

УДК 551.3(265.54)

В.Т. СЪЕДИН, Е.П. ТЕРЕХОВ, А.А. ГАВРИЛОВ,
М.Г. ВАЛИТОВ, Т.А. ХАРЧЕНКО

Последовательность формирования магматических и осадочных пород островов центральной части залива Петра Великого (Японское море)

Приведены результаты геологических работ, выполненных на островах центральной части зал. Петра Великого с 2003 по 2016 г. Установлено, что эти острова характеризуются сходными чертами геологического строения. Они сложены типовыми комплексами осадочных и магматических пород различного возраста – от позднего палеозоя (ранняя–поздняя пермь) до средней–поздней юры. Наиболее древними породами являются раннепермские осадочные образования послепеловской свиты (о-в Русский), а наиболее молодыми – розовые лейкократовые гранит-порфиры островного комплекса средне-позднеюрского возраста. Уточнено геологическое строение изученных островов. На некоторых из них обнаружены не описанные здесь ранее типы магматических и осадочных пород. Приведены новые данные по радиоизотопным возрастам для магматических и палеонтологические определения для осадочных пород. Предложена новая возрастная последовательность формирования различных типов пород на островах центральной части зал. Петра Великого. Выделены два этапа геологического развития исследуемого района: 1 – позднепалеозойский (пермский), 2 – раннемезозойский (триасовый).

Ключевые слова: Японское море, залив Петра Великого, острова центральной части, геологическое строение, осадочные породы, магматические породы, возрастные комплексы.

Formation sequence of igneous and sedimentary rocks of the islands of the central part of the Peter the Great Bay (the Sea of Japan). V.T. S'EDIN, E.P. TEREKHOV, A.A. GAVRILOV, M.G. VALITOV, T.A. KHARCHENKO (V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok).

The article presents the results of geological works performed on the islands of the central part of the Peter the Great Bay in the period from 2003 to 2016. It is established that these islands have a similar geological structure. They are composed of typical complexes of sedimentary and magmatic rocks of different ages – from the Late Paleozoic (early to late Permian) to the Middle-Late Jurassic. The oldest rocks are Early Permian sedimentary formations of the Pospelovskaya Suite (Rusky Island), and the youngest are the pink leucocratic granite-porphry of the island complex of the Middle-Late Jurassic age. The geological structure of the studied islands is specified. Types of igneous and sedimentary rocks not described here earlier were found on some of the islands. New data on radioisotope ages for magmatic and paleontological determinations for sedimentary rocks are given. A new age sequence is proposed for the formation of different types of rocks on the islands of the central part of the Peter the Great Bay. Two stages of geological development of the investigated region are distinguished: 1 – Late Paleozoic (Permian); 2 – Early Mesozoic (Triassic).

*СЪЕДИН Владимир Тимофеевич – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, ТЕРЕХОВ Евгений Петрович – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, ГАВРИЛОВ Александр Анатольевич – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, ВАЛИТОВ Максим Георгиевич – кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией, ХАРЧЕНКО Татьяна Александровна – научный сотрудник (Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток). *E-mail: sedin@poi.dvo.ru

Работа выполнена по госбюджетной теме № 7 «Палеоокеанология окраинных морей Востока России и прилегающих районов Тихого океана, особенности и этапность кайнозойского осадконакопления, магматизма и рудогенеза» (0271-2016-000), а также при финансовой поддержке экспедиционного гранта программы «Дальний Восток» (проект № 16-I-1-006 Э) и грантов ДВО РАН (№ 07-III-Д-11-114, 12-III-A-07-110).

Введение

Залив Петра Великого (ЗПВ) занимает обширный участок приконтинентального шельфа Японского моря в районе южного и юго-западного Приморья. Он глубоко вдается в Азиатский континент, формируя два хорошо обособленных залива более низкого порядка – Амурский и Уссурийский. Район ЗПВ является местом сложного сочленения нескольких (обычно говорят о трех) геоструктурных единиц. Рядом авторов здесь выделяются различные структурно-геологические подразделения (структурно-формационные зоны, подзоны, вулканические пояса и другие структуры) [4, 6, 8, 9, 12, 13, 20 и др.]. По геофизическим данным, ЗПВ находится в зоне трансформации и интенсивной перестройки земной коры с континентальной в океаническую. На расстоянии, не превышающем 70 км от берега, континентальная кора южного Приморья сменяется субокеанической корой Центральной котловины Японского моря [1]. Такое структурное положение ЗПВ обусловило его сложную геодинамическую позицию и активные тектономагматические процессы в течение длительного (палеозой–кайнозой) интервала геологического времени.

На акватории ЗПВ имеется множество мелких и крупных островов, которые могут быть объединены в 3 группы по их географическому расположению (рис. 1, см. вклейку): 1) острова западной прибрежной части Амурского залива (Фургельма, Сибирякова, Антипенко и др.); 2) острова центральной части залива, где сосредоточено большинство больших и малых островов, которые разграничивают Амурский и Уссурийский заливы; 3) острова восточной прибрежной части Уссурийского залива (Аскольд, Путятин и др.). Острова центральной части залива локализованы в полосе, которая протягивается в юго-западном направлении от п-ова Муравьев-Амурский на расстояние около 60 км. Наиболее крупными из них являются Русский, Попова, Рейнеке, Рикорда, Стенина и Большой Пелис. В тектоническом плане эти острова являются морским продолжением Муравьевского горст-антиклинория северо-восточного простирания [2], северная (континентальная) часть которого представлена п-овом Муравьев-Амурский. Эта положительная структура обрамлена с запада и востока грабенообразными впадинами Амурского и Уссурийского заливов и отделена от них соответственно Муравьевским и Артемовским глубинными разломами северо-восточного простирания [1, 5–7, 9, 11, 12].

Настоящая работа посвящена обобщению результатов комплексных геологических исследований, которые выполнялись нами начиная с 2003 г. на всех крупных островах центральной части ЗПВ – от о-ва Русский на севере до островов Большой Пелис и Матвеева на юге. Статья продолжает и развивает наши представления, приведенные в серии предыдущих работ [3, 5–7, 9, 15–17 и др.], посвященных особенностям геологического строения островов и эволюции зал. Петра Великого.

Наши исследования включали: 1) морские и пешеходные геологические маршруты, в ходе которых выяснялись районы развития и пространственные взаимоотношения (моложе, древнее) различных типов и комплексов пород; 2) изучение текстурно-структурных особенностей пород в петрографических шлифах; 3) изучение химического состава магматических пород и определение их радиоизотопного возраста; 4) биостратиграфические исследования осадочных образований (радиоляриевый анализ).

Результаты исследований

Результаты работ научных предшественников

Первые геологические исследования островов центральной части ЗПВ опубликованы П.В. Виттенбургом в 1916 г. В 50–60-е годы XX в. здесь проводилось геологическое

картирование, которое было частично дополнено работами в 1990-е годы. В конце 1990-х – начале 2000-х годов территория островов была включена в проект геологического доизучения ранее заснятых площадей в масштабе 1 : 200 000 (ГДП 200).

Крупномасштабная (1 : 50 000) геологическая карта имеется только для о-ва Русский (Н.Г. Мельников и др., 1991). Все остальные острова центральной части ЗПВ (в том числе и такие крупные, как Попова, Рейнеке, Рикорда и др.) на тот период времени имели только среднемасштабную (1 : 200 000) геологическую основу. Все предыдущие исследования по островам центральной части ЗПВ были обобщены в геологической карте масштаба 1 : 200 000, выполненной по проекту ГДП 200 (рис. 1). По данным предшественников, на островах центральной части ЗПВ (кроме триасовых образований о-ва Русский) развиты магматические и осадочные породы только пермского возраста [10, 12]. Все магматические породы относятся к позднепермским образованиям и входят в состав: 1) владивостокской свиты (вулканыты и туфы преимущественно кислого состава), 2) муравьевского комплекса (породы основного состава), 3) седанкинского комплекса гранитоидов. На всех островах (кроме о-ва Попова) распространены породы только владивостокской свиты и седанкинского комплекса. Базиты муравьевского комплекса выделены только на о-ве Попова. Осадочные образования (раннесреднепермские отложения поспеловской свиты и отложения раннего и среднего триаса) выделяются только на о-ве Русский (рис. 1). В начале этого века особое внимание было уделено изучению геологического строения о-ва Попова. Опубликована серия геологических карто-схем и карт разного масштаба, на которых все породы острова были представлены как позднепермские образования [3, 5–7, 9, 10].

Результаты наших исследований

Наши исследования на островах центральной части ЗПВ, которые проводились с 2003 г., позволяют сделать следующие предварительные выводы: 1) геологическое строение островов центральной части ЗПВ значительно сложнее, чем представлялось исследователям ранее; 2) на островах присутствуют одни и те же типовые комплексы (или типы) магматических и осадочных пород, которые в разных количественных соотношениях развиты на том или другом отдельном острове (все типы пород – магматические и осадочные – широко представлены только на о-ве Большой Пелис, а мелкие острова обычно сложены каким-то одним типом пород); 3) пространственные взаимоотношения, наблюдаемые между различными типами пород, позволяют судить о порядке их формирования по принципу моложе – древнее; 4) на некоторых островах обнаружены типы пород, которые здесь не были описаны предшественниками (осадочные породы на островах Рейнеке и Рикорда, а также в северной части о-ва Большой Пелис; муравьевский комплекс на о-ве Русский; кислые вулканыты на о-ве Рикорда и др.).

Наши исследования показали, что все типы пород островов центральной части ЗПВ нельзя отнести к ранее выделенным предшественниками свитам или комплексам. Учитывая этот факт, мы считаем необходимым внести некоторые изменения в известные комплексы и выделить ряд новых возрастных комплексов магматических пород.

Муравьевский габбро-базальтовый (базитовый) комплекс предлагается разделить на 2 комплекса [17]: 1) пограничный комплекс интрузивных базитов – лейкократовых мелко-, среднезернистых хорошо раскристаллизованных габбро (название комплекса дано по бухте Пограничная на о-ве Попова, возле которой располагается самое крупное тело этих пород, известное на изучаемых островах), 2) под названием «муравьевский комплекс» предлагаем понимать только образования субвулканической (долериты, микродолериты) и вулканической (обычно афировые базальты) природы, которые формируют близповерхностные тела, силлы, дайки и потоки. Породы этих двух комплексов обычно совмещены пространственно, но формировались в разное время. Габбро пограничного комплекса часто прорывается образованиями муравьевского комплекса.

Образования седанкинского комплекса, по нашему мнению, следует также разделить на 2 комплекса [17]: 1) под названием «седанкинский комплекс» оставить (как и было ранее) позднепермские гранитоиды (кварцевые диориты, гранодиориты, граниты и сопровождающие их аплиты); 2) лейкократовые розовые гранит-порфиры, формирующие близповерхностные тела и их вулканические комагматы, которые обычно относили к 3-й фазе седанкинского комплекса, отнести к островному комплексу среднепозднеюрского возраста.

Кислые вулканиды, распространенные в береговых обнажениях северной части о-ва Попова, которые ранее относили или к владивостокской свите позднепермского возраста [3, 10, 12], или к седанкинскому комплексу [5–7, 9], мы предлагаем выделить в отдельный береговой комплекс поздне триасового–раннеюрского возраста.

Вулканические образования преимущественно среднего состава, развитые в южной части о-ва Попова, а также на других островах центральной части ЗПВ, ранее относились или к владивостокской свите [3, 10, 12], или к андезитовой толще позднепермской барабашской свиты [5–7, 9]. Мы предлагаем так называемую андезитовую толщу о-ва Попова и аналогичные образования других островов относить к матвеевскому комплексу раннетриасового возраста. Название этого комплекса (андезитовой толщи) дано по о-ву Матвеева, который эти породы слагают практически полностью.

Остров Попова мы рассматриваем как эталонный объект (рис. 2, см. вклейку) для магматических пород островов центральной части ЗПВ [7–9, 16, 17 и др.]. Здесь выделяется шесть типов магматических пород, которые являются характерными образованиями для всех островов центральной части зал. Петра Великого [16, 17 и др.]: 1) серые, розовато-серые и розовые среднезернистые гранитоиды седанкинского комплекса (кварцевые диориты, гранодиориты, граниты) позднепермского возраста, 2) вулканические образования андезитовой толщи (базальты, андезито-базальты, андезиты) матвеевского комплекса раннетриасового возраста, 3) лейкократовые мелко-, среднезернистые габбро (пограничный комплекс) раннесреднетриасового возраста, 4) меланократовые габброиты или базиты (муравьевский комплекс) раннесреднетриасового возраста, 5) кислые вулканические породы берегового комплекса поздне триасового–раннеюрского возраста, 6) розовые лейкократовые гранит-порфиры и их вулканические комагматы (островной комплекс) среднепозднеюрского возраста. Каждый из выделенных типов пород отвечает отдельному комплексу, известному по работам предшественников или новому, который описан или выделен на этих островах нами ранее [5–7, 9, 16, 17] или впервые в настоящей работе.

Описание комплексов и типов пород

Проведенные исследования и имеющиеся литературные данные позволяют предложить новую схему возрастной последовательности формирования различных типов пород (осадочных и магматических) для островов центральной части ЗПВ.

Осадочные образования поспеловской свиты (P_1 ps) являются наиболее древними породами района исследований. Они развиты в северной части о-ва Русский (рис. 1). Согласно традиционным представлениям [12, 18 и более ранние работы] они относятся к породам раннепозднепермского ($P_{1,2}$ ps) возраста (рис. 1). Новые находки остатков неморских моллюсков из наших сборов дополнительно подтвердили присутствие слоев раннепермского возраста в составе поспеловской свиты в соответствии с современной стратиграфической шкалой [19]. Образования поспеловской свиты подстилают вулканогенно-осадочные породы позднепермской владивостокской свиты, а также присутствуют в вулканидах последней в виде ксенолитов (отдельные обломки и небольшие блоки). Отложения поспеловской свиты также прорываются позднепермскими гранитоидами седанкинского комплекса ([12, 18] и более ранние работы). Мы принимаем раннепермский возраст поспеловской свиты.

Гранитоиды седанкинского комплекса ($\gamma\delta P_3s$, γP_3s) (тип 1 для магматических пород о-ва Попова) и вулканогенно-осадочные породы владивостокской свиты относятся к позднепермским (более молодым по отношению к породам поспеловской свиты)

геологическим образованиям островов центральной части ЗПВ. Породы седанкинского комплекса играют значительную роль в строении всех крупных островов залива (Русский, Попова, Рейнеке, Рикорда, Стенина и Большой Пелис). Они представлены главным образом хорошо раскристаллизованными среднезернистыми гранитоидами. Традиционно, на основании преимущественно геологических данных [12, 18 и др.], гранитоиды седанкинского комплекса относятся к поздней перми (рис. 1). Однако имеющиеся для них многочисленные радиоизотопные датировки противоречивы и варьируют (определения Э.С. Овчарека, калий-аргоновый метод по породе) в диапазоне 64–615 млн лет [14]. Такие данные в настоящее время неприемлемы для квалифицированного суждения о возрасте этих гранитоидов. Недавние определения абсолютного возраста, полученные по цирконам из гранитоидов седанкинского комплекса (см. таблицу), показали даты от 249 до 432 млн лет, что соответствует интервалу силур–поздняя пермь [22]. Для объяснения указанных противоречий требуются дополнительные исследования. В данном случае мы не можем исключать двух этапов формирования гранитоидного массива о-ва Русский. Однако имеющиеся геологические данные (согласно материалам предшественников [12, 18], гранитоиды седанкинского комплекса прорывают образования поспеловской свиты раннепермского возраста), а также относительно небольшие размеры массива о-ва Русский позволяют сомневаться в его неодноактовом (с интервалом почти в 200 млн лет) образовании. Учитывая эти факты, на современном этапе изученности мы, относя гранитоиды островов центральной части ЗПВ к седанкинскому комплексу, предварительно принимаем их позднепермский возраст. Отметим, что датировка по цирконам [22] эталонного массива (р-н Седанки) составляет $260,7 \pm 3,1$ млн лет (см. таблицу).

Радиоизотопный возраст магматических пород

№ п/п	№ пробы	Координаты		Тип пород	Возраст, млн лет
1	МС-3	N42°59'77"	E131°45'02"	Туф	295 ± 7
2	МС-2	N42°59'77"	E131°45'02"	Гранит-порфир	163 ± 4
3	П-48-11	N42°55'710"	E131°43'877"	-/-	167 ± 4
4	П-48-6	N42°55'985"	E131°43'817"	-/-	167 ± 3
5	П-2-1	N42°58'140"	E131°43'062"	Кислый вулканит	180 ± 4
6	П-3-1	N42°58'344"	E131°44'598"	-/-	210 ± 5
7	П-29-1	N42°59'165"	E131°43'717"	-/-	220 ± 5
8	170-3			Габбро	225 ± 20
9	VV05	N43°12'08"	E131°59'20"	Гранит	260,7 ± 3,1
10	VV02	N43°02'08"	E131°53'03"	-/-	422,2 ± 2,5
11	VV11	N42°58'32"	E131°51'03"	-/-	301,7 ± 2,4
12	VV12	N42°58'55"	E131°45'11"	-/-	249,7 ± 3,5
13	VV13	N43°01'59"	E131°48'54"	Гранодиорит	431,9 ± 2,7
14	VV15	N43°03'11"	E131°47'45"	Порфирит	423,7 ± 3,2

Примечание. № 1, 2, 10–14 – о-в Русский, № 3–8 – о-в Попова (№ 8 отобран в береговой зоне прол. Старка), № 9 – п-ов Муравьев-Амурский (седанкинский массив). Определения выполнены: № 1–8 – по породам К-Аг методом (ИГЕМ РАН, аналитик В.А. Лебедев), № 9–14 – по цирконам [22], № 8 – по [5, 7].

Вулканогенно-осадочные образования владивостокской свиты (P_3v). Согласно [12, 18 и др.], владивостокская свита (P_3v) широко представлена в западной части о-ва Русский, а также на островах Большой Пелис, Попова, Рейнеке и Рикорда (рис. 1), а ее позднепермский возраст установлен по палеонтологическим данным. По нашим наблюдениям, образования этой свиты действительно имеют достаточно широкое распространение на островах Русский (его западная часть, зона глубинного Муравьевского разлома) и Большой Пелис, тогда как на островах Попова и Рейнеке они имеют крайне ограниченное распространение. Наши исследования показали, что их выходы (не более первых десятков метров) расположены в северо-восточной части островов Попова (рис. 2) и Рейнеке. Мы

считаем, что вулканиты владивостокской свиты являются одновозрастными (позднепермскими) образованиями (а возможно, и комагматами) гранитоидов седанкинского комплекса. Нами получена одна датировка для туфов, включенных предшественниками в состав владивостокской свиты, на мысе Среднем о-ва Русский. Она составляет 295 ± 7 млн лет (см. таблицу). Такое определение возраста отвечает ранней перми, но, учитывая тот факт, что определение выполнено по слабо измененным туфам (по породам калий-аргоновым методом), эти данные нельзя считать достоверными на 100 %. Этот факт ставит, в какой-то степени, под сомнение принадлежность указанных туфов к владивостокской свите. Однако сходство состава исследуемого образца с туфами владивостокской свиты, а также его принадлежность к разрезу, отнесенному ранее к этой свите, позволяют считать, что этот образец относится к образованиям владивостокской свиты. Мы принимаем позднепермский возраст владивостокской свиты, установленный предшественниками, который базируется прежде всего на палеонтологических определениях. Для решения этого вопроса также необходимы дополнительные исследования.

Раннемезозойские (триасово-раннеюрские) осадочные образования. Более высокое стратиграфическое положение по сравнению с породами седанкинского комплекса и владивостокской свиты занимают раннемезозойские (триасовые и раннеюрские) осадочные образования. До начала наших исследований прибрежно-морские осадочные отложения раннего и среднего триаса (Т1-2) выделялись только на о-ве Русский (рис. 1), где они всесторонне изучены Ю.Д. Захаровым [18]. Для других островов центральной части ЗПВ биостратиграфические данные по установлению возраста отсутствуют. К настоящему времени нашими исследованиями на основе изучения комплексов радиолярий из разрезов терригенных, вулканомиктовых и кремнисто-глинистых отложений островов Матвеева (1-й Камень Матвеева), Большой Пелис и Рейнеке обосновано распространение раннемезозойских гемипелагических отложений на указанных островах центральной части ЗПВ, где эти отложения относились предшественниками или к позднепермской владивостокской свите [12], или (на о-вах Римского-Корсакова) к раннепозднепермской решетниковской свите [10]. Нами установлено присутствие триасовых отложений во всех, помимо о-ва Русский, перечисленных выше местонахождениях [5, 7, 15]. Кроме того, в наиболее мощном (60 м) разрезе дистальных турбидитов, представленных ритмично переслаивающимися алевролитами, кремнисто-глинистыми аргиллитами и вулканомиктовыми песчаниками, иногда с линзовидными включениями кремнисто-глинистых алевроаргиллитов, на о-ве Матвеева (1-й Камень Матвеева) установлены пограничные слои триаса и юры. Установлено, что здесь, на границе между отложениями позднего триаса и раннеюрскими слоями, охарактеризованными комплексом радиолярий, таксономически наиболее близким к характерному комплексу раннеюрской радиоляриевой зоны *Parahsuum simplum*, наблюдается метровый слой мелкозернистых вулканомиктовых песчаников, который маркирует термальную рэт (самый конец позднего триаса) и самое начало геттангского яруса ранней юры [21]. Эти новые данные радиоляриевых анализов позволили нам обосновать наличие пограничных слоев триаса и юры на некоторых участках (1-й Камень Матвеева) развития осадочных отложений островов центральной части ЗПВ [15]. Подошва туфогенно-осадочных триасовых отложений на островах пока не установлена. Как свидетельствуют наши наблюдения, процессы раннемезозойского осадконакопления, начавшись в раннем триасе, периодически сопровождалась (или прерывалась) тектономагматической активизацией этого района. На это указывают характер залегания осадочных пород (обычно в виде отдельных небольших блоков) и наличие в них даек и силлов магматических пород. В южной части о-ва Большой Пелис дайка андезитов прорывает нижнюю (триасовую) часть осадочного разреза, а в восточной части о-ва Рейнеке осадочная толща насыщена силлами кислых вулканитов (рис. 3, фото 5).

Андезитовая толща. Матвеевский комплекс (Т₁ mt). Выше осадочных пород раннемезозойского (триас-раннеюрского) возраста залегают образования раннетриасовой андезитовой толщи (матвеевский комплекс – тип 2 для магматических пород о-ва Попова),

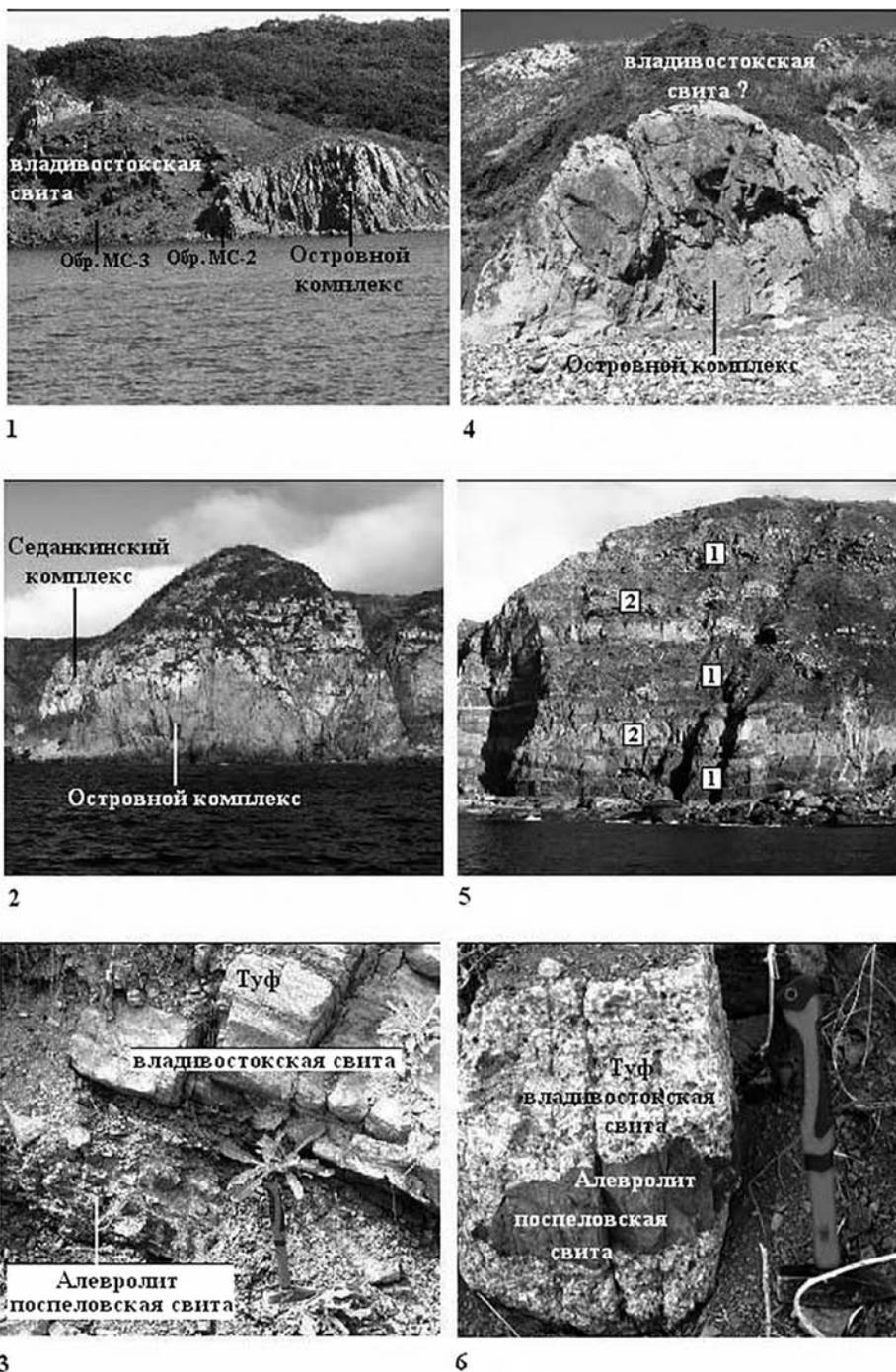


Рис. 3. Взаимоотношения между различными типами пород островов центральной части зал. Петра Великого. 1 – о-в Русский, мыс Средний. Взаимоотношение туфов Владивостокской свиты и гранит-порфиров островного комплекса. Высота разреза около 30 м; 2 – о-в Рейнке, южное побережье. Взаимоотношение (прорывание) гранитов седанкинского комплекса гранит-порфирами островного комплекса; 3 – о-в Русский, п-ов Бабкина. Нормальный («стратиграфический») контакт алевролитов пospelовской и туфов Владивостокской свит; 4 – о-в Рейнке, северо-восточное побережье. Взаимоотношение (прорывание) вулканогенно-осадочных пород владивостокской (?) свиты (?) гранит-порфирами островного комплекса; 5 – о-в Рейнке, юго-восточное побережье. «Стратифицированная» вулканогенно-осадочная толща триасового (?) возраста, сложенная алевролитами и туфами. Толща импригнирована силлами риолитов островного (?) комплекса; 6 – о-в Русский, п-ов Бабкина. Ксенолит алевролитов пospelовской свиты в туфах владивостокской свиты. Фото Е.П. Терехова

которые представлены, главным образом, вулканитами среднего состава и их агломератовыми туфами. Породы этой толщи широко распространены на островах центральной части ЗПВ. Они участвуют в строении южных частей островов Попова (рис. 2) и Большой Пелис, а также слагают северную часть о-ва Рейнеке, практически весь о-в Матвеева и некоторые мелкие острова вблизи островов Рейнеке и Рикорда. Вулканы андезитовой толщи прорывают нижнюю часть разреза раннемезозойских осадочных образований триасового возраста, образуя в последних дайки и силлы (наблюдения на островах Большой Пелис и Матвеева). В свою очередь, образования андезитовой толщи прорваны лейкократовыми габбро, меланократовыми габброидами и розовыми лейкократовыми гранит-порфирами.

Пограничный комплекс ($vT_{1,2}pg$). Лейкократовые мелко-, среднезернистые габбро этого комплекса (тип 3 для магматических пород о-ва Попова) играют значительную роль в геологическом строении о-ва Попова (рис. 2), а также распространены на островах Рейнеке, Рикорда и Большой Пелис. Они являются более молодыми породами, чем образования андезитовой толщи, осадочные породы триасового возраста и гранитоиды седанкинского комплекса. Согласно наблюдаемым взаимоотношениям лейкократовые габбро залегают выше гранитоидов седанкинского комплекса (наблюдение в шурфах на о-ве Попова) и прорывают породы андезитовой толщи (о-в Рейнеке). В то же время в лейкократовых габбро отмечаются прожилки, дайки (мощностью в первые метры) и небольшие субвулканические тела меланократовых габброидов муравьевского комплекса (острова Попова, Рейнеке, Большой Пелис). Лейкократовые габбро перекрываются кислыми вулканитами берегового комплекса, а также прорываются лейкократовыми гранит-порфирами островного комплекса и преобразуются («гранитизируются») более поздними порциями гранитной магмы. Особенно отчетливо эти взаимоотношения проявлены на островах Попова (мыс Андреева), Рикорда и Рейнеке (рис. 4, фото 2, 4). Имеется одно определение изотопного возраста (225 ± 20 млн лет) по лейкократовым габбро о-ва Попова (см. таблицу), которое соответствует границе раннего и среднего триаса [5, 7]. Мы принимаем ранне-среднетриасовый возраст лейкократовых габбро.

Муравьевский комплекс ($vT_{1,2}m$). Меланократовые габброиды этого комплекса (тип 4 для магматических пород о-ва Попова) широко распространены на островах Попова, в основном на севере (рис. 2), и Рикорда, где слагают лавовые потоки, дайки и небольшие субвулканические тела, а также присутствуют на островах Рейнеке, Большой Пелис и Матвеева. На о-ве Русский (северо-западная часть о-ва Елены) мы обнаружили дайку долеритов муравьевского комплекса, которая прорывает образования владивостокской свиты. Меланократовые габброиды являются более поздними породами по отношению к образованиям андезитовой толщи (о-в Матвеева), а также они прорывают образования владивостокской свиты и лейкократовые габбро и содержат включения последних в виде ксенолитов. В то же время небольшие тела (останцы и ксенолиты) этих базитов находятся в кислых вулканитах. На меланократовых габброидах лежат перекрывающие их мощные потоки кислых вулканитов берегового комплекса (западная и северо-восточная части о-ва Попова), а также они прорываются и подвержены воздействию («гранитизации») гранитного вещества гранит-порфиров островного комплекса (рис. 4, фото 3, 5). Такие взаимоотношения указывают на то, что меланократовые габброиды муравьевского комплекса моложе седанкинских гранитоидов, вулканитов владивостокской свиты, образований андезитовой толщи и лейкократовых габбро, но древнее некоторой части кислых вулканитов (кислые вулканиты берегового комплекса) и розовых лейкократовых гранит-порфиров островного комплекса. Мы предполагаем раннесреднетриасовый возраст меланократовых габброидов.

Береговой комплекс (λT_3-J_1b). Кислые вулканические породы этого комплекса (тип 5 для магматических пород о-ва Попова) составляют только часть кислых вулканитов, которые широко развиты на островах центральной части ЗПВ. Кислые вулканиты играют значительную роль в геологическом строении островов Русский (западная



1



2



4



3



5

Рис. 4. Взаимоотношения между различными типами пород островов центральной части зал. Петра Великого. 1 – о-в Матвеева (1-й Камень Матвеева). Раннемезозойская (триасово-раннеюрская) осадочная толща. Разрез сложен ритмично переслаивающимися слоями алевролитов, алевроаргиллитов, кремнисто-глинистых аргиллитов и вулканомиктовых песчаников. Отложения позднего триаса (Т₃) отделены от раннеюрских (J₁) слоем (мощностью около 1 м) светло-серых мелкозернистых вулканомиктовых песчаников (обозначено пунктиром); 2 – о-в Рикорда. Лейкократовое габбро пограничного комплекса прорвано гранитоидами островного комплекса. Мощность разреза порядка 10 м; 3 – о-в Попова (западный берег бухты Алексеева). Базальты муравьевского комплекса прорваны прожилками гранитоидов островного комплекса; 4 – о-в Попова (мыс Андреева). Лейкократовое габбро пограничного комплекса прорвано гранитоидами островного комплекса; 5 – о-в Попова (восточный берег бухты Алексеева). Базальты муравьевского комплекса перекрыты кислыми вулканитами берегового комплекса. 1 – фото Н.К. Вагиной, 2 – фото А.А. Гаврилова, 3, 4 – фото Е.П. Терехова, 5 – фото С.А. Касаткина

часть), Попова (северная часть), Рейнеке (восточная часть) и Большой Пелис (юг), а также установлены нами на о-ве Рикорда. Имеющиеся датировки их радиоизотопного возраста, их положение в разрезах и наблюдаемые взаимоотношения кислых вулканитов с другими типами пород позволяют считать, что не все они являются синхронными образованиями. Среди них имеются разновозрастные породы. Так, для значительной части кислых вулканитов, входящих в состав владивостокской свиты (острова Русский, Большой Пелис, Попова), предполагается позднепермский возраст. Другая, меньшая, часть кислых вулканитов (острова Попова и Рейнеке), скорее всего, является комагматами (?) розовых лейкократовых гранит-порфиров островного комплекса, что предполагает их среднепозднеюрский возраст. Еще одна группа занимает промежуточное (между кислыми вулканитами владивостокской свиты и островного комплекса) возрастное положение. Они залегают на габброидах пограничного и муравьевского комплексов (север о-ва Попова) и, в то же время, прорываются лейкократовыми гранит-порфирами (рис. 4, фото 5). Эти вулканиты охарактеризованы тремя радиоизотопными датировками, полученными для пород о-ва Попова (см. таблицу), которые ограничены интервалом 180–220 млн лет, что соответствует позднему триасу – ранней юре. Исходя из этих датировок, с учетом наблюдаемых взаимоотношений, допустимо предполагать проявление на островах центральной части ЗПВ еще одного – поздне триасового (или поздне триас-раннеюрского?) обособленного этапа кислого вулканизма. Мы предлагаем относить его к береговому комплексу поздне триас-раннеюрского (?) возраста.

Островной комплекс ($\gamma\pi J_{2,3}os$). Розовые лейкократовые гранит-порфиры островного комплекса (тип 6 для магматических пород о-ва Попова) являются типоморфными образованиями островов центральной части ЗПВ. Они хорошо отличаются по ярко-розовой окраске от пород других типов. Лейкократовые гранит-порфиры известны на всех крупных островах, где формируют небольшие массивы, обычно по периферии тел других пород, субвулканические тела, дайки, а их комагматы (кислые вулканиты) – лавовые потоки и силлы среди более древних образований. Самое крупное обособленное тело лейкократовых гранит-порфиров находится на п-ове Ликандера (юг о-ва Попова), а наиболее хорошо выраженные силлы их комагматов (кислых вулканитов) располагаются в юго-восточной (береговой) части о-ва Рейнеке и в южной части о-ва Рикорда. Имеется три определения возраста гранит-порфиров (см. таблицу), полученные для образцов с островов Попова и Русский. Эти определения образуют очень компактную группу (163–167 млн лет), что соответствует среднепозднеюрскому времени (см. таблицу) и свидетельствует о том, что породы островного комплекса (лейкократовые гранит-порфиры и их комагматы) являются самыми молодыми (среднепозднеюрскими) магматическими образованиями островов центральной части ЗПВ. Они прорывают все типы пород островов центральной части ЗПВ (рис. 3, фото 1, 2, 4, 5; рис. 4, фото 2–4).

Реконструкция последовательности геологических событий на островах центральной части ЗПВ

По результатам проведенных исследований с учетом радиоизотопных определений, палеонтологических данных о возрасте и наблюдаемым взаимоотношениям между породами различных типов и комплексов именно такой представляется цепь геологических событий на островах центральной части ЗПВ. Уровень обоснованности каждого возрастного комплекса далеко не одинаков, что предполагает дальнейшие исследования для их уточнения.

Предлагаемая ниже реконструкция последовательности и оценка геологических событий на островах центральной части ЗПВ в течение позднего палеозоя – раннего мезозоя является результатом анализа авторских материалов, опубликованных работ предшественников, особенностей геологического строения района исследований, а также радиоизотопных и палеонтологических датировок и взаимоотношений между породами различных типов.

1. В поздней перми – раннем мезозое континентальная кора современной территории ЗПВ, расположенного на окраине Азиатского континента, подвергалась деструкции, интенсивность которой достигла максимума в раннем триасе. Начальная стадия деструкции была сопряжена с активизацией (или заложением) диагональных разломов северо-восточного и северо-западного простираний и проявлением позднепермского орогенеза, в результате которого образовывались позднепермские гранитоиды седанкинского комплекса и, скорее всего, одновозрастные им преимущественно кислые вулканы владивостокской свиты. При этом гранитоидный магматизм седанкинского комплекса проявился как в пределах Муравьевского горст-антиклинория, так и на территории нынешних островов центральной части ЗПВ. Формируется серия (цепочка) купольных структур гранитоидного состава, которые сложены рядом массивов. Выделяются лянчихинский, седанкинский массивы п-ова Муравьев-Амурский, а также массивы центральной части о-ва Русский, островов Попова, Рейнеке, Рикорда, Стенина и северной части о-ва Большой Пелис. В то же время позднепермский кислый вулканизм владивостокской свиты проявился в более проницаемых зонах разломов, главным образом в зоне Муравьевского разлома (западная часть п-ова Муравьев-Амурский, о-в Русский, северная часть о-ва Попова и южная часть о-ва Большой Пелис). Более интенсивные процессы деструкции континентальной коры в рассматриваемом районе проявились в триасовое (раннетриасовое?) время. Вероятнее всего, они были обусловлены новым этапом активизации глубинных разломов северо-восточного простирания и выразились в проявлении дискретных очередных эпизодов магматизма – вначале андезитового (андезитовая толща – матвеевский комплекс), а затем мантйного базитового (габброиды пограничного комплекса и породы муравьевского комплекса). Проявление базитового магматизма приурочено ко времени максимальной деструкции земной коры континентального типа, когда глубинные разломы достигли уровня верхней мантии. В это время здесь началась интенсивная «базификация» (насыщение базитовым материалом континентальной земной коры). Позднее, после проявления базитового магматизма (средний–поздний триас?), интенсивность деструкции земной коры значительно ослабла. Это нашло отражение в проявлении триасового (позднетриас-раннеюрского) кислого вулканизма (береговой комплекс). Последующая (среднепозднеюрская) довольно интенсивная активизация кислого магматизма (образования островного комплекса) привела к метасоматическим изменениям («гранитизации») ранее сформированных магматических пород среднего и базитового состава. Такие особенности истории геологического развития и глубинного строения рассматриваемой территории связаны с ее расположением в пределах локальной зоны перехода от Азиатского континента (Приморье) к Центральной глубоководной котловине Японского моря. Здесь в мезозойско-кайнозойское время протекали активные тектономагматические процессы, которые позднее (в кайнозое) завершились образованием впадины этого окраинного моря.

2. Приведенная выше последовательность формирования пород, распространенных на островах центральной части ЗПВ, позволяет уверенно выделить 2 этапа их геологического развития: 1) позднепалеозойский (пермский) и 2) раннемезозойский (триасовый). Этапы резко различаются составом сформировавшихся магматических пород. На первом этапе появились интрузивные породы кислого состава (гранитоиды седанкинского комплекса), а также пирокластические и эффузивные образования преимущественно кислого состава владивостокской свиты. Раннемезозойский этап характеризуется сменой интрузивного магматизма кислого состава (гранитоидный седанкинский комплекс) на интрузивный магматизм основного состава (габброиды пограничного комплекса) и широким развитием вулканизма основного и среднего составов (образования матвеевского и муравьевского комплексов). Между первым и вторым этапами, скорее всего, протекали мощные тектонические процессы, которые привели к подъему территории и сопровождалась интенсивной денудацией (размытием) ранее сформированных пород с образованием мощных толщ базальных конгломератов. Наличие пород среднепозднеюрского возраста (розовые лейкократовые гранит-порфиры и их вулканические комагматы островного комплекса)

позволяет предполагать существование еще одного – 3-го геологического этапа (юрского) в геологической эволюции исследованной территории центральной части ЗПВ. Однако это предположение требует дополнительных исследований и уточнения.

Выводы

Изучение особенностей геологического строения островов центральной части зал. Петра Великого позволяет сделать следующие выводы:

1. В геологическом строении островов участвуют одни и те же типовые комплексы (или типы) магматических и осадочных пород, которые фрагментарно и в разных соотношениях представлены на каждом отдельном острове. Мелкие острова обычно сложены одним типом пород. Остров Попова, где широко распространены все типы магматических пород, мы рассматриваем как эталонный объект для магматических пород островов центральной части зал. Петра Великого.

2. Необходимо пересмотреть традиционную точку зрения, согласно которой считалось, что все типы пород островов (кроме осадочных пород триасового возраста о-ва Русский) сформировались в пермское время, а все магматические породы – в позднепермское. Мы полагаем, что образование пород здесь имеет длительный период – от позднего палеозоя до средней (и/или поздней) юры. Наиболее древними породами являются раннепермские осадочные образования поспеловской свиты, а наиболее молодыми – розовые лейкократовые гранит-порфиры островного комплекса среднепозднеюрского возраста.

3. Предлагается следующая схема последовательности формирования различных типов пород для островов центральной части ЗПВ, которая охватывает интервал времени от ранней перми до поздней юры: 1) раннепермские осадочные образования поспеловской свиты, 2) позднепермские гранитоиды седанкинского комплекса и одновозрастные им вулканогенно-осадочные образования владивостокской свиты, 3) раннемезозойские осадочные образования триас-раннеюрского возраста, 4) раннетриасовые вулканиты андезитовой толщи (матвеевский комплекс), 5) раннесреднетриасовые лейкократовые мелко-, среднезернистые габбро пограничного комплекса, 6) раннесреднетриасовые «меланократовые габброиды» муравьевского комплекса, 7) кислые вулканиты поздне триас-раннеюрского (?) возраста берегового комплекса, 8) розовые лейкократовые гранит-порфиры и их комагматы островного комплекса среднепозднеюрского возраста. Последние, скорее всего, являются самыми молодыми магматическими образованиями островов центральной части зал. Петра Великого.

4. На островах центральной части ЗПВ начиная с позднепермского времени отчетливо выделяется несколько этапов (эпизодов, импульсов, пиков) магматизма, среди которых: 2 этапа кислого магматизма – позднепермский (седанкинские гранитоиды, вулканиты владивостокской свиты) и юрский (розовые лейкократовые гранит-порфиры островного комплекса и их комагматы), 1 этап андезитового вулканизма (образования андезитовой толщи – матвеевский комплекс) – ранний триас, 2 этапа базитового магматизма (лейкократовое габбро пограничного комплекса и габброиды муравьевского комплекса) – раннесреднетриасового (?) возраста. Также имеются предпосылки к выделению отдельного третьего (поздне триасового или поздне триас-раннеюрского) самостоятельного этапа кислого вулканизма (береговой комплекс).

5. На островах центральной части ЗПВ уверенно выделяется 2 этапа геологического развития этого региона: 1) позднепалеозойский (пермский) и 2) раннемезозойский (триасовый). Этапы резко различаются по составу магматических пород – на 1-м этапе формировались главным образом породы кислого состава (седанкинские гранитоиды, вулканиты владивостокской свиты), а 2-й характеризуется широким развитием магматизма основного (лейкократовое габбро пограничного комплекса и базиты – муравьевского) и среднего (образования андезитовой толщи – матвеевский комплекс) составов. Окончание 1-го этапа

завершилось мощными тектоническими процессами, подъемом территории и последующим размывом ранее образованных пород.

6. Отмечается отчетливо выраженная специфика пород (по разнообразию типов, их составу и возрасту), участвующих в геологическом строении островов центральной части ЗПВ. Ассоциация пород подводной части Муравьевского горст-антиклинория имеет отчетливо выраженную индивидуальность по отношению к близлежащим частям Азиатского континента (западное побережье Амурского залива и восточное – Уссурийского).

7. Высокая тектоно-магматическая активность, отмеченная на изученных островах в позднепалеозой-раннемезозойское время, свидетельствует о проявлении значительной деструкции и преобразовании земной коры (процессы «базификации» и «гранитизации») в то время в районе ЗПВ. Скорее всего, именно эти геологические процессы и повлияли на перестройку континентальной земной коры в этом регионе.

Таким образом, проведенные исследования позволяют по-новому взглянуть на особенности геологического строения и эволюцию островов центральной части и всего зал. Петра Великого. Необходимо отметить, что эти острова интересны не только с научной точки зрения, но и в качестве объекта туризма (в том числе и геологического), который расположен в непосредственной близости от г. Владивосток. Они характеризуются обилием живописных бухт и заливов, великолепными (часто уникальными) обнажениями геологических разрезов, а также многочисленными морфоскульптурными формами: кекурами, гротами, обрывами и другими скальными образованиями экзотического вида.

Авторы статьи выражают благодарность начальнику МЭС «Остров Попова» ТОИ ДВО РАН к.г.-м.н. П.С. Зинину за содействие в проведении полевых работ, к.г.-м.н. Е.А. Бессоновой за организацию прибрежно-морских экспедиций, Н.К. Вагиной и С.А. Касаткину за предоставленные фотографии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Валитов М.Г., Кононец С.Н., Кулинич Р.Г. Структурно-плотностные модели земной коры зоны сочленения Центральной котловины с прилегающим континентом // Дальневосточные моря России. Кн. 3. Геологические и геофизические исследования. М.: Наука, 2007. С. 53–60.
2. Васильковский Н.П. Строение цоколя шельфа залива Петра Великого // Основные черты геологического строения дна Японского моря. М.: Наука, 1978. С. 64–81.
3. Гаврилов А.А. Острова залива Петра Великого – важные структурные элементы Южно-Приморского участка зоны сочленения Евразийского континента и впадины Японского моря // Современное состояние и тенденции изменения природной среды залива Петра Великого Японского моря. М.: ГЕОС, 2008. С. 312–339.
4. Геология СССР. Т. 32. Приморский край. Ч. 1. Геологическое описание. М.: Недра, 1969. 696 с.
5. Изосов Л.А., Съедин В.Т., Емельянова Т.А. и др. Новые данные по геологии островов залива Петра Великого (Японское море). Остров Попова // Вестн. ДВО РАН. 2013. № 2. С. 13–21.
6. Изосов Л.А., Съедин В.Т., Емельянова Т.А. и др. Новые данные по магматическим комплексам острова Попова и некоторые проблемы геологии залива Петра Великого // Современное состояние и тенденции изменения природной среды залива Петра Великого Японского моря. М.: ГЕОС, 2008. С. 355–378.
7. Изосов Л.А., Съедин В.Т., Емельянова Т.А. и др. Позднепермские магматические формации островов зал. Петра Великого на примере о-ва Попова // Океанологические исследования дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана: в 2 кн. Владивосток: Дальнаука, 2013. Кн. 2. С. 85–98.
8. Изосов Л.А., Коновалов Ю.И., Емельянова Т.А. Проблемы геологии и алмазности зоны перехода континент–океан (Япономорский и Желтоморский регионы). Владивосток: Дальнаука, 2000. 326 с.
9. Кононец С.Н., Съедин В.Т., Харченко Т.А., Валитов М.Г., Изосов Л.А. Типы и физические свойства магматических пород о-ва Попова (залив Петра Великого, Японское море) // Тихоокеан. геология. 2014. Т. 33, № 2. С. 39–52.
10. Коренбаум С.А., Ефимова М.И., Соляник В.А., Попов В.К., Тюрин А.Н. Гл. 3. Геология // Дальневосточный морской биосферный заповедник. Исследования / отв. ред. А.Н. Тюрин. Владивосток: Дальнаука, 2004. Т. 1. С. 151–248.
11. Кулинич Р.Г. Особенности геологического строения Приморского края по геолого-геофизическим данным: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Владивосток, 1969. 27 с.
12. Кутуб-Заде Т.К., Олейников А.В., Сясько А.А. и др. Геологическое строение и полезные ископаемые бассейнов рек и акватории залива Петра Великого. Отчет Славянской партии о результатах геологического

доизучения масштаба 1 : 200 000 листов К-52-ХI, ХII, ХVII, ХVIII, К-53-VII за 1994–2002 гг. Отчет. Приморский ГГФ, 2002.

13. Назаренко Л.Ф., Бажанов В.А. Геология Приморского края. Ч. 3. Основные черты тектоники и история развития. Препринт. Владивосток: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1987. 60 с.

14. Овчарек Э.С. Новые данные о возрасте гранитоидов Муравьевского антиклинория // Геология и металлогения рудных районов Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1985. С. 160–168.

15. Смирнова О.Л., Съедин В.Т., Терехов Е.П. Новые данные радиоляриевго анализа для обоснования стратиграфического положения осадочных отложений островов центральной части залива Петра Великого // Океанография залива Петра Великого и прилегающей части Японского моря: тез. докл. III науч. конф., Владивосток, 26–28 апреля 2017 г. Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2017. С. 34–35.

16. Съедин В.Т. Магматические комплексы о-ва Попова (залив Петра Великого, Японское море) // Тектоника и глубинное строение востока Азии: VI Косыгинские чтения: материалы докл. Всерос. конф., Хабаровск, 20–23 января 2009 г. Хабаровск, 2009. С. 232–236.

17. Съедин В.Т. Магматические комплексы острова Попова залива Петра Великого (новые представления) // Океанография залива Петра Великого и прилегающей части Японского моря: тез. докл. II науч. конф., Владивосток, 15–17 мая 2013 г. Владивосток: Дальнаука, 2013. С. 32.

18. Триас и юра Сихотэ-Алиня. Кн. 1. Терригенный комплекс / П.В. Маркевич, Ю.Д. Захаров. Владивосток: Дальнаука, 2004. 417 с.

19. Уразаева М.Н., Силантьев В.В., Изосов Л.А., Терехов Е.П. Неморские двустворчатые моллюски из нижнепермских отложений острова Русский // Уч. зап. Казан. гос. ун-та. Серия: Естественные науки. 2013. Т. 155, кн. 2. С. 190–208.

20. Уткин В.П., Неволин П.Л., Митрохин А.Н. Позднепалеозойский и мезозойский планы деформаций Юго-Западного Приморья // Тихоокеан. геология. 2007. Т. 26, № 4. С. 3–21.

21. O'Dogherty L., Carter E.S., Gorican S., Dumitrica P. Triassic radiolarian biostratigraphy // Geol. Soc. London. Spec. Publication. 2010. Vol. 334. The Triassic Timescale. P. 163–200. doi:10.1144/SP334.8

22. Tsutsumi Y., Yokoyama K., Kasatkin S.A., Golozubov V.V. Zircon U-Pb age of granitoids in the Maizuru Belt, southwest Japan and the southernmost Khanka Massif, Far East Russia // J. Mineral. Petrol. Sci. 2014. Vol. 109. P. 97–102.