

ПЕТРОГРАФИЯ ПОРОД ВТОРОЙ ФАЗЫ ЗОЛОТУХИНСКОГО КОМПЛЕКСА (СТРУКТУРНО-ФОРМАЦИОННАЯ ЗОНА КМА)

П. С. Бойко

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 28 сентября 2010 г.

Аннотация. В составе пород второй фазы золотухинского комплекса КМА, представленных в петротипическом Смородинском массиве, выделяются три группы пород: в различной степени амфиболизированные крупно-среднезернистые габбронориты и нориты, мелкозернистые измененные габбронориты и дайково-жильные образования. В работе приведено их подробное петрографическое описание с определением состава ведущих минеральных фаз. Осуществлена предварительная оценка условий формирования амфиболов в породах комплекса.

Ключевые слова: габбронориты, петрография, амфиболизация, КМА.

Abstract. As a part of presented in petrotypical Smorodinsky massif rock associations of the second phase of zolotukhinsky complex KMA, there are three groups of rocks allocated: in various degree amphibolized large-medium-grained gabbronorites and norites, fine-grained altered gabbronorites and dyke-veine formations. In work their detailed petrographic description with definition of structure of leading mineral phases is resulted. The tentative estimation of conditions of formation amphiboles in rock associations of a complex is carried out.

Key words: gabbronorites, petrography, amphibolisation, KMA

Введение

Ассоциации пород золотухинского комплекса широко развиты в пределах центральной части Курского структурно-вещественного блока (КМА) Воронежского кристаллического массива (ВКМ). Изначально комплекс пород габбронорит-гипербазитовой формации выделялся как тросянский габбро-перidotитовый комплекс [1]; в некоторых источниках [2; 3] из-за близости по ряду параметров с никеленосным мамонским комплексом Хоперского блока ВКМ их отнесли к габбронорит-гипербазитовому тросянско-мамонскому комплексу, позже он был выделен как отдельный малоархангельский тип [4] и лишь в 1999 г. породы формации обрели статус самостоятельного образования – двухфазного (гипербазитовая и базитовая фазы) дунит-перidotит-габброноритового золотухинского комплекса. Породы комплекса в значительной степени подвержены метаморфическим изменениям, в результате чего породы первой фазы представлены преимущественно серпентинитами, а базиты второй фазы амфиболизированы.

В настоящее время комплекс недостаточно исследован на предмет диагностики его современной геодинамической природы – места и роли в эволюции КМА, а также в связи с возможностью

обнаружения в его породах благороднометалльной минерализации, промышленных концентраций ванадийсодержащих титаномагнетитовых руд, а также рудопроявлений меди и никеля.

Методы исследования

В ходе выполнения исследований использовался апробированный комплекс методов. Полевые исследования включали тематическую документацию керна скважин на базе кернохранилища ФГУПП «Югозапгеология» (п. Черницыно Курской области) с отбором образцов для изготовления шлифов и проб горных пород на химико-аналитические исследования. Исследование петрографического и минерального состава пород проводилось оптическими методами в прозрачно-полированных и прозрачных шлифах с использованием поляризационного микроскопа ПОЛАМ Р-211. Состав породообразующих минералов определен в ИГЕМ РАН (г. Москва; аналитик Л. О. Магазина) рентгеноспектральным локальным микроанализом на сканирующем электронном микроскопе Jeol JSM-5300 (Япония) с энергодисперсионным аналитическим спектрометром Link ISIS (Великобритания). Количественный анализ осуществлялся по стандартной процедуре PhyRoZ с применением пользовательского набора эталонов. Ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда 25 нА, диаметр зонда 5 мкм. Расчет кристаллохимических

формул породообразующих минералов произведен с помощью программного петрологического комплекса PetroExplorer v.2.3.

1. Геологическое строение петротипических массивов второй фазы золотухинского комплекса

Интузивные образования золотухинского комплекса распространены в центральной части Курского структурно-вещественного блока (Северо-Восточная часть Сарматии) и приурочены (рис. 1) к краевым частям Орловско-Белгородского (Оскольского) макроблока и сопряженных с ним рифтогенных структур: Михайловской, Орловской, Тим-Ястребовской и Волотовской. Судя по

геофизическим аномалиям и данным заверочного бурения, выделяются как самостоятельные ультрамафитовые (Золотухинский участок), так и пространственно совмещенные с габброидами двухфазные интрузии (Смородинский массив).

Для массивов золотухинского комплекса вмещающими породами являются разнообразные осадочно-метаморфические образования, включающие гнейсы, мигматиты и амфиболиты обоянского плутонометаморфического комплекса (ПМК) и михайловской серии. Тела представляют собой штокообразные или межпластовые полого- и крутопадающие образования, имеющие в плане овально-вытянутую, округлую и реже неправильную форму; размер их колеблется от 0,5 до 30 км².

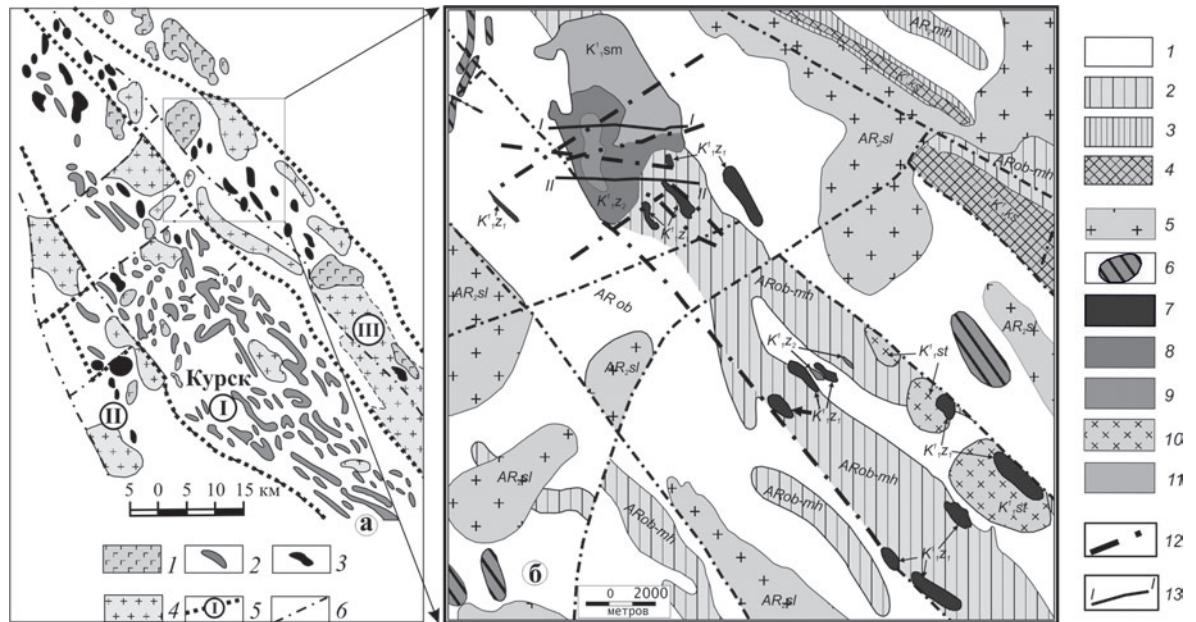


Рис. 1. Особенности размещения ультрамафит-мафитовых интрузий: а) в пределах Курско-Бесединского блока (по [5]); б) схематическая карта Смородинского и Золотухинского участков (по [3, 5, 6] с дополнениями). Примечания к а): 1 – габбродолериты трапповой формации (смородинский комплекс); 2 – перидотит-пироксенит-габброноритовые тела бесединского комплекса в ассоциации с высокожелезистыми коматит-базальтовыми вулканитами, метаморфизованными в условиях гранулитовой фации; 3 – ультрамафит-мафитовые тела дунит-перидотит-габброноритовой формации (золотухинский комплекс); 4 – гранитоиды разных возрастов и формаций; 5 – границы раннеархейского Курско-Бесединского блока (I) и раннекарельских зон – Михайловской (II), Зиновьевско-Мантуровской (III); 6 – тектонические нарушения.

Примечания к б): 1 – гнейсы разного состава, мигматизированные с прослоями амфиболитов, мигматиты обоянского ПМК; 2 – нерасчлененные породы (гранитизированные метабазиты, мигматиты, гнейсы) обоянского ПМК и михайловской серии; 3 – метаморфизованные кварцевые порфиры, кристаллические сланцы и метабазиты михайловской серии; 4 – железистые кварциты, слюдистые и филлитовые сланцы, метапесчаники и метаконгломераты, метабазиты курской серии; 5 – плагиограниты, тоналиты, гранодиориты, дайки плагиогранитов, мигматиты салтыковского мигматит-плагиогранитового комплекса; 6–9 – породы золотухинского дунит-перидотит-габброноритового комплекса: нерасчлененные ультраосновные и основные породы, незаверенные бурением (6), дуниты, перидотиты, серпентиниты, пироксениты 1-й фазы (7), габбронориты, нориты, амфиболизированное габбро 2-й фазы (8) и микроклинизированные габбронориты апикальных частей интрузии (9); 10 – габбродиориты, гранодиориты стойло-николаевского комплекса; 11 – габбродолериты, троктолиты, долерит-пегматиты смородинского комплекса; 12 – тектонические нарушения; 13 – профили разрезов и их номер

Петрография пород второй фазы золотухинского комплекса (структурно-формационная зона КМА)

Петротипический для пород второй фазы золотухинского комплекса Смородинский массив расположен в зоне пересечения Севско-Шульгинского (субпараллельного), Крупецко-Княжевского (северо-восточного заложения), Краснояружско-Малоархангельского (северо-северо-восточного заложения) и Льговско-Валуйского (северо-западного заложения) разломов. Он представляет

собой сочленение штокообразного тела ультрамафит-мафитовых пород золотухинского комплекса и прорывающего их силлоподобного тела габродолеритов смородинского комплекса (рис. 2). Первые вскрыты скважинами № 3001, 3009, 3010, 3011, 3021, 3030, 3031, 3032, 3033, а апикальные части в виде гранитизированных габроноритов отмечены в скважинах № 3012, 3022, 3024.

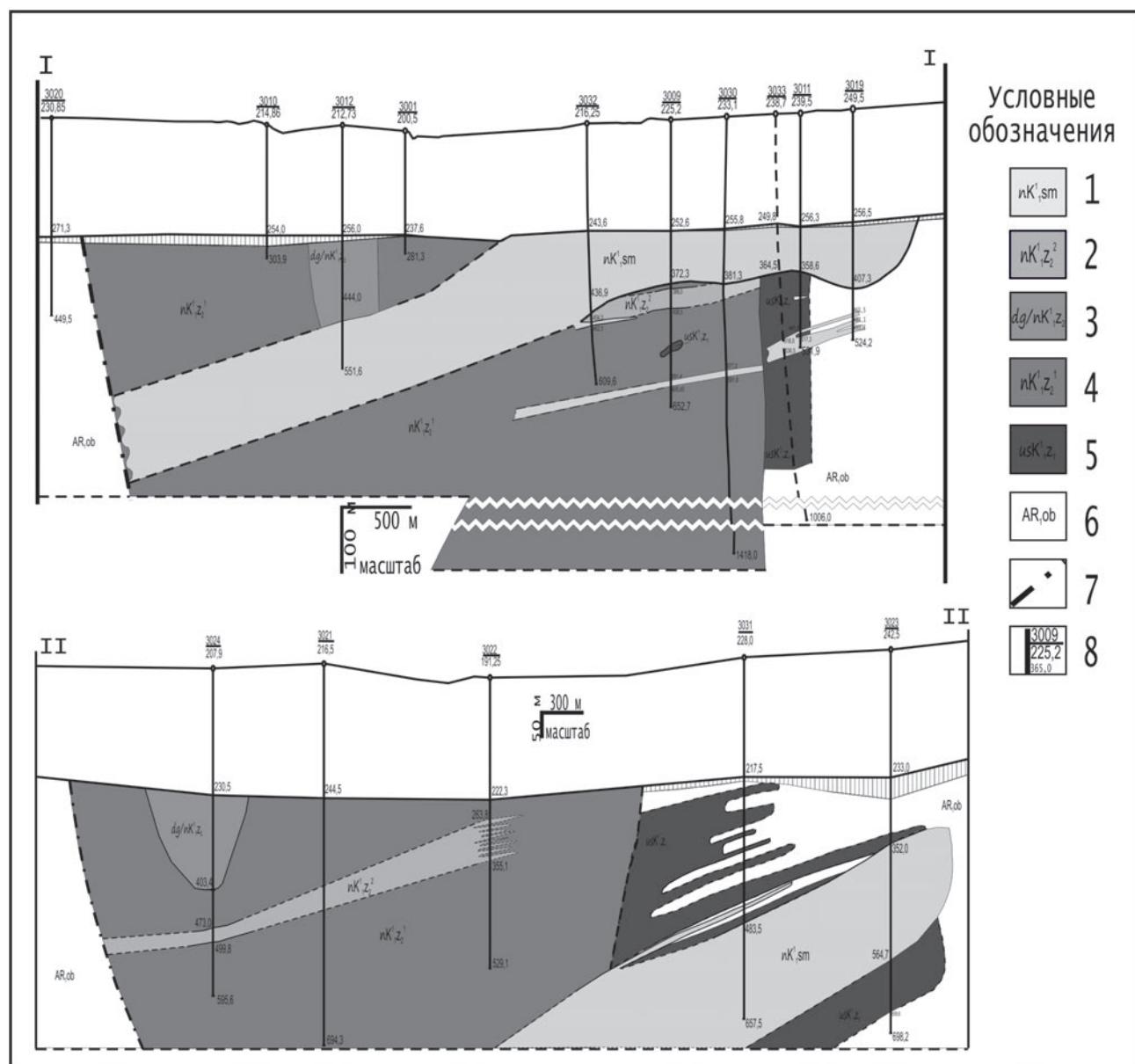


Рис. 2. Геологические разрезы Смородинского массива по профилям I–I и II–II (по [6] с дополнениями): 1 – габродолериты, троктолиты, долерит-пегматиты смородинского комплекса; 2–4 породы второй фазы золотухинского комплекса: 2 – мелкозернистые габронориты с директивной текстурой (вторая подфаза); 3 – интенсивно насыщенные жильными телами микрогаббро, диоритов и плагиогранитов, ксенолитами вмещающих пород габронориты апикальных частей интрузии (первая подфаза) и 4 – крупно-среднезернистые амфиболизированные габронориты, участками до норитов (первая подфаза); 5 – дуниты, перидотиты, серпентиниты, пироксениты первой фазы золотухинского комплекса; 6 – гранито-гнейсы, гнейсы и амфиболиты обоянского плутонометаморфического комплекса; 7 – тектонические нарушения; 8 – скважины, их номера и отметки реперных горизонтов

Породную ассоциацию первой фазы слагают в разной степени серпентинизированные, оталькованные и амфиболизированные на контактах и в зонах тектонических нарушений ультраосновные породы. В них преимущественное значение имеют аподунитовые и, в большей степени, апоперидотитовые серпентиниты. Породы второй фазы преобладают как среди интрузий золотухинского комплекса, так и в разрезе Смородинского интрузива и представлены габброноритами с различной степенью вторичных изменений (амфиболизированные, местами биотитизированные, окварцованные и хлоритизированные). Эти породы инъецированы многочисленными жилами биотитовых плагиогранитов, а также прорываются силлоподобным телом габбродолеритов смородинского комплекса с возрастом формирования 2060 ± 10 млн лет [6], следовательно, породы золотухинского комплекса сформировались не позже этой даты.

2. Петрография

В объеме ассоциации пород второй фазы выделено несколько групп пород, вероятно, сформированных на различных этапах становления массива.

1. Крупно-среднезернистые габбронориты (участками до норитов) слагают основное тело массива. Представлены в основном мезо- и меланократовыми разностями, в различной степени амфиболизированными от сравнительно «свежих» разновидностей до амфибол-плагиоклазовых пород (по составу соответствующих роговообманковым габбро и диоритам). В зонах контактов подвержены вторичным изменениям: биотитизации, окварцеванию, хлоритизации.

2. Небольшие (мощностью до 50 м) тела мелкозернистых, в различной степени амфиболизированных габброноритов с директивной текстурой. Прорывают крупно-среднезернистые габбронориты.

3. Дайковые и жильные образования, распространенные повсеместно с различной степенью насыщенности: микрогаббро, плагиограниты, диориты.

Кроме того, в апикальной части массива отмечены отдельные реликтовые прослои (ксенолиты) биотитовых плагиогнейсов.

2.1. Крупно-среднезернистые габбронориты

Структура пород гипидиоморфнозернистая и габбровая, в участках биотитизации и окварцевания гранобластовая, текстура массивная. Контактовые взаимоотношения очень четкие: участки

взаимодействия с ультраосновными породами сопровождаются зонами метасоматических преобразований последних (тремолитизация, оталькование, хлоритизация, карбонатизация). Мощности зон контактных изменений различны – от 0,5 до 3–10 м. Габбронориты, в свою очередь, приближении к контакту с гипербазитами становятся более мелкокристаллическими, обогащенными биотитом и амфиболами [3].

Габбронориты и гипербазиты золотухинского комплекса, в свою очередь, секутся габбродолеритами смородинского комплекса, на контакте с которыми габбронориты подвержены амфиболизации, развитию биотита, пироксены полностью замещаются грубоволокнистым тремолитом и зеленой роговой обманкой с выделением магнетита.

Габбронориты характеризуются среднезернистой габбровой структурой, обусловленной сочетанием короткопризматических пироксенов (2,5–3,0 мм) с таблитчатыми плагиоклазами (3,0–3,5 мм). Плагиоклазы слагают 35–70 об.% объема породы и представлены двумя генерациями: 1) гипидиоморфные кристаллы таблитчатой формы, иногда зональные с размером зерен 2,0–3,5 мм, по составу (табл. 1) соответствуют лабрадорубитовитну (An_{50-71}) – $Ca_{0,54-0,66}Na_{0,26-0,45}[Al_{1,41-1,94}Si_{2,13-2,57}O_8]$; 2) удлиненные (0,5–1,0 × 2,5 мм) зерна с частым параллельным двойникование, представленные андезином (An_{32-48}) – $K_{0,01-0,11}Ca_{0,31-0,54}Na_{0,45-0,62}[Al_{1,32-1,65}Si_{2,36-2,68}O_8]$. Большинство из них несет следы деформации, что выражается в изгибе кристаллов и двойников.

Ромбические пироксены составляют от 20 до 40 об.%, в меланократовых разновидностях – до 50–60 об.%, представлены зернами размером от 0,3 до 1,5 мм и зачастую имеют изометрическую, округлую форму. По составу (табл. 2) пироксен соответствует гиперстену ($En_{58-60}Wo_{2-6}Fs_{35-39}$) – $Ca_{0,05-0,11}(Mg_{1,15-1,18}Fe_{0,58-0,75})[Si_{1,91-1,96}O_6]$, иногда бронзиту ($En_{71-73}Wo_{2-8}Fs_{20-27}$) – $Ca_{0,04-0,15}(Mg_{1,34-1,41}Fe_{0,38-0,49})[Si_{1,95-2,02}O_6]$, обладает выраженным плеохроизмом (N_g – розоватый, N_p – серовато-голубоватый) и низким двупреломлением ($N_g - N_p = 0,010-0,020$). Моноклинный пироксен в габброноритах имеет подчиненное значение (5–15 об.%). Он представлен ксеноморфными зернами авгита и при низких значениях двупреломления ($N_g - N_p = 0,020$) характеризуется значительным углом погасания $C_{N_g} - 35-40^\circ$ и отсутствием плеохроизма. В большинстве случаев пироксены замещены вторичными амфиболами и встречаются в виде реликтов.

Петрография пород второй фазы золотухинского комплекса (структурно-формационная зона КМА)

Таблица 1

Микрозондовые рентгеноспектральные анализы плаэзоклазов

Скв. Гнуб.	3009 589,0	3030 565,5	3030 565,5	3032 565,0	3021 569,0	3032 565,0	3032 565,0	3022 380,0	3022 262,5	3024 426,0	3012 430,0	3022 310,0	
SiO ₂	55,65	57,36	59,49	56,75	53,73	48,27	47,00	55,58	53,39	52,98	52,90	53,01	56,84
TiO ₂	0,14	—	0,23	—	—	0,02	0,04	0,15	0,15	0,30	0,13	0,10	—
Al ₂ O ₃	26,44	26,40	25,51	26,42	26,74	27,62	34,55	36,25	28,19	30,43	29,21	31,11	29,42
FeO	0,32	0,17	0,45	0,27	0,39	0,64	0,07	0,61	0,25	0,24	0,35	0,07	0,13
MnO	—	0,21	—	—	0,13	—	0,02	—	0,12	0,02	0,00	—	—
MgO	—	—	—	—	—	0,01	0,01	0,00	0,05	0,00	0,00	0,04	—
CaO	11,88	11,30	6,31	11,42	13,21	13,26	12,91	7,91	9,34	9,30	10,34	9,89	10,86
Na ₂ O	5,18	4,99	6,03	5,11	3,85	3,87	3,18	2,96	7,45	6,04	7,22	5,25	5,42
K ₂ O	—	0,10	1,87	0,11	0,16	0,19	0,05	0,04	0,08	0,08	0,03	0,05	0,08
Сумма	99,61	100,5	99,89	100,1	98,20	99,30	99,40	99,82	99,68	99,84	99,41	99,87	98,09
													99,91
													100,2
													99,18
													100,6
													99,68
													100,7
<i>Количество ионов в формульной единице (на 8 O)</i>													
Si	2,531	2,591	2,682	2,571	2,499	2,470	2,204	2,139	2,477	2,393	2,367	2,382	2,429
Ti	0,005	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,005	0,010	0,004	0,003	0,000
Al ^{IV}	1,417	1,405	1,355	1,410	1,466	1,496	1,944	1,858	1,480	1,607	1,538	1,651	1,589
Fe ⁺²	0,012	0,006	0,017	0,010	0,015	0,025	0,003	0,023	0,009	0,013	0,005	0,013	0,010
Mn	0,000	0,008	0,000	0,000	0,005	0,000	0,001	0,001	0,003	0,005	0,001	0,001	0,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,579	0,547	0,305	0,554	0,658	0,647	0,629	0,378	0,448	0,445	0,499	0,485	0,527
Na	0,456	0,437	0,527	0,448	0,347	0,345	0,281	0,261	0,643	0,525	0,625	0,458	0,481
K	0,000	0,006	0,107	0,006	0,009	0,011	0,003	0,002	0,005	0,005	0,002	0,003	0,005
													0,006
													0,003
<i>Нормативные составы</i>													
An	55,9	55,3	32,5	54,9	64,9	64,7	69,5	70,8	36,8	45,9	41,5	52,0	50,0
Ab	44,1	44,2	56,1	44,5	34,2	30,2	29,2	62,7	53,7	49,5	46,7	48,4	40,7
Ort	0,0	0,6	11,5	0,6	0,9	1,1	0,3	0,4	0,5	0,2	0,3	0,5	2,6
													0,6
													0,3

Таблица 2

Микрозондовые рентгеноспектральные анализы пироксенов

Скважина	3032	3032	3032	3032	3032	3032	3032
Глубина	565,0	565,0	565,0	565,0	565,0	565,0	565,0
SiO ₂	51,15	48,53	52,46	51,95	53,91	55,97	54,27
Al ₂ O ₃	2,34	1,58	2,04	1,20	1,77	1,39	1,03
TiO ₂	0,29	—	0,41	0,15	0,35	0,24	0,19
Cr ₂ O ₃	0,31	—	—	0,33	0,54	0,16	0,00
FeO	22,39	20,14	22,12	23,95	14,40	12,65	16,83
MnO	0,29	0,42	0,46	0,51	0,48	0,16	0,29
MgO	20,93	19,94	20,68	20,42	26,10	25,02	25,43
CaO	1,64	2,49	2,61	1,18	1,51	4,11	0,89
Na ₂ O	0,21	0,26	0,38	—	0,31	0,00	0,41
K ₂ O	0,32	—	—	—	0,00	0,17	0,11
V ₂ O ₅	—	—	—	—	0,38	0,06	0,21
Сумма	99,87	93,36	101,04	99,69	99,72	99,91	99,64
<i>Количество ионов в формульной единице (на 6 O)</i>							
Si	1,911	1,933	1,941	1,963	1,957	2,025	1,979
Ti	0,008	0,000	0,011	0,004	0,010	0,010	0,005
Al ^{IV}	0,089	0,067	0,059	0,037	0,043	0,000	0,021
Al ^{VI}	0,014	0,007	0,030	0,017	0,032	0,059	0,023
Cr	0,009	0,000	0,000	0,010	0,015	0,005	0,000
Fe ⁺²	0,619	0,589	0,657	0,754	0,436	0,382	0,491
Mn	0,009	0,014	0,014	0,016	0,015	0,005	0,009
Mg	1,165	1,183	1,140	1,149	1,411	1,348	1,381
Ca	0,066	0,106	0,103	0,048	0,059	0,159	0,035
Na	0,015	0,020	0,019	0,000	0,022	0,000	0,029
K	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,005
<i>Нормативные составы</i>							
Fs	36,5	34,7	36,0	39,2	23,48	20,4	26,9
Wo	3,4	5,4	5,3	2,4	3,06	8,4	1,8
En	60,1	60,0	58,72	58,4	73,46	71,2	71,3

Второстепенные минералы представлены ксеноморфными биотитом (5–10 об.%) и кварцем (3–7 об.%). В биотите (табл. 3) преобладает флогопитовая составляющая ($K_{0,71-0,95}(Fe_{0,81-1,45}Mg_{1,19-1,88}Ti_{0,14-0,21})_{(Al^{3+}_{0,15-0,32})[Al_{1,08-1,16}Si_{2,84-2,92}O_{10}]_{(OH,F)_2}}$), он слагает удлиненные зерна размером 0,5–1,0 мм, зачастую ассоциирует с магнетитом, образуя биотит-магнетитовые скопления. В шлифах он плеохроирует от бесцветного до коричневого, иногда темно-зеленого и имеет яркие (зеленые, розовые) цвета интерференции. Содержание кварца редко достигает 2–3 об.%, чаще встречаются единичные зерна изометричной, округлой формы с размером зерен 0,3–0,5 мм.

Аксессорные и рудные минералы представлены апатитом, рутилом, эпидотом и сфеном. Последний проявлен спорадически в виде единичных изометричных, редко удлиненных зерен размером 0,04–0,35 мм. Он обладает плеохроизмом от темно-желтого до коричневого цветов. Апатит, как и сфен, является акссесорным минералом и встречается в виде единичных зерен размером до 2 мм.

В проходящем свете апатит бесцветный. Рутил встречен в виде микроскопических иголочек, развитого по плоскостям спайности зерен плагиоклаза. Эпидот встречается крайне редко, представлен единичными зернами и имеет явно наложенный характер.

Рудные минералы представлены неравномерно распределенной, иногда сидеронитовой вкрапленностью. Вкрапленники (до 10–25 % объема породы, в среднем – 2–5 об.%) представлены агрегатами мелких зерен (0,2–0,6 мм) магнетита ($Fe_{\text{сумм.}} - 96,23\%$, $Cr^{3+} - 2,37\%$, $V^{5+} - 0,71\%$, $Ti^{4+} - 0,14\%$) и ильменита ($Fe^{2+} - 45,52\%$, $Ti^{4+} - 50,56\%$, $Mn^{2+} - 2,41\%$, $Cr^{3+} - 0,17\%$, $V^{5+} - 0,56\%$, $Mg^{2+} - 0,16\%$) и приурочены к скоплениям темноцветных минералов (пироксенов, биотита) или находятся в промежутках между кристаллами плагиоклаза и роговой обманки. Участками в породе присутствуют сульфиды (пирротин, пирит, халькопирит). Они слагают до 15 % объема породы и образуют вкрапленные и гнездово-вкрапленные выделения.

Таблица 3
Микрозондовые рентгеноспектральные анализы биотита

Скважина Глубина	<u>3032</u> 565,0	<u>3032</u> 565,0	<u>3032</u> 565,0	<u>3032</u> 565,0	<u>3024</u> 426,0	<u>3024</u> 426,0
SiO ₂	33,82	35,01	33,88	35,57	32,49	36,42
TiO ₂	3,40	2,69	2,35	3,55	2,75	2,99
Al ₂ O ₃	13,08	14,28	14,64	13,53	12,67	14,26
Cr ₂ O ₃	0,17	0,12	0,31	0,04	—	0,10
FeO	15,32	12,26	13,00	11,91	19,44	22,26
MnO	—	0,16	0,03	0,00	0,16	0,13
MgO	12,02	14,73	15,11	15,38	9,33	10,25
CaO	0,89	0,00	0,22	0,00	0,13	0,13
Na ₂ O	—	0,00	0,08	0,55	0,28	0,32
K ₂ O	7,98	7,51	6,65	7,87	8,02	9,55
Сумма	86,67	86,76	86,27	88,40	85,27	96,41
<i>Количество ионов в формульной единице (на 11 O)</i>						
Si	2,885	2,921	2,840	2,897	2,866	2,842
Ti	0,218	0,169	0,148	0,217	0,182	0,175
Al ^{IV}	1,115	1,079	1,160	1,103	1,134	1,158
Al ^{VI}	0,200	0,325	0,286	0,196	0,183	0,154
Cr ⁺³	0,011	0,080	0,021	0,003	0,000	0,006
Fe ⁺²	1,093	0,855	0,911	0,811	1,434	1,453
Mn	0,000	0,011	0,002	0,000	0,012	0,009
Mg	1,528	1,832	1,888	1,868	1,227	1,193
Ca	0,081	0,000	0,020	0,000	0,012	0,011
Na	0,000	0,000	0,013	0,087	0,048	0,048
K	0,868	0,799	0,711	0,818	0,902	0,951
<i>Нормативные составы</i>						
Аннит	27,554	21,631	22,063	20,275	35,942	36,384
Флогопит	50,295	57,383	58,353	60,388	40,386	39,970

Амфиболы широко распространены в габброноритах второй фазы золотухинского комплекса, являются вторичными минералами и наследуют реликтовую форму зерен пироксенов. Местами последние покрыты «налетом» амфиболов. В отдельных шлифах наблюдается начальная стадия изменения – каемки по краям зерен пироксенов. В ходе микроскопических исследований шлифов были выделены два типа амфиболов: зеленая роговая обманка и амфиболы tremolite-актинолитового ряда (рис. 3).

Роговая обманка $(\text{Na}_{0,28-0,54}\text{Ca}_{1,66-2,03})(\text{Mg}_{1,95-2,48}\text{Fe}^{2+}_{1,09-2,01})(\text{Al}^{3+}_{0,19-0,99}\text{Fe}^{3+}_{0,34-0,66})(\text{OH}, \text{F})_2[\text{Si}_{6,02-6,71}\text{Al}_{1,29-1,98}\text{O}_{22}]$ образует удлиненно-призматические зерна с образованием ксеноморфных агрегатов, отчетливо плеохроирует от серого с небольшим желтым оттенком по N_p до ярко-зеленого цвета по N_g. Угол между трещинами спайности 40–44°, погасание косое (от 17° до 19°), удлинение положительное. Минералы актинолит-тремолитового ряда образуют волокнистые агрегаты, плеохроируют от желто-зеленого по N_p до темно-зеленого по

N_g и представлены актинолитом $(\text{Na}_{0,01-0,19}\text{Ca}_{1,95-2,83})(\text{Mg}_{2,83-3,12}\text{Fe}_{1,57-1,75})(\text{OH})_2[\text{Si}_{7,45-7,64}\text{Al}_{0,36-0,55}\text{O}_{22}]$.

Выделение этих двух видов амфиболов подтверждается данными об их химическом составе (табл. 4). На основе этих данных была определена номенклатура амфиболов [7], на диаграмме которой явно видны два обособленных участка: ряд Fe–Mg роговых обманок вплоть до чермакита и феррочермакита и поле актинолита.

Хлорит характерной удлиненно-чешуйчатой формы размером до 0,6 мм (в среднем 0,05 × 0,2 мм) встречается в виде единичных зерен в ассоциации с амфиболами, образующими метаморфозы по пироксенам. В проходящем свете плеохроирует в зеленоватых тонах, от темно-зеленого до светло-желто-зеленого, в скрещенных николях хлорит серый, иногда иссиня-серых оттенков (N_g – N_p = 0,007–0,008). По своему химическому составу (табл. 5) хлориты соответствуют брунсвигиту $(\text{Mg}_{2,41-2,82}\text{Al}_{2,25-2,27}\text{Fe}_{6,53-7,07})[\text{Si}_{5,73}\text{Al}_{2,27}\text{O}_{20}](\text{OH})_{16}$ – характерному минералу метаморфизованных базитов [8].

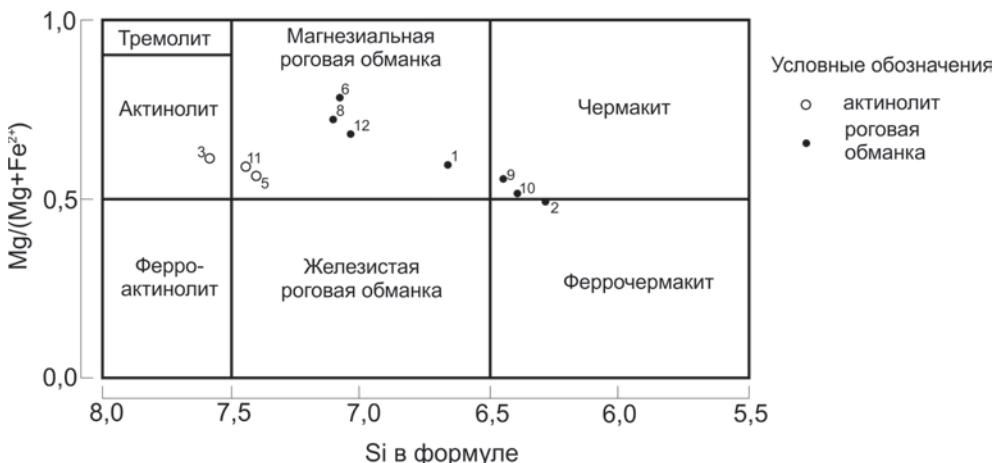


Рис. 3. Номенклатура амфиболов [по 7]. Примечание: номера точек на диаграмме соответствуют номерам анализов в табл. 4

Таблица 4

Микрозондовые рентгеноспектральные анализы амфиболов

Скважина	3009	3030	3030	3030	3030	3032	3021	3021	3022	3022	3024	3012
Глубина	589,0	565,5	565,5	565,5	565,5	565,0	569,0	569,0	262,5	262,5	426,0	430,0
SiO ₂	46,53	43,46	54,38	35,53	52,44	50,68	43,32	47,80	44,98	44,96	52,23	48,02
TiO ₂	0,36	0,55	—	—	0,30	0,16	0,17	1,12	0,54	0,42	0,32	1,08
Al ₂ O ₃	10,78	11,92	3,56	20,87	4,00	7,17	16,44	6,20	9,99	10,60	3,85	4,47
FeO	16,36	20,50	14,08	12,69	14,94	13,23	13,77	11,19	20,50	19,47	16,45	14,99
MnO	0,13	0,40	—	—	0,24	0,20	0,14	0,11	0,16	0,31	0,50	0,28
MgO	11,29	8,92	14,90	—	14,24	15,36	11,62	14,68	10,02	9,43	13,34	14,73
CaO	13,13	12,91	12,96	24,25	13,15	12,34	10,79	12,43	12,95	12,76	13,32	13,03
Na ₂ O	0,99	1,41	0,48	—	0,67	0,57	1,94	0,77	1,29	1,41	0,36	0,91
K ₂ O	0,15	0,59	0,16	—	0,16	0,37	0,21	0,26	0,25	0,24	0,22	0,36
Сумма	99,72	100,66	100,52	93,34	100,14	100,10	98,40	94,56	100,68	99,60	100,59	97,87

Количество ионов в формульной единице (на 23 O)

Si	6,708	6,367	7,638	6,022	7,468	7,095	6,212	7,126	6,542	6,615	7,449	7,036
Ti	0,039	0,061	0,000	0,000	0,032	0,019	0,018	0,126	0,059	0,046	0,034	0,119
Al ^{IV}	1,292	1,633	0,362	1,978	0,532	0,905	1,788	0,874	1,458	1,385	0,551	0,964
Al ^{VI}	0,539	0,424	0,228	0,190	0,139	0,278	0,990	0,215	0,254	0,452	0,096	0,000
Fe ⁺³	0,342	0,550	0,083	0,000	0,109	0,528	0,557	0,153	0,659	0,382	0,209	0,486
Fe ⁺²	1,627	1,957	1,568	1,796	1,668	1,018	1,092	1,240	1,830	2,009	1,750	1,347
Mn	0,016	0,050	0,000	0,000	0,029	0,024	0,017	0,014	0,020	0,039	0,060	0,035
Mg	2,424	1,946	3,118	0,000	3,021	3,203	2,482	3,260	2,171	2,067	2,834	3,215
Ca	2,027	2,025	1,950	4,402	2,006	1,850	1,657	1,985	2,017	2,010	2,834	2,045
Na	0,277	0,400	0,131	0,000	0,185	0,155	0,539	0,222	0,363	0,405	0,099	0,258
K	0,028	0,110	0,029	0,000	0,029	0,066	0,038	0,049	0,046	0,045	0,040	0,067

Местами наблюдаются участки габброноритов с содержанием моноклинного пироксена менее 5 %, где породы имеют видовое петрографическое название – среднезернистые **меланократовые нориты** габбровой структуры, обусловленной сочетанием идиоморфного короткопризматического ромбического пироксена, слагающего до 65 % объема породы и гипидиоморфного плагиоклаза, составляющего до 30 об.%. Пироксен представ-

лен гиперстеном (Fs_{50-60}), обладает резким плеохроизмом (N_g – серовато-голубоватая, N_p – розово-коричневая) и характеризуется низким двупреломлением ($N_g - N_p = 0,014 - 0,020$).

В небольших количествах (5–10 %) в породе присутствуют мелкие ксеноморфные зерна клинопироксена, проявленного лишь местами и заполняющего интерстиции между ортопироксеном и полевым шпатом. Основная масса плагиоклаза,

представленного лабрадор-битовитом (An_{67-55}), образует гипидиоморфные удлиненные сдвоенниковые зерна $0,5-1 \times 5$ мм. В то же время в породе присутствуют изометричные выделения полевого шпата, носящие явно «наложенный» характер. Кроме этого, встречаются совместные скопления магнетита с биотитом (до 1 %) и сульфиды – до 4 %.

Таблица 5
Микрозондовые рентгеноспектральные анализы
хлорита

Скважина	3030	3030	3030
Глубина	565,5	565,5	565,5
SiO ₂	26,61	27,44	35,53
TiO ₂	0,17	0,00	–
Al ₂ O ₃	17,82	18,47	20,87
Cr ₂ O ₃	0,46	0,94	–
FeO	39,34	37,43	12,69
MnO	0,21	0,21	–
MgO	7,53	9,07	–
CaO	0,22	0,27	24,25
Na ₂ O	0,30	0,28	–
K ₂ O	0,00	0,00	–
Сумма	92,66	94,11	93,34
<i>Количество ионов в формульной единице (на 36 O)</i>			
Si	7,35	7,36	8,85
Ti	0,04	0,00	
Al ^{IV}	5,80	2,87 / 5,84	6,13
Al ^{VI}		2,97	
Cr	0,1	0,20	
Fe ⁺²	9,08	8,39	2,64
Mn	0,05	0,05	
Mg	3,1	3,62	
Ca	0,07	0,08	6,47
Na	0,16	0,15	
K	0	0,00	

Примечание: 1, 2 – хлориты (брунсвигит), 3 – железистый маргарит (группа хрупких слюд).

Амфиболизированные габбронориты вскрыты в большинстве скважин (3012, 3024, 3021, 3022 и др.), участками слагают такситовые крупно-кристаллические габбро, которые располагаются главным образом в верхней апикальной части Смородинского массива и представляют собой крупнокристаллические породы лейкократового облика, сложены таблитчатым плагиоклазом (An_{50-45}) и грубоволокнистой зеленой роговой обманкой в виде таблитчатых обособлений с сыпью магнетита, представляющие собой псевдоморфозы амфибola по пироксену, вероятнее всего, ромбическому гиперстену. Содержание плагиоклаза в них может колебаться от 40 до 70 об.% в лей-

кократовых разностях. В небольших количествах присутствуют биотит (5–6 об.%), иногда кварц (3–5 об.%), апатит (2–3 об.%), рудные минералы – магнетит (3–4 об.%), сульфиды – (2–3 об.%).

2.2. Мелкозернистые габбронориты

Мелкозернистые разновидности габброноритов второй фазы золотухинского комплекса встречены в виде интервалов значительной мощности в скважинах 3012 (отдельные участки на протяжении интервала 277,0–444,0 м), 3009 (интервал пород от 386,0 до 428,3 м), 3022 (интервал от 263,8 до 355,1 м). Как и крупно-среднезернистые разновидности, мелкозернистые габбронориты зачастую амфиболизированы, местами (на контактах с дайками и жилами) биотитизированы и частично окварцовены. Контакты тел неровные, с инъекциями в теле крупнозернистых габброидов. Последние вблизи зоны контакта обогащаются биотитом, роговой обманкой, порой наблюдается сульфидная минерализация прожилково-вкрашенного типа (скв. 3022, гл. 260,4 м). В мелкозернистых габброноритах также встречаются участки среднезернистых пород, вероятнее всего, являющиеся ксенолитами вмещающих габброноритов, о чем могут свидетельствовать амфиболовые каемки вокруг этих участков.

Структура пород габбровая, текстура массивная, местами директивная за счет слабоудлиненных зерен плагиоклаза лабрадор-андезина (An_{46-50}) с содержанием до 45–50 об.% и амфиболизированного по периферии моноклинного пироксена – диопсида (40–45 об.%). В породе также отмечаются отдельные единичные зерна биотита, кварца и акцессорный апатит (рис. 4).

2.3. Жильные и дайковые образования

Породы второй фазы золотухинского комплекса насыщены многочисленными жилами микрогаббро, диоритов стойло-николаевского комплекса, плагиогранитов, а также (скв. 3024) ксенолитами биотитовых плагиогнейсов обоянского ПМК.

Маломощные (до 3 см) крутопадающие (угол 15° с осью керна) жильные тела микрогаббро сложены амфиболизированными, биотитизированными и частично окварцованными мезо- и меланократовыми основными породами (мелкозернистыми габброноритами). Структура пород габбровая, текстура массивная, местами – такситовая за счет мелких включений ксенолитов крупно-среднезернистых габброидов. Состав пород из плагиоклаза (45–50 об.%), амфиболизированного пироксена и роговой обманки (40–45 об.%),

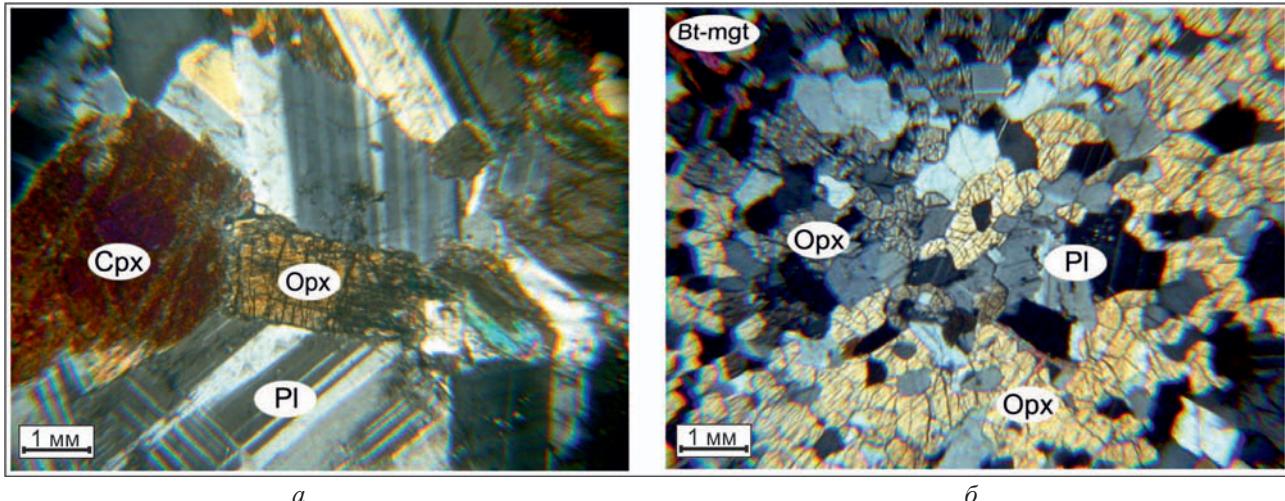


Рис. 4. Фотографии типичных петрографических разновидностей: а) крупно-среднезернистые амфиболизированные габбронориты (скв. 3009, глуб. 375,0); б) мелкозернистые директивные габбронориты (скв. 3009, глуб. 378,7), николи скрещены

а также титаномагнетита (5–10 об.%), отмечаются биотит, кварц и акцессорный апатит.

Диориты представлены прожилками небольшой мощности (десятка сантиметров) и характеризуются мелкозернистой гипидиоморфнозернистой структурой. Сложенены ксеноморфными агрегатами удлиненных зерен зеленой роговой обманки с характерным плеохроизмом, образующими скопления с чешуйчатыми выделениями светло-коричневого биотита и таблитчатыми плагиоклазами андезинового состава (An_{43-47}). В породе присутствуют участки мелкозернистых плагиоклаз-биотит-рогообманковых скоплений, а также ксеноморфные мелкие единичные выделения кварца.

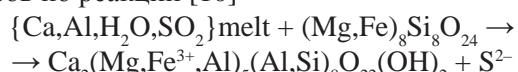
Биотитовые плагиограниты мелко-среднезернистые, массивные, мезократовые, серого цвета, местами в результате метасоматоза превращены в неравномернозернистые мусковит-микроклиновые граниты. Они прорывают крупнозернистые габбронориты, образуя отчетливые извилистые контакты под небольшим углом (около 20°) с биотитовой оторочкой и развитием мелкозернистых разновидностей. Структура пород гранобластовая, бластогранитная. Они состоят из кварца и измененных реликтовых зерен плагиоклаза и биотита, а также новообразованных микроклина, мусковита и хлорита.

3. Обсуждение. Оценка параметров метаморфизма по амфиболам

Результаты изучения оптических свойств амфиболов из габброноритов золотухинского комплекса в прозрачных шлифах и интерпретация

микрозондовых рентгеноструктурных анализов (табл. 4) позволили выявить два типа вторичных амфиболов (рис. 3): высокотемпературную роговую обманку и низкотемпературный актинолит. По методике Л. Л. Перчука [9] были определены Р-Т условия образования этих амфиболов (рис. 5).

Амфиболизация габброноритов второй фазы проявляется в различной степени интенсивности, но практически повсеместно в разрезе Смородинского массива, причем как в зонах контактов габброноритов с габродолеритами смородинского и жилами гранитидов стойло-николаевского комплексов, так и вне зон пересечения пород различных комплексов. Анализ положения точек отбора проб, использованных для определения номенклатуры и РТ-параметров образования амфиболов, относительно секущих габродолеритовых тел смородинского комплекса не выявил какой-либо зависимости степени вторичных изменений, связанной с влиянием внедрявшейся магмы, а также обнаруженная в скважине 3030 вертикальная градация степени амфиболизации пород, наблюдающаяся на большом протяжении разреза (более 600 м в центральной части массива) и не связанная с приконтактовыми изменениями пород в зонах внедрения даек, позволяют отнести вторичные изменения габброноритов к продуктам автометаморфических преобразований, а также к воздействию регионального метаморфизма. При этом высокотемпературная роговая обманка образовалась предположительно под действием автометаморфических процессов по реакции [10]



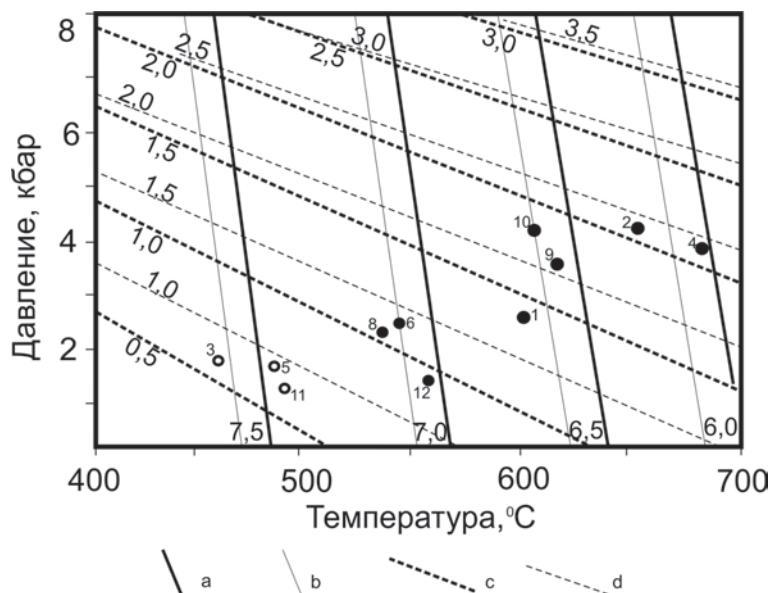


Рис. 5. Номограмма для определения Р-Т параметров метаморфизма по составу роговых обманок [по 9], где а и б – Si в формулах роговых обманок в расчете на 13 катионов при $\text{XMg} = 0$ и $\text{XMg} = 1$ соответственно; с и д – Al в формулах роговых обманок в расчете на 13 катионов при $\text{XMg} = 0$ и $\text{XMg} = 1$ соответственно.

Примечание: номера точек на диаграмме соответствуют номерам анализов в табл. 4

при температуре $T = 540\text{--}680$ °С и давлении $P = 1,4\text{--}4,2$ кбар. Образование более низкотемпературного актинолита при температуре $T = 460\text{--}495$ °С и давлении $P = 1,2\text{--}1,8$ кбар обусловлено влиянием регионального метаморфизма.

Выводы

1. В ходе проведения петрографических исследований пород второй фазы золотухинского комплекса установлены три типа породных ассоциаций, указывающих на этапность формирования массива: 1) ранние крупно-среднезернистые в разной степени амфиболизированные габронориты; 2) более поздние мелкозернистые директивные слабоамфиболизированные габронориты; 3) завершающие становление массива дайково-жильные образования.

2. Установлено, что мелкозернистые директивные габронориты внедрялись в неостывшую центральную часть магматической камеры Смородинского массива в виде пласта с юго-западным падением и мощностью от 20 до 50 м.

3. Выделено несколько типов амфиболов: 1) вторичная высокотемпературная роговая обманка, развивающаяся по реликтам кристаллов пироксенов под воздействием процессов автометаморфизма; 2) низкотемпературные амфиболы tremolit-актинолитового ряда, образовавшиеся под влиянием регионального метаморфизма.

4. Установлено, что в ходе эволюции породы второй фазы золотухинского комплекса испытали

два акта метаморфических преобразований, выделяемых по формированию вторичных амфиболов: 1) высокотемпературные автометаморфические преобразования с температурой 540–680 °С и давлением 4,2–1,4 кбар, вероятно, происходившие на заключительных этапах становления магматической системы золотухинского комплекса и выраженные в развитии роговых обманок; 2) региональный метаморфизм, происходивший при температуре 460–495 °С и давлении 1,2–1,8 кбар, выраженный в замещении сохранившихся пироксенов актинолитом.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» ГК 02.740.11.0021 и ГК П171

ЛИТЕРАТУРА

- Полищук В. Д. Основные ультраосновные интузивные породы докембрия Воронежской антеклизы и перспективы поисков связанных с ними полезных ископаемых / В. Д. Полищук, В. И. Полищук // Тр. III совещ. по пробл. изуч. Воронежской антеклизы. – Воронеж, 1966.
- Полищук В. Д. Геология, гидрогеология, железные руды бассейна Курской магнитной аномалии / В. Д. Полищук [и др.]. – М., 1970. – Т. I, кн. 1. – 436 с.

П. С. Бойко

3. Чернышов Н. М. Гипербазиты КМА / Н. М. Чернышов, В. Л. Бочаров, С. М. Фролов. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1981. – 252 с.
4. Ножкин А. Д. Радиоактивные элементы в породах раннего докембрия (на примере КМА) / А. Д. Ножкин, Е. М. Крестин. – М. : Наука, 1984. – 126 с.
5. Чернышов Н. М. Платиноносные формации Курского-Воронежского региона (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004. – 448 с.
6. Альбеков А. Ю. Геология, петрология и минерагеническая оценка перспектив рудоносности габброперитовых массивов трапповой формации ВКМ : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук / А. Ю. Альбеков. – Воронеж, 2002. – 24 с.
7. Номенклатура амфиболов : доклад подкомитета по амфиболам комиссии по новым минералам и названиям минералов международной минералогической ассоциации // ЗВМО. – 1997. – № 6. – С. 82–102.
8. Дир У. А. Породообразующие минералы / У. А. Дир, Р. А. Хаус, Дж. Зусман. – М. : Мир, 1966. – Т. 3. Листовые силикаты. – 316 с.
9. Геря Т. В. Петрология туманштского зонального метаморфического комплекса, Восточный Саян / Т. В. Геря [и др.] // Петрология. – 1997. – Т. 5, № 6. – С. 563–595.
10. Закревская О. Ю. Амфиболизация ультраосновных пород и буферирование летучести кислорода в андезитах / О. Ю. Закревская, А. Г. Симакин, Т. П. Салова // Вестник Отделения наук о Земле РАН : электронный научно-информационный журнал. – 2009. – № 1(27). – (http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dggms/1-2009/informbul-1_2009/magm-13.pdf).

*Воронежский государственный университет
П. С. Бойко, аспирант кафедры минералогии и
петрологии
plekhanov.lsk@mail.ru
Тел. 8 (473) 220-87-79*

*Voronezh State University
P. S. Boiko, post-graduate student, Chair of Mineralogy and Petrology
plekhanov.lsk@mail.ru
Tel. 8 (473) 220-87-79*