



Пугачёв Антон Александрович

В 2013 г. окончил Дальневосточный федеральный университет по специальности «геология». Будучи студентом работал в лаборатории геологических формаций Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН в качестве техника. После окончания вуза поступил в аспирантуру этого же института по специальности «петрология и вулканология» и был переведен на должность старшего инженера. Аспирантуру окончил в 2016 г.

Участвовал в морской экспедиции по Японскому морю. Результаты своих исследований представлял на IV Международной конференции молодых ученых и специалистов «Новое в геологии и геофизике Арктики, Антарктики и Мирового океана», проходившей 16–17 апреля 2014 г. в Тюмени.

Научные интересы молодого ученого связаны с изучением геотермобарометрических условий метаморфизма пород Японского моря и континентального обрамления Южного Приморья, а также их петрогеохимических особенностей.

УДК 552.163 (571.63)

А.А. ПУГАЧЁВ

Кристаллические сланцы острова Русский (залив Петра Великого, Японское море)

Приведены результаты исследований метаморфических пород о-ва Русский, расположенных в его северо-западной части по бортам бухты Рында. По результатам петрографического, петрогеохимического изучения этих пород и отдельных минералов из них (амфибола и плагиоклаза) определены условия их метаморфизма, отвечающие зеленосланцевой фации. Проведено сравнение изученных пород с позднепротерозойскими метаморфическими образованиями Ханкайского массива Приморья. Высказано предположение о продолжении структур последнего в Южно-Приморскую зону.

Ключевые слова: о-в Русский, метаморфизм, термобарометрия, петрология, геохимия.

Crystalline schists of the Russian Island (Peter the Great Bay, the Sea of Japan). A.A. PUGACHEV (V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok).

The article presents the results of studies of the metamorphic rocks of the Russian Island located in its northwestern part along the sides of the Rynda Bay. Petrographic, petrogeochemical studies of these rocks and individual minerals from them (amphibole and plagioclase) are presented. The conditions for the metamorphism of these rocks, corresponding to the greenschist facies, are determined and compared with the Late Proterozoic

ПУГАЧЁВ Антон Александрович – старший инженер (Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток). E-mail: pugachev@poi.dvo.ru

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках программы «Дальний Восток», грант № 15-1-1-006о.

metamorphic formations of the Khanka massif of Primorye. It was suggested that the structure of the latter would continue into the South Primorsky zone.

Key words: Russian Island, metamorphism, thermobarometry, petrology, geochemistry.

Остров Русский расположен в зал. Петра Великого, в южной части Приморского края к югу от Владивостока. Его площадь 97,6 км². От п-ова Муравьев-Амурский он отделен прол. Босфор Восточный, а от о-ва Попова – прол. Старка. Остров омывается водами Амурского и Уссурийского заливов. Его береговая линия сильно изрезана остроконечными мысами и глубокими бухтами. Наивысшие точки острова – горы Русских (291,5 м) и Главная (279 м).

На северо-западном побережье острова выходят коренные обнажения метаморфических пород. Целью работы является детальное геологическое описание этих пород, определение условий их метаморфизма и сопоставление изучаемых пород с метаморфическими породами Приморья.

Методика работ

В ходе работы выполнено 3 маршрута с целью уточнения геологического строения, отбора образцов и установления взаимоотношения пород с гранитами. Из образцов в Дальневосточном геологическом институте (ДВГИ) ДВО РАН и Приморском геологическом управлении были изготовлены шлифы для определения минералогического состава пород. Часть образцов была истерта в пудру для анализа на петрогенные и микроэлементы. Анализ проводился в ДВГИ ДВО РАН. Содержание H₂O, SiO₂, потери при прокаливании (ппп) в образцах P-2 и P-2-1 определялись методом гравиметрии, остальных элементов – методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре iCAP 6500 Duo (Thermo Scientific Corporation, США). Образцы

Таблица 1

Химический состав метаморфических пород о-ва Русский

Компонент	Содержание в пробах, масс. %						
	1 (P-2)	2 (P-2-1)	3 (S-2-2)	4 (54-1)	5 (55-1)	6 (61)	7 (54-2)
SiO ₂	55,17	55,31	47,60	62,44	62,20	53,40	59,05
TiO ₂	0,52	0,80	1,44	0,60	0,47	0,51	0,79
Al ₂ O ₃	13,23	18,69	15,31	12,59	12,12	11,46	16,27
Fe ₂ O ₃	4,80	6,52	12,31	5,29	6,01	5,40	6,79
MnO	0,10	0,08	0,16	0,12	0,10	0,18	0,10
MgO	2,77	4,50	7,90	4,83	4,15	6,04	3,16
CaO	11,89	3,49	8,92	5,53	8,77	11,48	4,22
Na ₂ O	2,89	2,71	2,83	2,29	2,95	2,57	3,70
K ₂ O	2,19	3,91	1,27	3,27	1,80	2,04	3,26
P ₂ O ₅	0,19	0,25	0,11	0,25	0,15	0,15	0,33
H ₂ O	0,19	0,25	0,20	0,08	0,14	0,25	0,08
ппп	6,30	3,25	1,70	2,44	0,96	6,25	2,01
Σ	100,25	99,75	99,74	99,73	99,83	99,73	99,76

Примечание. Здесь и в табл. 2: 1, 2 – кристаллические сланцы с правого борта бухты Рында (образцы Е.П. Терехова); 3–7 – сланцы: 3 – биотит-хлорит-кварц-плаггиоклаз-актинолитовые, 4 – кварц-хлорит-карбонат-эпидот-калишпатовые, 5 – силлиманит-биотит-мусковит-амфибол-хлорит-кварцевые, 6 – порфиroidный граносиенит с интенсивным кварц-хлорит-эпидотовым замещением, 7 – эпидот-хлорит-карбонат-плаггиоклаз-калишпат-кварцевые.

Содержание микроэлементов в метаморфических породах о-ва Русский

Элемент	Содержание в пробах, г/т						
	1 (P-2)	2 (P-2-1)	3 (S-2-2)	4 (54-1)	5 (55-1)	6 (61)	7 (54-2)
Be	1,16	2,29	0,40	0	0	0	0
Sc	9,2	16,5	58,2	1,56	1,25	1,38	2,06
V	70,93	124,4	297,7	12,7	13,5	13,6	11,8
Cr	47,83	65,63	345,6	76,78	70,87	109,0	87,87
Co	9,47	13,7	45,89	58,32	57,16	30,18	46,20
Ni	13,26	21,86	46,12	11,48	11,70	17,50	10,11
Cu	16,55	24,03	316,6	22,25	20,24	18,97	17,56
Zn	43,7	79,4	118,9	18,14	94,63	48,09	12,05
Ga	17,48	25,31	18,48	103	62,7	84,6	75,3
Rb	65,07	136,8	33,01	13,75	14,20	21,26	15,52
Sr	431,6	213,7	347,0	57,28	41,98	55,38	43,82
Y	26,53	24,93	27,39	321,0	330,6	583,7	355,1
Zr	178,6	230,5	85,70	25,27	27,45	22,99	25,04
Nb	9,72	15,57	3,66	238,1	114,5	235,0	167,0
Mo	0	0,27	0,39	11,27	9,00	11,44	8,84
Cd	0,07	0,23	0,02	0,43	0,87	0,70	0,30
Sn	0,95	2,08	1,19	0,13	0,57	0,45	0,05
Cs	0,92	3,87	0,30	2,08	2,73	1,39	3,19
Ba	488,5	914,1	488,7	0,77	0,87	0,16	0,01
La	34,77	38,58	3,35	811,2	509,1	858,7	517,1
Ce	66,63	78,93	8,89	37,97	32,84	38,47	28,91
Pr	7,58	9,01	1,71	74,06	64,47	79,66	56,77
Nd	27,14	32,75	11,67	8,64	7,42	9,67	6,82
Sm	5,9	6,61	2,17	33,85	27,15	36,78	25,51
Eu	1,05	1,07	1,25	5,09	4,44	5,96	4,43
Gd	4,64	5,72	4,49	1,17	1,21	1,55	0,89
Tb	0,7	0,67	0,72	5,35	4,76	5,51	4,59
Dy	3,68	4,19	4,79	0,86	0,78	0,95	0,58
Ho	0,77	0,76	1,01	4,03	4,17	4,31	3,63
Er	2,36	2,64	2,83	0,92	1,00	0,74	0,72
Tm	0,29	0,28	0,46	2,49	2,75	2,39	2,27
Yb	1,88	2,23	2,31	0,39	0,48	0,31	0,39
Lu	0,28	0,27	0,37	2,42	2,96	1,96	2,42
Hf	4,27	5,39	2,29	0,28	0,52	0,27	0,37
Ta	0,42	0,8	0,15	5,81	2,62	5,81	4,43
W	0,27	1,09	1,15	0,64	0,51	0,62	0,55
Pb	6,4	5,72	16,47	5,06	1,92	1,91	1,90
Th	6,67	10,25	0,22	17,37	16,39	19,85	11,10
U	1,58	2,16	0,12	9,65	7,58	9,81	11,37

S-2-2, 54-1, 55-1, 61, 54-2 были проанализированы на спектрометре Agilent 7500 с (Agilent Technologies, США), анализ ИСП-МС проведен научным сотрудником М.Г. Блохиным и инженером Д.С. Остапенко. На основе данных, приведенных в табл. 1, 2, были построены и интерпретированы графики отношения суммы щелочей к кремнезему, а также спайдер-диаграммы редких и редкоземельных элементов, нормированные по хондриту.

Петрографический состав метаморфических пород изучался с помощью поляризационного микроскопа Nikon Eclipse LV100N POL. Из двух образцов были изготовлены шлифы для определения химического состава минералов. Анализ проводился на четырехканальном микроанализаторе JXA 8100. На основе полученных результатов были рассчитаны кристаллохимические формулы минералов. Температура и давление рассчитывались

с применением одновременно трех геотермобарометров – амфиболового М.А. Мишкина [5], плагиоклаз-амфиболового Л.П. Плюсниной [8] и компьютерной программы РЕТ (Petrological Elementary Tools), что позволило точнее вычислить температуру и давление образования метаморфических пород.

Результаты и обсуждение

Геология о-ва Русский. В геологическом плане остров расположен в южной части Муравьево-Дунайской структурно-тектонической зоны. На его западном побережье выходят древние, предположительно рифейские, блоки метаморфических пород. Северная часть острова сложена косослоистыми аркозовыми песчаниками поспеловской свиты, перекрытой пермскими туфоконгломератами, туфитами, туфопесчаниками и туфоалевролитами владивостокской свиты. В восточной части прослеживаются триасовые осадочные отложения. Центральную часть острова слагают раннепалеозойские массивы гранитоидов (рис. 1) [1].

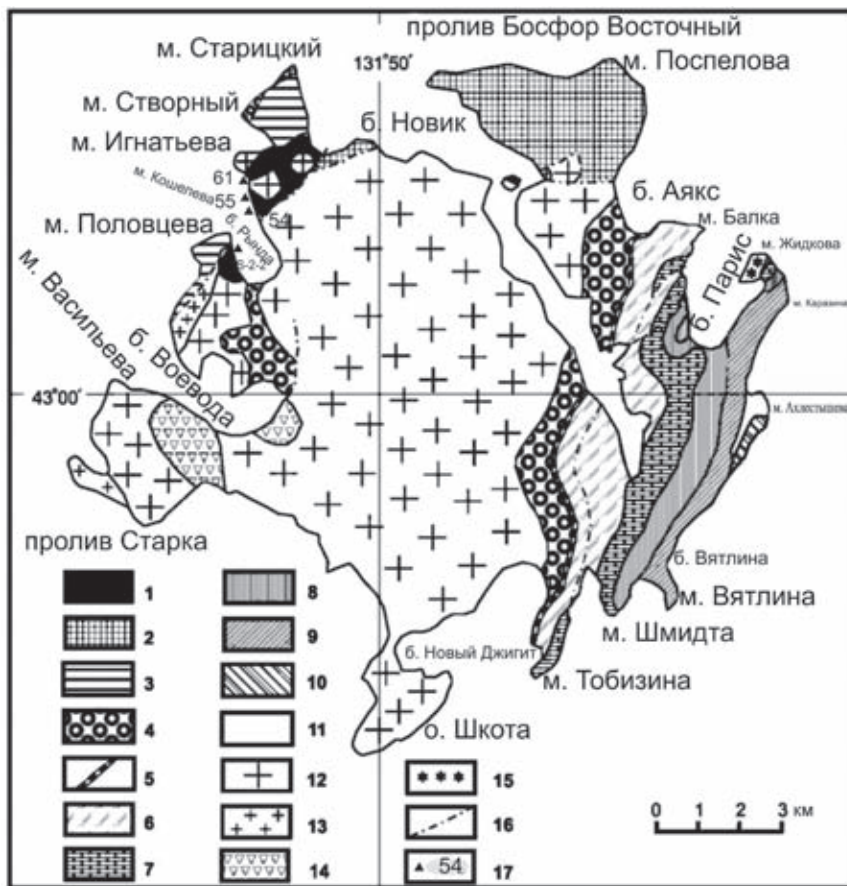


Рис. 1. Геологическая карта о-ва Русский. Составлена по материалам работы [4] с точками наблюдения автора. Усл. обозначения: 1–10 – свиты и их возраст: 1 – предположительно, докембрийская путятинская, 2 – кунгурско-роадская поспеловская, 3 – нижняя подсвита владивостокской (вордский ярус), 4 – нижняя часть лазурнинской (индский ярус), 5 – верхняя часть лазурнинской (базальные слои оленекского яруса), 6 – тобизинская (нижняя часть аякского подъяруса оленекского яруса), 7 – шмидтовская (верхняя часть аякского подъяруса оленекского яруса), 8 – житковская (русский подъярус оленекского яруса), 9 – каразинская (анизийский ярус), 10 – ахлестышевская (ладинский? ярус); 11 – четвертичные отложения; 12 – предположительно, раннепалеозойские гранитоиды; 13 – позднепермские гранит-порфиры; 14 – позднепермские андезиты; 15 – меловые фельзит-порфиры; 16 – разрывное нарушение; 17 – точки наблюдений и их номера

Кристаллические сланцы наблюдаются в западной части о-ва Русский, на северном и южном берегах бухты Рында и на небольшом мысе севернее мыса Кошелева. Они отнесены к рифею [4].

На южном побережье бухты Рында протяженностью около 400 м фиксируется несколько небольших выходов коренных метаморфических пород высотой около 10 м. Обнажения сложены послойными мигматитами с частым чередованием линзовидного материала и субстрата. Мощность линз от нескольких миллиметров до 10 см. Субстрат представлен тонкоплойчатыми темно- и светло-серыми сланцами, прорванными жилами гранитов мощностью около 20 см. Сланцы имеют биотит-хлорит-кварц-плагиоклаз-актинолитовый и биотит-хлорит-плагиоклаз-мусковит-кварцевый составы.

На северном берегу бухты Рында наблюдаются выходы кристаллических сланцев протяженностью около 600 м и высотой до 5 м, прорванных жилами (до 1,5 м) порфировидных граносиенитов. Гранодиориты, рвущие метаморфические породы, имеют возраст, определенный по цирконам U-Pb методом, $423,7 \pm 3,2$ млн лет [11], что соответствует нижнему силуру. Гранитоиды состоят из калиевого полевого шпата, плагиоклаза и кварца, представленного микрофенокристаллами размером 0,5 мм. Среди темноцветных минералов присутствует хлорит и эпидот [3]. На мысе Кошелева выходы коренных пород (рис. 2) сложены послойными мигматитами с частым чередованием жильного материала и кристаллических сланцев кварц-хлорит-карбонат-эпидот-калишпатового и силлиманит-биотит-мусковит-амфибол-хлорит-кварцевого составов. Мощность жил от нескольких миллиметров до 5 см.

На небольшом мысе шириной около 15 м, длиной 45 м, высотой 4 м, расположенном по центру безымянной бухты севернее мыса Кошелева, описаны послойные мигматиты с частым чередованием жильного материала и субстрата. В составе жил от нескольких миллиметров до 5 см, расположенных согласно сланцеватости пород, определяется преимущественно кварц. Субстрат состоит из тонкоплойчатых кристаллических светло-серых сланцев. По центру мыса с обеих его сторон прослеживается дайка пород, предположительно, основного состава мощностью около 1 м. В начале мыса выходят две гранитные интрузии. Одна представлена серыми среднезернистыми гранитами с ксенолитами оплавленных метаморфических сланцев, другая – красноватыми среднезернистыми гранитами, не имеющими никаких посторонних включений.

Все метаморфические породы обладают сланцевой структурой и микроплойчатостью, не свойственной другим комплексам пород о-ва Русский. Наличие рвущих контактов гранитов может свидетельствовать о докембрийском возрасте изученных метаморфических образований острова.

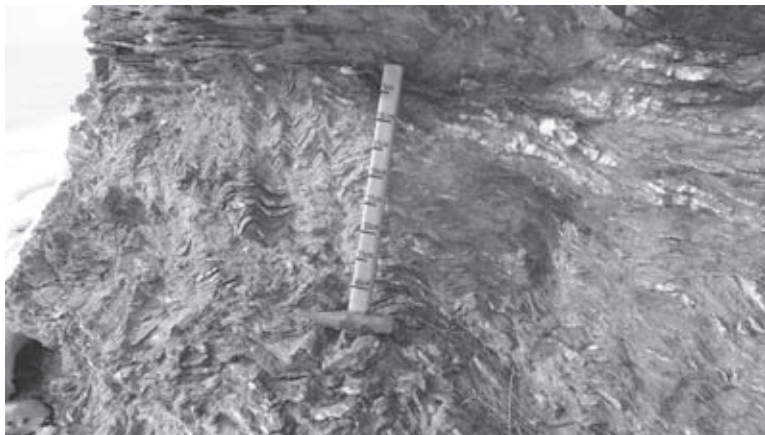


Рис. 2. Послойные мигматиты о-ва Русский, небольшой мыс севернее мыса Кошелева

Петрография. В *биотит-хлорит-кварц-плаггиоклаз-актинолитовых сланцах* по реликтовым чешуйкам биотита развиваются хлоритовые агрегаты размером до 0,1 мм, вытянутые согласно сланцеватости. Они составляют около 10–15 % общей массы сланцев. Между сноповидными образованиями магнезиального амфибола (по данным микрозондового анализа) сосредоточены тонкозернистые образования кварца и плаггиоклаза. Кварц, имеющий форму округлых зерен размером до 0,2 мм, слагает около 20 % общей массы. Плаггиоклаз таблитчатой формы со слабым двойникованием занимает около 30 % в метаморфической породе. Актинолит представлен удлиненно-призматическими кристаллами зеленого цвета размером около 0,3 мм и составляет основную массу породы (около 30–35 %). Сноповидные образования актинолита обуславливают нематогластовую, а агрегаты мелких кристаллов кварца и плаггиоклаза – микрогранобластовую структуру породы.

В *биотит-хлорит-плаггиоклаз-мусковит-кварцевых сланцах* биотит замещается хлоритом, лейкоксеном и эпидотом. Кристаллами эпидота размером до 0,1 мм сложено около 5 % породы. Амфибол в виде единичных удлиненно-призматических кристаллов размером до 0,15 мм составляет около 5 % основной массы. Кварц образует округлые зерна размером до 1 мм. Структура породы лепидогранобластовая, текстура сланцевая. Рудные минералы представлены титаномagnetитом.

В *кварц-хлорит-карбонат-эпидот-калишпатовых сланцах* присутствуют реликтовые зерна плаггиоклаза, замещенные хлоритом, карбонатом, эпидотом и калишпатом. Зерна кварца размером до 0,8 мм вытянуты вдоль слоев и составляют около 20 % общей массы сланцев. Чешуйки хлорита также ориентированы согласно сланцеватости и занимают около 20–30 % породы. Карбонат, из которого состоит около 15 % шлифа, выполняет трещины вкрест слоистости. Эпидот представлен зернами с двойникованием, от пелитоморфных до шестоватых с волокнистым строением. Зерна эпидота имеют размер около 0,2 мм и составляют 5–10 % массы сланцев. Зерна калишпата размером до 1 мм с двойникованием вытянуты вдоль слоев, им слагается около 20–30 % породы. Эпидот, кварц и хлорит обуславливают сланцеватую текстуру. Структура нематогранобластовая.

Порфириовидные граносиениты с интенсивным кварц-хлорит-эпидотовым замещением. Калишпат образует порфириовые выделения размером до 2 мм, которые занимают до 35 % площади шлифа. Большая их часть перекристаллизована в нематогранобластовый агрегат вторичных минералов. Кварц развит как по трещинам, так и в основной массе породы и составляет около 15 % площади шлифа. Размер зерен до 0,2 мм. Эпидот в виде удлиненно-шестоватых кристаллов размером до 0,2 мм заполняет трещины и замещает темноцветные минералы, занимает около 10 % площади шлифа. Чешуйки хлорита размером до 0,2 мм также замещают темноцветные минералы, составляют около 5 % основной массы. В породе присутствует лейкоксен, развитый, скорее всего, по биотиту.

Отобранные образцы эпидот-хлорит-карбонат-плаггиоклаз-калишпат-кварцевого тонкоплойчатого сланца состоят из реликтовых зерен плаггиоклаза, кварца и калишпата, замещенных микронематогранобластовым агрегатом эпидота, хлорита и кварца. Эпидот выполняет трещины, представлен удлиненными (до 0,3 мм) кристаллами цоизита и клиноцоизита, занимающими около 10 % площади шлифа. Удлиненные кристаллы хлорита размером около 0,1 мм, расположенные согласно сланцеватости, слагают до 15 % общей массы. Кварц присутствует в виде вторичных обломков и реликтов и занимает около 30 % шлифа. Агрегаты полевого шпата размером до 0,4 мм подчеркивают сланцеватость. В небольшом количестве (5 % площади шлифов) отмечаются реликтовые зерна плаггиоклаза размером до 1 мм. Текстура породы сланцевая.

Биотит-хлорит-кварц-плаггиоклаз-актинолитовые и биотит-хлорит-плаггиоклаз-мусковит-кварцевые сланцы по химическому составу отвечают трахиандезитам или андезитобазальтам высококальциевой серии (рис. 3). Породы характеризуются повышенной щелочностью ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - 5,08-6,62$ масс. %).

Метаморфическим образованиям свойственны повышенные содержания крупноионных литофильных элементов (LILE) – Rb, Ba, некоторых высоkozарядных элементов

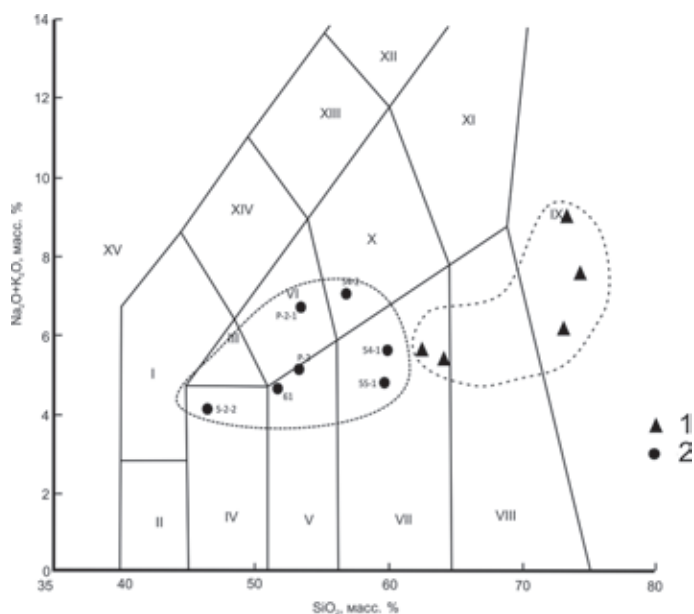


Рис. 3. Диаграмма $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ для метаморфических сланцев о-ва Русский. Области вулканических пород различной щелочности: I – тефриты, базаниты, II – пикробазальты, III – трахибазальты, IV – базальты, V – андезитобазальты, VI – трахиандезитобазальты, VII – андезиты, VIII – дациты, IX – риолиты, трахириолиты, X – трахиандезиты, XI – трахиты, трахидациты, XII – фонолиты, XIII – тефрифонолиты, XIV – фонотерфиты, XV – фондиты; 1 – сланцы спасского массива из коллекции И.В. Мишкиной, 2 – кристаллические сланцы о-ва Русский

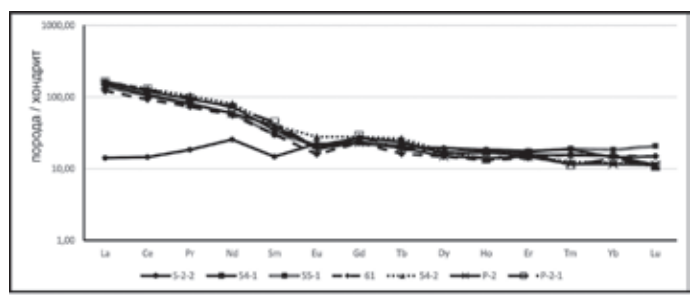
(HFSE) – Zr, Ta и Nb – и низкие концентрации элементов группы Fe: Ni – 13,26–46,12 и Cr – 30,48–345,6 г/т.

На многокомпонентной диаграмме редких элементов видно, что метаморфические породы о-ва Русский характеризуются отрицательной Ta-Nb-аномалией (рис. 4б). Им свойственен также резко фракционированный спектр распределения редкоземельных элементов (REE) с большим накоплением легких (LREE) по сравнению с тяжелыми (HREE) элементами (рис. 4а). Значения $(\text{La}/\text{Sm})_N$ и $(\text{La}/\text{Yb})_N$ повышенные и составляют 1,54–7,46 и 1,45–19,64 соответственно. Наблюдается также отрицательная европиевая аномалия.

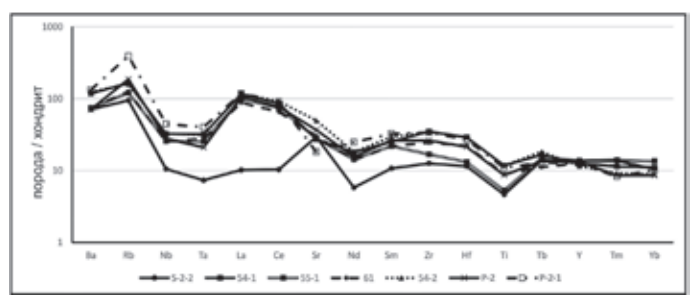
Исходя из радиоизотопного возраста гранитов ($423,7 \pm 3,2$ млн лет) [11], их взаимоотношения с метаморфическими породами (рвущие контакты) и данных петрографических исследований, можно предположить, что выходы кристаллических сланцев являются частью древнего кристаллического фундамента о-ва Русский и относятся к образованиям регионального метаморфизма.

Термобарометрия.

Практически все образцы кристаллических сланцев имеют в своем составе амфибол и плагиоклаз. На основе парагенезиса минералов и их химического состава можно оценить температурные условия и



а



б

Рис. 4. Многокомпонентные диаграммы редкоземельных (а) и редких (б) элементов для метаморфических пород о-ва Русский. Редкие элементы нормированы к хондриту по [10], редкоземельные – по [9]

давление, при которых сформировались эти минералы. По данным микронзондового анализа минералов (табл. 3), амфибол представлен актинолитом (обр. 61) и магнезиальной роговой обманкой (обр. 5-1), плагиоклаз – альбитом (обр. 61 и 5-1) и андезином (обр. 5-1).

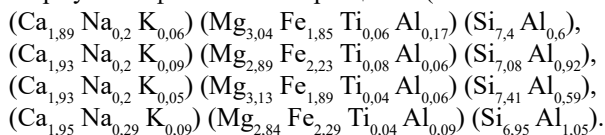
Таблица 3

Данные микронзондового анализа амфиболов и плагиоклазов из метаморфических пород о-ва Русский

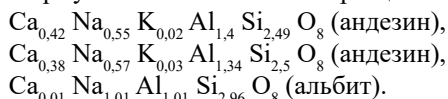
Минерал	Содержание, масс. %								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	FeO	MnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
Образец 61									
Амфибол	52,19	4,66	0	14,27	13,91	0,41	13,8	0,49	0,2
	61,25	3,15	0	17,52	15,03	0,51	13,35	0,66	0
	54,99	2,62	0	16,88	12,05	0,37	12,81	0,5	0
	55,01	2,56	0	16,83	10,1	0,3	14,23	0	0
Плагиоклаз	69,34	19,72	0	0	0	0	0	11,72	0
	65,89	21,58	0	0	0	0	1,38	10	0,6
	68,71	19,74	0	0	0	0	0	11,55	0
Образец 5-1									
Амфибол	48,03	5,64	0,76	13,18	18,12	0	12,24	0,73	0,47
	51,4	3,84	0,37	14,57	15,69	0,39	12,53	0,71	0,29
	47,11	6,56	0,35	12,94	18,59	0,37	12,34	1	0,49
	51,2	4,55	0,51	14,12	15,34	0,26	12,18	0,72	0,3
Плагиоклаз	64,86	18,7	0,31	0	0	0	0	1,09	15,97
	57,57	26,25	0	0	0,44	0	8,24	6,83	0,55
	68,34	19,75	0	0	0	0	0,19	11,96	0
	57,54	27,37	0	0	0,34	0	9,1	6,5	0,44

По данным микронзондового анализа составлены формулы минералов и в программе PЕТ построены графики зависимости температуры от давления и давления от температуры (рис. 5). Также были использованы геотермобарометры М.А. Мишкина [5] и Л.П. Плюсниной [8] (рис. 6).

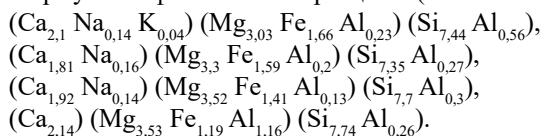
Формулы амфиболов из образца 5-1 (магнезиальные):



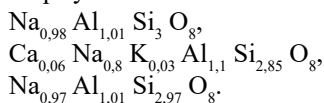
Формулы плагиоклазов из образца 5-1:



Формулы амфиболов из образца 61 (актинолит):



Формулы плагиоклазов из образца 61 (альбит):



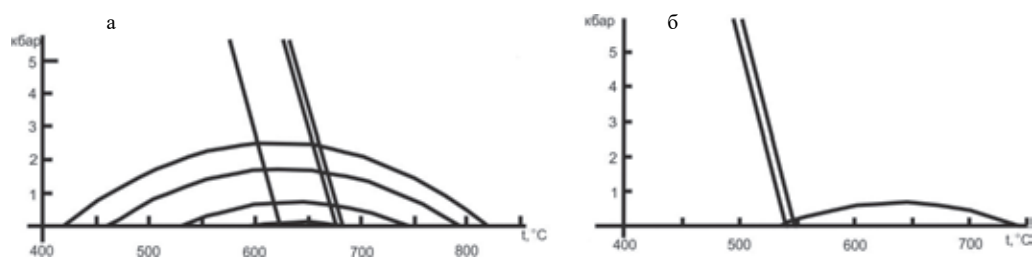


Рис. 5. Графики зависимости температуры от давления по парагенезису амфибола и плагиоклаза (прямые линии) и давления от температуры по содержанию алюминия в амфиболе (кривые линии) для образцов 5-1 (а) и 61 (б). Пересечения линий являются искомыми результатами

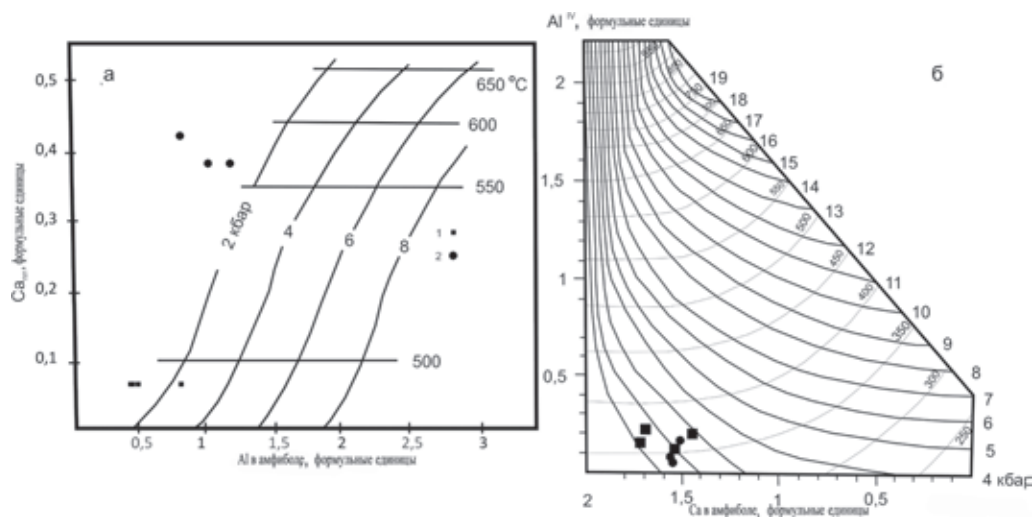


Рис. 6. Геотермобарометры: а – плагиоклаз-амфиболовый Л.П. Плюсниной [8]; б – амфиболовый М.А. Мишкина [5]. Залитыми кружками на диаграмме обозначены: эпидот-хлорит-карбонат-плагиоклаз-калишпат-кварцевые сланцы (обр. 61), черными квадратами – биотит-хлорит-кварц-плагиоклаз-актинолитовые сланцы (обр. 5-1)

Данные трех термобарометров показали приблизительно одинаковые результаты: температура метаморфизма была порядка 300–500 °С, а давление около 2 кбар (рис. 5, 6). Это соответствует границе зеленосланцевой и биотит-мусковит-гнейсовой фаций регионального метаморфизма [2]. Следует, однако, отметить, что плагиоклаз-амфиболовые геотермобарометры не отличаются высокой точностью, но более информативные минеральные ассоциации в этих породах отсутствуют.

Заключение

Выходы метаморфических пород на северо-западном побережье о-ва Русский представлены биотит-хлорит-кварц-плагиоклаз-актинолитовыми сланцами, которые относятся к позднепротерозойским (рифейским) образованиям. Впервые для этих пород дана петрогеохимическая характеристика и получен химический состав амфибола и плагиоклаза на микрозонде. Установлено, что исходными породами для них могли служить вулканы среднего или основного состава, а их образование происходило в условиях зеленосланцевой и биотит-мусковит-гнейсовой фаций метаморфизма при температуре 300–500 °С и давлении около 2 кбар. Эти породы прорваны многочисленными жилами среднепалеозойских гранитоидов, которые в отдельных случаях привели к диафторезу метаморфических пород с появлением в них вторичных минералов – хлорита и эпидота. По

возрасту и условиям метаморфизма изученные породы сходны с образованиями спасского метаморфического комплекса Ханкайского массива Приморья. Различия в петрохимическом составе сланцев о-ва Русский и спасского комплекса объясняются разным составом исходных пород. Метаморфиты последнего сформировались по вулканитам кислого и среднего состава [7], т.е. они более кислые, чем исходные породы о-ва Русский. Наличие метаморфических пород, сходных с позднепротерозойскими образованиями Ханкайского массива, позволяет предполагать продолжение его структур в Южно-Приморскую зону. Ранее М.А. Мишкиным было высказано аналогичное мнение на основе изучения блоков метаморфических пород в районе бухты Авангард Южного Приморья [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-6 1 : 1 000 000 (Третье поколение). Дальневост. серия. Лист К-52, 53-Владивосток. Объяснительная записка. СПб., 2011. 332 с.
2. Кориковский С.П. Фации метаморфизма метапелитов. М.: Наука, 1979. 263 с.
3. Крук Н.Н., Голозубов В.В., Tsutsumi Y., Yokoyama K., Kasatkin S.A. Гранитоиды острова Русский: геологическая позиция, состав, возраст и возможная тектоническая обстановка формирования // Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит: материалы II всерос. конф. с междунар. участием, Владивосток, 17–20 сент. 2014 г. Владивосток, 2014. С. 203–205.
4. Маркевич П.В. Триас и юра Сихотэ-Алиня / под ред. П.В. Маркевича, Ю.Д. Захарова. Кн. 1. Терригенный комплекс. Владивосток: Дальнаука, 2004. 417 с.
5. Мишкин М.А. Амфиболовый геотермометр для метабазитов // Докл. АН СССР. 1990. Т. 312, № 4. С. 944–946.
6. Мишкин М.А., Леликов Е.П., Овчарек Э.С. Новые данные о метаморфических породах побережья Японского моря в Южном Приморье // Докл. АН СССР. 1970. Т. 190, № 6. С. 1426–1429.
7. Мишкин М.А. Петрология докембрийских комплексов Ханкайского массива Приморья. М.: Наука, 1969. 182 с.
8. Плюснина Л.П. Экспериментальные исследования метаморфизма базитов. М.: Наука, 1983. 155 с.
9. Anders E., Grevesse N. Abundances of the elements: meteoritic and Solar // *Geochem. Cosmochim. Acta*. 1989. Vol. 53. P. 197–214.
10. Thompson R.N. Dispatches from Tertiary volcanic province // *Scott. J. Geol.* 1982. Vol. 18. P. 49–107.
11. Tsutsumi Yukiyasu, Yokoyama Kazumi, Kasatkin Sergey A., Golozubov Vladimir V. Zircon U-Pb age of granitoids in the Maizuru Belt, southwest Japan and the southernmost Khanka Massif, Far East Russia // *J. Miner. Petrol. Sci.* 2014. Vol. 109. P. 97–102.