

Дифференцированный метагабброидный комплекс в северо-западной части Суннагинского блока Алдано-Станового щита

В.И.БЕРЕЗКИН, А.А.КРАВЧЕНКО, А.И.ЗАЙЦЕВ (Институт геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения Российской академии наук (ИГАБМ СО РАН); 677007, г. Якутск, проспект Ленина, д. 39; ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К.Аммосова»; 677000, г. Якутск, ул. Белинского, д. 58),
Н.В.ПОПОВ (Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН); 630090, г. Новосибирск, проспект академика Коптюга, д. 3/б)

Кристаллосланцы северо-восточной части Суннагинского блока Алдано-Станового щита обычно рассматривались как эффузивы и включались в составы свит, и лишь редко выделялись в качестве даек или массивов. Внутреннее строение таких тел практически не изучено. Авторами впервые показано сложное строение выходов двух таких тел в среднем течении р. Алдан, сложенных аналогами меланократовых оливиновых габбро, оливиновых габбро разной железистости, габбро-анортозитов, которые можно объединить в единый комплекс. Общими особенностями пород комплекса являются высокие содержания Al_2O_3 , низкие и пониженные щелочей, высокозарядных и транзитных элементов, широкие вариации сумм и характера распределения редкоземельных элементов и др. Комплекс не имеет аналогов на Алдано-Становом щите.

Ключевые слова: Алдано-Становой щит, Суннагинский блок, метагабброидный комплекс, петрохимия, геохимия.

Березкин Василий Ионович
Кравченко Александр Александрович
Зайцев Альберт Иванович
Попов Николай Васильевич



beryozkin2003@list.ru
freshrock@yandex.ru
a.i.zaitsev@diamond.ysn.ru
popovnv@ipgg.sbras.ru

Differentiated meta-gabbroid complex in the north-western part of the Sunnagin block of the Aldan-Stanovoy shield

V.I.BERYOZKIN, A.A.KRAVCHENKO, A.I.ZAITSEV, N.V.POPOV

The basic granulites of the north-eastern part of the Sunnagin block of the Aldan-Stanovoy shield usually were considered as primary effusive rocks and were included into formations. Only few of them were identified as dykes or massifs. Inner structure of such bodies is practically unexplored. The authors showed complex structure of outcrops of two such bodies, composed of analogues of melanocratic olivine gabbro, olivine gabbro of different iron content, gabbro-anorthosites. General characteristics of rocks of the complex are Al_2O_3 high contents, low and reduced contents of alkalis, high field strength and transit elements, wide variations of amounts and types of rare-earth element distribution, etc. The complex has no analogues at the Aldan-Stanovoy shield.

Key words: Aldan-Stanovoy shield, Sunnagin block, meta-gabbroid complex, petrochemistry, geochemistry.

В последние годы районирование Алдано-Станового щита проводится на основе теории тектоники плит и террейнового анализа [18, 20]. Суннагинский блок является северной структурой Учурского гранулит-парагнейсового террейна. В центральной части блока выделяется гранито-чарнокитогнейсовый комплекс основания, обрамленный в краевых зонах гранулит-парагнейсовыми толщами [8, 14, 15, 17, 18]. Кроме того, различают метаморфизованные интрузивные образова-

ния: массивы, дайки, жилы ультрабазитов, габброидов, гранитоидов. В некоторых из опубликованных работ в качестве обоснования выделения этих пород представлены петрохимические и(или) геохронологические данные [2, 5, 7, 11, 12, 15, 21].

Район с впервые выделяемым метаморфизованным комплексом метагабброидов находится в северо-западной окраине Суннагинского блока на границе с Тыркандинской зоной тектонического меланжа (ТЗТМ) (рис. 1).

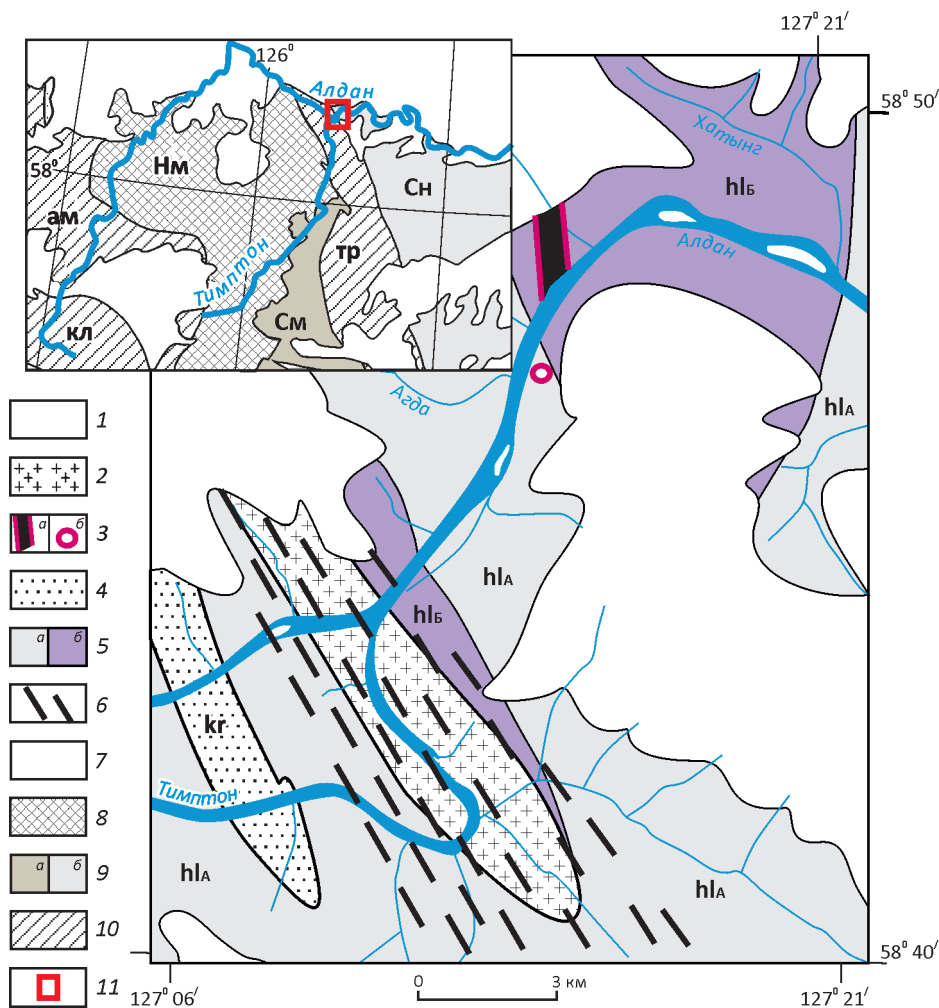


Рис. 1. Схематическая геологическая карта района устья р. Тимптон. По работе [17] с дополнениями и изменениями авторов:

1 – венд-кембрийские отложения; 2 – Усть-Тимптонский массив гранодиорито-гнейсов; 3 – агдинский метабазитовый комплекс: а – объединенный контур I и II тел, б – мелкие фрагменты в гнейсах; толща: 4 – кюриканская, 5 – холбохская: а – hl_A и б – hl_B ассоциации пород; б – интенсивно рассланцованные, милонитизированные и диафторированные породы (Тыркандинский разлом); на врезке – схема геологического строения части Алдано-Станового щита [18]: 7 – осадочный чехол щита; 8 – Нимнырский (Нм) гранулит-ортогнейсовый террейн; 9 – Сеймский (См) (а) и Суннагинский (Сн) (б) блоки Сутамского и Учурского гранулит-парагнейсовых террейнов соответственно; 10 – зоны тектонического меланжа (ам – Амгинская, тр – Тыркандинская, кл – Каларская); 11 – местоположение изученного района

Изучение нового комплекса, названного авторами агдинским (по руч. Агда), на стыке недавно выделенных крупных структур Алдано-Станового щита в обнаженной части фундамента Северо-Азиатского кратона, имеет важное значение в исследованиях последних лет, проводимых авторами настоящей статьи с целью реконструкции геодинамических условий формирования толщ и интрузивных пород этих структур [2, 7, 12, 20].

Методы лабораторных исследований. В ИГАБМ СО РАН выполнены: петрографическое описание; химические силикатные анализы (аналитики Г.К.Аму-

зинская, Л.Т.Галенчикова, Э.Е.Собордахова) и рентгенофлуоресцентные анализы пород на квантометре СРМ-18/СМ-1 (аналитик Л.Н.Горохова); определение в породах Cr, Ni, Co, V, Sc на спектрографе PGS-2 (аналитики С.Ю.Коркина и О.Д.Замийская); анализы минералов на сканирующем электронном микроскопе JSM-6480 LV с приставкой INCA Energy-350 «Oxford Instruments» при напряжении 20 кв (аналитики С.К.Попова и С.А.Карпова). РЗЭ и Rb, Sr, Ba, Cs, Zr, Y, Nb, Ta, Hf, Th, U определены: в ИГМ СО РАН методом LA-ICP-MS; неполный ряд РЗЭ (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd,

Du, Yb) – в лаборатории Геологической службы Канады методами ICP-TR1 и ICP-RRE1.

Реконструкция первичной природы агдинских кристаллосланцев и оценка возможных изменений их химического состава при метаморфизме сделаны с применением подходов и методов, принятых авторами ранее при изучении метабазитов других частей Алдано-Станового щита [17].

Геология района. Здесь кристаллический фундамент, представленный холболохской толщей [17], обнажается в виде редких коренных выходов и развалов в узкой прирусловой полосе р. Алдан. Склоны долины залесены и задернованы, а выше на водоразделах обнажены венд-кембрийские конгломераты, песчаники, доломиты, известняки платформенного чехла. Толща сложена гранат-биотитовыми (иногда с силлиманитом, кордиеритом и гиперстеном), а также пироксеновыми с биотитом и амфиболом плагиогнейсами и гнейсами. Редко встречаются мраморы, кальцифиры и известково-силикатные породы. Повсюду в строении толщи принимают участие мелкие фрагменты, будины и пласты кристаллосланцев, традиционно рассматриваемые как первично эффузивные породы. По количественным соотношениям видов пород выделены поля двух ассоциаций холболохской толщи hl_A и hl_B (см. рис. 1). В hl_A преобладают гранат-биотитовые плагиогнейсы, в hl_B – безгранатовые плагиогнейсы. Кроме того, в hl_B между устьями ручьев Агда и Хатынг значительно чаще встречаются пласты кристаллосланцев [21]. Толща мигматизирована, интродуцирована редкими мелкими телами и жилами гранитов и пегматитов.

В районе устья р. Тимптон проходит Тыркандинский разлом, служащий границей между Суннагинским блоком и Тыркандинской зоной тектонического меланжа (ТЗТМ) [18]. В пределах Тыркандинского разлома породы холболохской и кюрюканской толщ и Усть-Тимптонского гранодиорито-гнейсового массива интенсивно рассланцованы до милонитов и диафторированы в амфиболитовой и зеленосланцевой фациях. С продвижением на восток в пределы Суннагинского блока переработка затухает и господствуют породы гранулитовой фации. По минеральным геотермометрам высокоглиноземистых гнейсов холболохской толщи В.И.Кицулом рассчитаны $T 753^{\circ}-827^{\circ}C$, $P 690-870$ МПа, по дупироксеновому геотермометру агдинского кристаллосланца $T 845^{\circ}C$ [17].

Агдинский комплекс. Два сближенных выхода метабазитов комплекса: I тело мощностью около 200 м и II – 450 м (нижнее по течению реки) находятся на левом берегу р. Алдан в 8,5 км ниже устья р. Тимптон (см. рис. 1). Мелкие фрагменты сходных метабазитов авторы обнаружили на другом берегу напротив устья руч. Агда.

Агдинские метабазиты наряду со всеми другими телами метабазитов района ранее включались в составы предполагаемых первично вулканогенно-осадочных

толщ: холболохской, кюрюканской и др. Впервые о возможной интрузивной природе агдинских кристаллосланцев высказывался В.И.Кицул [1], отмечая отличия их от кристаллосланцев в толщах массивным или слабосланцеватым обликом, более крупной зернистостью и незатронутостью мигматизацией. В последние годы в западной части Суннагинского блока М.З.Глуховский с коллегами [5] выделяют три типа метабазитовых даек: А, Б, В. В изученном районе они показали рои даек типа А, относя к ним все мощные тела закартированные ранее [21], включая вероятно агдинское II тело. По кристаллосланцам этого тела они получили изохроны: $Sm-Nd=2247\pm 91$ (возраст протолитов) и $Rb-Sr=1980\pm 33$ млн. лет (возраст гранулитового метаморфизма).

Специфика обнаженности района не позволяет проследивать агдинские тела по простиранию, но, судя по геолого-петрографической карте [21], все тела кристаллосланцев и других пород толщи в районе имеют генеральные субмеридиональные простирания с крутыми восточными и западными падениями. Элементы залегания полосчатости и согласной с ними сланцеватости агдинских метабазитов не противоречат этому. При этом контакты с вмещающими парагнейсами осложнены наложенным рассланцеванием и милонитизацией со слабым диафторезом. Такие же переработанные породы встречаются в контурах тел. Здесь же попадаются ксенолиты-блоки парагнейсов.

Химические составы минералов пород агдинского комплекса. Известна зависимость качественного и количественного минерального состава любой породы от ее валового химического состава. Поэтому с тем, чтобы показать это в отношении метабазитов агдинского комплекса, а также с целью приблизиться к видам их интрузивных протолитов составлены таблицы анализов минералов (табл. 1) и представительных анализов пород (табл. 2) с единым подразделением на виды пород этого комплекса: 1 – высокомагнезиальные базиты (ультрамафиты) с $MgO=16-21\%$,

$$Kф = \frac{FeO+Fe_2O_3}{MgO+FeO+Fe_2O_3} \cdot 100 [9] = 42-48\%;$$

2 – магнезиальные базиты с $MgO=7-12\%$, $Kф=48-63\%$;
3 – железистые (низкомагнезиальные) базиты с $FeO+Fe_2O_3=12-18\%$, $Kф=62-77\%$;
4 – лейкократовые базиты с $Al_2O_3=21-24\%$, $Kф=47-63\%$. Правомочность расчленения пород на виды можно оценить на рисунках 2, А–Б и 3.

Ультрамафиты занимают участок (коренные выходы и развалы) в поперечнике ~10 м в верхней краевой части II тела, сложенного магнезиальными базитами с подчиненными железистыми и лейкобазитами. I тело сложено магнезиальными и железистыми базитами и редкими лейкобазитами. В фрагментах на правом берегу встречаются ультрамафиты и магнезиальные базиты. Виды 2–4 кристаллосланцев в коренных выходах слагают полосчатые пачки с преобладающими

1. Анализы породообразующих минералов из пород агдинского комплекса

Вид пород	Образцы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Ni	Сумма	f	Ан
<i>Оливины</i>														
1	1050/1	35,51			30,80		33,32					99,63	0,347	
1	1951/10	35,91			33,46	0,32	30,22				0,14	100,05	0,383	
<i>Шпинели</i>														
1	1050/1			62,25	24,09		13,68					100,02	0,497	
1	1951/9			61,40	27,94		9,73					99,07	0,616	
1	1951/10			59,96	29,46		10,48					99,90	0,612	
2	4242/7			60,63	29,86		9,69					100,18	0,634	
<i>Ортопироксены</i>														
1	1050/1	53,82			18,02		27,19					99,03	0,271	
1	1951/9	51,79		3,16	21,54	0,77	23,46	0,03				100,75	0,340	
1	1951/10	52,65		3,05	18,55		25,07	0,32				99,64	0,293	
2	4242/7	52,48		3,04	22,34		21,77					99,63	0,365	
2	1951/06	53,42			26,29		20,94					100,65	0,413	
2	В-4242/6	51,92			29,45		18,27					99,63	0,475	
3	1951/02	50,91			32,17		16,08					99,16	0,529	
3	В-4242/12	48,10		2,12	32,49		16,78					99,49	0,521	
4	4242/8	53,17		1,36	22,83		23,30					100,66	0,355	
4	В-4242/11	53,04			26,70		20,64					100,38	0,421	
<i>Клинопироксены</i>														
1	1050/1	53,73		3,03	5,76		15,91	21,50				99,93	0,169	
2	1951/06	53,96		1,99	9,70		14,54	20,69				100,88	0,272	
2	В-4242/6	51,50		1,97	12,02		13,41	21,63				100,54	0,335	
4	4242/8	51,68	0,31	1,31	6,62	0,41	14,81	24,46	0,39			99,99	0,200	
4	В-4242/11	51,07			11,85		15,01	21,42				99,35	0,307	
<i>Амфиболы</i>														
1	1050/1	44,98	0,46	14,43	8,05		16,37	12,26	1,38			97,93	0,216	
1	1951/9	40,04	0,65	16,13	10,18	0,10	13,26	11,24	1,80	0,63		94,03	0,301	
1	1951/10	41,31	0,30	15,64	9,28	0,09	14,02	11,26	2,72	0,72		95,34	0,271	
2	4242/7	42,72	0,23	14,82	10,96		13,31	10,59	1,95	0,54		95,12	0,316	
2	1951/06	46,47	1,28	8,39	13,42		13,80	10,85	1,60	0,83		96,64	0,353	
2	В-4242/6	42,96	1,52	12,05	14,44		9,97	12,43	2,14	1,22		96,73	0,448	
3	1951/02	39,98	1,14	13,33	19,09		8,08	11,99	1,94	1,19		96,79	0,570	
3	В-4242/12	40,19	2,12	11,17	19,72		8,02	10,94	1,54	1,22		94,91	0,580	
4	4242/8	44,87	1,88	11,05	9,35		15,49	12,04	1,54	1,19		97,41	0,253	
4	В-4242/11	42,17	1,64	9,59	15,67		12,17	11,96	2,10	0,96		96,25	0,420	
<i>Биотиты</i>														
2	1951/06	38,26	4,52	14,11	15,43		15,56			9,27		97,15	0,358	
3	В-4242/12	35,06	4,23	14,36	20,93		12,79			9,43		96,81	0,479	
4	4242/8	37,96	3,62	13,49	12,80		17,92			9,29		95,08	0,286	
4	В-4242/11	35,28	4,43	15,30	21,20		9,87			8,85		94,94	0,547	
<i>Плагиоклазы</i>														
1	1050/1	42,92	0,05	37,67				19,58				100,22		100
1	1951/10	42,39		37,67				20,16				100,22		100 (97)
2	4242/7	44,94		35,8				18,76				99,50		100 (94,7)
2	1951/06	49,47		32,56				14,93	2,17			99,13		88,4 (70,5)
2	В-4242/6	48,22		33,90				16,12	1,89			100,13		83,1 (74,4)
3	1951/02	45,54		34,26				17,69	1,31			98,80		87,9 (82,8)
3	В-4242/12	50,64		31,79				14,59	3,58			100,60		69,0 (59,4)
4	4242/8	45,15		35,01				18,72	0,92			99,80		91,8 (84,4)
4	В-4242/11	49,43		31,96				15,66	2,17			99,23		80,0 (65,0)

Примечание. Виды пород: 1 – ультрамафиты (обр. 1050/1-ОлШпОпрКпрРоПл, 1951/10-те же, но без Кпр, 1951/9-ШпОпрРоПл); 2 – магнезиальные базиты (4242/7-ШпОпрРоПл, 1951/06-ОпрКпрРоБиПл, 4242/6-ОпрКпрРоПл); 3 – железистые базиты (1951/02 и 4242/12 ОпрРоБиПлИлМт); 4 – лейкократовые базиты (4242/8 и 4242/11 – ОпрКпрРоБиПл); символы минералов: Би – биотит, Ил – ильменит, Кпр – клинопироксен, Мт – магнетит, Ол – оливин, Опр – ортопироксен, Пл – плагиоклаз, Ро – роговая обманка, Шп – шпинель; f=Fe/(Fe+Mg), Ан – мольный процент анортитового компонента в плагиоклазе; пробы, представленные в таблицах 1 и 2, отобраны: 1050/1, 1050/2 – из мелких фрагментов в гнейсах на правом берегу р.Алдан, 1951/02, 1951/05, 1951/06 – из тела I; остальные – из тела II.

2. Представительные анализы кристаллосланцев агдинского комплекса

Компоненты	Породы									
	Ультрамафиты		Магнезиальные базиты				Железистые базиты		Лейкократовые базиты	
	Номера проб									
	1050/1	1951/9*	4242/7	1951/05*	1050/2	4242/10	1951/02*	4242/12	4242/8	4242/11
SiO ₂	42,93	45,62	44,14	47,38	48,08	46,62	38,51	43,89	47,77	48,33
TiO ₂	0,18	0,14	0,1	0,27	0,31	0,76	2,40	2,17	0,14	0,34
Al ₂ O ₃	8,81	12,43	19,92	18,57	18,25	18,55	17,11	19,15	22,03	23,96
Fe ₂ O ₃	3,69	1,91	3,71	1,37	0,95	3,62	3,42	5,23	1,58	1,83
FeO	11,87	13,58	7,23	8,1	8,38	6,96	18	8,8	6,07	4,5
MnO	0,23	0,24	0,11	0,16	0,18	0,16	0,27	0,20	0,09	0,11
MgO	21,05	16,7	11,74	9,47	8,1	6,94	6,38	5,32	8,62	4,91
CaO	8,02	6,62	10,45	12,58	12,15	11,56	10,98	10,64	11,27	12,82
Na ₂ O	0,36	0,61	0,88	1,03	1,31	1,55	0,59	2,12	1,05	1,85
K ₂ O	0,4	0,46	0,27	0,59	0,63	0,67	1,17	0,89	0,32	0,69
P ₂ O ₅	0,02	0,05	0,02	0,02	0,05	0,13	0,93	0,81	0,02	0,03
CO ₂	0,55		0,33			0,18		0,3	0,27	0,23
H ₂ O	1,53		0,93		0,43	0,93		0,73	0,08	0,49
П.П.П.		2,55		1,22	1,1	0,15	2	0,13	0,48	0,38
Сумма	99,64	100,91	99,83	100,76	99,92	98,78	100,75	100,38	99,79	100,47
Кф	42,5	48,1	48,24	50	53,5	60,4	77,1	72,5	47,3	56,3
La	3,71	6,5		8,32	8,76		17,24	27		11,3
Ce	7,96	13		15,78	19,29		40,14	68		22
Pr	1,05			2,17	2,78		6,08	9,8		2,7
Nd	4,42	6,8		8,26	10,78		26,48	41		10,7
Sm	1,17	0,81		1,37	2,28		4,94	9,6		2,3
Eu	0,40	0,4		0,76	0,76		1,74	1,96		1
Gd	1,12	0,8		1,41	2,42		4,81	8,6		2
Tb	0,20			0,23	0,43		0,68	1,28		0,34
Dy	1,24	0,8		1,39	2,50		3,54	6,6		2,1
Ho	0,24			0,27	0,54		0,59	1,3		0,43
Er	0,67			0,83	1,56		1,58	3,4		1,19
Tm	0,11			0,12	0,24		0,21	0,51		0,17
Yb	0,73	0,5		0,80	1,48		1,3	3		1,1
Lu	0,11			0,12	0,23		0,19	0,43		0,16
Σ	23,14	>30		41,83	54,06		109,52	182,48		57,49
Rb	17,2			21,7	24,2		4,2	16,6		21
Sr	212			490	459		694	799		791
Ba	93	160		182	109		131	300		340
Y	6,61			7,38	13,24		16,06	35		10,6
Zr	17,2			29,8	18		19,6	46		15,1
Nb	1,10			1,20	1,58		4,80	5,6		1,61
Cs	0,54			0,69	0,86		0,16	0,18		0,47
Hf	0,61			0,96	0,75		0,54	1,89		0,52
Ta	0,09			0,09	0,12		0,45	0,33		0,06
Th	0,93			1,37	0,63		1,22	0,87		0,09
U	0,76			0,25	0,43		0,51	0,51		0,06
Cr	160	66	31	110	150	89	32	72	220	110
Ni	290	170	170	77	74	47	17	6,6	84	21
Co	140	93	92	41	51	45	90	40	57	28
V	78	47	22	70	160	130	97	220	76	85
Sc	24	12	11	44	35	28	17	34	16	24

Примечание. $Kф = \frac{FeO+Fe_2O_3}{MgO+FeO+Fe_2O_3} \cdot 100$ [10];

* – анализы пород на петрогенные компоненты выполнены рентгенофлуоресцентным методом.

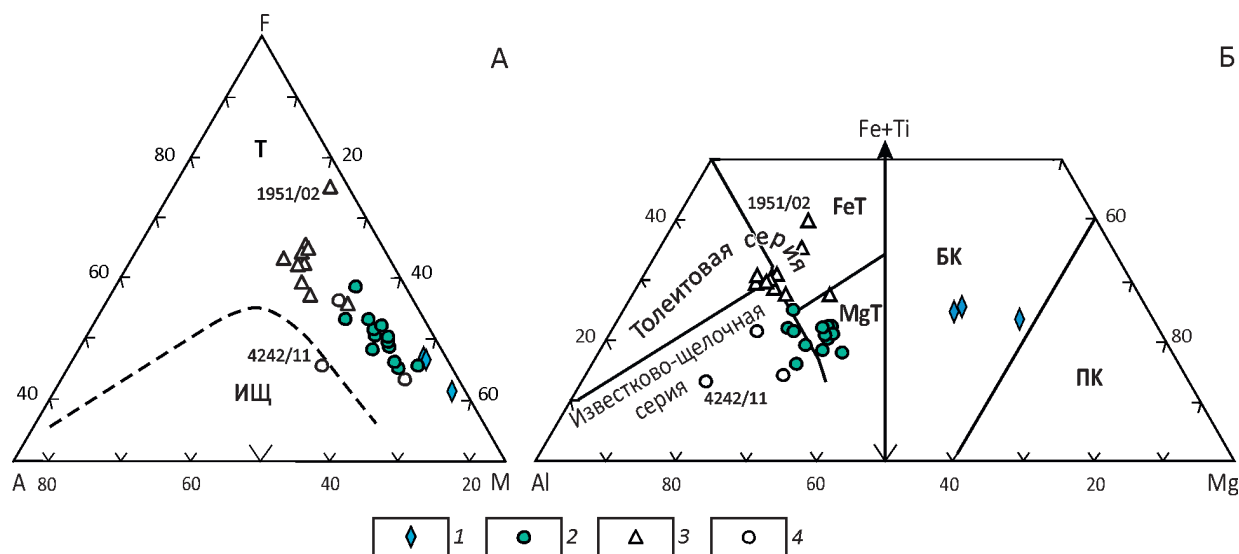


Рис. 2. Распределение точек анализов видов пород агдинского комплекса на диаграммах:

А – AFM [23], где $A=K_2O+Na_2O$, $F=FeO+0,9 \cdot Fe_2O_3$, $M=MgO$ с полями толейтовой (Т) и известково-щелочной (ИЩ) серий; Б – $Al-(Fe+Ti)-Mg$ [22] с упрощенными полями известково-щелочной и толейтовой серий, FeТ – высокожелезистых толейтоитов, MgТ – высокомагнезиальных толейтоитов, базальтовых (БК) и перидотитовых (ПК) коматитов; 1–4: виды пород комплекса агда: 1 – ультрамафиты, 2 – магнезиальные базиты, 3 – железистые базиты, 4 – лейкобазиты; номера проб на всех рисунках соответствуют номерам проб, упоминаемым в тексте

мощностями 1–10 м, иногда до 60 м. Наблюдается и более тонкая полосчатость, вероятно, возникшая при метаморфической дифференциации.

Проследить некоторые особенности и закономерности минерального состава видов пород можно в табл. 1.

Ультрамафиты отличаются присутствием вместе или порознь оливина (гиалосидерит) и шпинели (плеонаст). Они выделяются и отсутствием или незначительным (до 7–10%) содержанием плагиоклаза – чистого анортита. Главные минералы – ортопироксен (бронзит, гиперстен), амфибол (роговая обманка). Клинопироксен (диопсид, салит) имеет подчиненное значение или отсутствует.

Магнезиальные базиты – главнейшие породы комплекса, представлены в основном амфибол-двупироксеновыми кристаллосланцами с резко подчиненным амфиболом, много реже двупироксен-амфиболовыми и двупироксеновыми сланцами. Преобладают гиперстены над салитами. Железистость пироксенов и амфиболов (роговых обманок) выше, чем в ультрамафитах. В наиболее магнезиальном двупироксен-амфиболовом сланце (4242/7) обнаружены единичные зерна плеонаста. В этой пробе плагиоклаз – чистый анортит, как и в ультрамафитах. В других образцах определены битовниты. Необходимо отметить, что составы плагиоклазов, в отличие от других минералов, подвержены колебаниям анортитового компонента даже в пределах одного шлифа до 10% (см. табл. 1).

Состав роговых обманок также изменчив, но в табл. 1 это не отражено. Приведены наиболее частые определения.

Железистые базиты отличаются от всех других видов присутствием магнетита и ильменита (до 10%), а также апатита (до 1,5%). В некоторых наиболее железистых сланцах в локальных участках встречаются мелкие зерна граната. В железомagneзиальных минералах определена наивысшая железистость. Ортопироксен представлен феррогиперстеном, роговая обманка 4242/12 к тому же имеет наиболее высокое содержание TiO_2 , хотя в другой пробе 1951/02 этот оксид имеет пониженное значение. В других видах пород комплекса определены аномально низкие содержания TiO_2 в роговой обманке, что объясняется низкими содержаниями TiO_2 в породах при повышенных в них количествах амфибола. В пробе 4242/12 определены наиболее кислые плагиоклазы-лабрадоры.

Лейкобазиты выделены несколько условно по существенному преобладанию плагиоклаза (лабрадор, кислый битовнит) над железомagneзиальными минералами, которые по железистости близки минералам магнезиальных базитов.

В табл. 1 приведены анализы биотитов, встречающихся в редких шлифах в виде единичных листочков и до 1,5% в породе. При этом характерно весьма неравномерное распределение от 0 до 1,5%, что, скорее всего, вызвано наложенным привносом K_2O . По стабильно

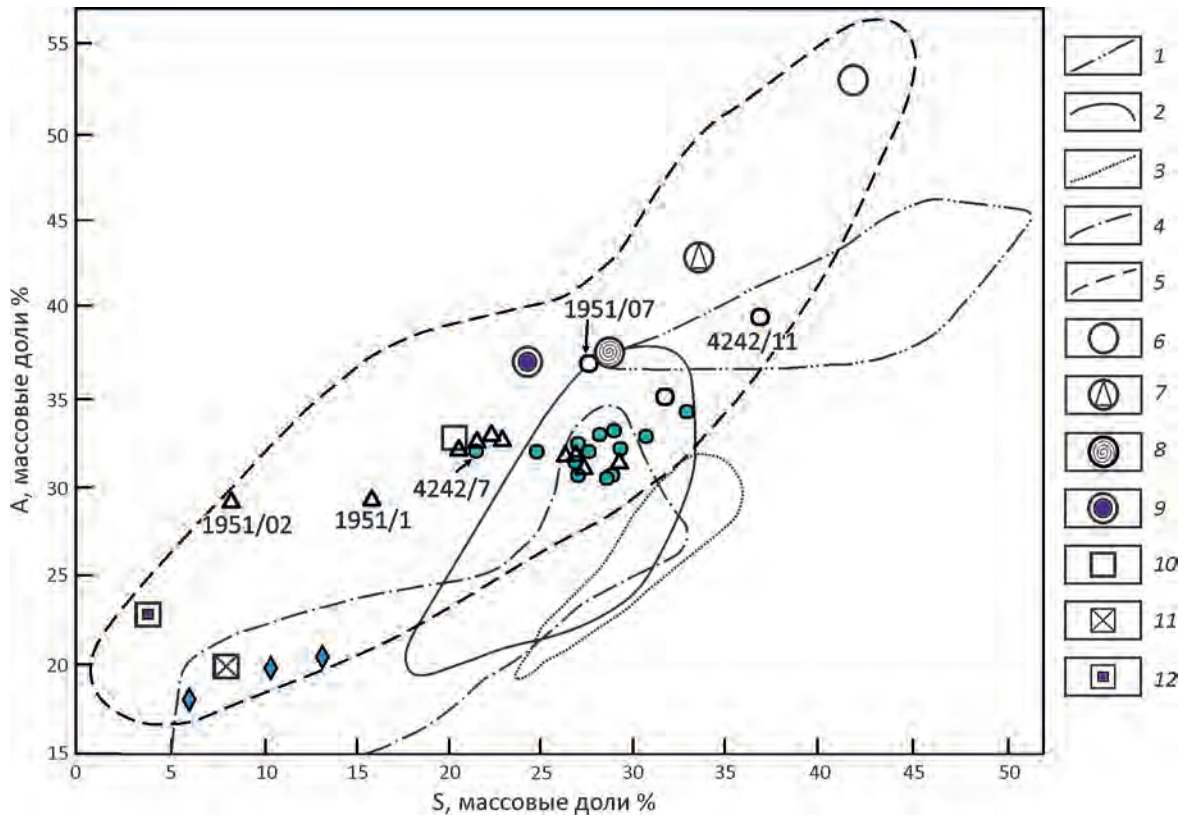


Рис. 3. Распределение анализов пород агдинского комплекса на диаграмме А-S [10], где $A=Al_2O_3+CaO+Na_2O+K_2O$, $S=SiO_2-(Fe_2O_3+FeO+MgO+MnO+TiO_2)$ (в массовых долях %):

контуры полей составов главных видов основных плутонических пород нормального ряда Земли по работе [10]: 1 – анортозиты (битовнититы, лабрадориты), 2 – габбро, 3 – нориты, 4 – пироксениты, 5 – поле пород керакского комплекса Алдано-Станового щита [4]; средние химические составы лунных основных плутонических пород [9]: 6 – анортозитов, 7 – лейкогаббро, 8 – высокоглиноземистого оливинового габбро, 9 – шпинелевых троктолитов, 10 – троктолитов, 11 – оливинового меланогаббро, 12 – ильменит-оливинового габбро; средние составы ряда разновидностей лунных габбро, приходящиеся в поле земных габбро, на рис. не показаны; остальные услов. обозн. см. на рис. 2

высоким TiO_2 и в целом по составу биотиты соответствуют слюдам гранулитовой фации.

Таким образом, ассоциации минералов и их составы, в том числе изменчивость состава роговых обманок и плагиоклазов подтверждают, что метаморфизм пород комплекса соответствует гранулитовой фации, возможно, с некоторой регрессивной перекристаллизацией в условиях высокотемпературной амфиболитовой фации. Диагностированы единичные зерна сульфидов, а также низкотемпературные минералы и агрегаты: серпентин, хлорит, пинит, цоизит, актинолит, сосюрит и др., обнаруженные в редких катаклазированных и рассланцованных кристаллосланцах.

Химические составы пород агдинского комплекса. В распоряжении авторов настоящей публикации имеются 29 анализов пород: 1 вида – 3, 2 вида – 13, 3 вида – 10, 4 вида – 3. Из них отобраны представительные анализы из всех видов пород (см. табл. 2).

На основании петрографических данных и опыта исследований метабазитов в других районах Алдано-Станового щита [17] можно заключить, что рассматриваемые кристаллосланцы при метаморфизме существенных химических изменений не испытывали. В единственном биотитизированном сланце K_2O 1,34%, в некоторых 0,7–1,0%, но в основном еще ниже. По-видимому, породы с K_2O 0,7–1,0% также могут относиться к породам с незначительным привносом K_2O . Изменчивость составов плагиоклазов, остающихся в целом битовнититами с переходами в лабрадориты, возможно, связана с незначительным привносом Na_2O , хотя не исключена и связь с незавершенными обменными реакциями с другим Na-содержащим минералом – амфиболом.

Ультрамафиты характеризуются наиболее высокими содержаниями MgO , из-за чего на диаграммах точки их анализов обособлены от точек других видов

пород (см. рисунки 2, А–Б и 3). Кроме того, они отличаются более низкими содержаниями Al_2O_3 , CaO , TiO_2 , щелочей. По $FeO+Fe_2O_3=15,5–16,2\%$ они сопоставимы с частью железистых базитов, но в них наиболее низкий $Kf=42–48\%$. В ультрамафитах нормативными минералами, рассчитанными по методу CIPW [19], являются оливин (Ол), ортопироксен (Опр), клинопироксен (Кпр), плагиоклаз (Пл). Могла быть и шпинель (Шп), не предусмотренная методом. Можно предположить, что первичными аналогами ультрамафитов были оливиновые меланогаббро [10, 13]. Водосодержащие минералы, например, роговые обманки, также не предусмотрены методом, поэтому не следует исключать вероятность того, что первичными породами были какие-то представители семейства пироксенитов-горнблендитов (см. рис. 3).

Магнезиальные базиты, как и ультрамафиты, характеризуются стабильно низкими содержаниями Na_2O и K_2O . Суммы их несколько выше в магнезиальных сланцах, но все они относятся к низкощелочным породам. Содержания CaO высокие, сопоставимые только с лейкобазитами, а TiO_2 и P_2O_5 – низкие, едва превышающие содержания их в ультрамафитах. Большинство анализов соответствует оливиновым габбро, некоторые из них приближаются к троктолиту (проба 4242/7), меньше – габбро.

В *железистых базитах* определены в целом наиболее высокие содержания и широкие вариации: $FeO+Fe_2O_3=12,2–18,4\%$, $TiO_2=1–2,44\%$ и $P_2O_5=0,28–1,35\%$, чем во всех других видах пород, кроме ультрамафитов (по суммарному железу). Это связано с вариациями содержаний ильменита+магнетита, апатита и повышенной железистостью железомagneзиальных минералов. В этом виде пород изменчиво также содержание SiO_2 , самое низкое в богатом ильменитом и магнетитом сланце (см. табл. 2, обр. 1951/02). Широкий разброс точек анализов пород на рис. 3 связан именно с этими особенностями химизма. Содержание щелочей, особенно Na_2O в этом виде выше, чем в других видах пород, и с учетом предполагаемого незначительного привноса Na_2O и K_2O железистые базиты соответствуют породам нормальной щелочности. Нормативные плагиоклазы в них представлены лабрадорами (Ан 64–70%) с переходами в битовниты, то есть заметно кислее, чем в других видах. В целом, судя по распределению точек анализов в координатах А–S, можно заключить, что некоторые из железистых базитов комплекса агда относятся к числу редких пород. Исключение составляет тот же образец 1951/02 с непонятными очень низкими щелочами и с Ан 90% (вынос Na_2O ?). В железистых сланцах CaO ниже, чем во 2-м и 4-м видах, но выше, чем в 1-м. Интересно отметить равные высокие содержания Al_2O_3 как в магнезиальных, так и в железистых базитах агдинского комплекса. В дифференцированных магматических комплексах Алдано-Станового щита обычно глиноземистость уменьшается от магнезиальных к железистым

разностям [6, 16]. Первичный вид железистых базитов – габбро, оливиновое габбро и до близких к феррогаббро (обр. 1951/02). На рис. 3 видно, что точка этой пробы находится вблизи среднего состава ильменит-оливинового габбро материковой части Луны. Однако последнее кардинально отличается высокими содержаниями MgO , TiO_2 и низкими – Al_2O_3 , P_2O_5 .

Лейкобазиты названы условно по $Al_2O_3=21–24\%$, поскольку некоторые разновидности из 2 и 3 видов с $Al_2O_3=18–20\%$ также имеют лейкократовый облик. Такие лейкократовые высокоглиноземистые породы, будучи на самом деле толеитами (см. рис. 2, А), оказались, как и некоторые образцы магнезиальных и железистых базитов, в поле известково-щелочных пород (см. рис. 2, Б). По содержаниям других оксидов лейкобазиты заметно ближе к магнезиальным базитам, отчетливо отличаясь от железистых, и соответствуют габбро-анортозитам (4242/11), высокоглиноземистым оливиновым габбро (1951/07) и оливиновым габбро. Как видно на рис. 3, точка анализа 1951/07 совпала с точкой среднего состава высокоглиноземистого оливинового габбро материковой части Луны. Однако лейкобазит авторов отличается пониженными содержаниями Al_2O_3 , MgO и высокими Na_2O и K_2O .

Выявленные петрохимические особенности видов пород комплекса дополняются определениями элементов-примесей (см. табл. 2). Суммы РЗЭ в 1, 2, 4 видах пород оказались низкие со слабым ростом в ряду, а в 3 виде в 2–8 раз более высокие. Пробы с положительной аномалией Eu и без аномалий установлены в ультрамафитах и магнезиальных базитах, а с отрицательной аномалией и без аномалий в железистых базитах (рис. 4). В пробе лейкобазита определена положительная аномалия Eu. Для всех проб характерна слабая обогащенность легкими РЗЭ. Все виды пород бедны Rb и Cs, но Sr и Ba в них достаточно высоки, причем в ряду 1–2–3–4 заметен рост их содержаний. Во всех видах пород определены низкие содержания высокозарядных и транзитных элементов. Из последней группы элементов только в ультрамафитах выявлены незначительно более высокие содержания Ni и Co, что на порядок ниже, чем в ультрамафитах из других комплексов Алдано-Станового щита.

Обсуждение. Приведенные данные свидетельствуют о возможности выделения в северо-западной части Суннагинского блока квази-изохимически метаморфизованного в гранулитовой фации дифференцированного интрузивного комплекса. Выделенные виды пород комплекса достаточно уверенно укладываются в ряд дифференциации: ультрамафиты, по-видимому, были сформированы как кумулятивные образования, сложенные оливином, ортопироксеном, клинопироксеном (\pm плагиоклазом, шпинелью), а железистые базиты – поздние дифференциаты. Промежуточные, главные дифференциаты представлены магнезиальными базитами: оливиновыми габбро и габбро, в процессе

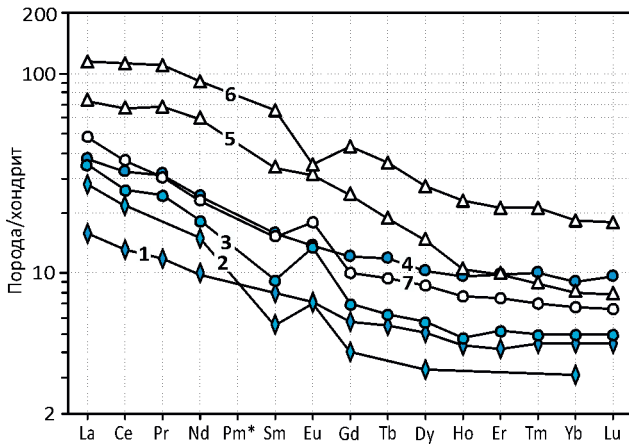


Рис. 4. Распределение РЗЭ в кристаллосланцах агдинского комплекса, нормированных по хондриту [24]:

цифры на линиях (1–7) соответствуют авторским номерам проб в табл. 2: 1(1050/1), 2(1951/9) – ультрамафиты; 3(1951/05), 4(1050/2) – магнезиальные базиты; 5(1951/02), 6(4242/12) – железистые базиты; 7(4242/11) – лейкобазит

кристаллизации которых происходило некоторое фракционирование плагиоклаза, что обеспечило появление лейкогаббро. Следует подчеркнуть, что родоначальная магма была особо высокоглиноземистой. С этим связаны высокие содержания Al_2O_3 даже в поздних дифференциатах.

На Суннагинском блоке выделяются дайки, массивы, сложенные кристаллосланцами [5], составы которых изучены недостаточно. Например, упомянутые дайки типа А, Б, В, судя по средним составам, охарактеризованы всего 8, 1 и 6 анализами соответственно [5]. При этом средний состав даек типа А, одна из которых географически совпадает с выходами агдинского комплекса, сильно отличается от видов пород этого комплекса более высокими содержаниями SiO_2 , Na_2O и низким – Al_2O_3 .

Лучше изучены массивы метагабброидного комплекса в восточной части блока [16], сложенные аналогами оливковых габбро, габбро ($MgO < 8\%$), железистыми габбро, рудными габбро, габбро-анортозитами и анортозитами с повышенными, чем агдинские, содержаниями SiO_2 , Na_2O и низким Al_2O_3 и др. То есть другие выходы пород агдинского комплекса на блоке пока не обнаружены.

По минеральному составу, в частности, по весьма редкой равновесной ассоциации Ол+Шп+Ан и общим химическим особенностям ряда видов пород: недосыщенности SiO_2 , высокоглиноземистости, низкой щелочности и другим, агдинский комплекс обнаруживает сходства с уникальным ультрамафит-мафитовым расслоенным керакским комплексом Нимнырского блока

Алдано-Станового щита [3, 4]. Сходства химизма этих комплексов наглядно иллюстрируются на рис. 3, где фигуративные точки анализов пород находятся в едином поле. Причем около половины этого поля находится за полями широко распространенных земных интрузивных пород, что свидетельствует о редкости пород керакского и агдинского комплексов.

Между тем существует и целый ряд различий. Отметим некоторые из них. В керакском комплексе установлено большее разнообразие пород, включая аналоги шпинелевых троктолитов, троктолитов и анортитов с петрохимией, близкой к лунным видам этих пород. Наряду с обычными пироксенами и роговыми обманками, в керакских ультрамафитах обнаружены фассаиты и паргаситы. Кроме того, в керакском комплексе отсутствуют железистые базиты. Различия существуют в содержаниях и распределении РЗЭ и других элементов-примесей.

Агдинский комплекс имеет сходства и различия с некоторыми из широко известных расслоенных комплексов Гренландии – Фискенассет, Скергаард и других районов [13]. Комплекс Фискенассет, архейский гранулитовый, образует тело протяженностью 500 км при мощности до 2 км, сложно многократно деформирован в изоклинальные складки. Сходства заметны по минеральному и химическому составам пород, включая высокую основность Пл (Ан 86–92%) в габбро-анортозитах и анортозитах, по бедности ряда вида Rb, Zr и др., но в них высокие содержания Ni, Co и низкие – Sr, Ba. Кроме того, здесь отсутствуют аналоги агдинских железистых базитов, присутствует хромитовый горизонт, а некоторые из многочисленных ультрабазитов обогащены магнетитом, ильменитом. Породы, близкие к железистым агдинским базитам, присутствуют в третичном Скергаардском массиве (60 км²), где они объединены с другими высокожелезистыми породами в группу «ферродиориты», по SiO_2 соответствуют породам основного состава и занимают в разрезе верхнее положение. Породы нижней расслоенной серии массива: троктолиты, оливковые габбро, лейкогаббро отличаются от близких пород агдинского комплекса более высокими содержаниями SiO_2 , Na_2O при близком Al_2O_3 . Конечным продуктом кристаллизации скергаардской магмы считаются породы «сэндвичевого» горизонта, сложенного слоями фаялитового габбро, андезита и фаялит-геденбергитового гранофира.

Таким образом, более или менее полных аналогов комплекса агда, по-видимому, пока нет. Возможно, это связано со слабой изученностью не только района, но и других частей Суннагинского блока и других структур щита.

Изученные тела, скорее всего, представляют собой тектонические линзы, поэтому не исключена возможность того, что были и другие дифференциаты: ультрабазиты, анортозиты и др., и мы имеем дело с фрагментами расслоенного массива.

Работами, проведенными авторами настоящей публикации, было установлено, что большая часть гранитоидов западной части Суннагинского блока (чарнокиты массива Емеллели, массивов в верховьях р. Желтула) характеризуются интервалом возрастов по Rb-Sr методу по породам 2224–2184 млн. лет (возраст формирования протолитов) [2, 7].

Таким образом, формированию надвигов ТЗТМ в западной части Суннагинского блока, вероятно, предшествовали геодинамические обстановки растяжения, сопровождавшиеся интенсивным осадконакоплением, формированием расслоенных интрузий и чарнокитов. Для более полного обоснования этих предположений предстоят дальнейшие многоплановые исследования, поскольку не исключена возможность более широкого распространения этих пород в пределах Суннагинского и Нимнырского блоков Алдано-Станового щита.

Исследования выполнены по плану НИР ИГАБМ СО РАН (проект 0381-2016-0003).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Архей* Алданского щита / В.М.Моралев, И.М.Фрумкин, В.И.Кицул, А.Ф.Петров // Сводный путеводитель экскурсий 052, 053, 054, 055 27-го Международного геологического конгресса. – Новосибирск: Наука, 1984. С. 89–106, 130–135.
2. *Березкин В.И., Зайцев А.И., Кравченко А.А.* Геохимия чарнокитовой серии массива Емеллели Алдано-Станового щита // Отечественная геология. 2015. № 5. С. 61–70.
3. *Березкин В.И., Кравченко А.А.* Минералогия раннедокембрийского керамского комплекса Алдано-Станового щита // Отечественная геология. 2014. № 5. С. 53–63.
4. *Березкин В.И., Кравченко А.А., Смелов А.П.* Первые данные о геологии и составе раннедокембрийского анортозит-габбро-троктолитового комплекса в центральной части Алдано-Станового щита // Отечественная геология. 2011. № 5. С. 70–79.
5. *Sm-Nd и U-Pb возраст* даек метабазитов гранулитогнейсовой области Алданского щита (к проблеме длительности процессов палеопротерозойского термотектогенеза) / М.З.Глуховский, М.И.Кузьмин, Т.Б.Баянова, П.А.Серов // ДАН. 2007. Т. 412. № 6. С. 788–793.
6. *Геологическое строение* центральной части Алдано-Станового щита и химические составы пород раннего докембрия (Южная Якутия) / В.И.Березкин, А.П.Смелов, А.Н.Зедгенизов и др. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2015.
7. *Геохимия интрузивных комплексов* раннего докембрия северной части Алданской гранулитогнейсовой области / А.А.Кравченко, В.И.Березкин, Н.В.Попов и др. // Мат-лы VII всерос. науч.-практич. конф. «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России». – Якутск, 2017. С. 307–313.
8. *Кицул В.И., Петров А.Ф., Зедгенизов А.Н.* Структурно-вещественные комплексы Алданского щита // Главные тектонические комплексы Сибири / Отв. ред. К.В.Боголепов, Б.М.Чиков. – Новосибирск: ИГ СО АН СССР, 1979. С. 16–31.
9. *Классификация лунных магматических пород* / О.А.Богатиков, В.И.Гоньшакова, Д.И.Фрих-Хар и др. – М.: Недра, 1985.
10. *Классификация и номенклатура магматических горных пород* / Под ред. О.А.Богатикова. – М.: Недра, 1981.
11. *Колесник Ю.Н., Завьялова И.В., Королюк В.Н.* К петрологии архейских перидотитов (Алданский щит) // ДАН СССР. 1979. Т. 244. № 6. С. 1456–1460.
12. *Кравченко А.А., Березкин В.И., Тимофеев В.Ф.* Петрохимия кристаллических сланцев Тьркиндинской зоны тектонического меланжа Алдано-Станового щита // Мат-лы VI всерос. науч.-практич. конф. «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России». – Якутск, 2016. С. 384–388.
13. *Магматические горные породы. Основные породы* / Под ред. О.А.Богатикова. – М.: Наука, 1985.
14. *Попов Н.В.* Метаморфические формации и геологическое строение Суннагинского блока Алданского щита // Геология и геофизика. 1986. № 4. С. 19–27.
15. *Попов Н.В., Зедгенизов А.Н., Березкин В.И.* Петрохимия архейских метавулканитов Суннагинского блока Алданского массива. Препринт № 10. – Новосибирск: ИГ СО АН СССР, 1989.
16. *Попов Н.В., Тимофеев В.Ф., Березкин В.И.* Дифференцированные метагабброиды Мегюсканского района Суннагинского блока (северо-восточная часть Алдано-Станового щита) // Мат-лы VI всерос. науч.-практич. конф. «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России». – Якутск, 2016. С. 417–426.
17. *Ранний докембрий Южной Якутии* / В.Л.Дук, В.И.Кицул, А.Ф.Петров и др. – М.: Наука, 1986.
18. *Смелов А.П., Зедгенизов А.Н., Тимофеев В.Ф.* Алдано-Становой щит // Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). – М.: «Наука/Интерпериодика», 2001. С. 81–104.
19. *Четвериков С.Д.* Руководство к петрохимическим пересчетам. – М.: Изд-во литературы по геологии и охране недр, 1956.
20. *Эволюция Алдано-Станового щита в архее и в раннем протерозое* / Н.В.Попов, А.П.Смелов, В.И.Березкин и др. // Мат-лы VII всерос. науч.-практич. конф. «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России». – Якутск, 2017. С. 384–389.
21. *Эволюция вещества при ультраметаморфизме* (на примере докембрия Восточной Сибири) / Под ред. В.А.Глебовицкого. – Л.: Наука, 1972.
22. *Iensen L.S.* A new cation plot classifying subalkalic volcanic rocks // Ontario Division of Mines, Miscellaneous paper. 1976.
23. *Irvine T.N., Baragar W.R.A.* A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks // Canadian J. Earth. Sci. 1971. Vol. 8. № 5. Pp. 532–547.
24. *Sun Sh.S., McDonough W.F.* Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt: implications for mantle composition and processes // Magmatism in ocean basins / Eds. A.D.Sounders, M.J.Norry // Geol. Soc. Spec. Public. 1989. № 42. Pp. 313–345.