,11—0,38, ортопироксене — 0,032—0,037, диопсиде — 0,029—0,033, хромшпинелиде — 0,07—0,18%. Содержание кобальта: в оливинах — 0,008—0,017, ортопироксенах — 0,005—0,007, диопсиде — 0,005—0,007%. В породах основного состава гиперстен содержит 0,01% никеля и 0,005% кобальта, диопсид — соответственно 0,009 и 0,005%.

По данным А. Я. Каневского, А. Я. Древина и А. Б. Фомина [52], в оливинах пород Побужья содержится около 0,005—0,01% сульфидного никеля (1—3% от общего его количества в оливине). Сульфиды, по данным А. Б. Фомина, содержат в среднем 0,6% никеля и 0,06% кобальта, а средние содержания этих элементов в серпентине составляют соответственно 0,19 и 0,013%, в магнетите 0,21 и 0,016%. На долю сульфидов в серпентинитах приходится менее 1% общего содержания никеля, на долю магнетита — 2—8%. Большая часть никеля (91—98%) сосредоточена в серпентине [110].

Широко развитые в Побужье метаморфизованные разновидности ультраосновных и основных пород резко отличаются от неизмененных или слабометаморфизованных по содержанию в них элементов-примесей. При метаморфизме пород элементы-примеси ведут себя по-разному в зависимости от характера и степени изменений.

Серпентиниты, по сравнению с перидотитами содержат больше никеля, кобальта и значительно меньше (в шесть раз) меди. При

последующей карбонатизации серпентинитов содержание никеля снижается, кобальта и меди — не меняется. Амфиболизация габбро-норитов и норитов приводит к незначительному повышению содержания никеля, кобальта и меди.

Средние содержания элементов-примесей, обнаруживаемых высокочувствительным анализом, при процессах метаморфизма, как правило, меняются незначительно, и установить какие-либо закономерности, находящие свое выражение в изменении минерального состава пород, затруднительно. При метаморфизме перидотитов и пироксенитов намечается общая тенденция уменьшения количества мышьяка, олова, германия в метаморфизованных разностях и слабое увеличение количества серебра; в основных породах — увеличение содержания олова и германия, при резком уменьшении мышьяка. Процессы карбонатизации серпентинитов сопровождаются возрастанием содержания мышьяка и снижением олова и серебра.

СРЕДНЕПРОТЕРОЗОЙСКИЙ КОМПЛЕКС УЛЬТРАОСНОВНЫХ И ОСНОВНЫХ ПОРОД ДЕВЛАДОВСКОЙ ЗОНЫ РАЗЛОМОВ

В пределах Девладовской зоны разломов, прослеживающейся на протяжении более 250 км от г. Кривого Рога до г. Павлограда, наблюдается широкое развитие массивов ультраосновных и основных пород, с которыми связаны наиболее крупные в Среднем Приднепровье месторождения силикатных никелевых руд. Впервые эти породы выявлены М. Б. Славутским в 1949 г. В период 1949—1964 гг. в процессе геологопоисковых, магнито- и гравirazведочных работ обнаружен ряд массивов ультраосновных и основных пород и связанные с некоторыми из них месторождения силикатных никелевых руд (Ю. Б. Басс, М. Б. Славутский). Наиболее крупными и детально изученными являются Девладовский, Терновский, Водянский, Красноярский и Гуляйпольский массивы (рис. 4). Остальные массивы изучены слабо.

Геолого-петрографическая характеристика

Большинство отмеченных массивов располагается в западной части Девладовской зоны на площади длиной 60 км и шириной 3 км, где они приурочены к верхнепротерозойским глубинным разломам субширотного простирания. Вмещающие породы представлены амфиболитами и связанными с ними сланцами конкско-верховцевской серии, а также различными по возрасту гранитами и мигматитами. Массивы основных и ультраосновных пород залегают несогласно с вмещающими толщами. Они имеют субширотное простирание и близкое к вертикальному падение. По форме это крутопадающие несогласные дайки. Наибольшую мощность (300—350 м) имеет Девладовский массив, прослеживающийся в широтном направлении на протяжении 9 км.

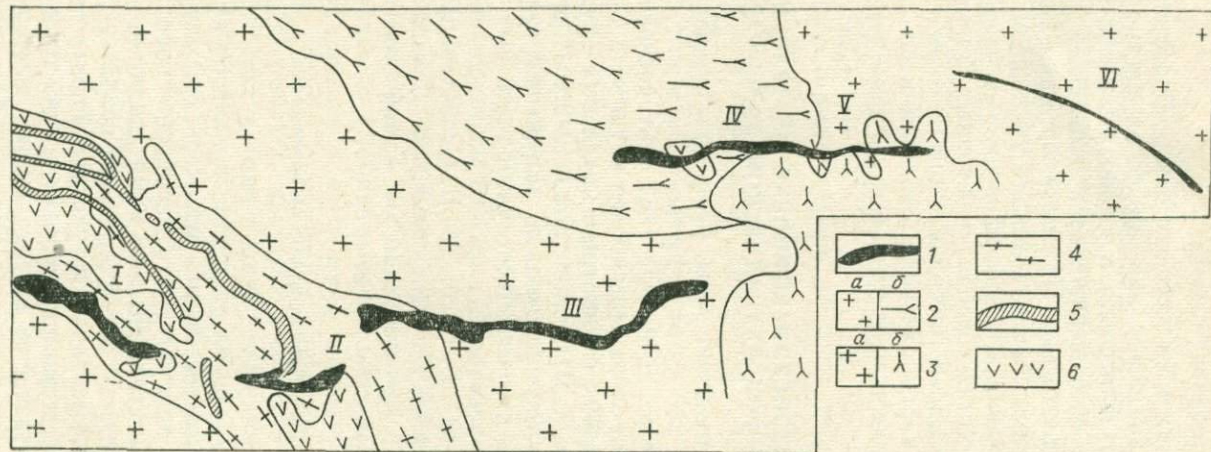


Рис. 4. Схема размещения массивов ультраосновных и основных пород Девладовской зоны разломов.

1 — перидотиты, пироксениты, габбро, габбро-нориты; 2 — днепровские плагиомикроклиновые граниты (а) и их мигматиты (б); 3 — кировоградские плагиомикроклиновые граниты (а) и их мигматиты (б); 4 — саксаганские плагиограниты; 5 — серпентиниты; 6 — амфиболиты конско-верховцевской серии.

Массивы ультраосновных и основных пород: I — Терновский; II — Водянский; III — Девладовский; IV — Елензвский; V — Красноярский; VI — Гуляйпольский.

Как видно из рис. 4, массивы занимают весьма определенное положение, располагаясь как бы один на продолжении другого с некоторыми смещениями относительно друг друга. Учитывая это, а также наличие почти полной аналогии состава слагающих их пород и результаты магнито- и гравиразведочных работ, можно высказать предположение, что все массивы ультраосновных и основных пород являются частями единого интрузивного тела, разбитого впоследствии более молодыми разломами субмеридионального простирания. Ультраосновные и основные породы Девладовской зоны разломов моложе днепровских гранитов, абсолютный возраст которых 1,8—1,9 млрд. лет [1]. Массивы этой зоны разломов характеризуются однородным внутренним геологическим строением. Слабо выраженная дифференциация отмечается лишь в Девладовском массиве.

Большая часть массивов сложена ультраосновными и в меньшей мере основными породами (Девладовский, Водянский массивы). Реже встречаются дайки, представленные исключительно основными породами (Еленовская).

Среди ультраосновных пород, преобладающих в массивах, по минеральному составу различаются дуниты, пироксеновые оливиниты, плагиоклазсодержащие дуниты, перидотиты (гарцбургиты, лерцолиты, верлиты), полевошпатовые перидотиты, оливиновые пироксениты (вебстериты и бронзиты) и полевошпатовые оливиновые пироксениты. Все эти разновидности пород взаимно переслаиваются и связаны постепенными переходами.

Породы основного состава играют подчиненную роль и представлены троктолитами, оливиновыми норитами, оливиновыми габбро-норитами, габбро. Состав массивов меняется с запада на восток. В этом направлении увеличивается роль плагиоклаза в породах: западные дайки сложены почти исключительно ультраосновными породами, а восточная — Гуляйпольская — преимущественно основными.

Характерной особенностью пород, слагающих Девладовские массивы, является очень слабое проявление процессов метаморфизма. Удивительно свежий облик и состав этих пород резко выделяет их среди других комплексов ультраосновных и основных пород Украинского щита. Процессы серпентинизации, хлоритизации и карбонатизации, наблюдаемые в этих массивах, не имеют повсеместного распространения, а приурочены к их верхним частям.

С запада на восток (по мере перехода от Терновской дайки к Гуляйпольской) наблюдается закономерная и постепенная смена преобладающих типов изменения пород. В Терновской дайке наиболее интенсивно проявились серпентинизация и хлоритизация пород; в Водянской и Девладовской дайках процесс серпентинизации выражен значительно слабее, но наблюдается процесс амфиболизации; в Красноярской и Гуляйпольской дайках серпентинизация едва заметна, амфиболизация же проявляется более интенсивно. Одновременно меняется и состав роговых обманок. В Водянской и

Девладовской дайках развита бурая, в Красноярской — зеленая роговая обманка.

В вертикальном разрезе намечается некоторая зональность в проявлении процессов серпентинизации. Верхние части массивов, ниже коры выветривания, представлены сильно серпентинизированными и хлоритизированными перидотитами и полевошпатовыми перидотитами, где первичные минералы сохраняются в виде реликтов. Интенсивно метаморфизованные ультраосновные породы наблюдаются до глубины 10—20 м, затем они постепенно переходят в слабосерпентинизированные разновидности и с глубины 80—150 м в неизмененные породы. Выше интенсивно серпентинизированных ультраосновных пород повсеместно развита площадная кора выветривания мощностью 20—30 м, к которой приурочены месторождения силикатно-окисных никелевых руд. Наиболее крупными из них являются Девладовское и Красноярское. Месторождений и рудопроявлений сульфидных медно-никелевых руд пока неизвестно.

Детальнее других изучен Девладовский массив. Здесь наряду с детальной разведкой силикатных никелевых руд в 1956 г. для обнаружения месторождений сульфидных медно-никелевых руд на глубине было пробурено два структурно-геологических профиля. Всего пройдено 12 скважин глубиной от 150 до 471 м. Учтены детальность и глубинность изучения, а также наличие наибольшего разнообразия пород, этот массив выбран для петрогеохимического изучения.

Девладовский массив представляет собой крутопадающее слабодифференцированное дайкообразное тело широтного простирания, сложенное ультраосновными и в меньшей мере основными породами. В строении его принимают участие все указанные выше разновидности пород. Они перемежаются друг с другом и связаны постепенными переходами. Наибольшим распространением среди них пользуются перидотиты и полевошпатовые перидотиты.

Минеральный состав пород Девладовского массива охарактеризован в табл. 39. Ниже приведена обобщающая петрографическая характеристика ультраосновных и основных пород, слагающих массивы Девладовской зоны.

Перидотиты макроскопически черного или зеленовато-черного цвета, среднезернистые, нередко имеющие порфировидную структуру, обусловленную присутствием порфировидных выделений пироксена размером до 2×3 см с пойкилитовыми включениями оливина размером 1—2 мм. В перидотитах иногда наблюдается сеть тончайших прожилков карбоната, представленного кальцитом, сидеритом и анкеритом, офита, керолита, а также прожилки магнетита мощностью от 2—3 мм до 1—2 см, к которым нередко приурочена вкрапленность сульфидов.

Главными породообразующими минералами перидотитов являются оливин, гиперстен и железистый диопсид, составляющие около 90—95% породы. Как правило, оливин и пироксены присут-

Содержание породообразующих минералов в породах Девладовского массива, % к площади шлифа

Порода	Количество определений	Оливин и серпентин по оливину	Ромбический пироксен	Моноклинный пироксен	Плагиоклаз	Второстепенные минералы
Дунит	16	91	4	1	Доли	Магнетит, хлорит, флогопит, амфибол, карбонат
Пироксеновый оливинит		80—97	Доли — 10	0—5	0—5	
Плагиоклазсодержащий дунит и пироксеновый оливинит	2	80 (75—85)	4 (3—5)	0	15 (10—20)	Магнетит, хлорит, пренит
Гарцбургит	20	63 (30—85)	34 (10—65)	2 (0—5)	0 Изредка доли	Магнетит, амфибол, хлорит, карбонат
Плагиоклазсодержащий гарцбургит	13	40 (15—65)	46 (20—70)	3 (0—5)	6	Магнетит, амфибол, хлорит, флогопит, пренит
Лерцолит	13	55 (30—80)	28 (10—55)	17 (10—35)	0 (очень редко единичные зерна)	Магнетит, амфибол, флогопит, хлорит, карбонат
Плагиоклазсодержащий лерцолит	15	37 (20—60)	30 (10—65)	20 (10—40)	8 (доли — 25)	Магнетит, амфибол, флогопит, хлорит, пренит
Верлит	3	77 (75—80)	3 (доли — 5)	17 (10—25)	0 (иногда доли)	Хлорит, магнетит, амфибол
Плагиоклазсодержащий верлит	1	80	Доли	20	1	Магнетит, хлорит
Оливиновый пироксенит (вебстерит)	1	15	65	10	5	Амфибол, флогопит, магнетит
Плагиоклазсодержащий пироксенит (бронзитит и вебстерит)	3	Доли	80 (70—90)	8 (0—20)	9 (5—15)	Амфибол, флогопит, хлорит, магнетит
Троктолит	2	50 (25—75)	Доли	0	47 (20—75)	Амфибол (0—5)
Оливиновый норит	8	31 (25—75)	36 (15—55)	3 (доли — 5)	25 (15—50)	Амфибол до 5, флогопит до 5
Оливиновый габбро-норит	10	31 (10—50)	16 (10—40)	25 (15—35)	28 (20—50)	Флогопит до 5, амфибол

Примечание. В скобках пределы колебания.

ствуют в равных количествах, при этом среди последних всегда преобладает гиперстен (до 45%). Однако встречаются разности перидотитов, близкие к дунитам и пироксеновым дунитам, где количество оливина в породе составляет 80—90%. В небольших количествах почти постоянно присутствуют роговая обманка (3—8%), флогопит (2—5%), магнетит (1—2%), серпентин (лизардит, бастит и антигорит), хлорит, амфиболы (3—4%), пренит, плагиоклаз — лабрадор № 55—№ 70, карбонаты. В качестве аксессуарных минералов встречаются апатит, рутил, сфен, циркон, магнетит, хромшпинелид, ильменит, шпинель и сульфиды (пирит, халькопирит и пирротин).

Оливин развит в виде крупных зерен округлой формы. По оптическим свойствам ($n_g = 1,688 \div 1,702$; $n_p = 1,648 \div 1,669$; $n_g - n_p = 0,029 \div 0,040$; угол $2V = 84 \div 90^\circ$) он относится к хризолиту (Fe_{8-15}). Химический состав его приведен в табл. 40.

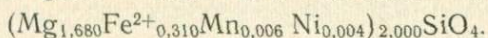
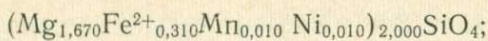
Таблица 40

Химический состав минералов ультраосновных пород Девладовского и Терновского массивов

Окислы	Номер анализа								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	39,44	37,63	51,91	52,72	49,79	48,53	55,75	36,59	36,36
TiO ₂	0,15	0,31	0,37	0,37	0,32	0,45	0,05	0,00	—
Al ₂ O ₃	0,35	0,86	1,64	1,17	4,06	9,16	1,35	1,87	1,34
Fe ₂ O ₃	2,07	3,31	1,46	1,93	2,10	1,84	0,65	3,55	3,09
Cr ₂ O ₃	0,18	—	0,34	0,34	0,18	—	—	—	0,206
FeO	13,71	10,68	8,83	8,04	5,20	9,94	2,74	5,02	5,08
MnO	0,19	0,22	0,10	0,10	0,19	0,19	0,17	0,10	0,11
NiO	0,14	0,05	—	—	—	0,06	—	—	0,23
CoO	—	—	—	—	—	—	—	—	0,015
MgO	42,03	41,71	32,28	32,03	14,38	16,08	25,10	35,72	37,19
CaO	0,28	0,14	1,86	1,93	22,40	10,43	11,45	0,82	0,82
Na ₂ O	0,34	0,47	0,24	0,38	0,25	1,04	0,21	0,61	0,12
K ₂ O	0,24	0,11	0,26	0,17	0,11	0,22	0,03	0,13	0,07
P ₂ O ₅	—	—	—	—	—	0,02	—	0,61	0,08
SO ₃	—	—	—	—	—	0,13	0,16	—	—
CO ₂	0,72	—	—	—	—	—	—	—	—
H ₂ O ⁻	0,03	—	0,27	—	0,12	0,12	0,12	—	0,59
П. п. п.	—	4,21	—	0,80	1,08	2,19	2,55	14,85	14,84
Сумма	99,87	99,70	99,56	99,98	100,18	100,40	100,33	99,87	100,141

Примечание. 1 — скв. 2930, обр. 3161, оливин; 2 — скв. 1203, обр. 3138, оливин; 3 — скв. 2930, обр. 3161, бронзит; 4 — скв. 2930, обр. 3162, бронзит; 5 — скв. 2930, обр. 3151, диопсид-авгит; 6 — скв. 2930, обр. 3161, бурая роговая обманка; 7 — скв. 2930, обр. 3162, тремолит; 8 — скв. 1203, обр. 3136, хризотил; 9 — скв. 1203, обр. 3138, хризотил. Анализы 2, 8 и 9 — Терновский массив, остальные — Девладовский.

Кристаллохимические формулы оливинов из Водянской и Терновской даек:



Энстатит Fs_{3-4} встречается в виде удлиненных призматических кристаллов без ясных конечных граней ($n_g=1,667$; $n_p=1,656$; $n_g-n_p=0,011$; угол $2V=72^\circ$).

Бронзит и гиперстен характерны для Девладовской и Водянской даек. Они образуют призматические или короткостолбчатые кристаллы длиной до 3 мм, среди которых часты пойкилитовые вроски оливина. Иногда заметны прорастания ромбического и моноклинного пироксенов. Бесцветные, либо бледно-зеленой окраски. Иногда характерен плеохроизм от светло-желтого по Np до красно-бурого по Ng ($n_g=1,685 \div 1,696$; $n_p=1,671 \div 1,680$; $n_g-n_p=0,012 \div 0,016$; угол $2V=72 \div 88^\circ$). Содержание ферросилитовой молекулы Fs_{22-32} . При постмагматических процессах гиперстен переходит в тремолит, актинолит, хлорит и реже бастит. Химический состав пироксена приведен в табл. 40.

Моноклинный пироксен присутствует в виде зерен изометричной или удлиненной формы, размером от 0,4 до 1 мм. Изредка заметны простые двойники. Выделяются два пироксена: авгит с углом погасания $cNg=48 \div 50^\circ$ (Девладовская дайка) и диопсид с углом погасания $cNg=38^\circ$ (Водянская дайка). Часто наблюдается образование тремолита по диопсиду. Химический состав диопсида приведен в табл. 40.

Зеленая роговая обманка наиболее часто встречается в Красноярской дайке в виде крупных призматических кристаллов с поперечной отдельностью. Окраска бледно-зеленая, плеохроизм слабо выражен в желто-зеленых тонах. $n_g=1,704$; $n_p=1,684$; $n_g-n_p=0,020$. Угол погасания $cNg=16 \div 20^\circ$. Развивается по диопсиду.

Буровая роговая обманка встречена в Девладовской дайке в виде ксеноморфных зерен, размерами от долей миллиметра до $2 \div 3$ мм. Окраска бурая, плеохроизм слабо выражен ($n_g=1,677 \div 1,686$; $n_p=1,653 \div 1,668$; $n_g-n_p=0,018 \div 0,024$; угол $2V=72 \div 88^\circ$; $cNg=14 \div 15^\circ$, изредка достигает 23°). Наблюдаются включения пелитоморфного вещества и тонкие пластинки гематита. Роговая обманка образуется по пироксену. Химический состав ее приведен в табл. 40.

Тремолит и актинолит присутствуют в виде келифитовой оторочки вокруг зерен оливина и тонких прожилков в пироксене. Сложение тонкозернистое, поперечношестоватое. Окраска бледно-зеленая либо бесцветная, плеохроизм едва уловим [$n_g=1,634$; $n_p=1,613$; $n_g-n_p=0,021$ (Девладовская дайка) и $n_g=1,667$; $n_p=1,649$; $n_g-n_p=0,018$ (Водянская дайка)]. Угол погасания $cNg=12 \div 15^\circ$. Химический состав тремолита дан в табл. 40.

Флогопит приурочен к участкам распространения бурой роговой обманки и пироксена. Форма выделения его — отдельные скопления чешуек различной величины. Плеохроизм выражен слабо по Np почти бесцветный; по Ng — палево-желтый ($n_g=n_m=1,597$;

$n_p = 1,565$; $n_g - n_p = 0,032$). При процессах выветривания переходит в хлорит, а затем в гидрохлорит и вермикулит, при этом светопреломление его снижается.

Хлорит встречен в Водянской и Девладовской дайках. Представлен двумя разновидностями: пеннином и джефферизитом. Первый развивается за счет флогопита и тремолита, в виде удлиненных чешуек с положительным удлинением, ясным плеохроизмом (по N_p — светло-желтый; по N_g — зеленый) и сине-серыми цветами интерференции, $n_m = 1,596$. Джефферизит образует крупные чешуйки, часто расщепленные по спайности. Плеохроизм резко выражен в сине-зеленых тонах ($n_m = 1,611$).

Пренит встречен в скв. 1681 (Девладовская дайка) в виде скопления мелких призм буровато-серой окраски. Образуется за счет пироксена и, возможно, за счет плагиоклаза. Приурочен к выветрелым разностям перидотитов ($n_g = 1,635 \div 1,642$; $n_p = 1,610 \div 1,615$; $n_g - n_p = 0,025 \div 0,027$). Удлинение положительное. Угол $2V = 66^\circ$.

Магнетит и сульфиды представлены двумя генерациями: 1) магнетит и сульфиды, расположенные между главными породообразующими минералами или образующие в них включения (преимущественно в оливине и роговой обманке, реже пироксенах) и 2) магнетит и сульфиды, образующие тончайшие прожилки, возникновение которых связано с постмагматическими процессами серпентинизации и хлоритизации перидотитов.

Полевошпатовые перидотиты от вышеописанных перидотитов отличаются более светлой окраской и наличием плагиоклаза до 15—30%.

Плагиоклаз представлен лабрадором и битовинитом № 52 — № 70; $n_g = 1,565 \div 1,569$; $n_p = 1,557 \div 1,560$; $n_g - n_p = 0,008 \div 0,009$. Угол $2V = 75 \div 82^\circ$. Структура перидотитов и полевошпатовых перидотитов порфириовидная, реже гипидиоморфнозернистая.

Пироксениты слагают отдельные маломощные тела в перидотитах, среди которых выделяются по внешнему виду благодаря мелкозернистому сложению и буровато-черной окраске. По минеральному составу среди них весьма четко различаются две разновидности: а) оливиновые пироксениты, которые отличаются от вмещающих перидотитов меньшим содержанием оливина (не более 10—15%) и соответственно большим количеством пироксена. В зависимости от состава пироксена различаются вебстериты и бронзититы (см. табл. 39); б) полевошпатовые оливиновые пироксениты, для которых, наряду с преобладанием среди темноцветных минералов пироксена, главным образом гиперстена (до 80%), характерно присутствие плагиоклаза ряда лабрадора до 15—25%.

Эти породы представляют собой переходную разность от перидотитов к основным породам, представленным в описываемых массивах оливиновыми габбро-норитами или норитами, троктолитами и габбро. Среди оливинсодержащих основных пород преоб-

ладают оливиновые габбро-нориты, образующие в перидотитах и полевошпатовых перидотитах отдельные участки мощностью от 2 до 70 м.

Габбро-нориты темно-серые, среднезернистые, массивные породы, состоящие из оливина (10—30%), гиперстена (10—35%), диопсида (20—30%) и плагиоклаза-лабрадора (30—50%). В небольших количествах в них присутствуют амфибол, биотит, серпентин, хлорит, магнетит и хромшпинелид. Структура их габбро-вая, габбро-офитовая и нередко трахитоидная.

Троктолиты встречаются весьма редко. В отличие от оливиновых габбро-норитов для них характерна светло-серая окраска и относительно равные количества оливина и лабрадора.

Габбро имеет обычный минеральный состав — плагиоклаз ряда андезин — лабрадора №40—№42, составляющий 40—50% породы, и диопсид. В подчиненном количестве встречаются роговая обманка, биотит, кварц, гранат, кальцит, магнетит, пирит и пентландит.

Интенсивно *серпентинизированные, хлоритизированные и частично карбонатизированные ультраосновные породы* от неизменных разностей макроскопически отличаются темно-зеленовато-серым цветом и наличием большого количества секущих прожилков карбоната, магнетита, серпентина и хлорита. Эти породы характеризуются резким преобладанием в составе вторичных минералов (до 80%) — серпентина, представленного лизардитом и антигоритом, замещающими оливин и ромбический пироксен, тремолита и хлорита, развивающихся по пироксенам. Первичные минералы — оливин, гиперстен и диопсид — наблюдаются в незначительных количествах (не более 15—20%) или полностью отсутствуют.

Лизардит образует густую петельчатую сеть тонких прожилков поперечно-волокнутого сложения, развивающихся за счет оливина, реже ромбического пироксена. Ячейки петель выполнены оливином, пироксеном, амфиболом, изотропным серпентином. Окраска лизардита светло-желтая, зеленоватая ($n_g=1,560$; $n_p=1,554$; $n_g-n_p=0,006$). Удлинение отрицательное. Равномерно усеян дисперсной магнетитовой пылью. Химический состав лизардита дан в табл. 40.

На кривой нагревания наблюдается эндотермический при 690° С и экзотермический при 810° С эффекты.

Антигорит развит в виде тонкочешуйчатых агрегатов, различно ориентированных. Окраска бледная желтовато-зеленая ($n_g=1,568$; $n_p=1,563$; $n_g-n_p=0,005$). Удлинение положительное. Образуется за счет лизардита.

Офит развит в виде тонких жилок поперечно-волокнутого сложения, секущих оливин и лизардит. Окраска бледно-зеленая ($n_g=1,577$; $n_p=1,570$; $n_g-n_p=0,007$). Содержание NiO в серпентинитах уменьшается с увеличением содержания в них антигорита. В лизардите количество NiO достигает 0,18%.

Петрохимическая характеристика ультраосновных и основных пород массивов Девладовской зоны разломов приведена на примере Терновского, Девладовского, Красноярского и Гуляйпольского массивов. Химический состав пород дан в табл. 41, а пересчеты их по методу А. Н. Заварицкого в табл. 42 и нанесены на соответствующую диаграмму (рис. 5). Для сопоставления на диаграмму нанесены типовые составы пород по Р. Дэли и средние составы ультраосновных пород Девладовского, Терновского и Водянского массивов по данным З. И. Танатар-Бараш [99]. Выполнены также петрохимические пересчеты по методу Н. Д. Соболева, результаты которых даны в табл. 43.

Рассмотрение табл. 41—43 и рис. 5 показывает, что химический состав ультраосновных пород массивов Девладовской зоны разломов колеблется от типового диаллагита и верлита до типового дунита по Р. Дэли. Серпентиниты Девладовского массива отвечают лерцолитам, а перидотиты занимают среднее положение между верлитом и гарцбургитом. Пироксениты соответствуют диаллагиту. Серпентиниты Терновского массива располагаются в поле лерцолит — дунит, перидотиты — верлит — гарцбургит, пироксениты — лерцолит — верлит. По сравнению с Девладовским ультраосновные породы Терновского массива содержат большее количество нормативного оливина.

В целом ультраосновные породы описываемых массивов отличаются от соответствующих средних пород по Р. Дэли пониженным коэффициентом b , что обусловлено почти постоянным присутствием в них того или иного количества плагиоклаза, повышенной железистостью и повышенным содержанием титана. Коэффициент f' колеблется для ультраосновных пород Девладовской зоны от 11 до 17 по сравнению с 9—11 для соответствующих пород по Р. Дэли, $a = 0,34 \div 0,66$ по сравнению с 0,00—0,15 по Р. Дэли.

Данные пересчетов химического состава ультраосновных пород Девладовского и других массивов по методу Н. Д. Соболева показывают, что основные числовые характеристики $2c$ и b меняются в пределах, характерных для пироксенитов и перидотитов ($2c = 1,8 \div 9,1\%$, $b = 46,3 \div 62,0\%$). Средний виртуальный минеральный состав ультрабазитов дайкового комплекса соответствует составу гарцбургита.

К петрохимическим особенностям ультраосновных пород Терновского массива следует отнести повышенные значения характеристики $2c$ (2,0—6,0%) и пониженные значения b (52,2—63,3%) по сравнению с массивами геосинклинальных ультрабазитов. Среднего Приднепровья. В целом характеристики $2c$ и b свидетельствуют о перидотитовом составе пород Терновского массива.

Средний виртуальный минеральный состав позволяет отнести ультраосновные породы Терновского массива к лерцолитам.

Таблица 41

Химический состав ультраосновных и основных пород массивов Девладовской зоны разломов

Номер анализа	Массив, порода	Химический состав														П. п. п.	Сумма	
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CoO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅			CuO
Терновский																		
1	Сerpентинит	35,51	0,10	1,87	—	5,15	5,18	0,14	36,45	0,22	—	1,36	0,33	0,09	—	14,22	100,62	
2		35,67	0,10	2,06	0,50	5,13	5,02	0,12	33,75	0,23	—	2,38	0,21	0,53	—	14,30	100,00	
3		36,16	0,23	1,82	0,64	4,65	5,08	0,14	37,12	0,23	0,014	0,50	0,08	0,032	Следы	13,68	100,10	
4		34,96	0,17	3,50	0,52	3,71	4,28	0,09	35,34	0,22	0,013	2,00	0,52	0,037	"	13,74	99,10	
5		38,40	0,29	2,90	0,48	4,88	4,86	0,13	32,10	0,23	0,018	2,70	0,48	0,027	0,07	11,73	99,285	
6		34,99	0,22	1,87	0,48	5,89	4,91	0,16	36,23	0,21	—	1,51	0,23	0,07	—	13,59	100,36	
7		33,58	0,19	1,23	0,56	9,14	3,92	0,18	33,36	0,24	0,024	2,40	0,18	0,03	0,09	13,53	98,754	
8		Сerpентинизированный перидотит	43,02	0,32	4,29	0,48	4,12	6,45	0,15	27,83	0,08	0,015	5,00	0,18	0,03	Следы	7,55	99,65
Девладовский																		
9	Сerpентинизированный плагиоклазсодержащий перидотит	36,19	0,32	4,54	0,28	4,21	6,12	0,12	25,55	0,16	0,008	7,54	0,67	0,059	—	12,57	100,937	
10		38,29	0,28	4,60	0,24	3,57	8,23	0,10	34,51	0,16	0,008	1,30	0,43	0,043	—	7,38	99,141	
11		40,06	0,30	3,31	0,26	1,74	10,12	0,16	34,01	0,21	0,007	2,80	0,93	—	—	5,49	99,397	
12		43,83	0,17	3,62	—	2,19	8,95	0,16	31,80	0,04	—	2,69	0,64	0,19	0,02	—	6,10	100,40
13		44,06	0,34	3,85	—	6,04	3,99	0,18	31,16	0,14	0,011	2,80	0,32	0,037	Следы	7,38	100,308	
14		42,60	0,29	4,19	0,40	4,32	5,91	0,13	28,47	0,18	0,007	3,47	0,59	0,032	0,00	9,30	99,879	
15		42,92	0,27	4,74	0,48	0,74	9,32	0,15	31,82	0,18	0,013	3,70	0,92	0,030	Следы	3,84	99,123	
16		44,90	0,00	5,02	—	3,06	9,04	0,20	31,51	—	—	1,63	0,96	0,25	0,14	—	2,84	99,55
Красноярский																		
17	Сerpентинизированный плагиоклазсодержащий перидотит	43,42	0,05	4,34	—	3,87	8,54	0,15	29,50	—	—	3,66	0,63	0,20	0,05	—	5,65	100,06
Гуляйпольский																		
18	Габбро	45,30	3,0	13,40	—	20,2	—	—	2,1	—	—	5,4	1,92	—	—	10,0	101,32	

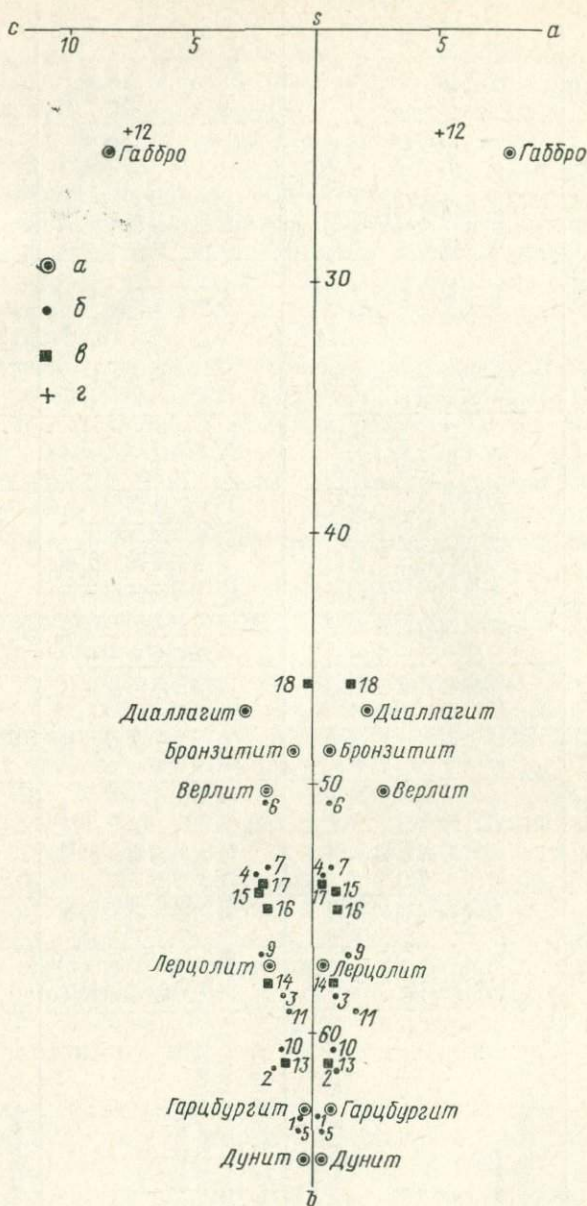


Рис. 5. Петрохимическая диаграмма ультраосновных и основных пород массивов Девладовской зоны разломов.

Цифры на диаграмме соответствуют номерам анализов в табл. 43. а — типовые составы пород по Р. Дэли; б — ультраосновные породы Терновского и Девладовского массивов; в — средний состав ультраосновных пород Терновского, Девладовского и Водянского массивов [101]; г — габбро Гуляйпольского массива.

Таблица 42
Числовые характеристики по А. Н. Заварицкому

Порода	<i>a</i>	<i>c</i>	<i>b</i>	<i>s</i>	<i>c'</i>	<i>f'</i>	<i>m'</i>
Серпентинит							
Терновского массива	0,6	1,2	61,2	37,0	6,0	10,3	83,7
Девладовского массива	0,8	1,9	58,0	39,3	2,8	15,1	82,1
Серпентинизированный перидотит							
Девладовского массива	1,4	2,2	54,3	42,1	6,9	15,2	77,9
Водянского массива	1,0	1,9	55,0	42,1	6,9	15,2	77,9
Пироксенит							
Терновского массива	0,3	2,1	54,0	43,6	6,2	16,1	77,7
Девладовского массива	1,5	0,2	45,5	50,8	9,4	16,1	74,5

Таблица 43
Числовые характеристики по Н. Д. Соболеву

Порода	<i>M : F</i>	<i>b</i>	<i>2c</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>z</i>
Серпентинит	5,1	57,0	5,1	12,7	26,6	60,7
Перидотит	5,5	55,1	4,4	19,4	37,2	46,4
Пироксенит	3,9	49,2	6,1	20,9	64,8	14,3

Коэффициент $M:F$ колеблется в значительных пределах (3,3—10,9), однако среднее значение (5,3) указывает на принадлежность ультрабазитов дайкового комплекса к производным основной магмы.

Ультраосновные породы слабо серпентинизированы, о чем свидетельствует коэффициент серпентинизации, равный 17,6%, при колебаниях от 2,2 до 42,3%. Коэффициент $Cr:Al$ указывает на увеличенную глиноземистость пород. Породы дайкового комплекса характеризуются, кроме того, повышенным содержанием титана.

Классификационная диаграмма ультраосновных пород дайкового комплекса показывает смещение их составов в сторону более кислых дифференциатов по сравнению с ультраосновными породами массивов геосинклинального типа Среднего Приднепровья.

В составе ультраосновных пород дайкового комплекса преобладают перидотиты — 78,4%, среди которых гарцбургиты составляют 71,3%. Пироксениты встречаются реже и представлены почти исключительно оливиновыми энстатитами — 18,9%.

Таким образом, повышенные содержания титана, алюминия и кальция, пониженная магнезиальность, коэффициент $M:F=5,3$ позволяют отнести ультраосновные породы Девладовского дайкового комплекса к производным основной магмы.

Геохимические особенности пород описываемого комплекса рассматриваются на основании изучения Девладовского массива. При этом используются данные количественного спектрального анализа на никель, кобальт и медь, высокочувствительного спектрального анализа на халькофильные элементы, фазового химического анализа на никель, химических определений серы, спектральных и химических определений содержаний элементов-примесей в породообразующих минералах.

Характерными элементами-примесями для ультраосновных и основных пород Девладовской зоны разломов являются: никель, кобальт, медь, мышьяк, ртуть, германий, висмут, олово, сера. Судя по данным силикатных анализов пород, сюда следует включить также титан (среднее содержание в перидотитах — 0,16, в габбро-норитах — 1,8%) и хром (среднее содержание в перидотитах — 0,31, а в габбро-норитах — 0,06%).

Сравнение пород разного состава (табл. 44—46) показывает, что содержания элементов-примесей, как правило, мало зависят от состава пород. Единственным исключением является только медь.

Таблица 44

Содержание элементов-примесей в породах Девладовского массива (по данным высокочувствительного спектрального анализа), 10^{-4} %

Порода	Количество определений	C _{As}	C _{Hg}	C _{Ge}	C _{Bi}	C _{Sn}	C _{Ag}
Дунит, пироксенит	54	2,6	0,033	9,1	0,13	1,6	0,006
Серпентинит, серпентинизированный и хлоритизированный дунит и перидотит	26	2,5	0,12	14,5	Ниже предела чувствительности	2,8	0,083
Оливиновый норит, оливниновый габбро-норит	14	2,5	0,05	7,6	0,43	2,3	Ниже предела чувствительности
Кларк:							
для ультраосновных пород		0,5	0,01	1,0	0,001	0,5	0,050
для основных пород (по А. П. Виноградову, 1962)		2,0	0,09	1,5	0,007	1,5	0,100

В табл. 46 приведены коэффициенты концентрации (отношения средних содержаний к кларкам по А. П. Виноградову [12]) элементов-примесей в ультраосновных и основных породах Девладов-

Таблица 45

Содержание никеля, кобальта и меди в породах Девладовского массива (по количественному спектральному анализу), %

Порода	Количество определенных	C _{Ni}	C _{Co}	C _{Cu}
Дунит	2	0,27	0,015	0,015
Гарцбургит	4	0,24	0,014	0,017
Лерцолит	1	0,25	0,013	0,034
Плагноклазсодержащие:				
гарцбургит	3	0,24	0,014	0,017
лерцолит	3	0,25	0,013	0,015
оливиновый вебстерит	1	0,24	0,012	0,075
Серпентинит, серпентинизированный и хлоритизированный дунит и перидотит	8	0,27	0,014	0,011
Оливиновый норит и габбро-норит	6	0,19	0,010	0,059

Таблица 46

Коэффициенты концентрации элементов-примесей для пород Девладовского массива

Порода	Ti	Cr	Ni	Co	Cu	As	Hg	Ge	Bi	Sn	Ag	S
Ультраосновная	5,3	1,5	1,2	0,71	9,5	5,2	3,3	9,1	130	3,2	0,12	3,4
Основная	2,0	3,01	1,7	2,2	5,9	1,25	0,56	9,7	61	1,5	0,01	0,57

ского массива. Ряд элементов (сера, ртуть, мышьяк, цинк) содержится в основных породах в количествах ниже кларка или близких к нему, а в ультраосновных породах — выше кларка. В других случаях (никель, кобальт), наоборот, содержания близки к кларковым или ниже кларковых в ультраосновных породах и повышены по сравнению с кларками — в основных.

По сравнению со средними содержаниями по А. П. Виноградову [12] можно выделить четыре группы элементов-примесей.

1. Элементы с весьма высокой концентрацией — висмут, германий, медь. В обеих группах пород они всегда присутствуют в содержаниях, значительно превышающих кларковые.

2. Элементы, характерные для обеих групп пород, с высокой концентрацией в одной из групп — никель, титан, хром, мышьяк, олово. Часть этих элементов (титан, мышьяк, олово), обычно не характерных для ультраосновных, присутствует в ультраосновных породах Девладовского массива в количествах, в несколько раз превышающих кларковые, а в основных содержания их близки кларковым. Другая часть элементов (никель, хром), обычно характерных для ультраосновных пород, присутствует в повышенных количествах и в породах основного состава.

3. Элементы, характерные для одной из групп пород — сера, ртуть, кобальт, цинк. Кобальт обладает большой концентрацией в породах основного состава, а ртуть, сера и цинк обнаруживают необычную концентрацию в ультраосновных породах.

4. Элементы, не характерные для обеих групп пород: серебро, свинец, сурьма, цирконий, теллур — присутствуют в пробах в содержаниях ниже предела чувствительности метода (за исключением серебра).

При гидротермальных изменениях пород — серпентинизации, хлоритизации — большинство элементов-примесей ведут себя инертно. Исключение составляют серебро, ртуть (содержание которых увеличивается соответственно в 14 и 4 раза) и медь (содержание меди снижается в 2,5 раза).

Судя по содержанию элементов-примесей в отдельных породообразующих минералах (табл. 47), основным минералом (концен-

Таблица 47

Содержание элементов-примесей в минералах Девладовского и Терновского массивов (по данным химических анализов), %

Минерал	C_{Ni}	C_{Co}	C_{Cu}	C_{Cr}	C_{Zn}	C_V
Оливин	0,06—0,25	0,004—0,014	0,002	0,20—0,36	0,01	0,0006
Пироксен	0,19—0,26	0,013—0,014	—	0,17—0,40	—	—
Магнетит	0,14	0,015	0,005	0,60	0,065	0,005
Серпентин	0,2	0,002	0,0003	0,016	0,01	0,0002

тратором для большинства элементов) является магнетит, а для никеля — магнезиально-железистые силикаты. Некоторые элементы (медь, цинк, серебро, ртуть и др.), возможно концентрируются в сульфидах, однако анализы последних не проводились. Основным минералом, носителем элементов-примесей, для нематаморфизованных ультраосновных пород является оливин. Так, в гарцбургитах со средним содержанием оливина 65% последний содержит более половины никеля, кобальта, хрома из общего количества этих элементов в породе. В серпентинитах на долю серпентина приходится 50—75% хрома, меди и ванадия и около 90% никеля и кобальта.

Наиболее детально для Девладовского массива изучена геохимия никеля, кобальта и меди, что позволяет более подробно остановиться на особенностях распределения, формах нахождения и поведении этих элементов.

Среднее содержание никеля по данным количественного спектрального анализа в ультраосновных (безплагноклазовых) породах массива составляет в среднем 0,25% (табл. 45), что близко к кларковым значениям.

Породы основного состава содержат в среднем около 0,19% никеля, что в 11,7 раза выше кларка для таких пород. При этом вариации содержаний никеля более значительны, чем в ультраосновных породах.

Исключительно высокая концентрация никеля в породах основного состава составляет одну из наиболее характерных особенностей девладовских пород, которая должна учитываться при решении петрогенетических вопросов.

Интересно отметить, что соотношение никеля и кобальта практически не зависит от состава породы. Величина отношения Ni:Co составляет в дунитах и перидотитах 17,4, в плагиоклазсодержащих ультраосновных породах 18,1 и в оливиновых норитах и габбро-норитах 18,9.

Среднее содержание никеля в серпентинизированных и хлоритизированных ультраосновных породах 0,28%. Небольшое увеличение его для этих пород, возможно, не связано с привнесением никеля при серпентинизации. Оно может быть обусловлено, во-первых, преобладанием разности, обогащенной оливином, во-вторых, развитием серпентинитов в апикальной части массива, где сказывается влияние процессов выветривания.

Характерной особенностью пород Девладовского массива является постоянное содержание сульфидного никеля — 0,02% (табл. 48). Породы других районов Украинского щита отличаются колебанием содержаний в пределах 0,0002—0,08%.

Количество сульфидного никеля указано Д. А. Додиним для траппов Хараелахского района, где оно колеблется от 0,01 до 0,03%, составляя в среднем 0,022%.

Таблица 48

Результаты фазового химического анализа пород Девладовского массива, %

Порода	C _{Ni}		Отношение сульфидного никеля к валовому	C _S
	Валовый	Сульфидный		
Порфиридный пироксеновый оливинит	0,270	0,02	7,4	0,046
То же	0,235	0,02	8,5	0,017
Гарцбургит	0,353	0,02	5,7	0,042
Лерцолит	0,106	0,02	18,9	0,032
Порфиридный плагиоклазсодержащий верлит	0,218	0,02	9,2	0,032
Плагиоклазсодержащий гарцбургит	0,230	0,02	8,7	0,017
Плагиоклазсодержащий гиперстенит	0,087	0,02	23,0	0,035
Оливиновый норит	0,203	0,02	9,9	0,020
Троктолит	0,149	0,02	13,4	0,014
Оливинит и перидотит*	0,241	0,02	8,3	0,034
Плагиоклазсодержащий перидотит**	0,224	0,02	8,9	0,024
Оливиновый габброид**	0,176	0,02	11,4	0,017

* Среднее из четырех анализов.

** Среднее из двух анализов.

Таким образом, содержание сульфидного никеля в породах Девладовского массива не зависит от состава пород, валового содержания никеля (0,106—0,353%) и содержания серы в породе (0,014—0,046%).

Доля сульфидного никеля в общем количестве никеля, заключенного в породе, составляет 8,3 для дунитов и перидотитов, 8,9 для плагиоклазсодержащих перидотитов и 11,4% для пород основного состава.

Никель не обнаруживает тенденции к повышенной концентрации в каком-либо из анализированных породообразующих минералов (табл. 47). Примерные подсчеты показывают, что основными минералами-носителями никеля являются оливин в неизменных ультраосновных породах и серпентин — в серпентинитах. Так, в гарцбургитах со средним содержанием оливина 65% на долю оливина приходится 60,5% общего количества никеля, на долю пироксена — 31,2%, сульфидов — 8,3%. В серпентинитах 89,1% всего никеля заключено в серпентине, 1,3 — в магнетите и 9,6% в сульфидах.

Кобальт содержится в неизменных и слабосерпентинизированных дунитах и перидотитах в количестве 0,014%. Это меньше кларка для ультраосновных пород (коэффициент концентрации 0,71). Подобно никелю, кобальт обнаруживает значительное постоянство содержания. Среднее количество кобальта в плагиоклазсодержащих ультраосновных породах (0,0135%) практически не отличается от его содержания в без плагиоклазовых разностях. При серпентинизации и хлоритизации ультраосновных пород содержание кобальта не меняется. В оливиновых норитах и оливиновых габбро-норитах заключено меньше кобальта, чем в ультраосновных породах (0,010%).

Для кобальта характерно сравнительно равномерное распределение среди магнезиально-железистых силикатов с небольшой концентрацией в магнетите. Основными минералами — носителями кобальта — являются магнезиально-железистые силикаты, в первую очередь оливин. Если учесть, что определения сульфидного кобальта не проводились, то в гарцбургитах на долю оливина приходится 54%, а на долю пироксена — 46% кобальта. В серпентинитах серпентин включает около 87% кобальта, магнетит 13%.

Медь в отличие от других элементов-примесей неравномерно распределена в породах Девладовского массива. Эта неравномерность сказывается как в неодинаковых средних содержаниях для отдельных петрографических разностей пород, так и в значительной вариации содержания в пределах главных групп пород. Среднее содержание меди в свежих дунитах и перидотитах составляет 0,019%. Это в 9,5 раз выше кларка для ультраосновных пород.

Плагиоклазсодержащие перидотиты содержат в среднем 0,016% меди — несколько меньше, чем в безплагиоклазовых разностях. Среднее содержание меди в оливиновых норитах и оливиновых габбро-норитах составляет 0,059%, т. е. значительно выше,

по сравнению с ультраосновными породами. Кларк меди для основных пород выше, чем для ультраосновных, концентрация меди в породах этой группы (в 5,9 раза выше кларка) — менее исключительное явление, чем в случае ультраосновных пород.

Неравномерность распределения содержаний меди в породах основного состава еще выше, чем в ультраосновных породах. При серпентинизации содержание меди снижается в 1,5—2 раза.

Судя по имеющимся данным (табл. 47), медь концентрируется в большей степени в магнетите, чем в оливине, а в серпентине содержание ее ничтожно. Приблизительные расчеты показывают, что если бы вся медь была сосредоточена в силикатах и магнетите, то ее содержание в гарцбургитах было бы близко к 0,002—0,003, а в серпентинитах — менее 0,001% (вместо действительных 0,019 и 0,010%). Это, несомненно, указывает, что подавляющая часть меди заключена в сульфидах. Следует отметить, что в отличие от большинства других элементов-примесей медь представлена в породах массива собственным минералом — халькопиритом. Содержание последнего обычно весьма мало и неравномерно. Указанными обстоятельствами и объясняются все особенности распределения меди в породах Девладовского массива.

СРЕДНЕПРОТЕРОЗОЙСКИЙ КОМПЛЕКС УЛЬТРАОСНОВНЫХ И ОСНОВНЫХ ПОРОД КОРОСТЕНСКОГО ПЛУТОНА

В пределах УКЩ известны ультраосновные и основные породы, генетически связанные с Коростенским комплексом гранитоидов и щелочных пород, слагающие два значительных по размерам и сложных по составу платформенных плутона разломного типа — Коростенский и Корсунь-Новомиргородский. Наиболее крупный из них Коростенский или Волинский плутон габбро-лабрадоритов — гранитов — щелочных сиенитов находится в северо-западной части щита к северу от г. Житомира, где занимает площадь около 8000 км². Корсунь-Новомиргородский плутон аналогичного типа (площадь 4500 км²) расположен к юго-востоку от Коростенского в бассейне рек Рось, Ольшанка и Ташлык.

При изучении этих плутонов основное внимание уделено минералогии, петрографии слагающих их пород и решению ряда петрологических вопросов, изложенных во многих монографиях [61, 72, 87 и др.]. Начиная с 1952 г. в районах развития ультраосновных и основных пород плутонов проводятся комплексные геолого-поисковые работы на сульфидный никель.

Коростенский и Корсунь-Новомиргородский плутоны по времени образования относятся к среднему протерозою. Это трещинные плутоны, внедрившиеся по вертикальным разломам северо-западного простирания, приуроченным к границе архейских гнейсов и осадочных образований овручской серии. Плутоны имеют сложнотифференцированное строение и сформировались в три фазы интрузивной деятельности.

В первую, наиболее раннюю, фазу образовались ультраосновные и основные породы, среди которых главное положение занимают волынские лабрадориты. Во вторую, наиболее интенсивную, внедрились граниты рапакиви, играющие главную роль в строении плутонов. С последней фазой связано появление не имеющих широкого развития щелочных пород типа щелочных кварцевых сиенитов, дайковых и жильных образований. Генетически комплексы пород этих интрузивных фаз представляют собой единый естественный ряд, возникший в процессе длительной интрузивной деятельности.

Геолого-петрографическая характеристика массивов

Ультраосновные и основные породы первой интрузивной фазы в пределах плутонов слагают ряд самостоятельных массивов, имеющих в плане форму линз, ориентированных в северо-западном, близком к широтному, направлении с падением, близким к вертикальному. Площадь, занимаемая массивами, от 37 до 220—1000 км² (рис. 6).

Массивы ультраосновных и основных пород имеют сложнодифференцированное строение, обусловленное кинетической и гравитационно-кинетической дифференциацией. Сочетание прототектоники массивов с тектоникой архейских пород дисгармоничное, с тектоникой пород свручской свиты — гармоничное. Массивы сформировались в две фазы, которые в свою очередь разделяются на ряд подфаз [72].

В первую подфазу первой фазы образовались породы так называемого краевого комплекса, представленного габбро-норитами (преобладают), норитами, оливиновыми габбро и габбро, которые взаимно переслаиваются и связаны постепенными переходами. Для них характерны мелко- и среднезернистые структуры, однородные массивные, часто параллельные трахитоидные или полосчатые текстуры. Среди основных пород иногда встречаются маломощные прослои и линзы пироксенитов и габбро-перидотитов. В краевых частях массивов (в зонах контакта основных пород с гранитоидами) возникают гибридные образования — габбро-монцититы и кварцевые монцититы, а в процессе ассимиляции архейских гнейсов — габбро-диориты и диориты. Породы этого комплекса слагают незначительные по мощности (4—5 км) периферические части массивов.

Во вторую подфазу первой фазы сформировались породы центрального комплекса, занимающие центральные части массивов. В состав этого комплекса входят габбро-анортозиты, лабрадориты, лейкократовое габбро, оливиновое и безоливиновое габбро и габбро-нориты, характеризующиеся крупно- и гигантозернистыми структурами, однородной, трахитоидной или полосчатой текстурами. Все породы связаны постепенными переходами. Наибольшим распространением среди них пользуются гигантозернистые

лабрадориты, известные как красивейший декоративный камень. Со второй фазой интрузий связано образование дайковых пород, являющихся жильными аналогами габбро-анортозитового комплекса.

Габбро-лабрадориты наиболее распространены. Макроскопически серого, темно-серого цвета, крупнозернистые, нередко пор-

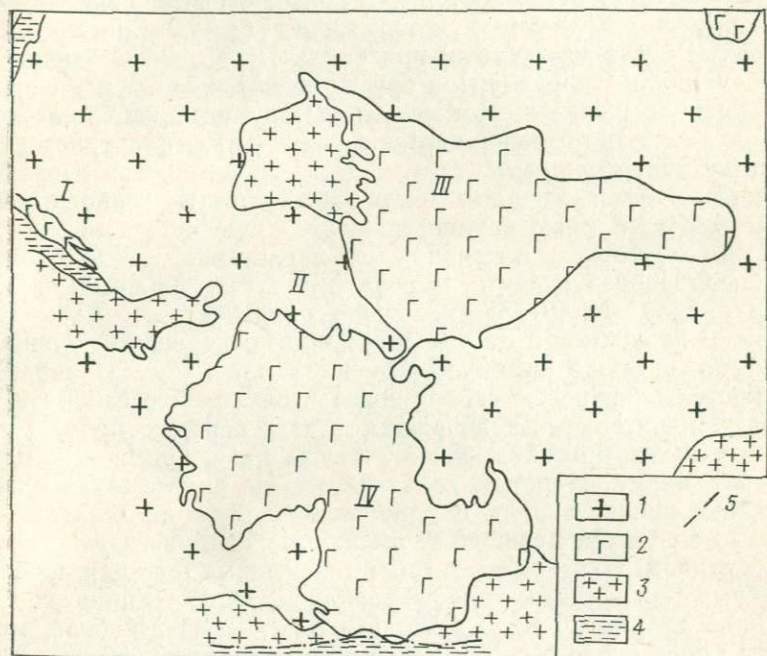


Рис. 6. Схематическая геологическая карта Коростенского плутона.

1 — Коростенские граниты рапакиви; 2 — габбро-нориты, габбро, габбро-лабрадориты, лабрадориты и граниты; 3 — кировоградско-житомирские граниты, гранодиориты и диориты; 4 — комплекс биотитовых, амфиболовых, силлиманитовых и других гнейсов, известняков, мраморов, амфиболитов и габбро-амфиболитов; 5 — тектонические нарушения. Массивы: I — Кривотинский; II — Пугачевский; III — Чеповичский; IV — Володарск-Волынский.

фировидные, массивного сложения. Структура их панидиоморфно-зернистая и гипидиоморфнозернистая. Главными породообразующими минералами в них являются: плагиоклаз-лабрадор № 50—№ 60, реже андезин-лабрадор № 35—№ 45 (70—80%), диопсид-авгит, диаллаг, реже гиперстен с содержанием ферросилита до 50% (10—20%), оливин (до 2%), ортоклаз (до 2%), титаномагнетит (1—2%). В небольшом количестве встречаются кварц и биотит. Из рудных минералов характерно постоянное присутствие титаномагнетита (иногда до 30%), ильменита, пирита, пирротина и реже халькопирита. Акцессорные минералы представлены апатитом и сфеном. В измененных габбро-лабрадоритах появляются хлорит,

серицит, цоизит, пренит, мусковит, замещающие плагиоклаз, карбонат, амфибол, пренит, серпентин, развивающиеся по пироксену, серпентин, актинолит-тремолит и тальк — по оливину.

Лабрадориты (анортозиты) представляют собой мономинеральные плагиоклазовые породы от крупно- до гигантозернистого, реже порфиroidного сложения с размерами зерен, измеряющихся сантиметрами, а в отдельных случаях десятками сантиметров. Макроскопически различаются темные и светлые иризирующие лабрадориты, светло-серые лабрадориты без иризации, зеленовато-белые с фарфоровидным плагиоклазом. По минеральному составу от габбро-лабрадоритов они отличаются лишь меньшим содержанием темноцветных минералов. Структура габбро-лабрадоритов и лабрадоритов гипидиоморфнозернистая, аллотриоморфнозернистая, пегматоидная.

Габбро-нориты — породы темно-серого, почти черного цвета, среднезернистые, реже крупнозернистые с порфиroidными выделениями плагиоклаза, массивной или директивной текстуры. Главными пороодообразующими минералами в них являются плагиоклаз-лабрадор № 48—№ 56, диопсид-геденбергит, гиперстен и оливин. В зависимости от относительного содержания оливина и пироксена, а также ромбического или моноклинного пироксена выделяются оливиновые габбро-нориты, оливиновое габбро и габбро. В незначительных количествах в этих породах присутствуют титаномагнетит, ортоклаз, биотит, иногда кварц, роговая обманка, ильменит, пирит, пирротин, халькопирит. Из аксессуарных минералов весьма обилен апатит. Вторичные минералы представлены серицитом, альбитом, кальцитом, амфиболом, идингситом, тальком и серпентином. Плагиоклаз в габбро-норитовых породах представлен двумя генерациями — порфиroidными вкрапленниками, соответствующие лабрадору № 52—№ 56, и плагиоклаз основной массы породы более кислого состава — андезин-лабрадор № 45—№ 49. Темноцветные минералы характеризуются высокой железистостью. Оливин содержит около 52% Fa молекулы, гиперстен 60% Fs и моноклинный пироксен — 40% Fs. Структура пород габбровая, офитовая, габбро-офитовая.

Габбро-монцонитовые породы представлены габбро-монцонитами, монцонитами и кварцевыми монцонитами, которые всегда встречаются совместно и связаны постепенными переходами. Макроскопически это серые, темно-серые, зеленовато-серые, среднезернистые массивные породы. Структура их гипидиоморфнозернистая с участками монцонитовой, пертитовой, субграфической. По минеральному составу габбро-монцонитовые породы нельзя резко отграничить от габбро-норитовых. Обладая тем же минеральным составом, они отличаются значительно большим количеством калиевого полевого шпата и другим составом пороодообразующих минералов, в частности основностью плагиоклаза и еще более высокой железистостью темноцветных минералов. Для них характерно значительное количество титаномагнетита и апатита (до 30%).

Дайковые породы — диабазы, диабазовые порфириты и порфириты, состоят из плагиоклаз-олигоклаз-андезина (40—65%), авгита, диопсида и гиперстена (12—50%). В качестве второстепенных минералов присутствуют серицит, амфибол, биотит, кварц, ильменит, пирит. Аксессуарные — апатит.

В пределах массивов ультраосновных и основных пород наблюдаются два генетических типа сульфидной минерализации: сингенетическая и эпигенетическая. Сингенетическая сульфидная минерализация приурочена к контактными зонам ряда массивов ультраосновных и основных пород с архейскими гнейсами, где представлена пирротинном, содержащим включения пентландита, пиритом и халькопиритом, содержание которых составляет до 2—3% от общей массы породы. Содержание никеля, кобальта и меди не превышает сотых долей процента (0,01—0,02%), обычно же отмечаются следы никеля.

Эпигенетическая сульфидная минерализация приурочена к породам краевой зоны массивов, вблизи контакта их с гранитами рапакиви. Она представлена пирротинном, пиритом, халькопиритом, реже валлеринитом и миллеритом, содержание которых достигает 15—20%. Несмотря на большое количество сульфидов, содержание никеля не превышает 0,12%, меди и кобальта сотые доли процента. В породах краевого комплекса встречаются линзы мощностью до 20—25 см сульфидно-титаномагнетитового состава. Содержание никеля ничтожное.

Петрохимическая характеристика пород

Ультраосновные и основные породы Коростенского типа изучены сравнительно детально [72]. По химическому составу среди них выделяются несколько разновидностей пород, составляющих непрерывный ряд от габбро-перидотитов до лабрадоритов.

При сопоставлении средних химических составов пород от пироксенита к лабрадориту (табл. 49, 50) наблюдается постепенное увеличение количества кремнезема, глинозема, окиси натрия, окиси калия и уменьшение двуокиси титана, окиси магния и закиси железа. Количество окиси кальция практически постоянно. Коэффициент b снижается от пироксенита к лабрадориту, что естественно при расположении пород в ряду по убыванию меланократовости, а n в этом направлении возрастает.

В целом ультраосновные и основные породы Коростенского плутона по среднему химическому составу отличаются от химического состава средних типов изверженных пород по R . Дзэли резко повышенной железистостью и более низкими значениями отношения $M:F$, повышенным количеством щелочей и пониженным содержанием анортитовой составляющей.

Преимущественно лейкократовый состав при высокой железистости породообразующих минералов определяет геохимические особенности основных пород Коростенского плутона.

Таблица 49

Химический состав ультраосновных и основных пород Коростенского плутона, %

Номер анализа	Порода	Количество определений	Химический состав													Сумма	Отношение М: F	
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	П. п. п.			H ₂ O
1	Габбро-перидотит	3	41,63	2,14	9,88	4,02	20,63	0,29	7,81	8,64	1,31	0,62	0,83	0,86	1,51	—	100,17	0,6
2	Пироксенит	2	28,91	7,45	3,73	5,93	33,23	0,55	8,37	9,35	1,62	0,30	0,73	0,30	0,94	—	100,41	0,3
3	Оливиновый габбро-норит	5	50,58	2,26	17,62	1,47	9,40	0,16	4,70	8,68	2,42	1,52	0,41	0,32	1,25	—	100,79	0,8
4	Габбро-норит	6	51,03	1,73	17,25	1,93	9,78	0,16	4,62	8,29	3,39	1,09	0,11	0,31	1,22	0,10	101,01	0,7
5	Оливиновое габбро	5	50,10	1,90	17,03	2,52	11,6	0,11	4,93	7,68	3,63	1,20	0,22	0,14	0,63	—	101,69	0,8
6	Габбро	11	50,93	1,88	15,11	2,66	10,85	0,13	4,60	7,33	2,87	1,38	0,44	0,64	0,79	0,20	99,81	0,6
7	Габбро-анортозит	7	52,43	0,80	20,34	1,99	5,68	0,11	3,67	8,25	4,11	2,05	0,23	0,29	1,66	—	101,61	0,8
8	Анортозит	3	54,29	0,26	23,76	0,39	3,71	0,04	2,30	8,60	3,36	0,90	0,09	0,35	1,98	0,33	100,36	0,8
9	Лабрадорит	3	55,12	0,41	25,13	1,13	2,24	0,05	1,30	9,46	4,04	1,07	0,18	0,09	0,40	0,06	100,68	0,8

Таблица 50

Числовые характеристики по А. Н. Заварицкому

Номер анализа	Порода	Количество определений	Числовые характеристики							a : c
			a	c	b	s	t	f	n	
1	Габбро-перидотит	3	3,7	3,4	42,6	50,3	31,5	52,7	74,6	1,09
2	Пироксенит	2	1,7	1,5	58,7	38,1	22,3	61,5	80,4	1,13
3	Оливиновый габбро-норит	5	7,6	7,6	22,6	62,2	36,7	47,7	77,7	1,00
4	Габбро-норит	6	9,3	7,9	25,5	61,3	36,9	48,3	85,1	1,18
5	Оливиновое габбро	5	9,91	6,38	23,78	59,8	38,6	46,3	81,8	1,55
6	Габбро	11	8,3	6,5	23,8	61,4	35,0	54,0	77,6	1,28
7	Габбро-анортозит	7	11,0	9,3	19,3	60,4	35,0	45,4	86,1	1,18
8	Анортозит	3	9,6	11,5	10,1	68,8	33,3	41,9	85,0	0,83
9	Лабрадорит	3	11,7	11,3	9,1	67,9	23,4	30,0	85,7	1,04

Геохимическая характеристика пород

Геохимическая характеристика приведена по данным анализа пород Кривотинского и Пугачевского массивов, сложенных преимущественно основными разностями пород — оливиновыми габбро-норитами, оливиновыми габбро, габбро и габбро-анортозитами.

Неизмененные основные породы этих массивов в целом характеризуются весьма низкими содержаниями никеля, кобальта и меди, составляющими сотые и тысячные доли процента. При этом количества никеля и кобальта в выделенных разностях пород очень близки (табл. 51). Содержание кобальта в габбро-анорто-

Таблица 51

Содержание никеля, кобальта и меди в породах Коростенского плутона (по данным количественного спектрального анализа)

Порода	Количество определений	C _{Ni} , %	K _K	C _{Co} , %	K _K	C _{Cu} , %	K _K
Оливиновый габбро-норит и габбро	10	0,0047	0,29	0,0047	1,04	0,0121	1,21
Габбро	4	0,0040	0,25	0,0044	0,97	0,0225	2,25
Габбро-анортозит	7	0,0040	0,25	0,0027	0,60	0,0120	1,20
Основные породы в целом	21	0,0043	0,23	0,0040	0,88	0,0140	1,40

зитах значительно ниже, чем в оливиновых и безоливиновых габбро и габбро-норитах. Близки сравниваемые разновидности пород и по вариациям содержаний никеля и кобальта. Наиболее высокое содержание меди наблюдается в габбро (0,0225%).

При сопоставлении средних значений для общей выборки основных пород с мировыми кларками установлено, что количество никеля в них значительно ниже кларкового (более чем в три раза), кобальта несколько ниже, а меди выше кларкового. По-видимому, эти элементы не концентрируются в каком-нибудь одном минерале, а сравнительно равномерно распределены между несколькими минералами-носителями при неодинаковых соотношениях между элементами в каждом минерале (табл. 52). Такое предположение подтверждается исследованиями Т. Н. Агафоновой, которая установила определенную зависимость содержания элементов-примесей в основных породах Коростенского плутона от их минерального состава. Так, содержание никеля и кобальта в породе определяется количеством сульфидов, оливина, пироксена (и, вероятно, магнетита); меди — сульфидов и плагиоклаза. Судя по результатам фазового анализа (табл. 53), количество сульфидного никеля (даже в породах с наблюдаемой макроскопически сульфидной вкрапленностью) ничтожно и составляет по отношению к валовому содержанию его не более 3—8%.

Таблица 52

Средние содержания элементов-примесей в минералах основных пород Коростенского плутона (по данным химического анализа), %

Минерал	Количество определений	Ni	Co	Cu	Cr	Ti	V	Zn	Mn	Ga
Оливин	14	0,023	0,019	0,00007	—	0,010	—	0,023	0,11	—
Пироксен	18	0,019	0,0072	0,0001	—	0,31	0,044	0,0033	0,080	—
Плагиоклаз	17	—	—	0,0004	—	0,12	—	—	0,015	0,0045
Ильменит	25	0,0017	0,0007	0,0003	0,0046	—	0,021	0,002	0,11	—
Апатит	15	—	—	0,0007	—	0,027	—	—	0,062	—
Пирротин	9	0,2	0,1	0,02	—	0,027	—	—	0,001	—

Таблица 53

Результаты фазового химического анализа пород Кривотинского массива, %

Порода	Количество определений	C _{Ni}		Отношение сульфидного никеля к валовому
		Валовый	Сульфидный	
Оливиновое габбро	2	0,028	0,0024	8
Габбро-анортозит	1	0,030	0,0008	3
Лабрадорит	1	0,032	0,0012	4

Таблица 54

Содержание элементов-примесей в породах Коростенского комплекса (по данным высокочувствительного спектрального анализа), 10⁻⁴%

Порода	C _S	K _K	C _{As}	K _K	C _{Hg}	K _K	C _{Ge}	K _K	C _{Bi}	K _K	C _{Sn}	K _K	C _{Ag}	K _K
Оливиновый габбро-норит и габбро	343	1,14	1,34	0,67	0,121	1,30	0,044	0,30	0,002	0,20	0,811	0,54	—	—
Габбро-норит и габбро	—	—	10,00	5,00	0,140	1,50	0,014	0,09	—	—	0,800	0,53	—	—
Габбро-анортозит	4180	13,90	1,80	0,90	0,260	2,80	0,078	0,52	0,042	6,00	0,011	0,006	0,0176	17,6

Более четкие различия отдельных разновидностей основных пород Коростенского плутона устанавливаются по содержанию в них ряда элементов, не свойственных данному типу пород, таких как мышьяк, ртуть, олово и др. (табл. 54). В оливиновых и безоливиновых габбро концентрируется главным образом мышьяк, в габбро-анортозитах — висмут, серебро, германий и ртуть. Для последних характерны также повышенные количества летучих компонентов, и в первую очередь серы.

Основные породы Коростенского плутона испытали значительные изменения под воздействием более молодых гранитов рапакиви, в контакте с которыми они нередко превращены в габбро-монциты, монциты и кварцевые монциты. При сравнении средних содержаний элементов в неизмененных и интенсивно метаморфизованных основных породах устанавливается, что в процессе метаморфического преобразования пород происходит некоторое перераспределение элементов, в частности незначительный привнос свинца, ванадия, вынос никеля и кобальта. Содержания меди и цинка остаются неизменными. В гранитах по отношению к неизмененным и метаморфизованным основным породам отмечается большее содержание свинца и резко пониженное количество никеля, кобальта и меди.

Помимо установления геохимических особенностей Коростенского плутона в целом проведено сравнение Кривотинского и Пугачевского массивов по содержанию в них никеля, кобальта и меди. Для сопоставления были выбраны габбро-анортозиты, которые имеют преобладающее развитие и соответственно охарактеризованы наибольшим количеством проб, что дает возможность получить более объективные результаты. Отмеченные массивы четко различаются по содержанию в слагающих их габбро-анортозитах никеля, меди и хрома, наибольшие количества которых характерны для габбро-анортозитов Пугачевского массива, что, видимо, обусловлено наличием в пределах его более значительного сульфидного оруденения.

СРЕДНЕПРОТЕРОЗОЙСКИЙ КОМПЛЕКС УЛЬТРАОСНОВНЫХ И ОСНОВНЫХ ПОРОД ОКТЯБРЬСКОГО МАССИВА (ПРИАЗОВЬЕ)

К наиболее молодым интрузивным образованиям УКЩ относятся породы Приазовского щелочного комплекса, слагающие ряд обособленных массивов, из которых наиболее крупным является Октябрьский.

Этот массив исследовался в течение ряда лет (И. А. Морозевич, А. Ф. Айнберг, В. И. Луцицкий, Б. М. Куплетский, И. С. Усенко, И. Д. Царовский, Н. А. Елисеев, М. Д. Бойчук, П. С. Пятница и др.). В результате исследований детально изучены геологическое строение массива и его рудоносность.

Октябрьский массив расположен в восточной части Приазовского поднятия (в 50 км к северу от г. Жданова). Массив приуро-

чен к глубинному разлому субмеридионального простирания, занимающая положение по отношению к структурам вмещающих архейских гнейсов и мигматитов. Контакты массива с вмещающими породами интрузивные. По времени внедрения он относится к среднему протерозою.

В плане массив имеет овальную форму и несколько вытянут в северо-восточном направлении. Площадь, занимаемая массивом, составляет около 100 км². В геологическом строении Октябрьского массива принимает участие сложный комплекс пород от ультраосновных до щелочных разновидностей. Большая часть его сложена породами граносиенитовой и щелочных групп.

Геолого-петрографическая характеристика пород

Ультраосновные и основные породы имеют ограниченное развитие. Породы этого комплекса являются наиболее ранними образованиями массива и развиты главным образом в его северо-восточной части, где слагают один большой блок (1,5×3,5 км) и несколько мелких (рис. 7). Незначительные по размерам блоки-ксенолиты этих пород наблюдаются почти повсюду вдоль юго-западной, восточной и юго-восточной границ поля сиенитов и в центре массива. Мелкие тела, залегающие среди граносиенитов и нефелиновых сиенитов, как правило, представлены интенсивно измененными основными породами, главным образом габбро-сиенитами.

Относительно крупный блок, расположенный в краевой северо-восточной части массива, характеризуется зональным строением. В периферической части развиты почти совершенно неизменные пироксениты, содержащие маломощные линзовидные участки перидотитов и оливинитов. В центре массива ультраосновные породы постепенно сменяются габбро, среди которых различаются оливинное и безоливинное габбро. Все отмеченные разновидности ультраосновных и основных пород связаны постепенными переходами. На контакте с граносиенитами и нефелиновыми сиенитами они амфиболитизированы, биотитизированы и скаполитизированы, а в зонах тектонических нарушений катаклазированы, рассланцованы, милонитизированы и нередко превращены в слюдиты альбито-флогопитового или альбито-лепидомеланового состава.

С дизъюнктивными нарушениями, которые проявились неоднократно в различные этапы формирования массива, наряду с образованием многочисленных зон рассланцеваний и трещин, выполненных дайками щелочных пород и лампрофиров, видимо, следует связывать также возникновение блоков ультраосновных и основных пород.

С комплексом ультраосновных и основных пород Октябрьского массива связано магнетито-ильменитовое оруденение. Наибольшие гнезда его с повышенным содержанием магнетита и ильменита наблюдаются среди габбро и на контакте габбро со щелочными породами. Проявлений никелевых руд не отмечено.

Пироксениты, слагающие краевые части блоков ультраосновных и основных пород, состоят почти нацело из моноклинного пироксена ряда диопсид-авгита (90—95%), слабо замещенного роговой обманкой и биотитом. В незначительных количествах присут-

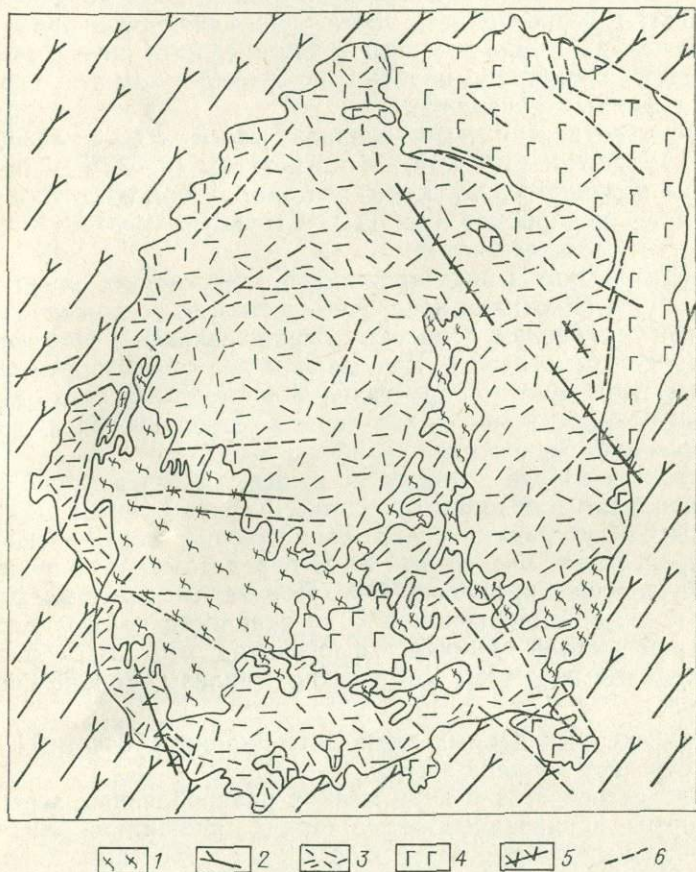


Рис. 7. Схема геологического строения Октябрьского массива.

- 1 — нефелиновые сиениты, щелочные сиенит-пегматиты и щелочные сиениты;
 2 — сиениты; 3 — кварцевые сиениты; 4 — основные и ультраосновные породы;
 5 — дайки лампрофиров; 6 — тектонические нарушения.

ствуют энстатит, оливин, плагиоклаз (лабрадор), тальк, серпентин, карбонат, иддингсит, магнетит, ильменит, хромшпинелид и сульфиды. В отдельных шлифах содержание оливина составляет 8—10% и порода по первичному составу приближается к оливинному пироксениту, а в случае интенсивного замещения оливина серпентином к серпентиниту. Среди ультраосновных пород встре-

чаются разновидности с содержанием плагиоклаза до 5—10% — габбро-пироксениты. Структура пироксенитов и их метаморфизованных разновидностей панидиоморфнозернистая, гипидиоморфнозернистая или аллотриоморфнозернистая.

Наблюдаемые в пироксенитах линзовидные обособления перидотитов и оливинитов в значительной степени метаморфизованы и превращены в серпентиниты. Это породы тонкочешуйчато-зернистого сложения, темно-зеленого и темно-серого цвета, разбиты сетью тонких прожилков карбоната. Изредка заметна вкрапленность сульфидных минералов.

Сложены серпентиниты в главной своей массе лизардитом (40—88%), офитом (10—35%) и магнетитом (3—20%). В незначительном количестве, но почти постоянно присутствуют флогопит (1—5%) и карбонат (до 8%). Структура мелкопетельчатая, волокнистая, сложносетчатая.

Лизардит развит в виде прожилков, образующих сложносетчатую структуру. Прожилки поперечно-шестоватого сложения с отрицательным удлинением. Окраска бледно-зеленая. Наблюдаются тонкие просечки магнетита. Выделяются две генерации лизардита, причем местами заметно обрастание волокнистых агрегатов второй генерации вокруг тонких жилок первой генерации. Ячейки выполнены аморфным серпентином, изредка баститом.

Пироксен в породе доминирует и представлен в главной своей массе диопсидом или диопсид-авгитом и реже бронзитом.

Диопсид-авгит развит в виде изометричных зерен и призматических кристаллов. Бесцветный либо буровато-серой окраски. Окраска обусловлена примесью TiO_2 . Показатели преломления $n_g = 1,670$; $n_p = 1,652$. Неравномерно по спайности наблюдается развитие бурой роговой обманки и флогопита, местами серпентина. Угол погасания $cNg = 38^\circ$. Химические анализы пироксенов даны в табл. 55.

Из приведенных данных видно, что пироксен богат TiO_2 и по составу отвечает диопсид-авгиту.

Оливин встречается в виде мелких раздробленных зерен угловатой формы, пронизанных сетью тонких прожилков лизардита. Первоначальный размер зерен $0,5 \times 2,5$ мм. Местами хорошо заметно образование пироксена за счет оливина.

Основные породы представлены габбро и оливиновым габбро. Это темно-серые, среднезернистые, массивные породы, состоящие из плагиоклаз-лабрадора (35—45%) и титан-авгита (45—55%), частично замещенного роговой обманкой, актинолитом и биотитом. Оливин с содержанием Ca молекулы 15% встречается спорадически в виде единичных зерен и, как правило, слабо замещен серпентином. В качестве аксессуарных минералов присутствуют ильменит, магнетит, титаномагнетит, зеленая шпинель, пирротин, халькопирит, пентландит и пирит. Иногда количество титаномагнетита в габбро достигает 15% (рудное габбро). Структура габбро гипидиоморфнозернистая, габброидная с участками сидеронитовой.

Таблица 55

Химический состав пироксенов, %

Оксид	По скв. 555	По скв. 031	Катионы	По скв. 555	По скв. 031
SiO ₂	48,24	47,17	Si	1,81	1,78
TiO ₂	2,41	2,32	Ti	0,07	0,05
Al ₂ O ₃	4,26	4,98	Al	0,19	0,22
Cr ₂ O ₃	—	0,25	Cr	—	0,00
Fe ₂ O ₃	1,25	0,88	Fe ³⁺	0,03	0,02
FeO	6,67	6,82	Fe ²⁺	0,21	0,20
MnO	0,11	0,11	Mn	0,00	0,00
MgO	15,24	14,85	Mg	0,83	0,82
CaO	20,59	20,47	Ca	0,82	0,82
Na ₂ O	0,49	1,00	Na	0,04	0,08
K ₂ O	0,16	0,10	K	0,00	0,00
NiO	Следы	0,025	f _{общ}	22,4	21,2
CoO	0,002	0,014			
SO ₃	0,02	0,20			
P ₂ O ₅	0,12	0,17			
CO ₂	0,22	0,82			
H ₂ O ⁻	0,09	0,10			
H ₂ O ⁺	0,50	0,47			
Сумма	100,372	100,549			

Петрохимическая характеристика пород

Для характеристики химического состава ультраосновных и основных пород Октябрьского массива использованы силикатные анализы, заимствованные из работы Н. А. Елисеева. Результаты химических анализов приведены в табл. 56, а средний химический состав наиболее распространенных разновидностей ультраосновных и основных пород и характерные для них петрохимические параметры в табл. 57.

Сравнение средних составов пироксенита, оливинового габбро и габбро (табл. 57) с соответствующими средними составами пород по Р. Дэли показывает, что общей отличительной чертой пород Октябрьского массива является обедненность их глиноземом, обогащенность окисью кальция и двуокисью титана.

Сопоставление средних составов ультраосновных и основных пород массива друг с другом позволяет наметить основные особенности химизма процессов дифференциации. От пироксенитов к габбро наблюдается снижение содержания кремнезема, окиси кальция, окиси магния и повышение содержания двуокиси титана, окиси железа, окиси натрия и окиси калия. При этом характерным является резкое обогащение габбро титаном (более, чем в два раза) по сравнению с пироксенитами и оливиновым габбро. Такая

Таблица 56
Химический состав пород Октябрьского массива, %

Порода	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂	H ₂ O ⁻	H ₂ O ⁺	Прочие компоненты	Сумма
Перидотит	45,10	1,25	2,79	4,56	5,37	0,07	22,02	13,70	0,30	0,06	—	—	4,19	0,90		100,31
Оливиновый пироксенит	46,84	1,70	5,24	1,83	7,72	0,13	17,35	17,86	0,40	0,14	—	—	0,08	1,10	BaO — 0,05, SO ₃ — 0,08, F — 0,05	100,58
Пироксенит	47,20	1,20	3,34	4,25	7,92	0,11	16,00	19,50	0,51	0,14	—	—	0,32	—		100,49
Оливиновый пироксенит	46,50	1,90	5,50	1,80	7,16	0,24	15,20	21,20	0,62	0,13	0,04	—	—	—	SO ₃ — 0,22, ZrO ₂ — 0,01, TR ₂ O ₃ — 0,06	100,58
	45,90	2,20	5,75	2,10	7,30	0,16	15,15	20,15	0,66	0,14	0,04	—	—	—	SO ₃ — 0,46, ZrO ₂ — 0,01, TR ₂ O ₃ — 0,06	100,08
	45,20	2,70	5,15	1,97	8,54	0,21	14,70	19,80	0,63	0,16	0,05	—	—	—	SO ₃ — 0,18, ZrO ₂ — 0,01, TR ₂ O ₃ — 0,02, F — 0,02	99,34
Пироксенит	47,15	1,84	5,12	1,19	7,17	0,41	12,91	20,81	0,59	0,23	0,00	0,40	0,09	—	S — 0,08, Cr ₂ O ₃ — 1,03, NiO — следы	99,02
Серпентинит	36,32	0,19	1,31	7,61	5,74	0,16	34,39	1,35	—	—	—	0,80	—	11,83	Cr ₂ O ₅ — 0,11, NiO — 0,10	99,91
Оливиновое габбро	45,90	2,55	9,75	0,55	6,67	0,09	12,95	19,84	0,43	0,25	—	—	1,33	0,09		100,40
Габбро	43,50	1,50	15,3	0,70	10,25	0,25	12,80	11,20	0,93	0,11	0,11	—	—	—	SO ₃ — 0,62, ZrO ₂ — 0,01, TR ₂ O ₃ — 0,02	97,30
	41,40	4,50	16,20	3,78	11,40	0,25	6,90	11,60	3,22	0,74	0,08	—	—	—	SO ₃ — 0,78, ZrO ₂ — 0,01, TR ₂ O ₃ — 0,03	100,89
	44,42	4,63	12,41	2,32	8,64	0,18	8,53	13,07	2,39	0,01	—	—	1,93	0,32		98,85
Габбро рудное	35,60	6,40	12,90	12,55	10,9	0,20	7,30	11,28	1,45	0,35	0,05	—	—	—	SO ₃ — 0,15, ZrO ₂ — 0,01, TR ₂ O ₃ — 0,07	99,23

Таблица 57
Средний химический состав пород Октябрьского массива, %

Оксид	Пироксенит и оливиновый пироксенит	Оливиновое габбро	Габбро
SiO ₂	46,27	44,45	42,91
TiO ₂	1,84	2,02	4,57
Al ₂ O ₃	4,70	12,52	14,30
Fe ₂ O ₃	2,53	0,63	3,05
FeO	7,31	8,43	10,02
MnO	0,19	0,17	0,21
MgO	16,19	12,88	7,71
CaO	19,00	15,52	12,33
Na ₂ O	0,53	0,68	2,80
K ₂ O	0,14	0,18	0,87
P ₂ O ₅	0,03	0,11	0,08
SO ₃	0,20	0,62	0,78
TR	0,05	0,02	0,03
H ₂ O ⁻	0,17	0,09	0,32
П. п. п.	1,00	1,33	0,75
Сумма	100,15	99,65	100,73

Числовые характеристики

M : F	1,9	2,4	1,2
a	1,1	1,7	6,5
b	50,0	40,4	33,6
c	2,2	7,3	6,8
s	46,7	50,6	53,1
m'	47,4	52,1	39,1
b'	15,9	20,8	32,1
n	84,2	84,6	82,6
a : c	0,50	0,23	0,96
Количество анализов	7	1	4

особенность объясняется высоким содержанием в габбро ильменита, концентрация которого иногда достигает 7%.

По числовым характеристикам пироксениты Октябрьского массива занимают промежуточное положение между диаллагитами и вебстеритами, а по содержанию виртуального клинопироксена (90,1%) должны быть отнесены к диаллагиту. Оливиновое габбро массива отличается от среднего оливинового габбро по P. Дэли повышенной магнезиальностью, высоким значением *b* и более низким *a*. Габбро, наоборот, оказывается более железистым. Величина *b* для него также превосходит значение этой характеристики для среднего габбро, а характеристика *a* имеет пониженное значение.

При переходе от пироксенитов к габбро коэффициент *b* закономерно снижается, а значение параметров *a* и *b* возрастает.

В связи с широким развитием метасоматических процессов, связанных с влиянием щелочной магмы, пробы для изучения геохимических особенностей ультраосновных и основных пород отбирались главным образом из неизмененных разновидностей пироксенитов и габбро.

Геохимическая характеристика пород

Для выяснения особенностей распределения никеля, кобальта и меди в этих породах пробы были подвергнуты различным видам спектрального и химического анализов, результаты которых приведены в табл. 58.

Как видно из табл. 58, для ультраосновных и основных пород характерны мало различающиеся средние содержания никеля, кобальта и меди.

Таблица 58

Содержание никеля, кобальта и меди в породах Октябрьского массива (по количественному спектральному анализу), %

Порода	Количество определений	CNi	K _K	C _{Co}	K _K	C _{Cu}	K _K
Пироксенит	10	0,061	0,30	0,0097	0,48	0,039	19,5
Габбро	10	0,047	2,9	0,010	2,2	0,035	3,5

Пироксениты по сравнению с габбро обладают лишь повышенными содержаниями никеля и меди, а количество кобальта в них одинаково. Соответственно для пироксенитов средние содержания никеля и кобальта значительно ниже кларковых, а для габбро — в 2—3 раза выше кларка. Для обоих разновидностей пород характерны высокие коэффициенты концентрации меди, превышающие в пироксенитах кларк для ультраосновных пород почти в 20 раз.

Содержание сульфидного никеля в породах Октябрьского массива невелико (табл. 59), а серы значительно превышает кларк.

Таблица 59

Результаты фазового химического анализа пород Октябрьского массива

Порода	Количество определений	C _{Ni} , %		Отношение сульфидного никеля к валовому, %	C _S , %	K _K
		Валовый	Сульфидный			
Пироксенит	4	0,083	0,009	10	0,361	36,12
Габбро	2	0,116	0,012	10	0,205	6,84

Наряду с никелем, кобальтом и медью в породах описываемого комплекса наблюдаются мышьяк, ртуть, висмут, олово и серебро (табл. 60), которые концентрируются главным образом в пироксенитах.

Таблица 60

Содержания элементов-примесей в породах Октябрьского массива, 10⁻⁴ % (по данным высокочувствительного спектрального анализа)

Порода	Количество определений	C _{As}	K _K	C _{Hg}	K _K	C _{Ge}	K _K	C _{Bi}	K _K	C _{Sn}	K _K	C _{Ag}	K _K
		Пироксенит	39	1,63	3,3	0,151	15,1	0,041	0,04	0,007	7,43	1,39	2,8
Габбро	37	1,38	0,69	0,127	1,4	0,029	0,02	0,054	7,7	0,697	0,46	0,0262	0,26

СРАВНЕНИЕ ПЕТРОХИМИЧЕСКИХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ УЛЬТРАОСНОВНЫХ И ОСНОВНЫХ ПОРОД ИНТРУЗИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ

При сравнении интрузивных комплексов за основу принято сопоставление петрохимических и геохимических особенностей главных разновидностей ультраосновных и основных пород, с учетом ряда геологических факторов, в частности принадлежности этих комплексов к определенным магматическим формациям.

ПЕТРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД

Ультраосновным и основным породам каждого интрузивного комплекса свойственны определенные петрохимические особенности, отражающие разный состав, характер и степень дифференциации исходной магмы. Массивы ультраосновных и основных пород щита являются производными габбровой (Побужье, Девладово) и перидотитовой (Среднее Приднепровье) магм [40, 41, 95]. В зависимости от характера и степени дифференциации этих магм различаются несколько типов массивов, отличающихся по внутреннему геологическому строению и составу слагающих их пород.

Наряду с массивами, имеющими весьма однородное строение, к которым относятся главным образом массивы серпентинитов Среднего Приднепровья, на территории УКЩ имеются слабо дифференцированные массивы ультраосновных и основных пород (Девладовские) и массивы с отчетливо выраженной дифференциацией (Коростенский, Октябрьский). В последних ультраосновные и основные породы пространственно и генетически связаны с более молодыми гранитоидами или щелочными породами, по отношению к которым они имеют подчиненное развитие. Среди них резко преобладают основные породы.

Таким образом, описываемые интрузивные комплексы различаются по внутреннему геологическому строению, составу слагающих пород и их количественному соотношению. Не менее четкие различия намечаются и по интенсивности проявления в них более поздних метаморфических процессов, которые наиболее широко развиты в Среднем Приднепровье, где ультраосновные породы представлены главным образом серпентинитами и тальково-карбонатными породами. Девладовский же комплекс сложен почти совер-

шенно неизменными ультраосновными и основными породами (за исключением верхних частей массивов). Общий химический состав комплексов сравнивается по неизменным, слабо метаморфизованным разностям или претерпевшим изохимический метаморфизм.

Средние химические составы пород приведены в соответствующих таблицах при описании петрохимических особенностей каждого интрузивного комплекса. Здесь же даны лишь результаты петрохимических пересчетов средних химических составов ультраосновных и основных пород описываемых интрузивных комплексов по методу А. Н. Заварицкого и методу Н. Д. Соболева.

Результаты пересчетов сведены в табл. 61, 62 и иллюстрируются сводной диаграммой (рис. 8), где для сравнения даны средние химические составы средних типов пород по Р. Дэли [36].

Для комплекса ультраосновных пород Среднего Приднепровья средние химические составы серпентинитов весьма близки. Судя по числовым характеристикам по Н. Д. Соболеву, они мало отличаются по относительной магнезиальности — отношению $M:F$ (за исключением Белозерского массива). Более существенные различия отмечаются по содержанию в них виртуальных пироксенов. При этом наблюдаются значительные колебания величин параметров $M:F$, b , x , y , z для разных массивов.

Ультраосновные породы Побужья и наиболее распространенные из них серпентиниты, образованные за счет перидотитов (гарцбургитов) и дунитов, судя по величинам числовых характеристик по А. Н. Заварицкому, отличаются от типового дунита по Р. Дэли. Они характеризуются более высоким содержанием щелочей, окиси кальция, кремнезема и меньшим количеством окиси магния (величина коэффициента m' равна 77,8 вместо 90,5 для типового дунита). Наиболее отчетливо различия в содержании окиси магния в сравниваемых породах выявляются по величине коэффициента $M:F$.

Наблюдаемые отличия пород, как следует из числовых характеристик по Н. Д. Соболеву, по-видимому, связаны не только с первоначальным петрографическим составом (преобладание в серпентинитах Побужья моноклинного пироксена, меньшее количество оливина), но и с интенсивностью проявления в них вторичных изменений.

Перидотиты (гарцбургиты) Побужья по сравнению со средним гарцбургитом по Р. Дэли также содержат меньшее количество нормативных темноцветных минералов, окиси магния и характеризуются большей степенью серпентинизации. Однако различия эти менее значительны по сравнению с установленными для серпентинитов. К тому же в них отмечается меньшее содержание щелочей (коэффициент $a=0,3$, для типовых гарцбургитов — 0,6).

Еще менее четкие различия наблюдаются при сопоставлении среднего химического состава пироксенитов (главным образом вебстеритов) Побужья с типовым вебстеритом по Р. Дэли. По ве-

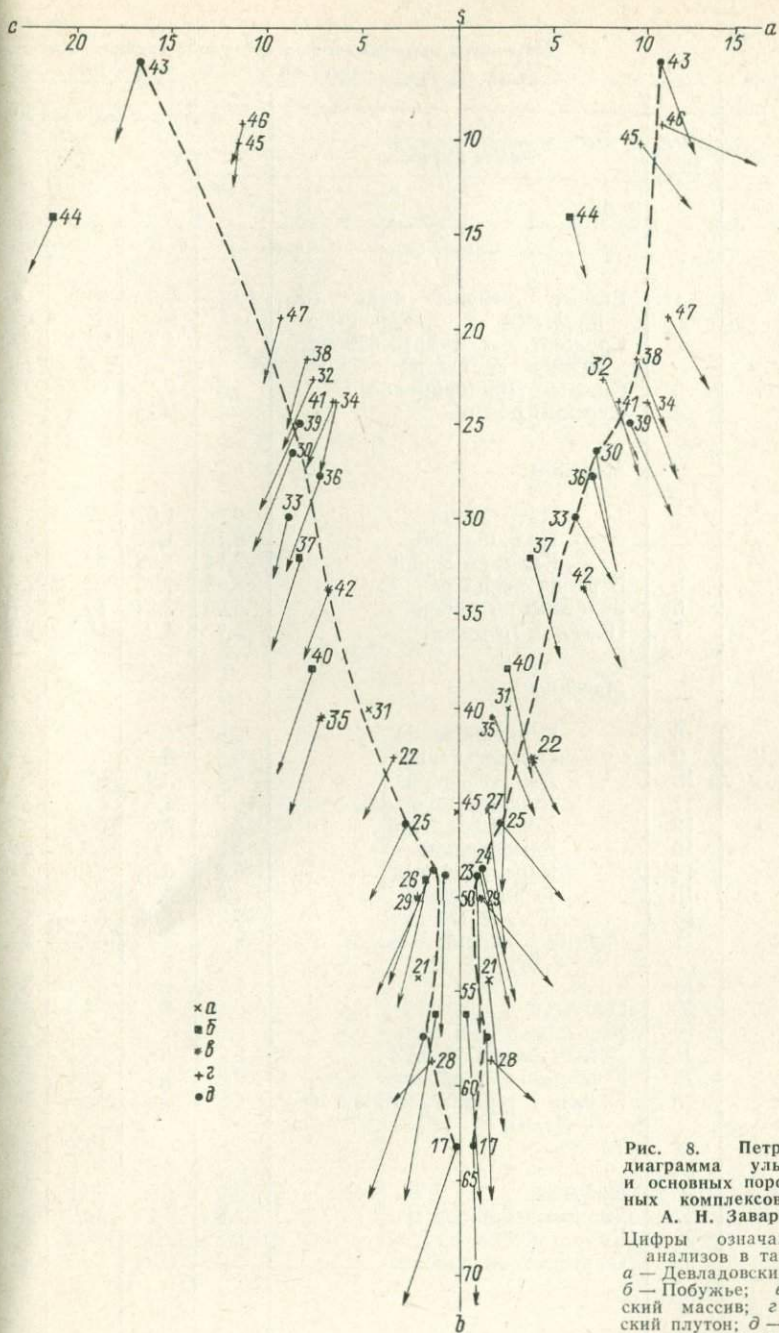


Рис. 8. Петрохимическая диаграмма ультраосновных и основных пород интрузивных комплексов УКЩ (по А. Н. Заварицкому).

Цифры означают номера анализов в табл. 61, 62.
 а — Девладовский массив;
 б — Побужье; в — Октябрьский массив; г — Коростенский плутон; д — типы пород по Р. Дэли

Результаты петрохимических пересчетов средних химических

Таблица 61

составов ультраосновных пород интрузивных комплексов УКЩ

Порода	Номер анализа	Массив или район	Числовые характеристики по				Н. Д. Соболеву				Числовые характеристики по А. Н. Заварицкому							
			M : F	2c	b	s	x	y	z	h	a	b	c	s	f'	m'	n	a : c
Дунит	1	Разные районы мира (по Р. Дэли)	10,1	0,9	64,5	34,6	5,3	6,4	88,3	18,9	0,2	65,1	0,4	34,3	9,0	90,5	100	0,5
	2	Средний для дунито-гарцбургитовых формаций	9,2	1,7	61,1	37,2	6,4	22,6	71,0	36,4	0,9	61,2	1,7	36,2	15,1	82,0	71,4	0,5
Серпентинит	3	Среднее Приднепровье	5,3	2,1	60,1	37,8	17,4	17,9	64,7	42,3	—	—	—	—	—	—	—	—
	4	Сурский район	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Массивы:																
		Петровский	9,5	1,67	62,73	35,6	1,37	15,9	82,83	51,0	—	—	—	—	—	—	—	—
		Правдинский	8,15	1,24	62,7	36,07	1,71	17,6	80,7	41,5	—	—	—	—	—	—	—	—
		Карнауховский	8,14	1,08	62,3	36,6	1,56	20,34	78,1	56,3	—	—	—	—	—	—	—	—
	5	Верховцевский район	8,85	1,26	63,82	34,95	0,84	12,04	87,13	42,0	—	—	—	—	—	—	—	—
	6	Белозерский район	5,03	2,34	60,49	37,2	4,7	24,7	70,6	44,42	—	—	—	—	—	—	—	—
	7	Побужье (в целом)	5,7	4,2	59,4	47,4	41,2	1,7	57,1	43,0	0,96	61,1	1,4	36,6	13,09	77,8	71,4	0,6
		Массивы:																
	8	Капитановский	6,8	4,2	59,3	36,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	9	Первомайский	6,8	3,1	59,7	37,2	34,1	6,8	59,1	42,5	—	—	—	—	—	—	—	—
	10	Липняговский	6,3	2,9	62,2	34,9	26,9	6,0	67,1	42,5	—	—	—	—	—	—	—	—
	11	Липовеньковский	6,2	4,8	59,6	35,6	32,7	—	67,3	48,0	—	—	—	—	—	—	—	—
	12	Деренюхинский	6,1	3,6	60,0	36,4	27,7	7,2	65,1	41,8	—	—	—	—	—	—	—	—
	13	Демовярский	5,2	2,0	59,1	38,9	25,2	10,7	64,1	37,0	—	—	—	—	—	—	—	—
Серпентинит	14	Каменоватский	5,2	3,9	61,5	34,6	24,4	18,5	57,1	41,0	—	—	—	—	—	—	—	—
	15	Тарноватский	4,9	3,6	64,5	31,9	4,5	13,0	82,5	53,5	—	—	—	—	—	—	—	—
	16	Девладовский	5,27	5,34	53,79	40,78	38,9	—	61,1	44,3	—	—	—	—	—	—	—	—
Гарцбургит	17	Разные районы мира (по Р. Дэли)	8,7	1,3	62,6	35,1	13,32	45,98	40,98	17,62	0,8	58,1	1,9	39,3	15,1	82,1	—	—
							9,4	13,7	76,9	15,8	0,6	63,2	0,3	35,8	10,0	88,6	83,3	2,0
Лерцолит	18	То же	7,7	4,9	56,7	38,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Перидотит	20	Побужье	6,0	4,2	57,0	38,8	24,4	25,1	50,5	13,7	1,3	57,4	1,9	39,4	11,2	86,1	83,3	0,7
	19	Белозерский массив	2,8	4,3	50,4	45,3	14,5	28,9	56,6	25,7	0,3	56,2	1,3	42,2	15,1	78,8	—	0,25
	21	Девладовский массив	5,7	4,8	55,1	40,1	26,5	59,4	14,1	31,0	0,2	61,2	1,5	37,1	19,2	79,6	—	—
	22	Коростенский плутон	0,6	3,6	49,1	47,3	18,0	38,6	48,5	11,4	1,4	54,3	2,2	42,1	15,2	77,9	—	0,64
Бронзитит	23	Разные районы мира (по Р. Дэли)	6,2	—	—	—	60,0	35,9	4,1	8,0	3,7	42,6	3,4	50,3	52,7	31,5	74,6	1,09
							—	—	—	—	0,95	48,8	0,85	49,5	13,5	83,9	87,5	1,00
Вебстерит	24	То же	5,6	4,1	52,5	43,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Диаллагит	25	"	1,4	7,4	45,6	47,1	63,5	16,7	19,8	18,2	1,1	48,5	1,4	49,0	12,3	69,2	70,0	0,79
Пироксенит	26	Побужье	3,7	8,9	46,1	45,0	85,3	14,7	—	14,7	2,2	46,1	2,8	48,9	27,3	40,4	72,2	0,79
	27	Девладовский массив	3,9	6,1	49,2	44,7	53,2	44,0	2,8	26,0	1,2	49,1	1,7	48,0	18,3	67,4	84,2	0,71
	28	Коростенский плутон	0,3	12,4	55,2	32,4	20,9	64,8	14,3	21,9	1,5	45,5	0,2	50,8	16,1	74,5	—	—
	29	Октябрьский массив	2,9	5,3	49,3	45,4	62,1	—	37,9	8,0	1,7	58,7	1,5	38,1	61,5	22,3	80,4	1,13
						90,1	2,9	7,0	13,6	1,1	50,0	2,2	46,7	15,9	47,4	84,2	0,50	—

Таблица 62

Результаты петрохимических пересчетов средних химических составов основных пород интрузивных комплексов УКЦ

Порода	Номер анализа	Массив или район	Соотношение $M : F$	a	b	c	s	f'	m'	n	$a : c$
Основная порода	30	Разные районы мира (по Р. Дэли)	1,4	7,1	26,4	8,7	57,8	37,7	53,3	80,4	0,81
Оливиновый габбро-норит	31	Девладовский массив	1,4	2,6	40,0	4,7	52,7	40,4	55,3	—	0,55
	32	Коростенский плутон	0,8	7,6	22,6	7,6	62,2	47,7	36,7	77,7	1,00
Оливиновое габбро	33	Разные районы мира (по Р. Дэли)	1,6	6,1	29,9	9,0	55,0	31,2	51,4	79,4	0,68
	34	Коростенский плутон	0,8	9,9	23,8	6,4	59,8	46,3	38,6	81,8	1,55
	35	Октябрьский массив	2,4	1,7	40,4	7,3	50,6	20,8	52,1	84,6	0,23
Габбро-норит	36	Разные районы мира (по Р. Дэли)	1,4	6,9	27,7	7,3	58,1	34,7	51,3	82,4	0,95
	37	Побужье	1,1	3,8	32,0	8,3	55,9	35,4	50,9	83,9	0,46
	38	Коростенский плутон	0,7	9,3	21,5	7,9	61,3	48,3	36,9	85,1	1,18
Габбро	39	Разные районы мира (по Р. Дэли)	1,4	7,9	24,9	8,4	58,8	33,6	46,9	80,4	0,94
	40	Побужье	1,3	2,6	37,9	7,7	51,8	31,9	56,0	82,1	0,34
Анортозит	41	Коростенский плутон	0,6	8,3	23,8	6,5	61,4	54,0	35,0	77,6	1,28
	42	Октябрьский массив	1,2	6,5	33,6	6,8	53,1	32,1	39,1	82,6	0,96
	43	Разные районы мира (по Р. Дэли)	1,0	10,6	5,8	16,7	66,9	41,1	42,5	88,1	0,71
	44	Побужье	0,3	5,9	14,0	21,1	59,0	63,3	29,6	68,6	0,28
	45	Коростенский плутон	0,8	9,6	10,1	11,5	68,8	41,9	33,3	85,0	0,83
Лабрадорит	46	" "	0,8	11,7	9,1	11,3	67,9	30,0	23,4	85,7	1,04
Габбро-анортозит	47	" "	0,8	11,0	19,3	9,3	60,4	45,4	35,0	86,1	1,18

личинам числовых характеристик, высчитанных по методу А. Н. Заварицкого, они отличаются незначительно. Числовые характеристики по Н. Д. Соболеву указывают на меньшую магнезиальность пироксенитов Побужья в сравнении с типовым вебстеритом, преобладание в их составе ромбического пироксена и на меньшее содержание оливина.

Основные породы Побужья, представленные габбро-норитами, габбро и анортозитами, по среднему химическому составу близки соответствующим типам пород по Р. Дэли. В целом для них характерно меньшее количество щелочей и окиси магния. Различия между химическим составом ультраосновных и основных пород отдельных массивов Побужьского комплекса менее значительны и обусловлены главным образом разным содержанием в них виртуальных пироксенов, оливина и в некоторой мере интенсивностью серпентинизации.

Ультраосновные и основные породы Девладовского массива по сравнению с типовыми по Р. Дэли менее магнезиальны, в связи с чем характеризуются меньшими величинами параметров b , m' и $M:F$. В то же время в них отмечаются повышенные содержания окиси кальция (параметр c выше типового), что обусловлено наличием в их составе плагиоклаза. Соответственно в отличие от комплексов ультраосновных и основных пород Побужья и Среднего Приднепровья они содержат меньше окиси магния и более значительные количества кальциевых алюмосиликатов.

Ультраосновные и основные породы Коростенского плутона по среднему химическому составу от типовых пород по Р. Дэли и аналогичных пород других интрузивных комплексов отличаются резко повышенной железистостью и во всех случаях соответственно более низкими значениями $M:F$.

На петрохимической диаграмме (рис. 8) отчетливо видно, что вариационные кривые ультраосновных и основных пород Коростенского плутона проходят правее кривых средних составов пород по Р. Дэли, что указывает на повышенное количество в большинстве пород, а следовательно, и в исходной магме, щелочей и пониженное — анортитовой составляющей. Вариационные кривые ультраосновных и основных пород остальных интрузивных комплексов располагаются в основном по другую сторону кривых средних типов пород.

Особенно четко видно различное положение кривых для пород Побужья и Коростенского комплекса. При этом наблюдаются также значительные расхождения в значениях параметра b отдельных разновидностей пород. Так, крайние лейкократовые дифференциаты Коростенского плутона характеризуются более низкими значениями параметра b по сравнению с аналогичными породами Побужья. Такие же соотношения отмечаются и для габброидов, причем величина b пород Коростенского плутона меньше, а пород Побужья — больше, чем у средних типов аналогичных пород. Пироксениты Побужья близки к среднему составу вебстерита, а фи-

гуративная точка пироксенита Коростенского плутона расположена на диаграмме значительно ниже.

Ультраосновные и основные породы Октябрьского массива (см. рис. 8) близки по составу породам Побужья. Различие здесь отмечается по параметру b и отсутствию в Октябрьском массиве крайних членов дифференциального ряда — гарцбургитов и анортозитов.

Таким образом, рассмотрение петрохимических особенностей разновозрастных интрузивных комплексов УКЩ приводит к заключению об их различиях по общему химическому составу. Наиболее четкие различия химических особенностей пород интрузивных комплексов, которые могут свидетельствовать об их возможной никеленосности, устанавливаются при сопоставлении параметров $M : F$, и в меньшей мере b , m' , z .

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД

Никель, кобальт и медь постоянные и наиболее характерные элементы основных и ультраосновных пород. Поскольку они являются главными рудообразующими элементами сульфидных медно-никелевых руд, генетически связанных с интрузиями основного и ультраосновного состава, изучение особенностей их распределения представляется интересным для оценки никеленосности массивов. При этом за основу принимается сопоставление содержаний этих элементов в разных массивах.

При сравнении содержаний никеля, кобальта и меди в ультраосновных и основных породах разновозрастных интрузивных комплексов (табл. 63) установлено, что наименьшие колебания средних содержаний характерны для кобальта, несколько большие для никеля и довольно значительные — для меди. При этом во всех ультраосновных породах кобальт присутствует в количествах, не превышающих кларк, содержание никеля (за небольшим исключением) и меди — всегда выше кларковых значений.

Сравнение ультраосновных пород разных комплексов показывает, что по средним содержаниям кобальта они почти не различаются, а по количеству никеля лишь пироксениты Октябрьского массива резко отличаются от пород других районов. По исключительно высокой концентрации меди выделяются Октябрьский массив, Побужье и Девладовский массив.

В породах основного состава различных комплексов наблюдаются еще более резкие колебания средних содержаний никеля, кобальта и меди. Наименьшими содержаниями этих элементов обладают породы Коростенского плутона, а наиболее высокими — Девладовского массива. При этом отличительной особенностью оливиновых габбро-норитов Девладовского массива является исключительная обогащенность их никелем (почти в 12 раз выше кларка) при высоком содержании меди (почти в 6 раз выше кларка).

Таблица 63

Содержание никеля, кобальта и меди в интрузивных комплексах УКЩ (по данным количественного спектрального анализа), %

Комплекс, массив	Порода	Количество определений	C_{Ni}	K_K	C_{Co}	K_K	C_{Cu}	K_K
Ультраосновные породы								
Побужский	Перидотит, пироксенит, апоперидотитовый и аподунитовый серпентинит	32	0,253	1,3	0,0128	0,64	0,0269	13,4
Правдинский массив	Оливинит, апооливинитовый серпентинит	13	0,312	1,6	0,0163	0,81	0,0024	1,2
Варваровский массив	То же	15	0,339	1,7	0,0145	0,72	0,0049	2,4
Белозерский массив	Апоперидотитовый серпентинит	3	0,272	1,4	0,0118	0,59	0,0095	4,7
Девладовский массив	Перидотит	15	0,251	1,3	0,0137	0,68	0,0176	8,8
Приазовский, Октябрьский массив	Пироксенит (диаллагит)	10	0,061	0,30	0,0097	0,48	0,039	19,5
Основные породы								
Побужский	Габбро-норит, норит	5	0,0226	1,4	0,00648	1,4	0,0228	2,3
Девладовский массив	Оливиновый габбро-норит	6	0,188	11,7	0,00995	2,2	0,0590	5,9
Октябрьский массив	Габбро	10	0,047	2,9	0,010	2,2	0,035	3,5
Коростенский массив	Оливиновое габбро, габбро-норит, габбро, анортозит	21	0,0043	0,27	0,0040	0,89	0,0140	1,4

Сопоставление распределения элементов по одинаковым петрографическим разновидностям пород разных интрузивных комплексов не противоречит результатам обобщенного сравнения по ультраосновным и основным породам. Следует подчеркнуть, что так же, как и при сравнении петрохимических особенностей, в ряде случаев устанавливается значительно меньшая разница между разными породами одного комплекса, чем между одинаковыми породами разных комплексов. Так, например, содержания большинства элементов в оливиновых и безоливиновых габброидах Коростенского плутона практически одинаковы.

Для ультраосновных пород намечается обратная зависимость между средними содержаниями никеля и меди, а для пород основного состава — прямая.

По содержанию никеля, кобальта и меди выявляется сходство интрузивных комплексов Побужья и Среднего Приднепровья, для которых характерны мало отличающиеся от кларковых содержания никеля и кобальта, а также четкое различие между ними и Девладовским, Октябрьским и Коростенским массивами. Массивы Побужья и Среднего Приднепровья между собой различаются лишь по содержанию в них меди. Девладовский массив выделяется среди других резко аномальным содержанием никеля в основных породах и меди во всех разновидностях пород. Октябрьский массив отличается пониженными содержаниями никеля и кобальта и резко повышенным количеством меди в ультраосновных породах. Однако в основных породах содержания всех элементов в 2—3 раза превышают кларк.

Характерной особенностью основных пород Коростенского плутона являются резко пониженные содержания никеля, близкое к кларку количество кобальта и выше кларковых содержания меди.

Отмеченные закономерности распределения никеля, кобальта и меди хорошо увязываются с особенностями минерального состава и петрохимии сравниваемых пород. Так, повышенное содержание никеля в оливиновых габбро-норитах Девладовского массива является следствием их значительной меланократовости и высокого содержания оливина. Низкая концентрация никеля и кобальта в пироксенитах Октябрьского массива увязывается с отсутствием в этих породах оливина и высокой их железистостью. Обедненность пород Коростенского плутона рудообразующими элементами отвечает преобладанию среди них лейкократовых разновидностей и характерной для плутона исключительно высокой железистости.

Изложенные данные по содержанию рудообразующих элементов в породах разных интрузивных комплексов были получены при сравнении наиболее распространенных разновидностей ультраосновных и основных пород, которые не всегда в равной степени метаморфизованы. Естественно, что без учета влияния процессов метаморфизма на распределение элементов нельзя судить о том, являются ли установленные особенности распределения элементов

следствием специфичности состава родоначальной магмы и характера ее дифференциации или они связаны с особенностью метаморфизма. Уточнить это можно, с одной стороны, с помощью изучения состава первичных минералов, с другой — путем сравнения содержаний элементов в различно метаморфизованных породах.

Как показано выше, при описании результатов изучения отдельных массивов и интрузивных комплексов, серпентинизация существенно оливиновых ультраосновных пород сопровождается, как правило, незначительным изменением в них содержаний никеля, кобальта и меди. При этом в одних случаях наблюдается уменьшение содержания этих элементов, в других некоторое повышение количества их, в частности, никеля за счет усиленной концентрации в магнетите. При карбонатизации и отальковании серпентинитов происходят более существенные изменения содержаний элементов, сопровождаемые нередко перераспределением некоторых из них между отдельными минеральными фазами.

Рассматривая распределение элементов-примесей в интрузивных комплексах ультраосновных и основных пород важно также учитывать формы их нахождения. При одинаковых валовых содержаниях элемента, соотношение разных форм его нахождения может быть различным, отражая определенные физико-химические условия формирования пород. Судить о роли тех или иных форм нахождения элементов в описываемых породах можно на основании анализов отдельных минералов, фазового анализа пород, а также корреляции валовых содержаний элементов-примесей с содержанием порообразующих минералов.

Как известно, основными формами нахождения никеля, кобальта и меди в ультраосновных и основных породах являются: окисная, силикатная и сульфидная.

Главными минералами-носителями этих элементов, в частности никеля, обычно являются силикаты — оливин, серпентин и окислы, главным образом магнетит. В большинстве случаев значительная часть общего содержания этих элементов сосредоточена в магнетите, а из общего количества никеля, содержащегося в серпентинитах, на его долю нередко приходится более половины.

В отношении никеля этот вывод подтверждается и данными корреляционного анализа. Положительные значения коэффициента корреляции NiO с MgO , установленные М. М. Ильвицким [37] в целом для ультраосновных пород УКЩ, указывают на наличие сильной положительной связи между содержаниями никеля и магнезиальных силикатов. С другой стороны, слабость такой связи (незначимая величина коэффициента корреляции) для отдельных серпентинитовых массивов и наличие для них сильной положительной связи между содержаниями NiO и Fe_2O_3 указывает на вхождение весьма значительной части никеля в магнетит.

Судить о формах нахождения никеля в исследуемых породах можно на основании результатов 60 фазовых анализов пород и минералов (табл. 64).

Содержание никеля в породах отдельных массивов разновозрастных интрузивных комплексов (по данным химического фазового анализа), %

Порода	Массив									
	Капитановский	Липняговский	Деренюхинский	Демонварский	Белозерский	Варваровский	Правдинский	Девладовский	Кривотинский	Октябрьский
I*										
Серпентинизированный дунит	—	—	—	—	—	0,268 0,090	0,202 0,060	—	—	—
Перидотит	—	—	0,254 0,050	0,085 0,002	—	—	—	0,241 0,068	—	—
Пироксенит	0,127 0,060	0,053 0,030	—	—	—	—	—	—	—	0,083 0,007
Серпентинит	0,250 0,060	0,127 0,020	0,230 0,120	0,220 0,020	0,209 0,057	0,290 0,085	0,264 0,120	—	—	—
Талько-карбонатная и серпентинокарбонатно-тальковая порода	—	—	—	—	—	0,215 0,070	0,135 0,100	—	—	—
Оливиновый габбро-норит и габбро	—	—	—	—	—	—	—	0,146 0,048	0,028 0,003	—
Норит	—	0,140 0,042	—	—	—	—	—	—	—	—
Габбро	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,116 0,003
Лейкократовый габбро-норит, габбро-анортозит	—	—	0,023 Не обнаружен	—	—	—	—	—	0,030 0,002	—
Лабрадорит	—	—	—	—	—	—	—	—	0,032 0,004	—
II**										
Серпентинизированный дунит	—	—	—	—	—	0,075 28	0,030 14	—	—	—
Перидотит	—	—	0,016 6	0,020 24	—	—	—	0,02 8	—	—
Пироксенит	0,02 16	0,02 38	—	—	—	—	—	—	—	0,009 10
Серпентинит	0,08 35	0,02 16	0,06 26	0,09 41	0,001 0,5	0,055 19	0,024 9	—	—	—
Талько-карбонатная и серпентинокарбонатно-тальковая порода	—	—	—	—	—	0,040 18	0,030 22	—	—	—
Оливиновый габбро-норит и габбро	—	—	—	—	—	—	—	0,02 13	0,0024 3	—
Норит	—	0,047 24	—	—	—	—	—	—	—	—
Габбро	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,075 64
Лейкократовый габбро-норит, габбро-анортозит	—	—	0,004 18	—	—	—	—	—	0,0008 3	—
Лабрадорит	—	—	—	—	—	—	—	—	0,0012 4	—
III***										
Серпентинизированный дунит	—	—	—	—	—	0,103	0,112	—	—	—
Перидотит	—	—	0,19	0,060	—	—	—	0,171	—	—
Пироксенит	0,047	0,003	—	—	—	—	—	—	—	0,067
Серпентинит	0,11	0,087	0,05	0,11	0,153	0,150	0,120	—	—	—
Талько-карбонатная и серпентинокарбонатно-тальковая порода	—	—	—	—	—	0,085	0,005	—	—	—
Оливиновый габбро-норит и габбро	—	—	—	—	—	—	—	0,096	0,0226	—
Норит	—	0,051	—	—	—	—	—	—	—	—
Габбро	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,038
Лейкократовый габбро-норит, габбро-анортозит	—	—	0,020	—	—	—	—	—	0,0272	—
Лабрадорит	—	—	—	—	—	—	—	—	0,0268	—

* В числителе указано валовое содержание, в знаменателе — содержание силикатного никеля.

** В числителе указано содержание сульфидного никеля, в знаменателе отношение содержания сульфидного никеля к валовому.

*** Содержание никеля, входящего в состав труднорастворимых окислов.

Как видно из табл. 64, во всех разновидностях пород описываемых комплексов большая часть никеля входит в состав трудно-растворимых окислов. Содержание силикатного никеля по отношению к валовому в породах разных комплексов или массивов несколько различно, но в целом не превышает 30—35%. Наибольшее содержание силикатного никеля наблюдается в ультраосновных породах Правдинского и Варваровского массивов. В породах Бе-

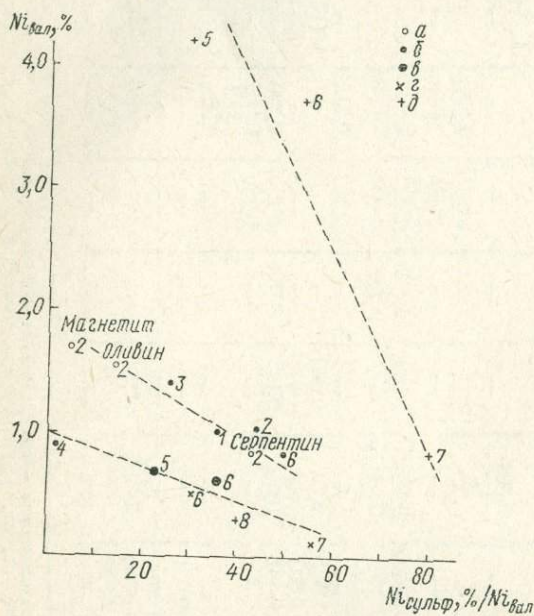


Рис. 9. Зависимость между содержанием сульфидного и валового никеля в минералах и породах разного состава (по данным химического анализа).

1 — комплекс ультраосновных пород Среднего Приднепровья; 2 — Варваровский массив; 3 — Правдинский массив; 4 — Белозерский массив; 5 — Девладовский массив; 6 — Побужье; 7 — Октябрьский массив; 8 — Коростенский плутон.
а — минералы; б — серпентинит; в — перидотит; г — пироксенит; д — породы основного состава.

лозерского и Девладовского массивов содержание его несколько меньше, а в породах Побужья ниже в 2 раза.

Самое низкое содержание силикатного никеля установлено для ультраосновных пород Октябрьского массива — в 12 раз меньше, чем в породах Среднего Приднепровья. Минеральный состав пород сопоставляемых массивов свидетельствует, что содержание силикатной формы никеля находится в прямой зависимости от количества в породах оливина (или серпентина) и его магнезиальности. Приблизительно такая же закономерность характерна и для пород основного состава: более высокие количества силикатного никеля у пород, содержащих больше оливина и отличающиеся наиболее магнезиальным составом темноцветных минералов.

Сульфидный никель в ультраосновных и основных породах интрузивных комплексов и отдельных массивов присутствует также в различных количествах (см. рис. 9). Наиболее высоким содержанием сульфидного никеля обладают ультраосновные породы Варваровского массива. В ультраосновных породах Правдинского и

Девладовского массивов, а также массивов Побужья его содержание в 2—4 раза ниже, еще ниже для Белозерского массива. Среди пород основного состава наиболее высоким содержанием сульфидного никеля характеризуются породы Побужья и Девладовского массива, низким — породы Коростенского комплекса. В целом для основных пород характерно более низкое содержание силикатного

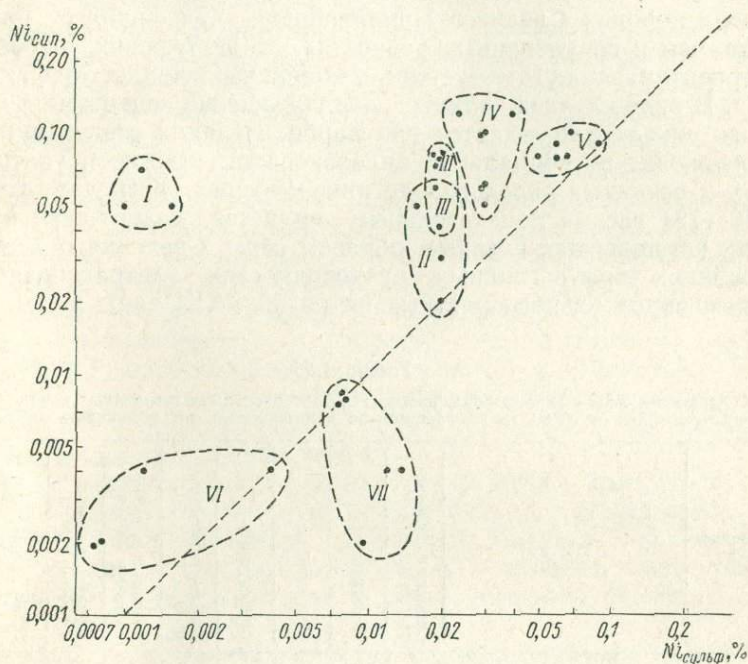


Рис. 10. Зависимость между содержанием силикатного и сульфидного никеля по данным фазового химического анализа.

Массивы: I — Белозерский; II — Побужье; III — Девладовский; IV — Правдинский; V — Варваровский; VI — Коростенский плутон; VII — Октябрьский.

никеля по сравнению с ультраосновными породами тех же массивов при равном или несколько повышенном содержании сульфидного никеля.

Каждому массиву свойственны определенные соотношения сульфидной и силикатной форм нахождения никеля в породах, по которым они весьма четко различаются (рис. 10). Эти различия между массивами более значительны, чем между ультраосновными и основными породами в пределах каждого из них.

Установлено, что количество сульфидного никеля, как правило, не зависит от валового содержания его в породах. Так, в серпентинитах Побужья и Среднего Приднепровья, у которых близки содержания валового никеля, а сульфидного никеля колеблется

от 0,5 до 35—41%. Следовательно, повышенное содержание в породах никеля не обязательно должно свидетельствовать о наличии в массиве никелевых сульфидов.

При начальных стадиях метаморфизма (в частности, серпентинизации) ультраосновных пород значительных изменений в содержании сульфидного никеля не наблюдается. При этом каких-либо определенных закономерностей не намечается. В слабометаморфизованных породах Среднего Приднепровья сульфидного никеля меньше, чем в неизмененных разностях, в Побужских, наоборот, при серпентинизации отмечается некоторое увеличение сульфидного никеля. В ряде случаев значительное повышение содержания сульфидного никеля наблюдается при карбонатизации серпентинитов.

При оценке потенциальной никеленосности массивов ультраосновных и основных пород в ряде никеленосных регионов Союза [19, 76—78] весьма показательным является содержание в них летучих компонентов, главным образом серы. Сведения о средних содержаниях серы в главных разновидностях ультраосновных и основных пород разновозрастных интрузий УКЩ даны в табл. 65.

Таблица 65

Содержания серы в главных разновидностях ультраосновных и основных пород интрузивных комплексов УКЩ (в коэффициентах концентрации по отношению к кларку)

Интрузивный комплекс	Массив	Серпентинизованные дуниты	Перидотиты	Пироксениты	Серпентиниты	Талько-карбонатные породы	Оливиновые габбро-нориты и габбро	Нориты, габбро-нориты и габбро-нориты	Габбро-анортоситы	Лабрадориты
Побужский	Побужские массивы (в целом)	—	92,8	86,6	24,2	—	—	83,5	—	—
Среднее Приднепровье	Белозерский	—	—	—	5,7	—	—	—	—	—
	Варваровский	4,9	—	—	3,1	12,9	—	—	—	—
Девладовский	Правдинский	10,4	—	—	21,5	6,7	—	—	—	—
	Девладовский	—	3,4	—	—	—	0,8	—	—	—
Коростенский	Кривотинский	—	—	—	—	—	1,1	—	13,9	1,4
Приазовский	Октябрьский	—	—	36,1	—	—	—	6,8	—	—

Как видно из табл. 65, в ультраосновных и основных породах описываемых комплексов в целом наблюдаются весьма высокие содержания серы, как правило, значительно превышающие кларковые. Между тем по коэффициентам концентрации серы намечаются довольно четкие различия между отдельными интрузивными комплексами и массивами. Наиболее высокие коэффициенты кон-

центрации серы характерны для ультраосновных пород Побужья, меньшие в ультраосновных породах Октябрьского массива, Среднего Приднепровья и минимальные в Девладовском массиве. В Среднем Приднепровье по наибольшему содержанию серы в ультраосновных породах отчетливо выделяется Правдинский массив, в серпентинитах Белозерского и Варваровского массивов серы в 2—3 раза меньше.

Отмеченные различия интрузивных комплексов находят свое подтверждение при сопоставлении величин коэффициентов концентрации серы в основных породах. Наибольшее количество серы отмечается в основных породах Побужья и Октябрьского массива при значительно меньших содержаниях ее в габбро-норитах (частью лабрадоритах) Коростенского и Девладовского массивов.

При сравнении содержаний серы и никеля в описываемых породах прямой корреляционной связи между ними не устанавливается. Особенно отчетливо это наблюдается в Белозерском массиве, где при низком содержании как сульфидного, так и общего никеля количество серы почти в 6 раз превышает мировой кларк. При высоком содержании серы в ультраосновных и основных породах Побужья содержание общего никеля близко к кларковому. В массивах Побужья и Среднего Приднепровья наличие сульфидов связано в большинстве случаев с более поздними (наложенными) гидротермальными процессами.

Таким образом, сопоставляемые интрузивные комплексы и массивы в большинстве случаев различаются по содержанию в них рудообразующих элементов, из которых наиболее показательным является медь, в меньшей мере никель и кобальт, элементов-примесей, в первую очередь висмута, ртути, мышьяка, серебра и содержанию серы.

Однако эти различия не могут служить прямым доказательством возможности использования содержаний перечисленных элементов для выявления потенциально никеленосных массивов. В условиях УКЩ при количественной оценке параметров этих элементов следует учитывать возможную связь их с наложенным сульфидным оруденением. Отсюда при оценке никеленосности интрузий возникает необходимость изучения форм нахождения элементов, в частности никеля, и установления их корреляционных связей.

Магматические, метаморфические и гипергенные процессы характеризуются выделением определенных минеральных ассоциаций, дифференциацией вещества, мобилизацией компонентов с характерными особенностями распределения и форм нахождения рудообразующих химических элементов.

Первостепенное значение приобретает установление достоверных связей между рудообразующими химическими элементами в ореолах рассеяния с выделением ассоциирующих и антагонистических линейных парагенезисов. Линейный парагенетический анализ введен в геологические исследования А. Б. Вистелиусом [14].

Задачей исследований, начатых в 1963 г., являлось установление ассоциирующих и антагонистических линейных парагенезисов никеля и основных химических компонентов ультрабазитов для прогнозирования форм нахождения никеля [37, 38]. Установлено, что никель в ультрабазитах УКЩ связан с силикатной частью, связь никеля с серой оказалась статистически недостоверной. Высказывалось предположение, что дальнейшие статистические исследования геохимии никеля ультраосновных и основных пород различных генетических типов, возраста и состава позволят наметить наиболее перспективные районы и генетические типы пород для поисков сульфидных и силикатных никелевых руд.

Минералого-геохимические исследования [45, 48, 49, 82] показывают, что с ультраосновными массивами в Приднепровье связаны следующие типы сульфидных и арсенидных медно-никелевых ассоциаций: 1) халькопирито-пирротиновая; 2) пентландитовая, пентландито-полидимитовая, пентландито-маухеритовая, пентландито-никельпиритовая с халькопиритом и миллеритовая, которые характеризуются определенным набором сульфидов, арсенидов, антимонидов, сульфоантимонидов и сульфоарсенидов никеля, кобальта, меди и железа.

Установленные ассоциации можно описать следующим набором рудообразующих химических элементов: Ni, Co, Cu, Fe²⁺, Fe³⁺, S, As, Sb. Очевидно, что с увеличением или уменьшением в ультраосновных породах сульфидов или арсенидов, содержание свойственных им рудообразующих химических элементов должно соответственно увеличиваться или уменьшаться. Таким образом, между определенными рудообразующими химическими элементами должны устанавливаться статистически достоверные прямые корреляционные связи, образующие ассоциирующие линейные парагенезисы характерных для данного минерального вида химических элементов.

Для геохимического прогнозирования с помощью математических методов и ЭВМ обработаны данные химических анализов по двум зонам с бедной прожилково-вкрапленной сульфидной минерализацией по Правдинскому гипербазитовому массиву Среднего Приднепровья и Хабарнинскому гипербазитовому массиву Южного Урала.

Пентландитовая вкрапленно-прожилковая минерализация Правдинского ультраосновного массива локализована в сильно карбонатизированных антигоритовых серпентинитах и серпентинокарбонатных породах. Химическими и рентгеновскими анализами подтверждается отнесение сульфидного минерала этой зоны к пентландиту — $(\text{Fe}_{4,77}\text{Ni}_{3,82}\text{Co}_{0,13})_{8,72}\text{S}_8$.

На основании 30 химических анализов получены оценки коэффициентов корреляции основных рудообразующих химических элементов (табл. 66), анализ которых подтверждает высказанные выше априорные предположения относительно корреляционных связей в этой зоне. Действительно, никель связан положительно

Таблица 66

Матрица оценок коэффициентов парной корреляции рудообразующих химических элементов Правдинского гипербазитового массива

Элемент	Co	Cr	Fe _{общ}	Fe ²⁺	Fe ³⁺	S	As
Ni	0,68	-0,74	-0,56	-0,44	-0,72	0,97	0,64
Co		-0,32	-0,19	-0,10	-0,57	0,72	0,82
Cr			0,45	0,36	0,80	-0,68	-0,29
Fe _{общ}				0,97	0,47	-0,62	-0,05
Fe ²⁺					0,32	-0,50	0,05
Fe ³⁺						-0,72	-0,57
S							0,64

95%-ная зона значимости при $r > 0,36$; 99%-ная зона значимости при $r > 0,48$.

с Co, S и As; Co с S и As; S с As, что подтверждает наличие ассоциирующего линейного парагенезиса Ni, Co, S и As, указывающего на присутствие пентландита, в слабой степени замещенного маухеритом.

Таким образом, наличие рудообразующих ассоциаций, установленных с помощью минералого-геохимических методов, подтверждается также математико-статистическими исследованиями. Этот вывод не противоречит результатам корреляционных исследований по 18 скважинам Хабаровинского ультраосновного массива Южного Урала. Эти материалы относятся к участку дунито-перидотитового поля Хабаровинского массива с бедной вкрапленностью сульфидов никеля, меди и железа.

В табл. 67 приведена матрица оценок коэффициентов парной корреляции рудообразующих химических элементов ультрабазитов Хабаровинского массива. Линейный парагенетический анализ позволяет выявить пентландитовую минеральную ассоциацию по достоверным корреляционным связям Ni с Co, Fe и S и халькопиритовую ассоциацию — Cu с Fe и S.

Описанные примеры применения линейного парагенетического анализа относятся к зонам с макроскопически заметной бедной вкрапленностью сульфидов никеля. Значительный интерес представляет использование данной методики для анализа рудообразующих элементов по скважинам из массивов ультраосновных пород Приднепровья, не имеющих макроскопически заметной вкрапленности сульфидов или арсенидов Ni, Co, Cu и Fe.

Для этого выполнены химические анализы на NiO, CoO, Cr₂O₃, Cu, FeO, Fe₂O₃, SO₃ и As₂O₃ лизардитовых и антигорито-лизардитовых серпентинитов Варваровского массива, образцы которых равномерно отобраны из керна скважины. Для определения минерального состава пород и обеспечения однородности формируемых массивов информации изготовлены прозрачные и полированные шлифы. Автокорреляция проверена вычислением ее функции.

Таблица 67

Матрица оценок коэффициентов парной корреляции рудообразующих элементов ультраосновных пород Хабаринского массива, Южный Урал (по данным В. Я. Воробьева)

Элемент	Ni _{общ}	Co	Cu	Fe	S
Ni _{сульф}	$\frac{0,94}{0,86}$	$\frac{0,93}{-0,35}$	$\frac{0,71}{-0,14}$	$\frac{0,88}{0,77}$	$\frac{0,86}{0,88}$
Ni _{общ}		$\frac{0,92}{-0,23}$	$\frac{0,71}{-0,001}$	$\frac{0,89}{0,74}$	$\frac{0,86}{0,89}$
Co			$\frac{0,62}{0,96}$	$\frac{0,91}{-0,74}$	$\frac{0,96}{-0,30}$
Cu				$\frac{0,60}{-0,55}$	$\frac{0,55}{-0,06}$
Fe					$\frac{0,90}{0,84}$

Примечание. Числитель: 95%-ная зона значимости при $r > 0,35$; 99%-ная зона значимости при $r > 0,45$ (данные по скв. 312); знаменатель: 95%-ная зона значимости при $r > 0,32$; 99%-ная зона значимости при $r > 0,42$ (по скв. 295а).

В табл. 68 приведена матрица оценок коэффициентов парной корреляции рудообразующих элементов ультраосновных пород. С достоверностью 0,01 установлены прямые корреляционные связи NiO с Cu, FeO, Fe₂O₃ и FeO с Fe₂O₃; с достоверностью 0,05 — корреляционные связи CoO с FeO, Fe₂O₃ и As₂O₃, что подтверждает наличие никеля в магнетитах, кобальта в арсенидах.

Таблица 68

Матрица оценок коэффициентов парной корреляции рудообразующих химических элементов ультраосновных пород Варваровского массива

Элемент	CoO	Cr ₂ O ₃	Cu	Fe ₂ O ₃	FeO	SO ₃	As ₂ O ₃
NiO	0,09	0,13	0,39	0,52	0,49	0,04	0,02
CoO		0,02	0,14	0,32	0,29	0,01	0,33
Cr ₂ O ₃			0,10	0,23	0,19	0,11	0,31
Cu				0,25	0,26	0,22	-0,06
Fe ₂ O ₃					0,90	-0,08	0,12
FeO						0,03	0,02
S							-0,19

95%-ная зона значимости при $r > 0,28$; 99%-ная при $r > 0,37$.

При более глубоком анализе обнаружена неоднородность поля корреляции по содержанию SO₃. Оказалось, что анализы с содержанием SO₃ > 0,29% не принадлежат исследуемой совокупности.

Повышенное содержание SO_3 связано только с наличием в породе пирита. После исключения аномальных анализов достигнута однородность выборки и вновь получена матрица оценок коэффициентов корреляции рудообразующих химических элементов ультраосновных пород по скв. 10046 (табл. 69). Данным примером под-

Таблица 69

Матрица оценок коэффициентов парной корреляции рудообразующих элементов ультраосновных пород Варваровского массива (содержание $\text{SO}_3 < 0,29\%$)

Элемент	CoO	Cr_2O_3	Cu	Fe_2O_3	FeO	SO_3	As_2O_3
NiO	0,08	0,19	0,34	0,48	0,43	0,50	0,04
CoO		0,04	0,38	0,32	0,31	0,25	0,35
Cr_2O_3			0,19	0,28	0,23	-0,15	0,36
Cu				0,44	0,42	0,12	0,20
Fe_2O_3					0,90	-0,01	0,15
FeO						-0,07	0,07
SO_3							0,03

95%-ная зона значимости при $r > 0,30$; 99%-ная зона значимости при $r > 0,40$.

тверждается предположение о вхождении никеля в сульфиды и магнетиты, кобальта в магнетиты и арсениды. Высокая достоверность корреляционной связи никеля с серой (0,50) подтверждается частным (последним) коэффициентом корреляции.

Таким образом, выявляется возможность геохимического прогнозирования, если определены формы нахождения рудообразующих элементов с помощью линейного парагенетического анализа. На конкретных примерах показано, что ассоциирующие парагенезисы рудообразующих элементов с серой, мышьяком и другими являются необходимым и достаточным признаком, чтобы установить формы нахождения этих элементов, определить перспективы рудоносности и постановки поисковых геологоразведочных работ.

Резюмируя изложенное, можно заключить, что по петрохимическим особенностям пород, распределению рудообразующих элементов, элементов-примесей, основных форм их нахождения и содержанию летучих компонентов устанавливаются существенные различия между изучаемыми интрузивными комплексами и менее значительные между массивами одного комплекса. При этом однотипные породы разных комплексов различаются сильнее, чем разновидности пород в пределах одного комплекса. Все это вполне естественно, так как сравниваемые интрузивные комплексы являются представителями различных магматических формаций, отличающихся по

- исходному составу родоначальной магмы;
- тектоно-геологической обстановке во время внедрения магмы и становления массивов;
- физико-химическим условиям кристаллизации пород.

Отсюда следуют различия в характере и степени дифференциации (а значит, и в химических и петрографических особенностях пород), в характере аутометаморфических и аллометаморфических процессов, в особенностях рудоносности. Следовательно, для различных магматических формаций различна и связь между рудоносностью отдельных массивов и петрографическими и химическими особенностями слагающих их пород, т. е. должны различаться и критерии установления этой связи. Совершенно обязательно при решении вопроса об оценке потенциальной рудоносности того или иного массива пользоваться критериями, установленными при сравнении с рудоносными массивами той же магматической формации.

ОПЫТ СРАВНЕНИЯ ПЕТРОХИМИЧЕСКИХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

Отмеченные выше различия между породами интрузивных комплексов и отдельных массивов в общем химическом составе, распределении рудообразующих элементов и отдельных форм их нахождения могут быть существенно уточнены и дополнены путем применения ряда математико-статистических методов. К таким методам можно отнести классификационные статистические исследования (парное сравнение одномерных распределений с помощью критериев Стьюдента и Фишера и критерия сопряженности К. Пирсона; распознавание по уравнению линейной дискриминантной функции) и тренд-анализ.

Материалом для этих исследований [37, 43, 95] послужили данные петрохимических пересчетов 248 химических анализов и 489 химических определений содержания никеля в перидотитах, пироксенитах и серпентинитах Приднепровья, Побужья и других районов УКЩ, выполненных в НИИГеологии Днепропетровского университета и собранных из различных литературных и фондовых источников.

Числовые характеристики, полученные при пересчете химических анализов ультраосновных горных пород по методу Н. Д. Соболева, группировались по отдельным массивам или районам с последующим расчетом оценок параметров распределения — средних, дисперсий и 95%-ных доверительных интервалов средних по каждой из петрохимических характеристик (табл. 70).

При парном сравнении одномерных распределений отдельных петрохимических характеристик между выборками в качестве критериев различия использовались интервальные оценки, при сравнении средних — критерий Стьюдента t , а при сравнении дисперсий — критерий Фишера F .

Для установления возможности классификации массивов по петрохимическим характеристикам и содержанию никеля построены диаграммы 95%-ных доверительных эллипсов главных петрохимических характеристик. Анализ диаграмм 95%-ных довери-

тельных эллипсов средних различных числовых характеристик ($2c$, b , x , y , z , h , $M:F$), $Cr : Al$ и NiO устанавливает, что лучшими классифицирующими петрохимическими характеристиками являются $M:F$ и z , а также содержание никеля в ультраосновных породах. Этот вывод подтверждается диаграммой 95%-ных доверительных эллипсов, средних в координатах z и NiO от $M:F$.

В табл. 71 приведены результаты сравнения средних и дисперсий петрохимических характеристик с помощью критериев Стьюдента и Фишера для наиболее характерных массивов.

Данные табл. 71 позволяют высказать несколько соображений. Ультраосновные породы Верховцевского и Девладовского районов различаются по всем сравниваемым показателям. Верховцевский и Никопольский районы не различаются по содержанию в породах виртуального энстатита, значению коэффициента $M:F$, степени серпентинизации и содержанию никеля. Различия между ними устанавливаются по основным числовым характеристикам s , $2c$ и b , виртуальному моноклинному пироксену и оливину. Ультраосновные породы Верховцевского и Побужского районов различаются по всем петрохимическим характеристикам, кроме степени серпентинизации. Девладовский и Никопольский районы различаются по всем петрохимическим характеристикам. Между Девладовским и Побужским районами установлены различия по всем петрохимическим характеристикам ультраосновных пород, кроме виртуального моноклинного пироксена и коэффициента $M:F$. Ультраосновные породы Никопольского района отличаются от пород Побужья всеми петрохимическими характеристиками, кроме степени серпентинизации.

Таким образом, при сравнении средних и дисперсий петрохимических характеристик и содержания никеля с помощью критериев Стьюдента и Фишера можно различать ультраосновные породы разных районов, генетических типов и отдельных массивов в пределах одного района.

Большой интерес представляет выяснение корреляционной зависимости между коэффициентом $M:F$ и содержанием никеля в породах. Для вычисления оценки парного (общего) коэффициента корреляции между $M:F$ и NiO использована выборка из 215 химических анализов перидотитов, пироксенитов и лизардитовых серпентинитов. Коэффициент корреляции оказался $r=0,289$ (95%-ная зона значимости при $r \geq 0,134$; 99%-ная при $r \geq 0,176$). Таким образом устанавливается прямая корреляционная связь между содержанием никеля в ультраосновных породах и коэффициентом $M:F$. Вычислены оценки парных коэффициентов корреляции $r_{NiO, z} = 0,392$; $r_{M:F, b} = 0,435$; $r_{z, b} = 0,952$; $r_{b, 2c} = -0,825$, устанавливающие существование связей между числовыми характеристиками и NiO .

Критерий сопряженности Пирсона χ^2 применен для классификации ультраосновных пород по концентрации в них никеля. Сравнивались отдельные массивы внутри районов и между районами.

Средние (\bar{x}_i), 95%-ные доверительные интервалы средних ($\pm \Delta \bar{x}_i$) и дисперсий (σ_i) петрохимических характеристик ультраосновных пород

Массив или район	Параметры распределений	Петрохимические параметры									Содержание NiO	
		s	2e	b	x	y	z	M:F	h	Cr:Al		
Правдинский массив	\bar{x}_i	36,07	1,24	62,70	1,71	17,60	80,70	8,15	41,54	22,5	0,216	
	σ_i	1,57	0,93	1,83	0,87	10,31	10,26	2,0	14,55	26,9	0,082	
	$\pm \Delta \bar{x}_i$	0,68	0,40	0,79	0,38	4,46	4,44	0,87	6,3	12,2	0,053	
	n	24	24	24	24	24	24	24	24	24	22	21
Петровский массив	\bar{x}_i	35,60	1,67	62,73	1,27	15,9	82,83	9,51	50,98	11,63	0,270	
	σ_i	1,06	1,14	1,05	0,76	5,44	5,46	1,57	8,65	7,30	0,072	
	$\pm \Delta \bar{x}_i$	1,22	1,31	1,21	0,88	6,27	6,30	1,81	9,97	8,40	0,083	
	n	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Карнауховский массив	\bar{x}_i	35,58	1,08	62,34	1,56	20,34	78,1	8,14	56,3	34,33	0,31	
	σ_i	2,16	1,21	2,23	2,76	12,1	12,8	1,55	11,8	30,15	0,068	
	$\pm \Delta \bar{x}_i$	0,64	0,36	0,66	0,82	3,6	3,8	0,46	3,5	8,95	0,021	
	n	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
Верховцевский район	\bar{x}_i	34,95	1,26	63,82	0,84	12,04	87,13	8,85	42,0	29,7	0,267	
	σ_i	1,62	1,14	2,02	1,07	10,0	10,0	2,28	6,83	22,65	0,048	
	$\pm \Delta \bar{x}_i$	0,45	0,31	0,55	0,29	2,74	2,74	0,63	1,88	6,40	0,016	
	n	39	39	39	39	39	39	39	39	39	37	28
Девладовский район	\bar{x}_i	40,70	5,34	53,79	13,32	45,98	40,98	5,27	17,62	6,40	0,177	
	σ_i	2,61	1,57	3,52	6,47	17,35	18,80	1,31	10,05	4,03	0,04	
	$\pm \Delta \bar{x}_i$	0,74	0,44	0,99	1,82	4,88	5,3	0,37	2,83	1,21	0,011	
	n	37	37	37	37	37	37	37	37	37	33	37
Терновский массив	σ_i	1,39	1,67	2,12	3,10	10,2	9,55	1,03	14,11	18,25	0,013	
	$\pm \Delta \bar{x}_i$	0,67	0,80	1,02	1,49	4,90	4,59	0,50	6,79	10,9	0,007	
	n	20	20	20	20	20	20	20	20	20	14	17
	\bar{x}_i	36,72	3,44	59,8	11,15	17,35	71,5	5,85	31,81	10,65	0,204	
Кодакский массив	σ_i	2,29	1,41	3,40	6,21	13,0	17,33	1,18	7,39	6,19	0,056	
	$\pm \Delta \bar{x}_i$	1,87	1,15	2,78	5,07	10,6	14,15	0,97	6,03	5,05	0,046	
	n	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	\bar{x}_i	38,52	2,8	58,69	10,24	27,45	62,91	8,20	32,62	12,77	0,205	
Славгородский массив	σ_i	3,94	0,75	3,66	12,95	14,82	23,40	3,33	10,8	3,54	0,092	
	$\pm \Delta \bar{x}_i$	2,98	0,57	2,76	9,79	11,2	17,65	2,52	8,15	2,67	0,069	
	n	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	\bar{x}_i	38,10	1,36	60,56	1,94	29,73	68,3	7,43	48,4	33,04	0,293	
Никопольский район	σ_i	1,06	0,71	1,28	4,14	7,02	6,7	1,50	11,35	19,9	0,066	
	$\pm \Delta \bar{x}_i$	0,87	0,58	1,05	3,38	5,73	5,46	1,22	9,26	17,85	0,066	
	n	9	9	9	9	9	9	9	9	8	7	7
	\bar{x}_i	36,14	2,35	61,5	6,2	16,08	77,72	8,64	40,71	14,38	0,27	
Побужский район	σ_i	1,84	1,87	2,79	7,59	10,5	12,55	2,29	12,9	24,0	0,052	
	$\pm \Delta \bar{x}_i$	1,02	1,04	1,54	4,2	5,82	6,95	1,27	7,15	13,3	0,029	
	n	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
	\bar{x}_i	39,15	3,94	56,93	12,29	31,94	55,8	5,62	36,92	12,10	0,237	
Побужский район	σ_i	3,92	2,55	5,51	10,55	16,41	25,4	1,80	15,9	8,1	0,094	
	$\pm \Delta \bar{x}_i$	1,46	0,95	2,05	3,93	6,12	9,47	0,67	5,93	3,34	0,047	
	n	31	31	31	31	31	31	31	31	31	26	19

Таблица 71

Сравнение ультраосновных пород различных районов УКЩ по средним и дисперсиям петрохимических характеристик и содержанию никеля

Район	Критерии	Граница значимости при $q=5\%$	s	$2c$	b	x	y	z	$M:F$	h	Содержание NiO
Верховцевский и Девладовский	t F	1,96 1,73; 1,76	11,54 2,59	12,72 1,92	15,0 3,03	11,65 36,8	10,3 3,18	14,0 3,53	8,2 3,05	12,2 2,17	8,08 (1,46)
Верховцевский и Никопольский	t F	1,96 1,80; 2,07	2,33 (1,29)	2,37 2,69	3,39 3,04	4,28 50,5	(1,2) (1,1)	2,87 (1,56)	(0,29) (1,01)	(0,47) 3,33	(0,19) (1,17)
Верховцевский и Побужский	t F	1,96 1,76; 2,02	5,98 5,85	5,85 4,87	7,1 7,61	6,62 79,8	6,15 2,85	7,54 6,47	6,35 (1,59)	1,77 5,4	2,15 (1,39)
Девладовский и Никопольский	t F	1,96 1,93	7,79 2,01	7,05 (1,40)	9,35 (1,59)	4,2 (1,37)	7,74 2,73	8,62 2,26	8,17 3,08	8,47 (1,65)	6,95 (1,69)
Девладовский и Побужский	t F	1,96 1,78; 1,90	1,99 2,26	2,76 2,55	2,79 2,46	(0,48) 2,66	3,39 (1,12)	2,72 (1,83)	(0,91) 1,92	6,95 2,5	3,28 5,5
Никопольский и Побужский	t F	1,96 2,25; 2,36	2,88 4,55	2,19 (1,81)	3,04 3,92	3,84 (1,94)	3,44 2,47	4,25 4,12	5,00 (1,61)	(0,81) (1,52)	2,07 3,26

Примечание. В скобках — значения $t < t_{q, h}$ и $F < F_{q, h_1, h_2}$.

Карнауховский, Правдинский и Петровский массивы Сурского района не различаются по содержанию никеля с достоверностью 0,05 ($\chi^2=4,81$; $\chi^2_{0,05}=5,99$).

Массивы девладовского комплекса — Девладовский, Красноярский, Гуляйпольский, Водянский — не различаются по содержанию никеля ($\chi^2=4,67$; $\chi^2_{0,05}=5,99$. Содержания никеля в ультраосновных породах этого комплекса и Терновского массива не различаются ($\chi^2=0,02$; $\chi^2_{0,05}=3,84$).

Массивы Капитановский, Сухая и Мокрая Деренюха, Завалье и Липовеньки Побужского района не различаются по содержанию никеля ($\chi^2=4,01$; $\chi^2_{0,05}=5,99$).

Сравнение по критерию Пирсона Белозерского и Славгородского массивов показывает различие слагающих пород ($\chi^2=0,436$; $\chi^2_{0,05}=3,84$).

По содержанию NiO породы Сурского (72 анализа), Верховцевского (94 анализа), Никопольского (25 анализов), Побужского (65 анализов) и Славгород-Белозерского (115 анализов) районов значимо не различаются между собой ($\chi^2=4,92$; $\chi^2_{0,05}=9,49$), но отличаются ($\chi^2=107,8$; $\chi^2_{0,05}=12,6$) от пород Девладовского комплекса (118 анализов).

При сопоставлении отдельных наиболее крупных массивов Приднепровья выяснилось, что Карнауховский, Варваровский и Белозерский массивы не различаются по содержанию NiO ($\chi^2=5,05$; $\chi^2_{0,05}=5,99$). В то же время сравнение этих массивов с Девладовским выявило резкое различие в содержании NiO ($\chi^2=74,34$; $\chi^2_{0,05}=7,81$).

При определении формационной принадлежности ультраосновных пород их можно отнести к одной из двух формаций. Для этого может служить линейная дискриминантная функция. Последняя представляет собой уравнение гиперплоскости в m -мерном пространстве петрохимических параметров [14, 12, 55].

Для получения уравнения линейной дискриминантной функции использованы данные петрохимических пересчетов ультраосновных пород Девладовского дайкового комплекса и Верховцевского района по методу Н. Д. Соболева [89]. Расчеты проведены по программам построения линейной дискриминантной функции в случае неравных ковариационных матриц и распознавания на основе уравнения линейной дискриминантной функции на ЭВМ «Минск-22» [42]. Уравнение линейной дискриминантной функции для классификации ультраосновных пород дунито-гарцбургитовой и габбро-перидотитовой формаций Среднего Приднепровья имеет следующий вид: $L(x) = 17,83 - 0,347s - 0,476 2c + 0,378b - 0,587x - 0,054y + 0,001z + 0,293 (M:F) + 0,365h$. Если $L(x) < 0$, порода относится к габбро-перидотитовой формации, если $L(x) > 0$ — к дунито-гарцбургитовой. Вероятность ошибочной классификации 0,62%.

Распознавание с помощью уравнения линейной дискриминантной функции на петрохимическом материале Правдинского, Пет-

ровского и Карнауховского ультраосновных массивов Сурского района показало, что породы этих массивов (за исключением двух анализов Петровского массива) полностью относятся к типу гипербазитов Верховцевского района, т. е. к дунито-гарцбургитовой формации.

Результаты согласуются с предложенной ранее генетической классификацией ультраосновных пород Среднего Приднепровья [40]. С помощью классификационных математико-статистических критериев для обработки результатов петрохимических пересчетов, в пределах Среднего Приднепровья выделены два генетических типа ультраосновных пород: производные глубинной перидотитовой и базальтовой магм [37, 43, 95].

Породы, производные перидотитовой магмы, развиты в Сурском, Верховцевском, Никопольском районах Среднего Приднепровья и приурочены к архейским геосинклинальным образованиям. Средний состав исходных пород отвечает оливиновым гарцбургитам ($M:F=8,14 \div 9,51$). Массивы сложены перидотитами (48,7—85,1%), оливиновыми гарцбургитами (25,0—66,7%), оливиновыми лерцолитами (2,1—6,2%), оливиновыми верлитами (2,1—6,2%) и гарцбургитами (12,8—58,3%). Дуниты составляют 14,9—51,3%. Характерным отличием пород является низкое содержание TiO_2 , CaO, Al_2O_3 и щелочей, повышенная магнезиальность и никеленосность.

Производные базальтовой магмы развиты в Девладовском районе, в пределах Белозерского массива и приурочены как к геосинклинальным (Белозерский массив), так и к платформенным (Девладовский массив) образованиям. Средний состав исходных пород отвечает гарцбургитам и лерцолитам ($M:F=5,03 \div 5,85$). Массивы сложены дунитами (0,0—9,7%), оливиновыми гарцбургитами (2,7—15,0%), оливиновыми верлитами (0—11%), гарцбургитами (11,1—70%), лерцолитами (0—11,1%), верлитами (0—3,2%), оливиновыми энстатититами (0—18,9%), оливиновыми вебстеритами (0—3,2%), энстатититами (0—6,4%), вебстеритами (0—3,2%). Ультраосновные породы этого типа отличаются более высоким, по сравнению с породами первого типа, содержанием TiO_2 , Al_2O_3 , CaO и щелочей, пониженной магнезиальностью и никеленосностью (особенно в платформенном подтипе).

Ультраосновные породы геосинклинальных комплексов в значительной степени метаморфизованы и представлены серпентинитами. В то же время важно иметь представление о распределении никеля, кобальта и хрома в серпентинитах различных исходных пород (дунитов, перидотитов и пироксенитов) по отдельным массивам и районам. Для этого необходимо выяснить первичную природу серпентинитов. На основании данных петрохимических пересчетов с помощью классификационных диаграмм восстановлен состав исходных пород отдельных массивов и районов, по которым затем рассчитаны средние содержания NiO, CoO, Cr_2O_3 .

Сравнение средних содержаний никеля, кобальта и хрома ультраосновных пород Среднего Приднепровья и Урала ряда дунит — пироксенит (табл. 72) приводит к выводу о том, что а) породы дунитогарцбургитовой формации отличаются от интрузий платформенного типа более высокой концентрацией никеля в каждом отдельном типе исходных пород; б) оба формационных типа характеризуются закономерным уменьшением содержания никеля в ряду дунит — лерцолит (дунитогарцбургитовая формация) и гарцбургит — энстатит (платформенные интрузии); в) наблюдается почти полная сходимость средних содержаний никеля в дунитах, перидотитах и пироксенитах дунитогарцбургитовой формации Среднего Приднепровья и Урала.

Исследованы пространственные геохимические закономерности методом тренд-анализа для отдельных массивов, разрезов, профилей или крупных региональных зон ультраосновных пород [50]. При анализе карт поверхности тренда содержаний никеля, кобальта, хрома и железа в породах Карнауховского массива (рис. 11), полученных с помощью программ полиномиальной аппроксимации и построения карт на ЭВМ «Минск-22» [43, 44], выявлены пространственные закономерности распределения элементов. Повышенное содержание никеля прослежено вдоль зоны, почти совпадающей с осью массива, от которой к краевым частям мас-

Таблица 72

Сравнение содержаний никеля, кобальта и хрома ультраосновных пород Среднего Приднепровья и Урала ряда дунит — пироксенит (в расчете на безводный состав), %

Формационные типы	Дунит			Перидотит						Пироксенит					
	Содержание элемента														
	100-90			90-75			75-30			30-10			10-0		
	NiO	CoO	Cr ₂ O ₃	NiO	CoO	Cr ₂ O ₃	NiO	CoO	Cr ₂ O ₃	NiO	CoO	Cr ₂ O ₃	NiO	CoO	Cr ₂ O ₃
Дунитогарцбургитовая формация Среднего Приднепровья	0,31	0,022	0,39	0,29	0,017	0,31	0,29	0,018	0,34	—	—	—	Следы	Следы	0,32
	0,31	0,014	0,48	0,29	0,013	0,38	0,26	0,012	0,39	0,24	0,009	0,34	0,095	0,008	0,28
Платформенные ультрабазиты Приднепровья	—	—	—	0,23	0,019	0,40	0,18	0,020	0,36	0,17	0,023	0,42	0,15	0,012	0,26

сива уменьшается содержание никеля. Эта тенденция объясняется наложенными процессами метаморфизма, более интенсивно протекающими в приконтактных частях ультраосновных массивов.

Распространение кобальта, хрома и железа имеет сходную тенденцию, противоположную площадной тенденции никеля. Пониженное содержание кобальта, хрома и железа прослеживается вдоль узкой зоны вблизи висячего бока ультраосновной интрузии. От этой зоны увеличиваются содержания кобальта, хрома и же-

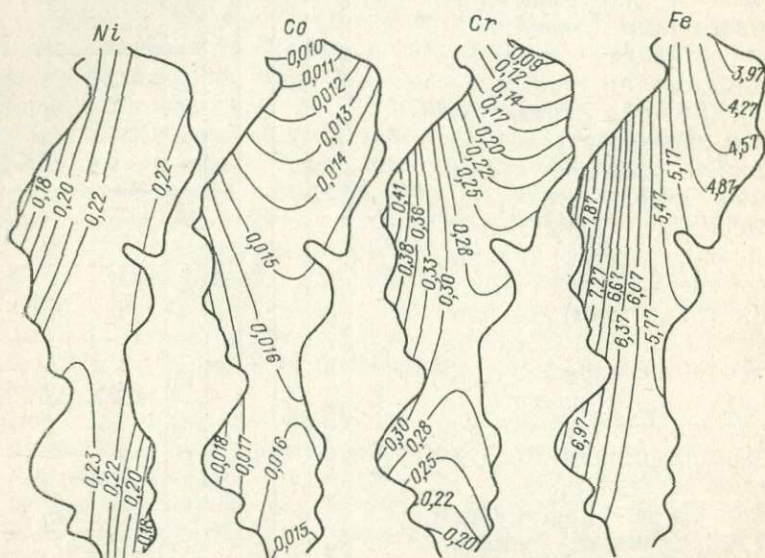


Таблица 73

Распределение титана, хрома, никеля и кобальта в минералах ультраосновных пород Среднего Приднепровья (по данным химических анализов), %

Минералы	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	NiO	CoO
Оливины дунито-гарцбургитовой формации	0,01	0,18	0,38	0,028
Оливины геосинклинальных производных габбровой магмы	0,13	0,09	0,09	0,028
Оливины платформенных интрузий	0,24	0,18	0,19	0,01
Лизардиты	0,05	0,14	0,23	0,018
Хризотилы	0,08	0,17	0,18	0,016
Антигориты	0,27	0,16	0,13	0,01
Хризотил-асбесты и офиты	0,07	0,06	0,07	0,022
Хлориты	0,24	0,09	0,16	0,008
Амфиболы	0,21	0,20	0,09	0,025
Тальки	0,10	0,25	0,015	0,001
Магнетиты серпентинитов дунито-гарцбургитовой формации	0,22	1,38	0,91	0,076
Магнетиты серпентинитов геосинклинальных производных габбровой магмы	0,20	5,23	0,42	0,11
Магнетиты платформенных интрузий	0,86	6,64	0,28	0,032
Магнетиты антофиллитизированных серпентинитов и серпентино-антофиллитовых пород	0,58	1,84	0,20	0,017
Магнетиты талько-карбонатных пород	0,17	11,78	0,25	0,028

Дальнейшее увеличение содержания титана происходит в хлоритах (0,24%) и амфиболах (0,21%). Магнетиты из серпентинитов дунито-гарцбургитовой формации и производных габбровой магмы не различаются по содержанию двуокиси титана (0,22 и 0,20%), но отличаются от магнетитов платформенных интрузий (0,86%). Магнетиты антофиллитизированных серпентинитов и серпентино-антофиллитовых пород содержат 0,58% двуокиси титана.

Хром. Оливины ультраосновных пород дунито-гарцбургитовой формации по содержанию трехокиси хрома (0,28%) отличаются от пород геосинклинального (0,08%) и платформенного (0,30—0,53%) типов, производных габбровой магмы. При серпентинизации содержание трехокиси хрома остается постоянным: лизардиты (0,14%), хризотилы (0,17%), антигориты (0,16%), а в хризотил-асбесте и офите снижается до 0,06%. Содержание трехокиси хрома в хлоритах составляет 0,09%, амфиболах — 0,20%, тальках — 0,25%.

Характерным является содержание хрома в магнитных фракциях ультраосновных пород различных генетических типов и ступеней метаморфизма. Магнетиты из серпентинитов дунито-гарцбургитовой формации содержат 1,38% трехокиси хрома, геосинклинальных производных габбровой магмы 5,23%, платформенных интрузий — 6,64%. В магнитных фракциях антофиллитизированных серпентинитов и серпентино-антофиллитовых пород содержание хрома составляет 1,84%, талько-карбонатных — 11,38%.

Никель. Наблюдаются различия в содержании никеля в оливинах из ультраосновных пород разных типов. Серпентины различных стадий серпентинизации характеризуются различными содержаниями никеля. В минералах из зон интенсивного метаморфизма содержание никеля уменьшается. По содержанию никеля можно различать также магнетиты различных генетических типов и ступеней метаморфизма ультраосновных пород. Магнетиты метасоматически измененных ультраосновных пород содержат меньше никеля по сравнению с магнетитами из серпентинитов.

Кобальт. По содержанию кобальта оливины отличаются от ромбических пироксенов. Серпентины различных стадий серпентинизации существенно не различаются по содержанию кобальта. Содержание кобальта в амфиболах 0,025%, в хлорите и тальке снижается. Повышенная кобальтоносность наблюдается в магнетитах серпентинитов ультраосновных пород дунито-гарцбургитовой формации.

Наряду с распределением содержаний титана, никеля, кобальта и хрома в минералах ультраосновных пород различных генетических типов (табл. 73) интерес представляет также распределение содержаний никеля и кобальта в минералах серпентинитов по отношению к общему содержанию в породе (табл. 74). Данные табл. 74 показывают, что основная масса никеля и кобальта содер-

Таблица 74

Распределение породообразующих минералов и содержаний никеля и кобальта в них по отношению к общему содержанию в серпентинитах Среднего Приднепровья, %

Район	Содержание	Оливины (реликты)	Серпентин	Магнетит
Верховцевский	Минерала в породе По отношению к общему содержанию в породе: NiO CoO	До 20—25	65—77	2—20
		33,5—67 24—30	46—77 36,5—66	8,3—45 9,9—28,5
Сурский	Минерала в породе По отношению к общему содержанию в породе: NiO CoO	До 60	26—90	3—12
		До 60	22,5—83,9	8,4—67,8
		До 80	4,4—90,0	10—25
Терновский	Минерала в породе По отношению к общему содержанию в породе: NiO CoO	12—15	79—84	4—6
		До 13,8 3—15	72—88,5 54—93	3,6—4,3 1,3—6,4

жится в железомagneзиальных силикатах, однако в магнетитах Сурского и Верховцевского районов может содержаться до 67,8% общего количества никеля и до 28,5% кобальта. В породах Терновского массива доля магнетита в общем балансе никеля и кобальта незначительна.

По данным В. А. Стульчикова и А. Б. Фомина [93], в серпентинитах Верховцевского района на долю силикатов приходится до 70%, на долю магнетитов — до 38% никеля и кобальта. Сульфиды никеля играют незначительную роль. Доля сульфидов кобальта иногда достигает 25%.

Основная масса никеля (98%) и кобальта (74%) серпентинитов Побужья сосредоточена в серпентине. Магнетиты содержат до 8% никеля и до 26% кобальта. Распределение никеля и кобальта в минералах серпентинитов Побужья в целом и породах Терновского массива сопоставимо.

Распределение титана, хрома, никеля, кобальта в ультраосновных породах Среднего Приднепровья и слагающих их минералах сходно с данными, полученными для Кавказа [88], Урала [8, 9, 10, 34, 62, 112, 113], юга Сибири [70, 71], Северного Прибайкалья [24].

Результаты классификационных статистических исследований показывают, что с помощью опробованных методик можно успешно сопоставлять особенности химизма ультраосновных пород разных формаций, регионов и отдельных массивов, получать вполне надежные результаты и использовать их для оценки потенциальной рудоносности ультраосновных пород.

СРАВНЕНИЕ ПЕТРОХИМИЧЕСКИХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРОД УКРАИНСКОГО ЩИТА И НИКЕЛЕНОСНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПОРОД ДРУГИХ РЕГИОНОВ

На территории УКЩ до сих пор не известно интрузивных комплексов или массивов ультраосновных и основных пород, в которых были бы обнаружены месторождения сульфидных медно-никелевых руд. В связи с этим для выяснения возможной перспективности изучаемых интрузивных комплексов и отдельных массивов на сульфидный никель, необходимо сопоставить геохимические особенности комплексов с никеленосными массивами других регионов. Для этого используются следующие критерии оценки: 1) сопоставление с геохимическими критериями, установленными для ряда никеленосных провинций (Кольский полуостров и др.), основанных на сравнении петрохимических параметров исследуемых массивов с типовыми породами по Р. Дэли и параметров распределения рудообразующих элементов с кларковыми содержаниями их в породах; 2) сопоставление по петрогеохимическим признакам описываемых интрузивных комплексов непосредственно с никеле-

носными комплексами других регионов по тем же параметрам распределения петрогенных и рудообразующих элементов.

Применяемые рядом исследователей (Д. В. Полферов, Т. И. Нюппенен, А. И. Богачев и другие) при оценке потенциальной рудоносности массивов ультраосновных и основных пород критерии основываются на предположении об образовании медно-никелевых сульфидных месторождений в результате последовательной кристаллизации магматического расплава при определенных соотношениях главных породообразующих (в первую очередь MgO , FeO , CaO , щелочей) и рудообразующих (никель, кобальт, медь, сера) компонентов. Эти соотношения установлены эмпирическим путем, а в ряде случаев обоснованы теоретически. В частности, указывается на контроль процессов рудообразования характером кислотности — щелочности расплавов [7, 23, 69], на значение величины окислительно-восстановительного потенциала, режима серы и кислорода [69], на необходимость повышенного содержания серы в магматическом расплаве для образования сульфидного оруденения [120].

К петрохимическим критериям относятся числовые характеристики по А. Н. Заварицкому: b , m' , n , $a:c$ [76]. Породы никеленосных массивов характеризуются повышенными значениями первых двух и пониженными — последних. Имеет значение также степень дифференцированности массива, более высокая в рудоносных массивах. Кроме петрохимических параметров необходимо использовать ряд геохимических признаков, в частности содержание серы, никеля, кобальта и меди.

Для рудоносных массивов характерны повышенные коэффициенты концентрации этих элементов (по отношению к мировому кларку). В случае близких содержаний никеля, кобальта и меди в никеленосных и безрудных массивах предлагается учитывать содержание хрома и платиноидов, циркония и титана, а также отношения некоторых пар элементов, в первую очередь никеля к сере, меди к сере, хрома к титану и др. Для ряда районов [77] при определении потенциальной никеленосности массивов предлагается использовать отношение никеля к титану. При этом совершенно необязательно наличие вышекларковых содержаний никеля.

Анализ данных показывает, что по всем перечисленным петрогеохимическим признакам массивы Коростенского интрузивного комплекса должны быть отнесены к неперспективным в отношении сульфидного медно-никелевого оруденения. Для пород этих массивов характерны пониженные значения параметров m , b , повышенные n , $a:c$ и низкие содержания никеля, кобальта и хрома. Однако количество меди выше кларкового.

Для пород Октябрьского массива получается менее четкая картина. Параметр b почти всегда повышен, что должно было бы указывать на перспективность этого массива, однако параметр n тоже повышен, $M:F$ более низкий, что приводит к обратному заключению. Содержание никеля в пироксенитах ниже кларкового,

в габбро выше кларка в 3 раза, а кобальта — в одних породах выше, в других — ниже кларкового, т. е. и по этим данным результат оказывается достаточно неопределенным.

Если обратиться к характеристике отдельных массивов Побужья, то можно заключить, что использование рассматриваемых разбраковочных критериев указывает на перспективность Деренюхинского массива по сравнению с остальными. В то же время нет ни одного массива, для которого все критерии указывали бы на потенциальную рудоносность.

Девладовский массив по содержанию никеля, кобальта и меди в ультраосновных и основных породах может быть отнесен к рудоносным, но по петрохимическим параметрам этого сказать нельзя. Для пород всех массивов Среднего Приднепровья характерны повышенные коэффициенты концентрации никеля, а иногда и меди, но пониженные значения числовых характеристик b , m , $M:F$, что не позволяет рассматривать их как перспективные для поисков сульфидных руд.

Таким образом, применение критериев, основанных на сравнении со средними типами пород по Р. Дэли и с кларковыми содержаниями элементов, по-видимому, не всегда дает однозначный ответ на вопрос о перспективах никеленосности исследуемых массивов.

Все петрогеохимические признаки установлены практически для массивов, представляющих два типа магматических формаций: расслоенных габбро-перидотитовых плутонов и трапповую формацию, сильно различающихся по геохимическим особенностям. Следовательно, для выяснения перспективности изучаемых массивов на сульфидное медно-никелевое оруденение необходимо в первую очередь установить их формационную принадлежность, а затем рассматривать петрогеохимические особенности пород, сравнивая их с особенностями рудоносных массивов той же формации.

В конкретных условиях УКЩ развиты массивы, относящиеся к различным типам магматических формаций. При оценке потенциальной никеленосности этих массивов, в связи с отсутствием среди них заведомо рудоносных, выявляется необходимость сопоставления геохимических особенностей их с никеленосными массивами аналогичных формаций других районов.

Однако оказывается, что для массивов ультраосновных и основных пород Коростенского плутона и Октябрьского массива подобных аналогов, содержащих сульфидные медно-никелевые руды, не имеется. Массивы Коростенского плутона по петрологическим особенностям наиболее близки к анортозитовым массивам Дальнего Востока с титаномагнетитовым оруденением, Октябрьский массив — к щелочным интрузиям Кольского полуострова с титаномагнетитовым и редкометальным оруденением.

Геосинклинальные интрузивные комплексы Побужья и Среднего Приднепровья, видимо, можно сопоставить с габбро-пироксенит-дунитовой и дунито-гарцбургитовой формациями (Урал, Пе-

ченгские никеленосные интрузии, Воронежская антеклиз), платформенный интрузивный комплекс Девладовской зоны разлома отнесен к формации расслоенных габбро-перидотитовых плутонов.

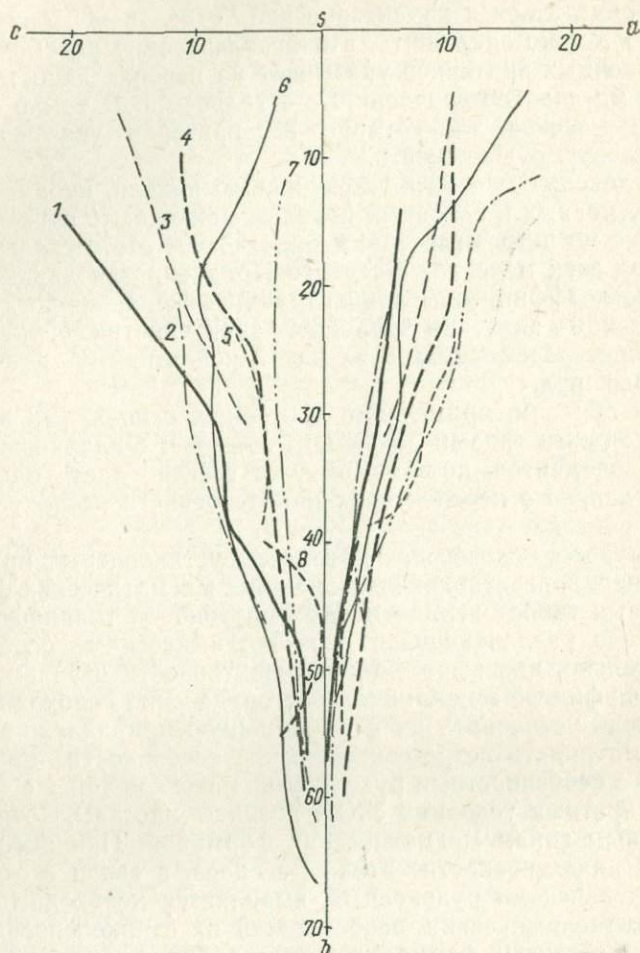


Рис. 12. Вариационная диаграмма средних химических составов. Комплексы ультраосновных и основных пород: 1—Побужье; 2—месторождение Норильск-I; 3—Джугджурский массив; 4—Коростенский плутон; 5—траппы юго-востока Сибирской платформы; 6—Тагило-Баранчинский массив; 7—Печенгские никеленосные интрузии; 8—Девладовская зона разломов.

Сопоставление массивов изучаемых интрузивных комплексов с массивами тех же формаций других регионов показывает, что по петрохимическим особенностям, в частности по относительной магнезиальности, породы Побужья и Тагило-Баранчинского массива (Урал) близки, что отчетливо видно по положению их вариационных линий на диаграмме А. Н. Заварицкого (рис. 12); в то

же время по отмеченным признакам они резко отличаются от пород Печенгских никеленосных интрузий. Величина отношения $a:c$ для большинства разновидностей пород Побужья меньше, чем для пород Печенгского района и Тагило-Баранчинского массивов.

Среднее содержание никеля в ультраосновных породах Побужья выше, чем в породах габбро-пироксенито-дунитовой формации Урала и близко к среднему содержанию никеля в аналогичных породах Печенгских и Аллареченских интрузий (Кольский полуостров). Однако по составу слагающих пород и их петрохимическим особенностям ультраосновные и основные породы Побужья и, по-видимому, в значительной мере Среднего Приднепровья наибольшее сходство имеют с подобными образованиями Воронежской антеклизы, где в массивах Мамонского интрузивного комплекса работами последних лет выявлено сульфидное медно-никелевое оруденение, наибольшая концентрация которого наблюдается в Нижнемамонском массиве и наименьшая в Петровском [77].

При сравнении петрохимических особенностей пород интрузивных комплексов Побужья и Среднего Приднепровья с породами никеленосных массивов Мамонского комплекса установлено, что при некотором сходстве их петрохимических особенностей (главным образом, с Петровским массивом) наблюдаются существенные различия по содержанию в них рудообразующих элементов (табл. 75).

Ультраосновные и основные породы Побужья и Среднего Приднепровья (Варваровский, Правдинский и Белозерский массивы) характеризуются более высоким содержанием серы и никеля. Количество никеля в них в 5—10 раз больше, чем в породах никеленосных массивов Мамоновского комплекса.

Менее значительны различия ультраосновных пород этих комплексов по концентрации кобальта и меди. Между тем количество кобальта и меди в основных породах различно, в породах УКЩ кобальта больше в 3—4 раза, меди в 10 раз.

Массивы Девладовской зоны разломов, приуроченные к широтным глубинным разломам, не имеют равных аналогов. Принимая во внимание их возраст и некоторое сходство минерального состава, можно массивы этой зоны сопоставить с отдельными верхнепротерозойскими никеленосными массивами Воронежской антеклизы. Девладовский массив по петрохимическим особенностям наиболее сходен с Мамонским массивом, в котором наблюдается пентландито-пирротинное оруденение (среднее до убогого).

По содержанию же рудообразующих элементов в ультраосновных и основных породах этих массивов намечаются значительные различия (табл. 75). В ультраосновных породах Девладовского массива по сравнению с Мамонским при близких количествах кобальта и меди наблюдается большая концентрация серы и никеля (в 5—8 раз). Основные породы Девладовского массива при сходных петрохимических параметрах с габбро Мамонского массива отличаются от них резко повышенным содержанием никеля

Сравнение геохимических особенностей массивов ультраосновных и основных пород УКЩ с никелевыми массивами Воронежской антеклизы

Порода	Массив	Характер наблюдаемого сульфидного оруденения	Содержание рудообразующих элементов в коэффициентах концентрации [12]				Петрохимические параметры по А. Н. Заварицкому			
			Ni	Co	Cu	S	b	m'	n	a : c
Метаоливинит (оливинит, серпентинит)	Воронежская антеклиз	Убогое халькопирито-пентландито-пирротиновое, среднее до богатого	0,16	0,60	3,4	3,9	63,1	81,8	53,8	0,17
	Петровский		0,19	0,30	8,0	1,71	—	—	—	—
	Подколдновский		0,43	0,22	13,0	0,96	66,8	82,3	100	1,00
	УКЩ. Среднее Приднепровье		1,70	0,72	2,4	3,10	61,2	82,0	71,4	0,5
	Варваровский Правдинский		1,60	0,81	1,2	21,53	—	—	—	—
Метаверлит (перидотит, апотитовый серпентинит)	Воронежская антеклиз	Пентландито-пирротиновое, убогое до среднего	0,21	0,51	9,28	1,41	52,2	75,9	68,0	0,68
	Мамонский		0,42	0,22	5,2	1,89	64,9	83,7	100	0,17
	Нижнемамонский		0,15	0,65	6,52	3,93	57,9	74,5	76,6	0,49
УКЩ	Побужские Белозерский Девладовский	Сульфидное оруденение не встречено	1,30	0,64	13,40	92,84	56,2	79,7	—	0,25
			1,40	0,59	4,70	5,72	61,2	79,6	—	—
			1,30	0,68	8,8	3,42	54,8	77,9	—	0,64
Метадиалагит (диалагит)	Воронежская антеклиз	Халькопирито-пентландито-пирротиновое, убогое	0,07	0,50	6,8	3,90	48,0	54,6	90,0	0,66
	Петровский		0,30	0,48	19,5	36,12	50,0	47,4	84,2	0,50
Безоливиновое габбро	Воронежская антеклиз	Халькопирито-пентландито-пирротиновое, убогое	0,25	0,50	0,70	0,91	31,3	56,1	72,2	0,66
	Петровский		0,12	0,57	0,59	0,54	39,6	59,0	58,3	0,29
	Мамонский		2,50	1,37	0,67	0,55	29,5	49,7	85,2	0,49
	Подколдновский		1,40	1,40	2,3	83,49	37,9	56,0	82,1	0,34
	УКЩ		2,90	2,20	3,5	6,84	33,6	39,1	82,6	0,96
Оливиновое габбро, габбро-норит	Девладовский	Коростенский	11,7	2,2	5,9	0,77	40,0	55,3	—	0,55
	0,27		0,89	1,4	1,14	23,8	35,0	77,6	1,28	

(в 10 раз), кобальта (в 3—4 раза) и меди (в 10 раз). Следует отметить, что ультраосновные и основные породы Девладовского массива отличаются же петрографических признаков от Печенгских массивов от никелевых массивов отличаются более высокой магнетитовостью, меньшей величиной отношения $a : c$ и сходными коэффициентами концентрации рудообразующих элементов, что также свидетельствует о их потенциальной никеленосности.

Таким образом, сопоставление петрохимических особенностей ультраосновных и основных пород ряда докембрийских интрузивных комплексов УКЩ и Мамонского никеленосного комплекса докембрия Воронежской антеклизы показывает, что среди них имеется ряд массивов, характеризующихся сходными петрохимическими особенностями. Так, массивы Побужья и Среднего Приднепровья по петрохимическим особенностям наиболее близки к Петровскому, Девладовские — к Мамонскому.

По содержанию же рудообразующих элементов они отличаются главным образом более высокой концентрацией никеля и серы в породах УКЩ. Основываясь на принципах геохимического метода оценки массивов, интрузивные комплексы Побужья, Среднего Приднепровья и Девладовской зоны разломов следует признать потенциально никеленосными и перспективными для поисков сульфидных медно-никелевых руд.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ПЕТРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
УЛЬТРАОСНОВНЫХ И ОСНОВНЫХ ПОРОД
ДЛЯ ОЦЕНКИ ИХ НИКЕЛЕНОСНОСТИ**

**ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕТРОГЕОХИМИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ
ОЦЕНКИ НИКЕЛЕНОСНОСТИ ПОРОД В УСЛОВИЯХ
УКРАИНСКОГО ШИТА**

В условиях УКЩ, где в настоящее время месторождения сингенетических медно-никелевых руд не известны, при определении потенциальной сульфидной никеленосности отдельных интрузивных комплексов или массивов ультраосновных и основных пород (на данной стадии их изученности) за основу можно принять сопоставление петро- и геохимических особенностей комплексов с никеленосными массивами аналогичных магматических формаций других районов.

Опытно-методическими исследованиями, проведенными ВИТР в никеленосных провинциях СССР (Кольский полуостров, Бурятская АССР, Воронежская антеклиз), установлены некоторые отличия петрохимических и геохимических особенностей заведомо никеленосных массивов и выработан ряд геохимических критериев никеленосности [19, 76—78]. К ним относятся следующие критерии.

1. Повышенные по отношению к «типовым» (по Р. Дэли) значения петрохимических параметров b , m' и пониженные n , а также отношение параметров $a : c$.

2. Повышенные коэффициенты концентрации никеля, кобальта, меди, серы, конституционной влаги и соответственно пониженные коэффициенты концентрации титана, ванадия, хлора и др.

В процессе исследований установлено, что основные и ультраосновные породы каждого из выделенных разновозрастных интрузивных комплексов УКЩ обладают определенными петрохимическими и геохимическими особенностями, некоторые из них (в соответствии с упомянутыми выше критериями) могут свидетельствовать об их возможной никеленосности.

Однако критерии, основанные на сравнении петрохимических параметров пород изучаемых массивов с таковыми для средних типов пород (по Р. Дэли) и сопоставлении содержания рудообразующих элементов с их мировыми кларками, не дали определенного и однозначного ответа о перспективности исследованных основных и ультраосновных массивов УКЩ для поисков сульфидных медно-никелевых руд.

При оценке потенциальной никеленосности массивов ультраосновных и основных пород в первую очередь следует учитывать петрохимические параметры, отражающие в целом особенности химического состава исходной магмы. Использование этих параметров в принятом виде (дана только качественная оценка

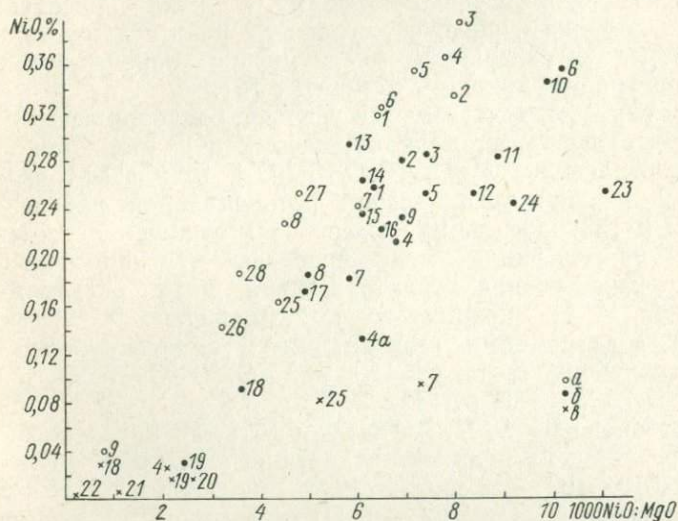


Рис. 13. Зависимость между содержанием NiO и величиной отношения $1000NiO : MgO$ в оливинах, ультраосновных и основных породах различных массивов, интрузивных комплексов и магматических формаций.

1 — дунито-гарцбургитовая формация мира; 2 — дунито-гарцбургитовая формация Урала; 3 — Барваровский массив; 4 — Побужье (серпентиниты и серпентинизированные перидотиты); 4а — Побужье (пироксениты); 5 — комплекс ультраосновных и основных пород Среднего Приднепровья; 6 — Сурский район; 7 — Девладовский массив; 8 — включения в кимберлите; 9 — Белозерский массив; 10 — Аллареченский район (безрудные массивы); 11 — Приазовье (офиолитовые интрузии); 12 — Конжский район; 13 — дунито-гарцбургитовая формация Алтае-Саянской области; 14 — дунито-гарцбургитовая формация Балканского полуострова; 15 — Великая Дайка; 16 — Никольский район; 17 — Славгородский массив; 18 — габбро-пироксенито-дунитовая формация Урала; 19 — Октябрьский массив; 20 — Скергадрдская интрузия; 21 — траппы Сибирской платформы; 22 — Коростенский плутон; 23 — Аллареченский район (никеленосные массивы); 24 — Печенгский район; 25 — никеленосные массивы траппов Сибирской платформы; 26 — Довыренский массив; 27 — Нюрундуканский массив; 28 — массив Коталахти (Финляндия).

a — оливин; б — ультраосновная; в — основная порода

ряда параметров А. Н. Заварицкого, выше или ниже типовых по Р. Дэли) не позволяет определенно судить о возможности нахождения в основных и ультраосновных массивах сульфидных медно-никелевых руд. В частности, повышенная магнезиальность свойственна ультраосновным породам, с которыми связаны месторождения хрома и силикатного никеля, не содержащим месторождений сульфидных медно-никелевых руд.

Следовательно, сама по себе повышенная магнезиальность пород по отношению к «типичным» не является показателем возможной сульфидной никеленосности. Между тем для образования сульфидных медно-никелевых руд необходима не только повышенная

магнезиальность ультраосновных и основных пород, но и определенные соотношения магния и железа. Это обусловлено тем, что при высоком содержании магния в магме никель образует изоморфную примесь в силикатах. Для образования же сульфидов никеля необходимо достаточно высокое содержание железа, повышающего растворимость серы и, таким образом, способствующего переходу никеля в сульфидную форму, а также определенные содержания кальция и щелочей, играющих роль осадителей никеля. Повышенные же содержания окиси магния определяют в основном концентрацию никеля в силикатах [6].

Таким образом, показателями условий, благоприятных для формирования сульфидных медно-никелевых руд, являются определенные соотношения MgO , $(FeO+Fe_2O_3)$ и $(CaO+Na_2O+K_2O)$. Следовательно, при установлении потенциальной никеленосности основных и ультраосновных массивов в отношении возможного обнаружения сульфидных медно-никелевых руд надо пользоваться не просто качественной характеристикой ряда петрохимических параметров А. Н. Заварицкого по отношению к типовым (по Р. Дэли), а величинами, выражающими количественные соотношения главных групп окислов — MgO , $(FeO+Fe_2O_3)$, $(CaO+Na_2O+K_2O)$ и $(SiO_2+Al_2O_3)$.

Как установлено А. И. Богачевым [6], для никеленосных интрузий характерными являются отношения $MgO:(FeO+Fe_2O_3)$ равные $15\div 50:6\div 16$, что соответствует значениям $M:F=2,0-3,5$, при содержании $(CaO+Na_2O+K_2O)$ от 3 до 15%. Кроме параметра $M:F$ дополнительным петрохимическим критерием следует считать отношение $NiO:MgO$, учитывая наличие между ними сильной положительной связи [37], а также малую изменчивость этой величины в пределах одного массива [117]. Наиболее высокие содержания NiO и отношения $NiO:MgO$ отмечаются в породах никеленосных массивов.

На диаграмме зависимости между содержанием NiO и отношением $1000 NiO:MgO$ (рис. 13) видно, что для никеленосных массивов характерны обычно более высокие содержания NiO в породах и значительно более высокие значения отношения $NiO:MgO$ при равных содержаниях MgO в сравниваемых породах. Из исследуемых массивов более высокое значение этого отношения имеют ультраосновные породы Правдинского и Варваровского массивов и основные породы Девладовского массива, а наиболее низкие — ультраосновные породы Октябрьского массива и основные Коростенского плутона. Среди массивов Побужья наиболее высоким значением отношения $NiO:MgO$ обладают породы Деренюхинского и Липняговского массивов, а наименьшим — Демовярского массива.

Величина отношения $NiO:MgO$ серпентинитов Правдинского и Варваровского массивов, а также ряда массивов Побужья превышает среднее значение этой величины для пород дунито-гардбулгитовой, габбро-пироксенито-дунитовой формаций и приближается

к ее среднему значению для ультраосновных пород никеленосных массивов.

Таким образом, при определении потенциальной никеленосности массивов (в отношении сульфидных руд) из петрохимических параметров, указывающих на магнезиальность пород, являются величина отношения $M:F$, равная для никеленосных интрузий 2—3,5, и при этом относительно большая величина отношения $NiO:MgO$ при равных содержаниях MgO в сравниваемых породах.

Для оценки потенциальной сульфидной никеленосности ультраосновных и основных массивов наряду с петрохимическими параметрами необходимо также использовать величины содержания ряда рудообразующих элементов, характерных для медно-никелевых руд (никель, кобальт, медь и др.).

Исследования показали, что основные и ультраосновные интрузивные комплексы и массивы УКЩ в большинстве случаев довольно четко различаются по содержанию в них:

- рудообразующих элементов, из которых наиболее показательным является медь, в меньшей мере никель и кобальт;
- элементов-примесей, в первую очередь висмута, ртути, мышьяка, серебра и серы. Однако эти различия не могут служить прямым доказательством возможности использования содержаний элементов для выявления потенциальной сульфидной никеленосности массивов.

Как показало изучение форм нахождения ряда элементов, в частности никеля, кобальта, меди, серы, и установление их корреляционных связей, при количественной оценке параметров определяемых элементов следует учитывать вхождение части их в решетку силикатов, а также возможную связь с наложенным сульфидным оруденением.

В ультраосновных и основных породах УКЩ медь и сера наряду с элементами-примесями — мышьяком, ртутью, висмутом, серебром и цирконием — в большинстве случаев связаны с более поздними гидротермальными процессами метаморфизма, сопровождающимися новообразованием сульфидов, и из них преимущественно пирита и пирротина. Естественно, высокая концентрация этих элементов не может указывать на возможность обнаружения первичного (сингенетического) сульфидного оруденения.

Никель присутствует главным образом в силикатной форме. Сульфидный никель наблюдается в меньшем количестве, которое, как правило, не зависит от валового содержания никеля в породе. Следовательно, высокое валовое содержание никеля в породах не обязательно должно свидетельствовать о наличии в массиве никелевых сульфидов и тем более сингенетических медно-никелевых руд.

Для оценки потенциальной сульфидной никеленосности основных и ультраосновных массивов можно использовать среднее содержание никеля в породах, и в первую очередь сульфидного никеля, указывающего более непосредственно на наличие сульфидного медно-никелевого оруденения. Кроме того, в случае положи-

тельной корреляции с никелем необходимо учитывать содержание кобальта и меди.

При этом потенциально никеленосными, видимо, следует считать массивы, для которых характерно повышенное содержание сульфидного никеля, а также увеличенное значение отношения сульфидного никеля к валовому, при общем повышенном содержании валового никеля, меди и кобальта по отношению к местному кларку (фону).

Следует отметить, что вычисление коэффициентов концентрации определяемых элементов по отношению к местному кларку (фону) дает возможность получить более достоверные данные, чем с использованием мирового кларка, и позволяет по этим величинам сопоставлять основные и ультраосновные массивы как внутри магматического комплекса, так и принадлежащие к различным магматическим формациям.

Величину же коэффициента концентрации как отношение средних содержаний определяемых элементов к мировому кларку, рассчитанных для соответствующих групп пород А. П. Виноградовым [11], можно использовать лишь при оценке никеленосности массивов в пределах одного магматического комплекса и с меньшей точностью. Сравнение основных и ультраосновных массивов разных регионов, даже принадлежащих к одной магматической формации, по этим величинам не представляется возможным, из-за различных геохимических возможностей.

Так, концентрация ряда элементов, в частности никеля, в никеленосных ультраосновных и основных массивах Кольского полуострова, как правило, выше кларка, для тех же пород Воронежской антеклизы значительно ниже мирового кларка. Это резкое несоответствие наблюдается и при сопоставлении содержания никеля в никеленосных массивах Воронежской антеклизы, характеризующихся нижекларковыми величинами, с рядом детально изученных массивов УКЩ, где, несмотря на отсутствие сульфидных медно-никелевых руд, коэффициент концентрации никеля значительно выше единицы.

Элементы, характерные для сингенетичных медно-никелевых руд, определяются для неизмененных пород или претерпевших изохимический метаморфизм. В интенсивно измененных породах, метаморфизм которых сопровождается привнесом или выносом вещества, о первоначальном содержании элементов можно судить по определению их в первичных пороодообразующих минералах путем изучения мономинеральных фракций главным образом в оливине, являющемся основным носителем никеля и кобальта.

Сопоставление содержаний никеля и кобальта в породах и оливинах из этих пород (рис. 14, 15) позволяет установить, что количество их в оливине, как правило, выше, чем в серпентините. Относительные их содержания при этом изменяются одинаково от оливина к серпентиниту. Для Сурского района устанавливаются несколько иные соотношения за счет повышения абсолют-

ного содержания никеля в серпентините по сравнению с оливином при некотором снижении содержания кобальта. Это может быть объяснено только концентрацией никеля при серпентинизации

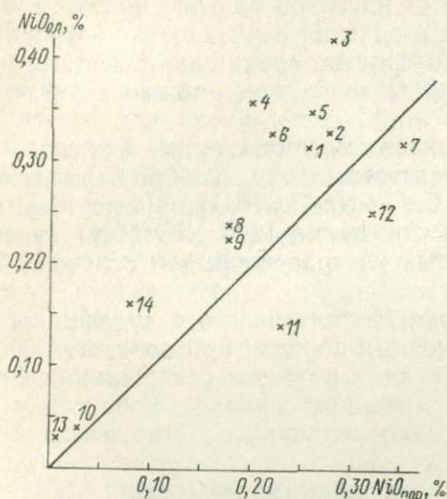


Рис. 14. Зависимость между содержанием NiO в оливице и в ультраосновных и основных породах.

Ультраосновные породы: 1 — дунито-гарцбургитовая формация мира; 2 — дунито-гарцбургитовая формация Урала; 3 — Варваровский массив; 4 — Побужье; 5 — Среднее Приднепровье; 6 — Никопольский район; 7 — Правдинский массив; 8 — Девладовский массив; 9 — включения в кимберлите; 10 — Белозерский массив; 11 — Довыренский массив; 12 — Ньюрундуканский массив. Основные породы: 13 — Коростенский плутон; 14 — никеленосные массивы траппов Сибирской платформы.

в магнетите. Наиболее высоким содержанием никеля и кобальта, а соответственно высоким значением отношения NiO:MgO из исследуемых массивов, судя по составу оливина, обладают исходные породы Верховцевского района.

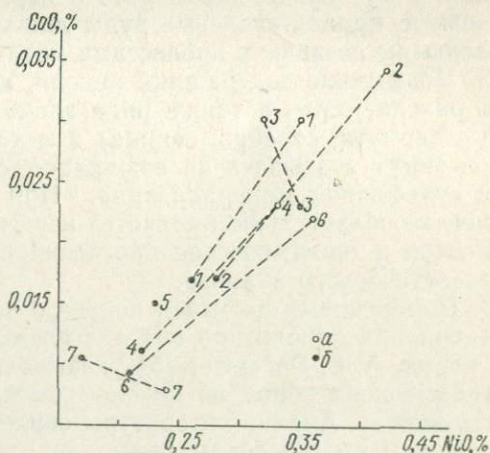


Рис. 15. Зависимость между содержанием CoO и NiO в ультраосновных породах и в оливинах из этих пород.

Ультраосновные породы: 1 — Среднее Приднепровье; 2 — Варваровский массив; 3 — Правдинский массив; 4 — Никопольский район; 5 — Белозерский массив; 6 — Побужье; 7 — Девладовский массив.

a — оливин; б — ультраосновная порода.

Перидотиты Девладовского массива содержат кобальта больше, чем входящие в их состав оливины. Такая особенность объясняется повышенной концентрацией кобальта в магнетите и пироксенах этих пород.

ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ НИКЕЛЕННОСТИ

Для оценки никелености массивов ультраосновных и основных пород УКЩ на данной стадии их изученности петрохимическими и геохимическими критериями, свидетельствующими об их потенциальной сульфидной никелености, можно считать следующие:

1. Величина отношения окиси магния к сумме окисного и закисного железа ($M:F$), характерная для габбро-перидотитовой формации при содержании $(CaO+Na_2O+K_2O)$ от 3 до 15%.

2. Повышенные значения отношения $1000 NiO:MgO$ (массовое содержание, %) в однотипных ультраосновных и основных породах.

3. Повышенное содержание сингенетического сульфидного никеля в ультраосновных и основных породах при возрастании (ориентировочно до 30—40%) его доли в общем содержании никеля, при общем повышенном содержании никеля, кобальта и меди (в случае их положительной корреляции) по отношению к местному фону.

4. При отсутствии в массивах неметаморфизованных или слабо метаморфизованных пород благоприятным признаком является повышенное содержание рудообразующих элементов, характерных для медно-никелевых руд, в реликтах породообразующих минералов. Высокие содержания этих элементов в метаморфизованных породах, так же как и возрастание в последних доли сульфидного никеля, могут свидетельствовать о перспективности массива на первичные медно-никелевые руды лишь в том случае, если эти признаки не связаны с процессами метаморфизма.

5. Повышение содержаний никеля, кобальта, меди, сульфидного никеля, серы, а также ряда элементов-примесей (мышьяка, ртути, висмута, серебра, свинца) в метаморфизованных разностях пород могут указывать на возможное обнаружение эпигенетической сульфидной минерализации. При определении содержаний элементов обязательным является изучение форм нахождения этих элементов и геохимическое прогнозирование на основе линейного парагенетического анализа.

6. По-прежнему актуален вопрос о возможных путях миграции и накопления никеля при метаморфизме ультраосновных и основных пород. А. Г. Бетехтин [5] указывал, что при метаморфизме ультраосновных пород из никельсодержащих силикатов освобождается никель. Анализ литературы свидетельствует о том, что альпийским гипербазитам свойственно эпигенетическое сульфидное медно-никелевое оруденение [20].

7. Эпигенетическое сульфидное оруденение приурочено к тектоническим зонам внутри ультраосновных массивов, имеющих элементы залегания, совпадающие с элементами залегания прототектонических и метасоматических зон; контактам даек кислых пород;

контактам ультраосновных массивов с вмещающими породами. Сульфидное медно-никелевое оруденение может быть приурочено к зонам хлорито-актинолитовых, хлорито-тремолитовых, талько-карбонатных пород и карбонатизированных антигоритовых серпентинитов при одновременном привносе серы и фосфора. При этом следует учитывать возможную связь этих зон с зонами колчеданного оруденения во вмещающих ультраосновных массивах пород.

Критерии для оценки потенциальной сульфидной никеленосности массивов и интрузивных комплексов ультраосновных и основных пород УКЩ необходимо применять совместно с формационным анализом. К перспективным принадлежат массивы, относящиеся к формации расслоенных габбро-перидотитовых плутонов или к типу дифференцированных интрузий трапповой формации. Массивы, относящиеся к габбро-анортозитовой формации, менее перспективны, а дунито-гарцбургитовой формации перспективны в отношении эпигенетического сульфидного оруденения. Учитывая преобладающее развитие в пределах УКЩ пород дунито-гарцбургитовой формации и их метаморфических производных, следует считать наиболее вероятным обнаружение эпигенетических сульфидных медно-никелевых руд. Подтверждением этому является обнаружение таких руд в пределах Правдинского ультраосновного массива.

1. Абсолютная геохронология Украинского докембрия. — В кн.: Определение абсолют. возраста дочетвертич. геол. формаций. М., Изд-во АН СССР, 1960, с. 83—111. Авт.: А. П. Виноградов, Л. В. Комлев, А. Н. Тугаринов и др.
2. Айнберг Л. Ф. Приазовский щелочной массив. Л.—М., Гос. науч.-техн. геол.-развед. изд-во, 1933. 100 с.
3. Артёмов В. Р. Серпентины и типы серпентинизации. — Автореф. докт. дис. Л., 1970. 50 с.
4. Артёмов В. Р., Ковалев Г. А., Кузнецова В. Н. Лizardит в перидотитах, дунитах и серпентинитах. — Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1964, ч. 93, вып. 3, с. 339—342.
5. Бетехтин А. Г. О метаморфических породах, образующихся за счет ультраосновных изверженных пород. — В кн.: Вопр. петрографии и минералогии. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1953, вып. 1, с. 40—47.
6. Богачев А. И. Некоторые петрохимические особенности никеленосных, титаноносных и хромитоносных интрузий. — Труды Ин-та геологии Карельск. филиала АН СССР, 1967, вып. 1, с. 251—265.
7. Богачев А. И., Кочнев-Первухов В. И. О некоторых петрохимических критериях никеленосных гипербазитовых интрузий (на примере Аллареченского района). — Сов. геология, 1965, № 11, с. 115—124.
8. Борисенко Л. Ф. Генезис гипербазитов и некоторые особенности распределения редких и малых элементов. — В кн.: Химия земной коры. Т. 2. М., «Наука», 1964, с. 364—375.
9. Борисенко Л. Ф. Редкие и малые элементы в гипербазитах Урала. М., «Наука», 1966. 224 с.
10. Борисенко Л. Ф., Сердобова Л. И. О распределении титана, ванадия, хрома и никеля в гипербазитах платиноносного пояса (Урал). — «Геохимия», 1965, № 3, с. 348—359.
11. Виноградов А. П. Закономерности распределения химических элементов в земной коре. — «Геохимия», 1956, № 1, с. 6—52.
12. Виноградов А. П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. — «Геохимия», 1962, № 7, с. 555—571.
13. Вистелиус А. Б. О минеральном составе тяжелой части песков нижнего отдела продуктивной толщи Апшеронского полуострова, чокрака Южного Дагестана и аллювия Волги. — Докл. АН СССР, 1950, т. 71, № 2, с. 367—370.
14. Вистелиус А. Б. Проблема изучения связи в минералогии и петрографии. — Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1956, ч. 85, вып. 1, с. 58—74.
15. Волков И. Д. Распределение микроэлементов в изверженных породах Норильского района. — В кн.: Вопр. магматизма, метаморфизма и рудообразования. М., Госгеолтехиздат, 1963, с. 29—38.
16. Вторушии А. В., Журавлева Н. А. Никелистые магнетит и маггемит в коре выветривания гипербазитов Северного Урала. — Труды Ин-та геологии и геохимии, УНЦ АН СССР, 1970, вып. 86, с. 132—143.
17. Геология железисто-кремнистых формаций Украины. Киев, Изд-во АН УССР, 1959. 688 с. Авт.: Н. П. Семененко, Н. П. Половко, Я. М. Грицков и др.

18. Геология осадочно-вулканогенных формаций Украинского щита. Киев, «Наукова думка», 1967. 380 с. Авт.: Н. П. Семененко, В. Л. Бойко, И. Н. Бордунов и др.

19. Геохимические критерии рудоносности основных-ультраосновных массивов. Л., ОНТИ Всесоюз. науч.-исслед. ин-та методики и техники разведки, 1968. 69 с. Авт.: Д. В. Полферов, С. И. Сулова, С. А. Шварцман и др.

20. Геохимия гипербазитов Карело-Кольского региона. Л., «Наука», 1971. 140 с.

21. Гинзбург И. И., Рукавишникова И. А. Минералы древней коры выветривания Урала. М., Изд-во АН СССР, 1951. 714 с.

22. Гольдин С. В., Кутюлин В. А. К петрохимии траппов катангского и кузьявского комплексов западной окраины Сибирской платформы.— «Сов. геология», 1964, № 12, с. 133—139.

23. Гоньшакова В. И. Трапповый магматизм и магнетитовое оруденение юго-восточной части Сибирской платформы. М., Изд-во АН СССР, 1961, 296 с.

24. Грудинин М. И., Кузнецова А. И. О распределении никеля, кобальта и хрома в габбро-перидотитовых породах бассейна р. Тын (Северное Прибайкалье).— «Геохимия», 1961, № 12, с. 162—168.

25. Гудзенко Г. Ф., Коршевер Л. И., Щербаклова К. Ф. Ультраосновные и основные интрузивные породы района Белозерской магнитной аномалии.— «Зап. Всесоюз. минерал. о-ва», 1962, ч. 91, вып. 3, с. 315—324.

26. Доброхотов М. М. До питания про стратиграфию раннего докембрию Среднего Приднепровья.— «Геол. журн.», 1964, т. 24, вып. 2, с. 85—93.

27. Доброхотов М. Н. Схема стратиграфии докембрия Украинского щита.— «Сов. геология», 1967, № 6, с. 17—25.

28. Древин А. Я. Структура, стратиграфия докембрия Среднего Побужья и поисковые критерии на силикатный никель.— Автореф. канд. дис. Киев, 1966. 17 с.

29. Древнейшие породы Днепровской складчатой зоны и проблема катархея Украины.— В кн.: Труды X сессии. Комиссия по опред. абсолют. возраста геол. формаций. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1962, с. 39—66. Авт.: Л. В. Комлев, Г. Н. Кучина, Н. Ф. Крюкова и др.

30. Дубяга Ю. Г. Завальско-Хашеватский комплекс изверженных темноцветных пород и хромитовые пироксениты.— В кн.: Докембрий УССР. Ч. 1. Киев, 1937, с. 33—41.

31. Елисеев Э. Н. О составе и кристаллической структуре пентландита.— «Зап. Всесоюз. минерал. о-ва», 1955, ч. 84, № 1, с. 53—62.

32. Елисеев Э. Н. Геохимия главнейших сульфидных медно-никелевых провинций СССР.— «Проблемы геохимии», 1959, вып. 1, с. 301—309.

33. Ершов В. А. Ультраосновные породы Украины и связанные с ними полезные ископаемые.— В кн.: Петрограф. провинции, изверж. и метаморф. горн. породы. М., Изд-во АН СССР, 1960, с. 183—193.

34. Ефимов А. А., Иванова Л. П. Поведение хрома, никеля и кобальта в процессе формирования Кытлымского платиноносного массива.— «Геохимия», 1963, № 11, с. 1034—1043.

35. Желязкова-Панайотова М. Д., Ивчинова Л. В. Минеральные виды шпинелидов из ультрабазитов Болгарии.— «Геология рудн. месторождений», 1971, вып. 13, № 3, с. 71—90.

36. Заварицкий А. Н. Введение в петрохимию изверженных горных пород. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1950. 400 с.

37. Ильвицкий М. М. Линейные связи никеля в ультраосновных горных породах Украинского кристаллического массива.— «Сов. геология», 1964, № 12, с. 110—114.

38. Ильвицкий М. М. К геохимии никеля ультраосновных горных пород Украинского кристаллического массива.— В кн.: Природ. и труд. ресурсы Левобереж. Украины и их использование. Т. 6. М., «Недра», 1965, с. 311—315.

39. Ильвицкий М. М. Статистический анализ в минералого-петрографических, петрохимических и геохимических исследованиях ультрабазитов Приднепровья.— «Геология и рудоносность юга Украины», 1968, вып. 1, с. 40—50.

40. Ильвицкий М. М. Генетические типы ультраосновных массивов Среднего Приднепровья и их полезные ископаемые.— Автореф. канд. дис.- М., 1968. 32 с.
41. Ильвицкий М. М. Дунито-гарцбургитовая формация Среднего Приднепровья.— «Геология и рудоносность юга Украины», 1970, вып. 3, с. 52—60.
42. Ильвицкий М. М., Меркулов Я. Н. Построение линейной дискриминантной функции для двух m -мерных случайных величин в случае неравных матриц ковариации.— «Деп. Укр. РФАП», 1972, спр. 62, с. 1—11.
43. Ильвицкий М. М., Передерий А. И. Приближение функций двух переменных по экспериментальным данным в задаче сглаживания наблюдаемых полей.— «Деп. Укр. РФАП», 1972, спр. 59, с. 1—9.
44. Ильвицкий М. М., Передерий А. И. Программа представления зависимостей на алфавитно-цифровой печати ЭЦВМ.— «Деп. Укр. РФАП», 1972, спр. 61, с. 1—8.
45. Ильвицкий М. М., Романенко Г. Н. Рудная минерализация на контактах гранитов с серпентинитами.— «Докл. АН СССР», 1964, т. 156, № 2, с. 348—350.
46. Ильвицкий М. М., Романенко Г. Н. О никеленосности магнетита из ультраосновных пород и их коры выветривания.— «Докл. АН СССР», 1964, т. 159, № 6, с. 1313—1315.
47. Ильвицкий М. М., Романенко Г. Н. Микрорентгеноспектральное исследование никельсодержащих шпинельных фаз из серпентинитов и их коры выветривания.— «Докл. АН СССР», 1972, т. 207, № 1, с. 172—175.
48. Ильвицкий М. М., Шрубович Ф. В. Сульфидное медно-никелевое оруденение Правдинского ультраосновного массива (Среднее Приднепровье).— «Геология и рудоносность юга Украины», 1969, вып. 2, с. 42—60.
49. Ильвицкий М. М., Шрубович Ф. В. Медная и никелевая минерализация Правдинского ультраосновного массива (Среднее Приднепровье).— «Докл. АН СССР», 1970, т. 190, № 3, с. 687—689.
50. Ильвицкий М. М., Передерий А. И., Меркулов Я. Н. Некоторые вопросы применения вероятно-статистических методов и ЭВМ в геохимических исследованиях ультраосновных пород.— «Геология и рудоносность юга Украины», 1971, вып. 4, с. 111—118.
51. Каляев Г. И. Геотектоническое развитие Большого Кривого Рога.— Автореф. докт. дис. Киев, 1965. 36 с.
52. Каневский А. Я., Древин А. Я., Фомин А. Б. Петрохимический и геохимический критерии поисков хромитовых руд в районе Среднего Побужья.— «Сов. геология», 1969, № 2, с. 141—146.
53. Колбанцев Р. В. Лизардит в ультраосновных породах Алтае-Саянской складчатой области.— «Докл. АН СССР», 1971, т. 200, № 5, с. 1188—1191.
54. Колбанцев Р. В., Ильвицкий М. М. Особенности состава оливинов различных магматических формаций по данным статистического анализа.— «Труды Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-та. Нов. сер.», 1971, т. 158, с. 219—230.
55. Коровниченко Г. М. Ультрабазиты кристаллической плиты УССР (в связи с проблемой хрома).— «Учен. зап. Киев. ун-та», 1948, т. 7, вып. 5, с. 63—79.
56. Кутолин В. А., Волохов И. М., Каратаева Г. Н. К оценке возможности определения формационной принадлежности гипербазитов по петрохимическим данным.— «Геология и геофизика», 1966, № 5, с. 87—93.
57. Ладиева В. Д. До мінералогії ультрабазитів Білозерського району.— «Доп. АН УРСР», 1961, вип. 6, с. 801—805.
58. Ладиева В. Д. Ультрабазиты железисто-кремнистых формаций Украинского кристаллического массива и связанные с ними асбестопроявления и месторождения талько-магнезитового камня.— В кн.: Закономерности размещения полез. ископаемых. Т. 6. М., Изд-во АН СССР, 1962, с. 61—75.
59. Ладиева В. Д., Зайдис Б. Б., Ветштейн В. Б. Катархейский возраст пород Конкско-Белозерской зоны.— В кн.: Труды XI сессии. Комиссия по определению абсолют. возраста геол. формаций. М., Изд-во АН СССР, 1963, с. 124—128.

60. Лашнев И. М. Электронномикроскопическое и микродифракционное изучение серпентиновых минералов в основных типах серпентинитов Кизилсайского массива.— В кн.: Магмат. формации, метаморфизм, металлогения Урала. Т. 2. Свердловск, 1969, с. 177—196.

61. Лучицкий В. И. Сравнительная характеристика основных и ультраосновных пород Украины и их металлогения.— «Труды Моск. геол.-развед. ин-та», 1940, т. 20, с. 55—61.

62. Малахов И. А. Петрохимия ультрабазитов Урала.— «Труды Ин-та геологии Уральск. филиала АН СССР», 1966, вып. 79. 234 с.

63. Малахов И. А., Царицын Е. П., Муха В. К. Метаморфизм хромшпинелидов из гипербазитов Урала по данным изучения на микроанализаторе.— В кн.: Ежегодник Ин-та геологии и геохимии Уральск. науч. центра АН СССР. Свердловск, 1971, с. 71—72.

64. Михеев В. И. Рентгенометрический определитель минералов. М., Госгеолтехиздат, 1957. 867 с.

65. Ньюппенен Т. И. О методе оценки потенциальной никеленосности массивов основных-ультраосновных пород.— «Геохимия», 1966, № 1, с. 128—131.

66. Павлов Н. В., Кравченко Г. Г., Чупрынина И. И. Хромиты Кемпирсайского плутона. М., «Наука», 1968. 177 с.

67. Первая находка дунита на Украине в районе Среднего Побужья.— «Сов. геология», 1968, № 6, с. 155—163. Авт.: А. Я. Каневский, А. Б. Фомин, А. Я. Древин и др.

68. Петрография железисто-кремнистых формаций Украины. Киев, Изд-во АН УССР, 1956. 536 с. Авт.: Н. П. Семененко, Н. И. Половко, Г. Б. Жукова и др.

69. Петрология трапповых интрузий правобережья нижнего течения Енисея. М., «Наука», 1964. 237 с. Авт.: А. М. Виленский, Г. И. Кавардин, Л. И. Кравцова и др.

70. Пинус Г. В. Некоторые вопросы геохимии кембрийских альпийотипных гипербазитов юга Сибири.— «Геохимия», 1965, № 12, с. 1450—1458.

71. Пинус Г. В., Колесник Ю. Н. Альпийотипные гипербазиты юга Сибири. М., «Наука», 1966. 211 с.

72. Полканов А. А. Плутон габбро-лабрадоритов Волини УССР. Л., Изд-во Ленингр. ун-та, 1948. 80 с.

73. Половинкина Ю. И. История геологического развития Украинского кристаллического массива.— В кн.: Стратиграфия и корреляция докембрия. М.—Л., 1960, с. 46—56.

74. Половинкина Ю. И. Структурное районирование УКЩ как основа для поисков полезных ископаемых.— В кн.: Металлогения докембр. щитов и древних подвижных зон. Ч. 1. Киев, 1960, с. 71—79.

75. Половинкина Ю. И., Наливкина Э. Б. Нижнепротерозойская спилитовая формация Приднепровья.— «Труды Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-та. Нов. сер.», 1959, т. 26. 135 с.

76. Полферов Д. В. Геохимические поиски месторождений медно-никелевых сульфидных руд.— «Бюл. отдела науч.-техн. информации МГ и ОН СССР», 1962, № 1 (35), с. 26—30.

77. Полферов Д. В., Сулова С. И. Геохимические критерии никеленосности основных-ультраосновных массивов.— «Геохимия», 1966, № 6, с. 659—667.

78. Полферов Д. В., Сулова С. И., Архипова А. И. Определение перспектив рудности основных-ультраосновных пород на основании закономерностей первично-конституционального рассеяния.— «Учен. зап. Науч.-исслед. ин-та геологии Арктики. Сер. Регион. геология», 1965, вып. 5, с. 5—20.

79. Рамдор П. Рудные минералы и их срastания. М., Изд-во иностр. лит., 1962. 1132 с.

80. Рамдор П. О широко распространенном парагенезисе рудных минералов, возникающих при серпентинизации (с некоторыми данными по новым и недостаточно описанным минералам).— «Геология рудн. месторождений», 1967, т. 9, № 2, с. 32—43.

81. Рудник В. А. Определение количественного изменения вещества при метасоматических процессах. — «Зап. Всесоюз. минерал. о-ва», 1962, ч. 91, вып. 6, с. 683—699.

82. Рябокони С. М., Гаева Н. В. К характеристике некоторых сульфидных минералов ультраосновных пород Верховцевской магнитной аномалии. — «Минерал. сб. Львов. геол. о-ва», 1968, вып. 1, № 22, с. 59—64.

83. Семененко Н. П., Бурксер Е. С., Ивантишин М. Н. Возрастные группы минерализации пород Украины в абсолютном летоисчислении. — В кн.: Докл. сов. геологов (Международ. геол. конгресс). XXI сессия. Проблема 3. М., 1960, с. 112—131.

84. Семененко Н. П., Щербак Н. П., Бартицкий Е. Н. Геохронология, стратиграфия и тектоническая структура докембрия Украины. — В кн.: Геология докембрия. Л., «Наука», 1972, с. 77—87.

85. Славутский М. Б., Шалыт Е. С. Минералогия коры выветривания Девладовского месторождения силикатных никелевых руд. — В кн.: Вопр. минералогии осадоч. образований, кн. 6. Львов, 1961, с. 216—244.

86. Слынько П. И. Основные и ультраосновные породы северо-восточной части Украинского щита. — В кн.: Петрология и формац. деление докембрия Рус. платформы. Киев, «Наукова думка», 1966, с. 83—84.

87. Соболев В. С. Петрология восточной части сложного Коростенского плутона. — «Учен. зап. Львов. ун-та», т. 6. Сер. геол., вып. 5, 1947. 140 с.

88. Соболев Н. Д. Ультрабазиты Большого Кавказа. М., Госгеолиздат, 1952. 240 с.

89. Соболев Н. Д. К петрохимии ультраосновных горных пород. — «Геохимия», 1959, № 8, с. 679—695.

90. Станкевич Л. И. До питання про нікеленосність основних порід УРСР. — «Геол. журн. АН УРСР», 1938, т. 5, вип. 1—2, с. 44—48.

91. Стратиграфическая схема докембрийских образований Украинского щита. — «Геол. журн.», 1970, т. 30, № 4, с. 144—153. Авт.: Ю. Б. Бабков, Д. С. Булаевский, А. А. Зайцев и др.

92. Стратиграфия докембрия Украинского кристаллического щита. — В кн.: Стратиграфия и корреляция докембрия. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1960, с. 36—45. Авт.: Н. П. Семененко, С. П. Родионов, Н. С. Усенко и др.

93. Стульчиков В. А., Фомин А. Б. Сравнительная характеристика содержаний и распределений никеля и кобальта в серпентинитах Среднего Побужья и Верховцевского района. — В кн.: Полез. ископаемые Украины. Киев, «Наукова думка», 1966, с. 218—220.

94. Стульчиков В. О., Фомин О. Б. Кобальт і нікель в магнетитах з ультрабазитів Середнього Побужжя і Верхівцевського району УКЩ. — «Доповіді АН УРСР», 1970, сер. Б, № 6, с. 492—494.

95. Танатар-Бараш З. И. Петрохимия ультраосновных пород Белозерского железорудного района. — «Геохимия», 1964, № 5, с. 441—456.

96. Танатар-Бараш З. И. Парагенетический анализ геосинклинальных ультрабазитов Приднепровья. — «Геология и рудоносность юга Украины», 1969, вып. 2, с. 33—41.

97. Танатар-Бараш З. И. Ультраосновные породы Девладовского дайкового комплекса и парагенетические соотношения минералов. — «Геология и рудоносность юга Украины», 1970, вып. 3, с. 61—72.

98. Танатар-Бараш З. И., Дудник Н. Ф. О поведении железа при процессах метаморфизма ультраосновных пород Приднепровья и изменения их физических свойств. — «Геология и рудоносность юга Украины», 1971, вып. 4, с. 98—105.

99. Танатар-Бараш З. И., Ильвицкий М. М. Минералогия ультраосновных пород Приднепровья. — «Минерал. сб. Львов. геол. о-ва», 1968, вып. 22, № 22, с. 139—149.

100. Танатар-Бараш З. И., Ильвицкий М. М. Петролого-геохимические особенности ультрабазитов Приднепровья. — В кн.: Петрография докембрия Рус. платформы. Киев, «Наукова думка», 1970, с. 72—79.

101. Танатар-Бараш З. И., Ильвидский М. М., Романенко Г. Н. К петрохимии ультраосновных пород Украинского кристаллического массива.— «Изв. АН СССР, сер. Геология», 1964, № 7, с. 24—37.
102. Тугаринов А. И., Зыков С. И., Бибилова Е. Н. О возрасте пород криворожской серии.— В кн.: Труды X сессии. Комиссия по определению абсолют. возраста геол. формаций. М., Изд-во АН СССР, 1962, с. 78—85.
103. Усенко И. С. Архейские метабазиты и ультрабазиты Украинского кристаллического массива. Киев, Изд-во АН УССР, 1953. 100 с.
104. Усенко И. С. О стратиграфии Украинского кристаллического щита.— «Геол. журн. АН УССР», 1955, т. 15, вып. 4, с. 10—29.
105. Усенко И. С. Основные и ультраосновные горные породы бассейна Южного Буга. Киев, Изд-во АН УССР, 1958. 142 с.
106. Усенко И. С. Основные и ультраосновные породы Западного Приазовья. Киев, Изд-во АН УССР, 1960. 179 с.
107. Усенко І. С. Розшукові критерії нікеленосних ультрабазитів Українського щита і деякі міркування що до розшуків нікелевих родовищ, пов'язаних з основними породами.— «Геол. журн.», 1962, т. 22, вип. 3, с. 14—26.
108. Усенко И. С. Поисковые критерии ультрабазитов Украинского щита, несущих никеленосную кору выветривания.— «Кора выветривания», 1965, вып. 9, с. 93—100.
109. Фомин А. Б. Геохимические особенности распределения элементов семейства железа в ультраосновных и основных породах Среднего Побужья.— Автореф. канд. дис. Киев, 1968. 23 с.
110. Фомин А. Б., Каневский А. Я., Козаченко А. И. Оливин в ультраосновных породах Среднего Побужья.— «Геол. журн.», 1971, т. 31, вып. 4, с. 82—87.
111. Штейнберг Д. С., Малахов И. А., Фоминных В. Г. Генетическое значение закономерностей распределения элементов семейства железа в магматических горных породах Урала.— «Зап. Всесоюз. минерал. о-ва», 1964, ч. 93, вып. 5, с. 591—605.
112. Штунц Х. Минералогические таблицы. М., Гостоптехиздат, 1962. 532 с.
113. Эдельштейн И. И. К геохимии никеля.— «Геохимия», 1960, № 7, с. 601—609.
114. Эдельштейн И. И. Петрология гипербазитов Тоболо-Иргизского района Южного Урала и особенности связанных с ними кор выветривания. М., «Наука», 1968. 200 с.
115. Veeson M. H., Jackson E. D. Chemical composition of altered chromites from the Stillwater complex, Montana.— „Amer. Min.“, 1969, v. 54, № 7, 8, p. 1084—1100.
116. Fawley A. P. Mwananza Hill nickel deposit, Central Province.— „Rec. Geol. Surv. Tanganyika“, 1957, № 7, p. 49—54.
117. Häkli A. Distribution of nickel between the silicate and sulphide phases in some basic intrusions in Finland.— „Bul. comm. geol. Finl.“, 1963, № 203, p. 1—54.
118. Nockolds S. R. Average chemical compositions of some igneous rocks.— „Bul. Geol. Soc. Amer.“, 1954, v. 65, № 10, p. 1007—1032.
119. Schmidt E. R., Vermaas F. H. Differential thermal analysis and cell dimensions of natural magnetites.— „Amer. Miner.“, 1955, v. 40, № 5—6, p. 422—431.
120. Wager L. R., Vincent E. A., Smales A. A. Sulphides in the Skaergaard intrusion, East Greenland.— „Econ. Geol.“, 1957, v. 52, № 8, p. 855—903.
121. Whittaker E. J., Zussman J. The characterisation of serpentine minerals by X-ray diffraction.— „Miner. Mag.“, 1956, № 31, p. 107—126.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
<i>Глава I.</i> Геолого-петрографические, петрохимические и геохимические особенности ультраосновных и основных пород интрузивных комплексов	5
Архейский комплекс ультраосновных пород Среднего Приднепровья	8
Сурский и Верховцевский районы	10
Никопольский район	36
Белозерский район	39
Раннепротерозойский комплекс ультраосновных и основных пород Побужья	51
Среднепротерозойский комплекс ультраосновных и основных пород Девладовской зоны разломов	65
Среднепротерозойский комплекс ультраосновных и основных пород Коростенского плутона	83
Среднепротерозойский комплекс ультраосновных и основных пород Октябрьского массива (Приазовье)	91
<i>Глава II.</i> Сравнение петрохимических и геохимических особенностей ультраосновных и основных пород интрузивных комплексов	99
Петрохимическая характеристика пород	—
Геохимическая характеристика пород	106
Опыт сравнения петрохимических и геохимических характеристик с помощью методов математической статистики	120
Сравнение петрохимических и геохимических характеристик пород Украинского щита и никеленосных комплексов пород других регионов	131
<i>Глава III.</i> Использование петрогеохимических характеристик ультраосновных и основных пород для оценки их никеленосности	138
Возможность применения петрогеохимических критериев оценки никеленосности пород в условиях Украинского щита	—
Петрохимические и геохимические критерии никеленосности	144
<i>Список литературы</i>	146

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УЛЬТРАОСНОВНЫХ И ОСНОВНЫХ ИНТРУЗИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ УКРАИНСКОГО ЩИТА

Редактор издательства З. К. Андриянина
Техн. редактор Н. П. Старостина
Корректор М. И. Витис

Сдано в набор 9/VII 1975 г.
Формат 60×90^{1/16}.
Тираж 1000 экз.

Подписано в печать 25/III 1976 г.
Бумага тип. № 2. Печ. л. 9^{1/2}.
Заказ 641/1011.

М-30138.
Уч.-изд. л. 11,13
Цена 1 р. 11 к.

Издательство «Недра», Ленинградское отделение.
193171, Ленинград, С-171, ул. Фарфоровская, 12
Ленинградская картографическая фабрика объединения «Аэрогеология»

1532

1 р. 11 в.

НЕДРА