

Прогнозно-поисковые модели платиноносных расслоенных мафит-ультрамафитовых плутонов

Е.С.ЗАСКИНД, О.М.КОНКИНА, В.И.КОЧНЕВ-ПЕРВУХОВ (ЦНИГРИ)

Месторождения металлов платиновой группы (МПГ) в расслоенных мафит-ультрамафитовых комплексах являются основным источником этих металлов. В них сосредоточено около 87% мировых запасов.

Главные особенности этих месторождений — ассоциация металлов платиновой группы с сульфидами никеля и меди и преобладание платины и (или) палладия над всеми остальными металлами этой группы. От вкрапленных медно-никелевых платино-палладиевые руды отличаются значительно более высокой концентрацией МПГ в сульфидной массе. Содержания цветных металлов в рудах месторождений соответствуют некондиционным убоговкрапленным рудам медно-никелевых месторождений и не представляют самостоятельного промышленного интереса. Состав сульфидной вкрапленности месторождений металлов платиновой группы специфичен и отличается повышенными содержаниями никеля и меди по отношению к сере (рис. 1). Технология обогащения руд — гравитационно-флотационная с получением гравитационного концентрата рассматриваемых металлов в «голове» процесса в отличие от чисто флотационной для руд медно-никелевых месторождений. Перечисленное позволяет выделить платинометалльные месторождения расслоенных комплексов в особый платино-палладиевый геолого-промышленный тип, называющийся в мировой практике *малосульфидный*.

Платинометалльная минерализация *малосульфидного* типа широко распространена в расслоенных мафит-ультрамафитовых комплексах, однако промышленные месторождения пока единичны. Каждое из них уникально по своим характеристикам, поэтому возможность выделения типовых объектов обеспечивает лишь привлечение сведений по рудопроявлениям, обобщенные черты которых формируют комплекс поисковых признаков [1—15].

Как объект прогноза, расслоенные массивы представляют собой систему разноранговых металлогенических таксонов — рудный район, рудное поле, месторождение (табл. 1).

1. Геологическая позиция металлогенических таксонов в расслоенных мафит-ультрамафитовых комплексах

Металлогенические таксоны	Геологическая позиция
Металлогеническая зона	Площадь распространения дифференцированных мафит-ультрамафитовых массивов в зонах тектономагматической активизации
Рудный район	Расслоенный перидотит-пироксенит-габброноритовый интрузив или группа сближенных интрузивов
Рудное поле	Нижняя норит-габброноритовая часть разреза габброидной серии
	Верхняя часть разреза ультрамафитовой серии
	Краевая часть массива
Месторождение	Пачки переслаивания платиноносных сульфидсодержащих анортозитов, габброидов, плагиоклазовых ультрамафитов и хромититов
	Зоны платиноносных сульфидсодержащих плагиоклазовых пироксенитов
	Зоны платиноносных сульфидсодержащих такситовых габброидов и плагиоклазовых ультрамафитов

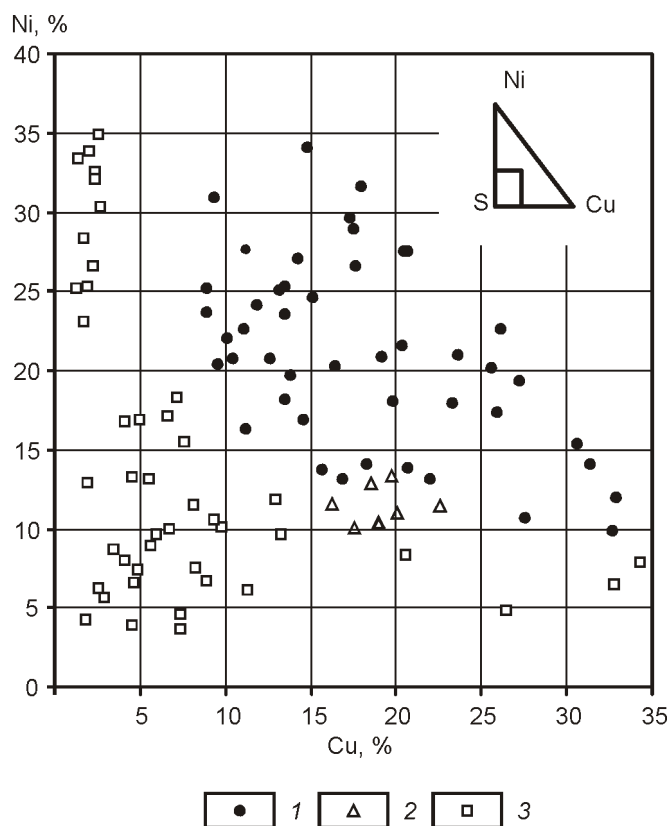


Рис. 1. Составы платинометалльных и вкрапленных медно-никелевых руд на барицентрической диаграмме Cu—Ni—S:

1 — платинометалльные руды; 2 — руды месторождений Норильского района; 3 — прочие медно-никелевые месторождения

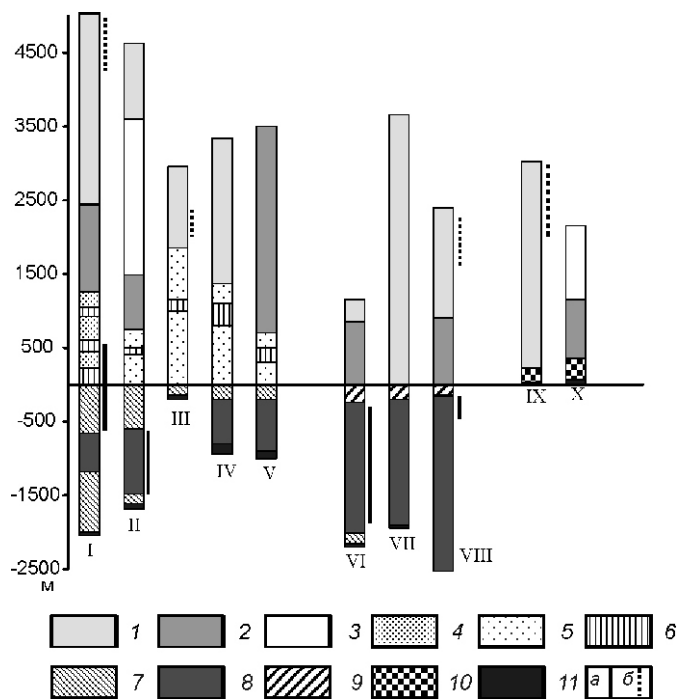


Рис. 2. Разрезы рудоносных расслоенных массивов:

габброидная серия: 1 — пижонитовые и магнетитовые габбро-нориты и габбро, 2 — габбро-нориты, 3 — анортозиты, габбро; породы рудного поля: 4 — нориты, 5 — габбро-нориты, нориты, 6 — пачки переслаивания норитов, габбро-норитов, анортозитов, плагиоклазовых ультрамафитов хромититов (соответствуют месторождениям); *ультрамафитовая серия:* 7 — ортопироксениты, 8 — переслаивание дунитов, перидотитов, пироксенитов, хромититов, 9 — зона пироксенитов (соответствует рудному полю); 10 — зона такситовых плагиоклазовых ультрамафитов и габброидов краевой части интрузива (соответствует рудному полю); 11 — породы эндоконтактной части интрузива; 12 — интервал распространения: а — хромититов, б — вкрапленных и сплошных титаномагнетитовых руд; массивы: I — Бушвельдский (восточная часть), II — Стиллуотерский, III — Западно-Панский, IV — Луккулайсваара, V — Мончетундровский, VI — Великая Дайка, VII — Муни-Муни, VIII — Бураковский, IX — Бушвельдский (северная часть, район месторождения Платриф), X — Федоровотундровский

Рудные районы в пределах металлогенических зон выделяются как ареалы распространения рудоносной перидотит-пироксенит-габбро-норитовой формации и эквивалентны крупным расслоенным массивам или группам сближенных интрузивов.

Расслоенные плутоны — особая группа дифференцированных мафит-ультрамафитовых массивов, строение главных дифференциатов которых осложнено перемежаемостью и повторемостью, часто ритмической, различных по составу и структуре пород (рис. 2). Повторяющаяся расслоенность — главная особенность рассматриваемых массивов, которая отличает их от дифференцированных силлов, спектр дифференциатов которых эквивалентен, по существу, одному ритму расслоенных интрузивов.

Разрезы платиноносных расслоенных массивов представлены тремя вертикальными рядами дифференциатов: гарцбургит—ортопироксенит—норит—габбро-норит; гарцбургит—ортопироксенит—вебстерит—габбро-норит; лерцолит—клинопироксенит—вебстерит—габбро-норит, отражающими порядок кристаллизации главных породообразующих минералов и, в итоге, состав исходных магм [2].

Для выявления и оконтуривания потенциальных рудных районов необходимо установить наличие скоплений магматитов рудоносной формации в осадочном чехле протоплатформенных мульд (прогибов), либо в основании вулканотектонических депрессий, либо зонах глубинных разломов, разделяющих разнородные блоки протоплатформенного фундамента, которые фиксируются линейными или изометричными грави- и магнитометрическими аномалиями, электроаномалиями в контуре массивов или их экзоконтактах; повышенным геохимическим фоном Ni, Cu, Co. Обязательным признаком является вкрапленность сульфидов Fe, Cu и Ni, титаномагнетита и хромита. К косвенными признаками относятся шлиховые ореолы сперрилита, сульфидов меди и никеля, хромита и титаномагнетита. Перечисленные факторы и признаки — основа для создания прогнозно-поисковой модели рудного района (табл. 2).

Рудные поля эквивалентны специфическим зонам неоднородного строения габброидной или ультрамафитовой серий интрузивов. Геологическими элементами строения рудных полей являются: зоны чередования габброидов (нориты и габбро-нориты) и пачек переслаивания различного, часто контрастного (ультрамафит—анортозит) состава в низах габброидной серии; зоны плагио-пироксенитов в верхах ультрамафитовой серии; зоны такситовых пород в краевой части интрузива или его блока (см. рис. 2).

По условиям локализации (положению в разрезе массива, петрографическому контролю) рудные поля делятся на четыре типа: бушвельдский, стиллуотерский, хартли и платриф (табл. 3).

Потенциальным месторождениям в пределах перспективных рудных полей эквивалентны области развития сульфидоносных частей разреза, отличающиеся резким локальным увеличением концентраций полезных компонентов и характеризующиеся комплексом особенностей геологического строения. Признаковые модели месторождений металлов платиновой группы представлены в табл. 4. Они включают обобщенные петрографо-петрохимические, рудно-минералогические, геохимические и геофизические характеристики (элементы) околорудного и рудного пространства. Согласно типам рудных полей выделено четыре типа месторождений.

Рудные поля месторождений *бушвельдского типа* локализируются в нижней норитовой части разреза габброидной серии массива, содержащей пачки переслаивания хромититов, ультрамафитов (плагиоклазовые ортопироксениты и гарцбургиты), габброидов (нориты, лейконориты) и анортозитов. Переходы между слоями разного петрографического состава как постепенные, так и резкие. Месторождения и рудопроявления металлов платиновой группы приурочены к пачкам переслаивания, в которых размещение рудных тел контролируется пластами (рифами) сульфидосодержащих плагиобронзититов, сменяющимися по латерали плагиогарцбургитами (месторождения рифа Меренского) или сульфидосодержащих хромититов (месторождения слоя УГ-2 и рудопроявления в хромититах

2. Прогнозно-поисковая (признаковая) модель рудного района

Элементы модели	Рудный район и его признаки (критерии выделения)
Формационные — рудоносная (рудовмещающая) плутоническая формация	Перидотит—пироксенит—габброноритовая
Структурные	Интрузив (или часть крупного интрузива) рудоносной формации в осадочном чехле протоплатформенной мульды (прогиба), основании вулканотектонической депрессии, зоне глубинного разлома, разделяющего разнородные блоки протоплатформенного фундамента
Петрографические (главные ассоциации пород)	Ультрамафитовая серия: гарцбургит-ортопироксенитовая; гарцбургит-ортопироксенит-вебстеритовая; верлит-клинопироксенит-вебстеритовая; характерно присутствие плагиоклазосодержащих разностей Габброидная серия: норит-габброноритовая; габброноритовая
Геохимические	Повышенный геохимический фон цветных металлов — Ni, Cu, Co
Шлихо-минералогические	Шлиховые ореолы сперрилита, сульфидов Cu и Ni, магнетита, титаномагнетита, хромита
Геофизические	Аномальные (положительные) гравитационное и магнитное поля; аномальное электрическое поле

групп УГ и МГ). Руды характеризуются равномерным распределением концентраций МПП при преобладании платины над палладием. Запасы металлов месторождений данного типа уникальны по величине и качеству, а рудные тела — по протяженности и выдержанности содержания платиноидов (6—9 г/т).

Рудные поля месторождений *стиллоутерского типа* расположены в нижней габбронорит-норитовой части раз-

реза габброидной серии, содержащей пачки прерывистых слоев и линз норитов, габброноритов, троктолитов, анортозитов и плагиоклазовых ультрамафитов; отсутствие хромититовых слоев — главное отличие от продуктивной части разреза бушвельдского типа. Породы пачек неоднородны по структуре — характерны обособления крупнозернистых и пегматоидных разностей. Месторождения и рудопроявления металлов платиновой группы приурочены к сульфид-

3. Прогнозно-поисковые (признаковые) модели рудных полей

Элементы модели	Рудные поля и их типы			
	Бушвельдский	Стиллоутерский	Хартли	Платриф
Структурные:				
положение в разрезе интрузива	Нижняя норитовая часть разреза габброидной серии	Нижняя габбронорит-норитовая часть разреза габброидной серии	Верхняя часть разреза ультрамафитовой серии	Краевая часть интрузива
перекрывающие породы	Пижонитовые и магнетитовые габброиды, габбронориты	Пижонитовые и магнетитовые габброиды, габбро, анортозиты	Породы габброидной серии	Породы габброидной серии
подстилающие породы	Породы ультрамафитовой серии	Породы ультрамафитовой серии	Хромититы, перидотиты, дуниты ультрамафитовой серии	Породы экзоконтакта массива
Фациальные особенности	Зона чередования норитов и пачек переслаивания хромититов, плагиоклазовых ортопироксенитов, норитов и анортозитов	Зона чередования норитов и габброноритов с пачками переслаивания плагиоклазовых ультрамафитов, норитов, габброноритов, троктолитов и анортозитов	Зона пироксенитов	Зона такситовых плагиоклазовых ультрамафитов и габброидов
Геохимические	Повышение локального фона Cu, Ni, Co, Au, Ag, МПП в породах, слагающих рудное поле			
Минералогические	Вкрапленность пирротина, пентландита, халькопирита			
Положение рудной минерализации иного минерального состава	Титаномагнетитовая в перекрывающих габброидах; хромитовая в подстилающих ультрамафитах			
Геофизические	Гравиметрические, магнитные и электроаномалии			

4. Прогнозно-поисковые (признаковые) модели месторождений металлов платиновой группы различных типов

Элементы модели	Типы платино-палладиевых месторождений			
	Бушвельдский	Стиллуотерский	Хартли	Платриф
Рудоносная часть разреза	Пачка переслаивания хромитов, плагиоклазовых ортопироксенитов и гарцбургитов, норитов и анортозитов	Пачка прерывистых слоев и линз норитов, габброноритов, троктолитов, анортозитов и плагиоклазовых ультрамафитов	Верхняя плагиопироксенитовая часть разреза пироксенитовой зоны	Верхняя часть разреза зоны такситовых плагиоклазовых ультрамафитов и габброидов
Рудовмещающие породы	Плагиоклазовые ортопироксениты или хромититы	Плагиоклазовые гарцбургиты и ортопироксениты, троктолиты, анортозиты, нориты	Плагиоклазовые ортопироксениты и вебстериты	Плагиоклазовые ортопироксениты, нориты, габбронориты, ксенолиты вмещающих пород
Геохимические	Локальные аномалии Cu, Ni и Co; повышенные (более 0,1 г/т) содержания МПГ в пределах локальных аномалий Cu, Ni и Co; струйные ореолы рассеяния; локальные аномалии по придонной морене			
Минералогические	Халькопирит пентландит пирротин; халькопирит пентландит			
Геофизические	Электроразведочные (ВП) аномалии; электромагнитные радиоволновые аномалии (РВЗ, РВП)			
Форма рудных тел	Пласт выдержанной мощности	Прерывистые пластообразные тела с локальными раздувами, уплощенные линзы	Пласт с незначительными вариациями мощности	Линзовидные и линзовидно-пластовые тела
Состав руд	Минералы МПГ, пирротин, халькопирит, пентландит хромит	Минералы МПГ, пирротин, халькопирит, пентландит		

содержащим пачкам переслаивания, в которых рудные тела прослеживаются в виде пластов мощностью до 10 м. Основные отличия от месторождений бушвельдского типа являются: отсутствие петрографического контроля размещения платиноносной сульфидной вкрапленности, неравномерное распределение содержаний МПГ с обособлением участков высоких концентраций (до 70 г/т), существенно палладиевый состав руд — Pd/Pt обычно более 3,5 (в некоторых рудопоявлениях — до 10 и более). Ресурсы и разведанные запасы существенно уступают бушвельдскому типу месторождений.

Рудные поля месторождений *типа хартли* (Великая Дайка) приурочены к верхней пироксенитовой зоне ультрамафитовой серии. Месторождения металлов платиновой группы находятся в венчающих разрез зоны сульфидсодержащих плагиоклазовых ортопироксенитах и вебстеритах. Рудные тела представляют собой пласты внутри сульфидоносной зоны, не имеют геологических границ и оконтуриваются только по данным опробования. Средняя мощность рудного пласта около 2 м, содержания МПГ изменяются от 2 до 6 г/т. По соотношениям платины и палладия руды близки бушвельдскому типу, а по уровням содержаний МПГ — беднее месторождений первых двух типов.

Рудные поля месторождений *типа платриф* локализируются в сульфидоносных породах краевых или базальных частей массивов, в которых содержания цветных металлов на отдельных участках достигают значений, кондиционных для вкрапленных руд медно-никелевых месторождений. Распределение концентраций металлов платиновой группы в пределах зоны сульфидоносных пород неравномерное. Выделяе-

мые по бортовому содержанию платиноносные рудные тела имеют форму линз и прерывисто-пластообразных залежей различной протяженности и переменной (от 5 до 200 м и более) мощности. Иногда руды, как и в сульфидных медно-никелевых месторождениях, локализуются в породах экзоконтакта. По концентрациям МПГ в сульфидной массе руды аналогичны комплексным платинOMETалльно-медно-никелевым рудам норильского типа.

На площадях с выявленными прямыми поисковыми признаками палладиево-платинового оруденения и установленными геофизическими и геохимическими аномалиями предположительно рудной природы на основе уточненной прогнозно-поисковой модели месторождения обнаруживаются и оцениваются рудные подсечения.

Для качественной оценки поисковых участков (потенциальных месторождений) необходимо:

увязать рудные подсечения и оконтурить тела палладиево-платиновых (платино-палладиевых) руд по бортовому содержанию МПГ, принятому с учетом геолого-экономических условий района проведения работ;

определить морфологию, размеры и условия залегания рудных тел и охарактеризовать в общих чертах распределение содержаний МПГ;

изучить минералого-геохимические особенности руд; детализировать комплексную геолого-поисковую модель месторождения для использования при разбраковке перспективных участков, геофизических и геохимических аномалий.

Роль перечисленных типов в общем балансе мировых запасов и ресурсов металлов платиновой группы различна. Главными являются месторождения бушвельдского типа.

В России на территории Мурманской области и Республики Карелия учтены прогнозные ресурсы платино-палладиевых (малосульфидных) месторождений стиллуотерского типа (Ковдор-Зеленоборский и Центрально-Кольский рудные районы, рудные поля и рудопроявления Восточно- и Западно-Панского, Вуручуайвенч, Мончегорского, Мончетундровского, Луккулайсварского массивов), типов платриф (Федоротундровский массив) и хартли (Бураковский массив).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Геология* и генезис месторождений платиновых металлов. —М.: Наука, 1994.
2. *Кочнев-Первухов В.И., Заскин Е.С., Конкина О.М.* и др. Оценка платиноносности мафит-ультрамафитовых массивов // Руды и металлы. 1995. № 4. С. 20—28.
3. *Латыпов Р.М., Митрофанов Ф.П., Скиба В.И.* и др. Расслоенный интрузив Западно-Панских Тундр, Кольский полуостров: механизм дифференциации и последовательность становления // Петрология. 2001. Т. 9. № 3. С. 254—293.
4. *Николаев Г.С., Коптев-Дворников Е.В., Ганин В.А.* и др. Вертикальное строение Бураковско-Аганозерского расслоенного массива и распределение петрогенных элементов в его разрезе // Докл. РАН. 1996. Т. 347. № 6. С. 799—801.
5. *Cameron E.N.* The lower zone of the Eastern Bushveld complex in Olifants rifer trough // Journ. Petrol. 1978. Vol. 19. Part 3. P. 437—462.
6. *Cameron E.N.* Evolution of the lover critical zone, Central sector Eastern Bushveld complex and its chromite deposits // Econ. Geol. 1980. Vol. 75. № 6. P. 845—871.
7. *Cameron E.N.* The upper critical zone of the Eastern Bushveld complex — precursor of the Merensky reef // Econ. Geol. 1982. Vol. 77. № 6. P. 1307—1327.
8. *Ehlers D.L., du Toit M.C.* Explanation of the Nylstroom metallogenic map, sheet 2428, scale 1:250 000. —Council for Geoscience. 2002.
9. *Gain S.B., Mostert A.B.* Geological setting of the platinoid and base metal sulfide mineralization in the Platreef of the Bushveld complex in Drenthe, North of Potgietersrus // Econ. Geol. 1982. Vol. 77. № 6. P. 1395—1404.
10. *Hoatson D.M., Keays R.R.* Formation of platiniferous sulfide horizons by crystal fractionation and magma mixing in the Munni-Munni layered intrusion, West Pilbara Block, Western Australia // Econ. Geol. 1989. Vol. 84. № 7. P. 1775—1803.
11. *Mc Callum I.S., Radeke L.D., Mathez E.A.* Investigation of the Stillwater complex: part I. Stratigraphy and structure of the banded zone // Amer. Journ. of Science. 1980. Vol. 280-A. P. 59—87.
12. *Oosterhuis W.R.* Explanation of the Pilgrim's Rest metallogenic map, sheet 2430, scale 1:250 000. —Council for Geoscience. 2002.
13. *Schissel D., Tsvetkov A.A., Mitrofanov F.P.* et. al. Basal platinum-group elements mineralization in the Fedorov Pansky layered intrusion, Kola peninsula, Russia // Econ. Geol. 2002. Vol. 97. № 8. P. 1775—1803.
14. *Todd S.G., Keit D.W., Le Roy L.W.* et al. The J-M Platinum-Palladium reef of the Stillwater complex, Montana: geology and guide. Spec. Publ. 92. 1985.
15. *Wilson A.H., Tredoux M.* Lateral and vertical distribution of platinum-group elements and petrogenetic controls on the sulfide mineralization in the P1 pyroxenite layer of Gread Dyke, Zimbabwe // Econ. Geol. 1990. Vol. 85. P. 556—584.

УДК 553.481

А.В.Салаев, 2006

Геология никеленосных массивов ультрамафитов Ийско-Кукшерского прогиба (Восточный Саян)

А.В.САЛАЕВ (ФГУП «Иркутскгеофизика»)

В Ийско-Кукшерском прогибе Бирюсинской глыбы наибольшее количество рудоносных массивов ультрамафитов закартировано в бассейнах рек Желос, Дергапсы, Токты-Ой, Мандрюк. Согласно исследованию А.С.Мехоношина, Т.Б.Колотилиной и др. [1, 2, 3], минеральный состав ультрамафитов достаточно однообразен и отвечает амфиболитизированным лерцолитам. По их мнению, ультрамафиты — слабодифференцированные производные пикритовых магм. Лерцолитовые тела участвовали в складчатости, а формировались в условиях высоких давлений. Они тесно ассоциируют с амфиболитами, чаще локализуясь среди них, нередко образуют самостоятельные тела среди осадочных метаморфических пород.

Нами изучались гипербазит-базитовые массивы Мантагырский, Желосский, а также ультрабазитовый Токтыойский, в результате чего получены дополнительные данные по особенностям их строения и рудоносности.

Массив Мантагырский, площадь которого 22 км², расположен на водоразделе рек Мандрюк и Мантагыр (рис. 1). Он сложен метаморфизованными основными (амфиболиты) породами и ультрабазитами в соотношении (3—5):1, нередко чередующимися с мраморами, кальцифирами, гнейсами биотитовыми, дистен-гранат-биотитовыми, гранат-биотитовыми, двуслюдяными, реже кварцитами алхадырской свиты нижнего протерозоя. В породах отмечается развитие

мигматизации (вплоть до мигматитов), сопровождаемой образованием жил микроклиновых пегматитов, лейкогранитов, мусковитизацией и биотитизацией пород.

В массиве развиты разрывные нарушения северо-восточного и субширотного плана. Падение разломов обычно крутое. По широтным разломам отмечаются левосдвиговые смещения с дроблением, катаклизом, милонитизацией, а также окварцеванием, сульфидизацией (с пирротином, пиритом).

Породы массива смяты в сложнопостроенную опрокинутую к югу синформную структуру субширотного простирания. Форма массива чашеобразная. В южной и юго-западных частях мощность массива амфиболитов уменьшается. В восточном центриклинальном замыкании структуры шарнир погружается на запад под углами 70—75°, предполагается крутое погружение западного контакта интрузии на восток.

В центральной и южной частях массива в ядрах синформных структур обнажаются гнейсовые толщи алхадырской свиты. Геологические наблюдения и магнитометрические данные свидетельствуют об относительно пологом (20—40°) погружении шарниров, сложенных ультрабазитами складок на запад на правобережье р.Мандрюк. Широкое проявление складок в центральной и южной частях рассматриваемого массива, по-видимому, обуслов-