

## Особенность вещественного состава и специализация габбро-анортозитовых массивов Дальневосточного пояса на титановые и медно-никелевые руды

Копылов М.И., Тихомирова А.И.

*Институт тектоники и геофизики ИТиГ ДВО РАН, Хабаровск, Mishil.Kopa@mail.ru*

**Аннотация.** В работе рассмотрены и обобщены материалы региональных и крупномасштабных геолого-геофизических работ АО «Дальгеофизика», ИТиГ и др. в пределах габбро-анортозитовых массивов Дальневосточного пояса. По результатам этих исследований определены особенности глубинного строения габбро-анортозитовых массивов и закономерности размещения в пределах их титановой, медно-никелевой, фосфорной и ванадиевой минерализаций. Приводятся описание наиболее перспективных медно-никелевых и титановых рудопроявлений и месторождений.

**Ключевые слова:** габбро-анортозитовые массивы, титановые, медно-никелевые руды, месторождения, рудопроявления.

## Mineralogical composition and specialization of the gabbro-anorthosite massifs of the Far Eastern belt for titanium and copper-nickel ores

Kopylov M.I., Tikhomirova A.I.

*Institute of Tectonics and Geophysics, Khabarovsk, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Mishil.Kopa@mail.ru*

**Abstract.** The paper reviews and summarizes the data from regional and large-scale geological and geophysical studies of the Far Eastern gabbro-anorthosite belt carried out by JSC “Dalgeofizika”, ITiG, and others, which helped to define the deep structure of the gabbro-anorthosite massifs and the patterns in the distribution of titanium, copper-nickel, phosphorus, and vanadium mineralization in them. The copper-nickel and titanium ore occurrences and deposits indicating the highest economic potential are described.

**Key words:** gabbro-anorthosite massifs, titanium, copper-nickel ores, deposits, ore occurrences.

### Введение

Металлогеническая специализация магматических комплексов во многом определяется составом родоначальных расплавов и режимом их дифференциации. Сульфидное Cu-Ni оруденение в базитовых расслоенных массивах приурочено главным образом к сравнительно магнезиальным породам ранней стадии кристаллизации, что следует из известного геохимического поведения никеля и коллекторных свойств сульфидных фаз в отношении халькофильных элементов. Развитию сульфидного оруденения благоприятствует также пониженная щелочность расплава, что можно оценить по коэффициенту агпаитности –  $(K_2O+Na_2O)/Al_2O_3$ , пониженные значения которого способствуют сульфурзации расплава. Известно также, что никеленосные комплексы характеризуются преимущественно «боуэновским» трендом дифференциации. Для анортозитовых же массивов с характерными железо-титановыми проявлениями свойственен «феннеровский» тип с абсолютным и относительным накоплением железа, что обусловлено фракционированием в больших объемах плагиоклаза и, в меньшей мере, пироксенов при сравнительно низком окислительном потенциале (Ленников А.М., 1979).

### Модели образования медно-никелевых месторождений

Относительно механизма образования медно-никелевых месторождений существуют несколько моделей, из них наиболее значимы метасоматическая и ликвационная. По метасоматической модели происходит оливинизация пород с образованием мономинеральных оливинитов и мономинеральных медно-никелевых руд внутри оливинитов. Химизм процесса заключается в выносе из пироксенитов железа и привносе магнезия. Процесс происходит в твердом субстрате за счет ион-

ного замещения, чему способствует близость ионных радиусов хрома ( $1.27\text{\AA}$ ), магния ( $1.60\text{\AA}$ ) и железа ( $1.26\text{\AA}$ ) и электроотрицательность зарядов (в кДж/моль) 1045, 733 и 774 соответственно. В качестве источника меди и никеля выступают ультраосновные породы, но, вероятно, часть металла приносится ювенильными растворами вместе с магнием.

При рассмотрении ликвационной модели месторождений, связанных с дифференцированными интрузиями основного и ультраосновного состава, выявляются месторождения сульфидные, медно-никелевые и медно-никелево-платиновые. Месторождения этого типа встречаются сравнительно редко, но для них характерно однообразие геологических условий образования и состав руд. Генезис этих месторождений довольно сложный и не всегда однозначно относимый к ликвационному типу. Примером таких месторождений могут служить Норильское, Таланахское, Октябрьское, из зарубежных: Садбери и Томсон в Канаде, район Бушвельда в Южной Африке и Кун-Маньё на юге Дальнего Востока.

По агпаитности все габбро-анортозитовые массивы Дальневосточного региона имеют величину коэффициента агпаитности ( $K_a$ ) меньше единицы и относятся по этому признаку к миаскитовой группе. Это указывает, что ход кристаллизации магматического раствора происходил, когда силикатные минералы (полевые шпаты, фельшпатоиды) выделялись раньше, чем мафические (метасиликаты, слюды и др.). Наиболее низкими значениями коэффициента агпаитности характеризуются Лантарский, Баладекский и Брянтинские массивы (Баженова Г.Н., 1964; Копылов М.И., 2009). Для Сехтагского и Чогарского массивов характерен узкий диапазон значений  $K_a$ , это указывает, что их образование происходило в стабильной обстановке при выдержанном количестве щелочей и глинозема. Геранский и Куранахский массивы, напротив, формировались в длительный период времени и часто меняющихся обстановках, на что указывает широкий диапазон изменений коэффициента агпаитности от 0.05 до 0.5

### ***Медно-никелевая минерализация в пределах габбро-анортозитовых массивов***

В Лантарском габбро-анортозитовом массиве, выявленные рудопроявления меди, никеля и кобальта с включением платиновой группы минералов расположенные в его северной эндоконтактовой части (рис. 1). Лантарский массив является крайним (восточный фланг) в полосе базит-ультрабазитовых массивов, окаймляющих с юга древнейшие кристаллические образования Алданского щита Сибирской платформы. На рудопроявлении Няндомы кроме меди и никеля установлены содержание платины и палладия, в рудах Авланджинского и Одоринского рудопроявлений определена платина. Рудопроявление Одоринское залегает в горизонте пегматоидных габбро, габбро-норитовой зоны, рудопроявление Авланджинское-в горизонте пегматоидных анортозитов. Кроме пирротина руды содержат 3-5 % халькопирита, пентландит, пирит, марказит, висмутин, магнетит, титаномагнетит, ильменит, гидроокислы железа. Из минералов платиновой группы определены мончеит, сперрилит, котульскит, платино-палладиевый теллуру-висмутит. Работами ФГУП «Дальгеофизика» (с участием автора) и старательской артели «Восток» 1997-2000 гг. завершено изучение поверхности рудопроявлений, оценены ресурсы меди, никеля, платиноидов. Рудопроявление Няндомы по данным проведенных горных работ и опробования полотно канав и расчисток представлены сульфидизированными горизонтами. Рудопроявление приурочивается к подошвенной части горизонта представленного базитовыми разностями. Рудные интервалы имеют видимую мощность от 0.5 до 25 м со средним содержанием меди 0.22-1.01 %, никеля 0.17-0.54 %, кобальта 0.022-0.13 %. Кроме того, в рудных интервалах установлено наличие платины до 4.94 г/т, палладия до 2.6 г/т, золота до 1.78 г/т.

В пределах рудопроявление Контактное выделяется одноименная зона, изученная детальными исследованиями в интервале более 2.5 км. В пределах изученной части зоны общая суммарная длина аномальных полос (горизонтов), фиксируемых ореолами меди, никеля, кобальта, превышает 5000 м. В пробах из эпицентров геохимических аномалий, содержания золота и платины составляют 0.01-0.06 г/т и 0.01-0.98 г/т соответственно. По результатам опробования канав и скважин, среднее содержание компонентов во вкрапленных сульфидах зоны Контактной составляют: нике-

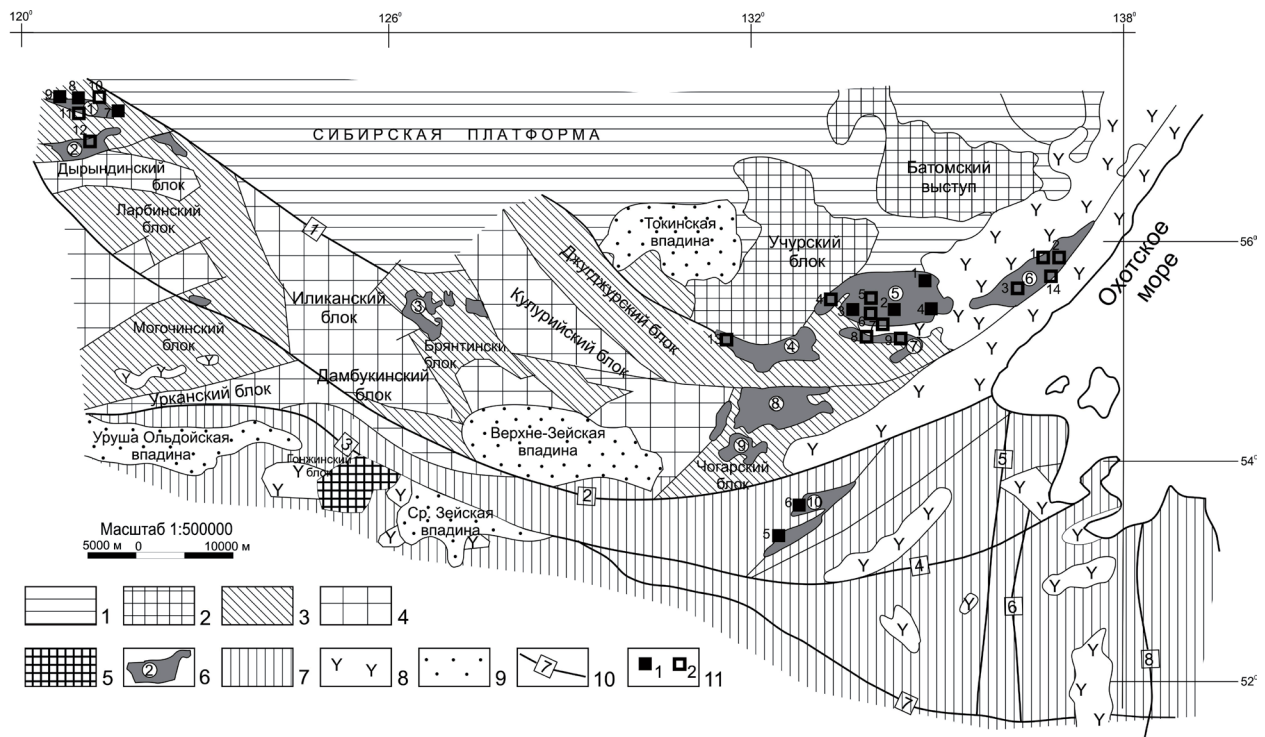


Рис. 1. Структурная позиция Восточно-Азиатского анортозитового пояса на схеме докембрийской тектоники Сибири и Дальнего Востока.

1 – Сибирская платформа; 2-5 – архейские гнейсы и кристаллические сланцы: 2 – нижнего архея (Алданский Щит), 3 – нижнего и 4 – верхнего архея (Становая складчатая область), 5 – докембрийского возраста; 6 – габбро-анортозитовые (с выходами ультраосновных пород) и их названия: 1 – Куранахский, 2 – Брянтинский, 3 – Кун-Маньенский, 5 – Геранский, 6 – Лантарский, 7 – Джанинский, 8 – Сегтахский, 9 – Чогарский, 10 – Баладекский; 7 – Монголо-Охотская ГСС; 8 – вулканиты (J-K); 9 – современные впадины; 10 – основные тектонические нарушения и их названия: 1 – Становой, 2 – Северо-Тугурингрский, 3 – Южно-Тугурингрский; 4 – Тугурский, 5 – Торомский, 6 – Нимеленский, 7 – Пауканский, 8 – Центрально-Сихотэ-Алинский; 11 – месторождения титана (1): 1 – Геранское, 2 – Гаюмское, 3 – Богидэ, 4 – Маймаканское, 5 – Урожайное, 6 – Двавакит, 7 – Б. Сейим, 8 – Саикта, 9 – Куранах; рудопоявления (2): 1 – Муддакинда, 2 – Лантарское, 3 – Мутэхское, 4 – Усомахское, 5 – Правобережное, 6 – Сорогское, 7 – Сололинское, 8 – Сахарбинское, 9 – Джанинское, 10 – Балтылах, 11 – Водораздельное; 12 – Имангайтское: медно-никелевые, 13 – Соболевское, 14 – Нянди.

Fig. 1. Schematic map of the Precambrian tectonics of Siberia and the Far East of Russia showing structural position of the East Asian anorthosite belt.

1 – Siberian Platform; 2-5 – Archean gneisses and crystalline schists: 2 – Lower Archean (Aldan Shield), 3 – Lower and 4 – Upper Archean (Stanovaya folded area), 5 – Precambrian age; 6 – gabbro-anorthosite (with ultrabasic rock outcrops) and their names: 1 – Kuranakhsy, 2 – Bryantinsky, 3 – Kun-Manyonsky, 5 – Geransky, 6 – Lantarsky, 7 – Dzhaniinsky, 8 – Segtakhsy, 9 – Chogarsky, 10 – Baladeksky; 7 – Mongolo-Okhotsk GSS; 8 – volcanic rocks (J-K); 9 – present-day depressions; 10 – main faults and their names: 1 – Stanovoy, 2 – North-Tuguringrsky, 3 – South-Tuguringrsky; 4 – Tugursky, 5 – Toromsky, 6 – Nimelensky, 7 – Paukansky, 8 – Central-Sikhote-Alinsky, 11 – titanium deposits (1): 1 – Geranskoye, 2 – Gayumskoye, 3 – Bogide, 4 – Maimakanskoye, 5 – Urozhainoye, 6 – Dvavakit, 7 – Bolshoy Seyim, 8 – Saikta, 9 – Kuranakh; ore occurrences (2): 1 – Muddakinda, 2 – Lantarskoye, 3 – Mutekh, 4 – Usumakh, 5 – Pravoberezhnoye, 6 – Sorogskoye, 7 – Sololinskoye, 8 – Sakharbinskoye, 9 – Dzhaniinskoye, 10 – Baltylakh, 11 – Vodorazdelnoye; 12 – Imangaitskoye: copper-nickel, 13 – Sobolevskoye, 14 – Nyandi.

ля 0.11 %, меди 0.212 %, кобальта 0.039 %, платиноидов 0.17 г/т, золота 0.01-0.08 г/т, серебра 1-6 г/т. В массивных пирротиновых рудах содержание никеля составляет 0.5-0.6 %, меди 0.5-3.0 %, кобальта до 0.2 %. Средняя суммарная мощность рудоносных интервалов в каждом из 3 сечений по скважинам составила 7.3м.

Рудопроявление Пирротиновое представлено одноименной зоной, которая выделяется разноориентированными фрагментами горизонта вкрапленных и массивных сульфидных руд, выведенных на дневную поверхность в зоне разломов северо-восточного направления, протяженность ее около 1.5 км, ширина 0.7 км. Мощность массивных руд составляет 2.6 м.

Массивные руды – существенно пирротиновые с халькопиритом и пентландитом, гнездами и полосами грязно-зеленого волоарита. Содержание рудных элементов в среднем (на площадь рудного тела около 1.05 км<sup>2</sup>) составило: никеля – 0.66 %, меди – 0.82 %, кобальта 0.14 %, платиноидов – 1.63 г/т.

Рудопроявления Озерное, Авланджинское, Одоринское-1, Одоринское-2 выделяются в пределах нижнего рудоносного горизонта ранее проведенными работами в интервале 1750 м, представлены линзами сплошных пирротиновых руд размерами от первых метров до 50×40 м. Эти параметры определяют только видимый выход рудного тела, т.к. в промежутках между линзами отмечаются интенсивные ореолы меди, никеля и кобальта. *Массив Кунь-Маньё* располагается на юго-восточной окраине Алдано-Станового щита Сибирской платформы. Здесь в последние годы поисковыми и поисково-оценочными работами силами ФГУПП «Дальгеофизика» (с участием одного из авторов) была выявлена серия рудоносных структур и рудопоявлений с медно-никелевой минерализацией промышленного типа.

Ареал распространения рудных и рудоносных тел мафит-ультрамафитов кун-маньёнского комплекса, по данным поисковых работ, выделяется в ранге рудного узла. Пространственно этот ареал приурочен к юго-западной краевой части Кун-Маньёнского массива раннеархейских метагэбброидов майско-джанинского комплекса, на отдельных участках – к вмещающим его метаморфитам джанинской серии зоны экзоконтакта. Рудные и рудоносные тела мафит-ультрамафитов следятся в виде роя в полосе шириной 1-2 км, протягивающегося в северо-западном направлении на протяжении 14 км. Фрагментарно эта рудоносная зона прослежена поисковыми маршрутами и гравиметрической съемкой на северо-запад за пределы рудного узла Кун-Маньё на 40 км.

В пределах рудного узла выявлено около 30 крупных и десятки мелких интрузий мафит-ультрамафитов, расположенных группами, часто в несколько ярусов, реже отмечаются одиночные разрозненные тела. Породы этого рудоносного комплекса представлены вебстеритами, плагио вебстеритами (габбро-норитами), гарцбургитами, лерцолитами, клино- и ортопироксенитами, горнблендитами, верлитами. Наиболее широко среди них распространены вебстериты и плагио вебстериты. Они слагают в основном полого падающие на северо-восток и север, плитообразные и линзовидные тела мощностью от 0.1-1 м до 70-80 м и протяженностью от 50 м до 1-3 км, и лишь в редких случаях – круто падающие маломощные (до 1 м) и непротяженные линзовидно-инъекционной формы жилы.

Кроме охарактеризованных габбро-анортозитовых и базит-гипербазитовых массивов несущих медно-никелевую минерализацию в промышленных масштабах в пределах восточной части Дальневосточного пояса, в его центральной и западной частях существуют ряд более мелких массивов (Лучанский, Лукиндинский, Ильдеусский, Гетканский, Уркиминский, Хорогочинский, Брянтинский, Ильдеусский, Маристый, Кенгуракский) перспективных на выявление медно-никелевой минерализации с повышенным содержанием платиноидов и золота.

### ***Титановая, фосфорная и ванадиевая минерализация в габбро-анортозитовых массивах***

В пределах габбро-анортозитовых массивов Дальневосточного пояса комплексными геолого-геофизическими исследованиями изучены более 50 рудопоявлений и четыре крупных месторождения апатито-титановых руд. Среди них выделено четыре генетических типа: раннемагматический, позднемагматический, метаморфический и метасоматический (Беляев Е.В. и др., 1981) минерализации. К раннемагматическому типу относятся крупные месторождения Богидэ и ряд проявлений локализованных в краевой фации Геранского массива, в основании и верхней части расчлененной серии. Рудные тела имеют пластообразную, реже линзовидную формы и залегают соглас-

но с вмещающими габброидами, имея с ними постепенные переходы. Рудная зона, вмещающая месторождение Богидэ, прослежена по данным магниторазведки и горными выработками на протяжении более 10 км. Строение зоны неоднородное, на северо-западном фланге и в ее центральной части руды представлены вкрапленным типом апатит-титановых руд со средними содержаниями  $P_2O_5$  (3.4-4.5 %) и  $TiO_2$  (3.5-5.5 %), которые чередуются с рядовыми рудами  $P_2O_5$  (5.3-6.4 %) и  $TiO_2$  (6.5-8.5 %). Мощности тел, слагающих зону, изменяются от 10 до 80 м при протяженности от 400 до 3000 м. Среди богатовкрапленных руд встречаются линзообразные тела массивных ильменит-титаномагнетит-apatитовых руд с высокими содержаниями  $P_2O_5$  (8-10 %) и  $TiO_2$  (10.8-17.1 %).

Каларский габбро-анортозитовый массив относится к типу андезитовых (Беляев Е.В. и др., 1981). По данным гравитационного и магнитного полей он является фрагментом одного крупного плутона, разделенного зонами гранитизации и блоковой тектоники. Сохранилась центральная часть этого плутона в виде Куранахского массива площадью более 1500 кв.км. По данным детальных геолого-геофизических исследований отмечаются постепенные переходы между фациями, в анортозитах в сторону краевой фации увеличивается количество шлировых обособлений габбро, габбро-норитов и они приобретают линейные формы и в краевой фации следует ритмичное чередование слоев анортозитов, габбро, габбро-анортозитов, габбро-норитов. В пределах Куранахского массива по аэромагнитной и наземной магнитометрической съемках выявлено более 25 титано-железистых рудопроявлений, два мелких месторождения Куранахское, Саиктинское и уникальное месторождение Большой Сэйим (Копылов М.И., 2009). В геологическом строении этого уникального месторождения принимают участие образования позднеархейского габбро-анортозитового комплекса, формирование которого происходило в три последовательные фазы. Магнетит-ильменитовое оруденение пространственно и генетически связано с формированием второй фазы, представленной роговообманковыми оливин-гранатсодержащими метагабброидами и ультрамафитами. Месторождение Большой Сэйим по геолого-геофизическим данным представлено единым штокообразным телом, выходы которого на дневную поверхность близки к подковообразной форме. При оконтуривании по борту 5 %  $TiO_2$  рудное тело разделяется на две зоны: Восточную и Западную. Восточная зона представляет собой крутопадающую линзовидную залежь. Содержания  $TiO_2$  по сечениям меняются от 7.31 до 11.48 % при среднем содержании 8.45 %, железа общего 17.98 %, железа магнетитового 9.73 %,  $V_2O_5$  – 0.1 %,  $P_2O_5$  – 1.4 %.

Западная зона в морфологическом отношении представляет собой крутопадающую залежь с падением на ЮЗ под углами 75-85°. Протяженность зоны-550 м., мощность её изменяется от 180 м до 379 м и в среднем равна 220 м. Средние содержания  $TiO_2$  в сечениях изменяются от 7.02 до 10.67 % и в среднем составляют 8.32 %, железа общего 17.73 %, железа магнетитового – 3.58 %;  $V_2O_5$  – 0.1 %;  $P_2O_5$  – 1.03 %.

Обсуждение результатов выполненных исследований. Приведенные данные геолого-геофизических исследований Дальневосточного анортозитового пояса показали, что при сходном вещественном и минералогическом составов они несут разную минерализацию. Одни массивы несут руды халькофильно-сидорофильной (Cu, Ni, Co, Ti, Au, Pt), другие литофильной (P, Ti, V, Cr, Mn, Zr) групп и рассеянных Sc, Y, Nb элементов. Раннемагматические руды локализованы чаще всего в образованиях краевой фации, в основании расслоенных анортозитовых массивов и верхних частях на границе с анортозитами центральной фации. Позднемагматические залежи концентрируются в большей степени в образованиях центральной анортозитовой фации в области ее сочленения с расслоенными габброидами краевой фации.

На Геранском массиве преобладает ильменит-титаномагнетит-apatитовые руды, а на Сехтагском, Каларском массивах – магнетит-ильменитовые руды, несмотря на отнесение их к одному андезитовому типу. Возможно, это связано с разной степенью эрозионного среза, а также различной интенсивностью метаморфических преобразований. Последний процесс способствует также изменению минерального и вещественного состава руд. Перекристаллизация и старение структур распадается способствует разделению титаномагнетита на две самостоятельные фазы-ильменитовую и магнетитовую. Высокотемпературный метаморфизм руд связан преимущественно с процессами грани-

тизации, где происходит вынос более подвижного железа и концентраций геохимически инертного титана и облагораживание руд. В связи с этим на промышленно титано-магнетитовое оруденение более перспективными являются анортозитовые массивы и их части, которые претерпели интенсивную гранитизацию.

#### **Литература**

1. Баженова Г.Н. Геологическое положение и строение Каларского анортозитового массива. Геология и геофизика. 1964. № 11.
2. Беляев Е.В., Панских Е.А., Файзулин Р.М., Роганов Г.В., Гаврилов В.В. Минерагеническая специализация и перспективная оценка Джугджуро-Становой апатитоносной провинции // Геология и геофизика. 1981. № 12. С. 55–63.
3. Копылов М.И. Прогнозно-поисковые признаки и критерии титановых и медно-никелевых месторождений в пределах Дальневосточного габбро-анортозитового пояса // Руды и металлы. 2009. № 4. С. 45–56.
4. Ленников А.М. Анортозиты юга Алданского щита и его складчатого обрамления. М. Наука. 1979. С. 10–21.