———— ГЕОЛОГИЯ **——**

УЛК 550.93

НОВЫЕ ДАННЫЕ О РАННЕРИФЕЙСКОМ ВОЗРАСТЕ (U-Pb, SHRIMP-II) КИСЛЫХ И ОСНОВНЫХ ЭФФУЗИВОВ ФИНСКОГО ЗАЛИВА (О. COMMEPC, РОССИЯ)

© 2022 г. Е. Н. Терехов^{1,*}, С. Г. Скублов^{2,3}, А. Б. Макеев⁴, член-корреспондент РАН Ю. А. Морозов⁵, Е. В. Левашова², А. А. Юрманов⁶

Поступило 27.04.2022 г. После доработки 05.06.2022 г. Принято к публикации 06.06.2022 г.

Приводятся данные о возрасте вулканитов о. Соммерс, расположенного к югу от подводного продолжения Выборгского массива – вероятных комагматов гранитов рапакиви. Изучение U-Pb-системы циркона из раннерифейских вулканитов для определения их геохронологического возраста было проведено на ионном микрозонде SHRIMP-II (ВСЕГЕИ). Для кварцевых порфиров, слагающих южную часть о. Соммерс, впервые для района Финского залива, получены самые древние определения возраста вулканитов (1663 ± 8 млн лет), которые можно относить к низам хогландской серии раннего рифея. В северной части острова развиты разнообразные породы: кварц-полевошпатовые порфиры (риодациты), андезибазальты, трахибазальты, гранодиориты. Все они претерпели изменения в условиях зеленокаменного метаморфизма в отличие от относительно свежих пород южной части острова. Трахибазальты (1591 \pm 5 млн лет) древнее кварц-полевошпатовых порфиров (риодацитов -1578 ± 14 млн лет) и подобная смена от более древних основных пород к молодым кислым характерна для всех магматических проявлений анортозит-рапакивигранитной формации в регионе Финского залива. "Молодые" возрасты пород северной части о. Соммерс, возможно, олицетворяют наличие в центре Финского залива более молодого массива гранитов рапакиви, чем Выборгского. В этом случае рифейская троговая структура, прослеженная на восток от о. Соммерс, сложена не только породами хогландской серией, а ее часть коррелируется с низами разреза Пашского грабена – приозерской свитой.

Ключевые слова: кварцевые порфиры, граниты рапакиви, U–Pb-возраст, циркон, ранний рифей **DOI:** 10.31857/S2686739722600886

Рифейские образования, слагающие рифтовые структуры, широко развиты в обрамлении Балтийского щита, особенно в северной и восточной частях. Большая их часть имеет среднерифейский возраст (1.2—1.0 млрд лет), и только для основания многокилометровых разрезов Бе-

ется более древний возраст [6]. В южном обрамлении Балтийского щита раннерифейские тектоно-магматические процессы проявились большей мере и отразились в формировании трогов, интрузий габбро-анортозитов и рапакиви, дайковых роев и индикаторов сейсмитов — псевдотахилитов. Начало этих событий в регионе фиксируется подошвой хогландской серии на острове Гогланд в центральной части Финского залива, где на мигматизированном свекофеннском фундаменте, в основании рифейского разреза залегают кварцевые конгломераты. Выше них присутствуют два маломощных потока базальтов, а большая часть разреза сложена кварцевыми порфирами с возрастом 1.64-1.63 млрд лет, который близок к возрасту главных импульсов магматической активности Выборгского батолита [2]. Более молодые, но также раннерифейские образования приозерской свиты, слагают низы разреза Пашского грабена, преимущественно

приуроченного к котловине Ладожского озера

ломорской палеорифтовой системы предполага-

¹ Геологический институт Российской академии наук, Москва, Россия

² Институт геологии и геохронологии докембрия Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

³ Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

⁴ Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук, Москва, Россия

⁵ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук, Москва, Россия

⁶ Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук, Москва, Россия

^{*}E-mail: terekhoff.zhenya@yandex.ru

Компонент	Проба														
Romnoneni	TC-1	TC-2	TC-3	TC-4	TC-5	TC-6	TC-7	TC-8	TC-9	TC-10	TC-11				
SiO ₂	75.20	71.99	73.43	81.52	68.99	74.24	55.33	50.95	72.54	54.84	64.52				
TiO_2	0.25	0.29	0.27	0.76	0.54	0.27	2.47	2.62	0.36	2.27	0.61				
Al_2O_3	11.64	12.14	12.08	5.13	13.27	11.82	12.97	15.00	12.38	13.90	15.90				
Fe ₂ O ₃ *	3.24	4.97	4.28	5.83	5.76	4.24	13.75	14.49	4.18	13.02	5.58				
MnO	0.04	0.05	0.04	0.06	0.06	0.05	0.13	0.14	0.03	0.14	0.11				
MgO	0.16	0.48	0.32	1.23	0.75	0.30	3.06	2.44	0.55	2.70	3.31				
CaO	1.35	1.43	0.95	3.01	2.26	1.52	5.07	7.41	0.93	7.49	2.55				
Na ₂ O	1.30	1.95	2.19	1.06	1.92	1.19	3.34	3.14	2.26	2.25	1.87				
K_2O	6.14	5.94	5.77	0.68	5.80	5.83	2.41	2.20	5.41	2.04	3.54				
P_2O_5	0.03	0.07	0.06	0.22	0.16	0.04	0.72	0.77	0.12	0.72	0.16				
LOI	0.65	0.70	0.61	0.51	0.49	0.50	0.74	0.83	1.24	0.64	1.86				
Сумма	100.00	100.10	100.00	100.10	100.00	100.00	99.99	99.99	100.00	100.10	100.10				

Таблица 1. Химический состав (мас. %) представительных проб о. Соммерс

(рис. 1 а). Возраст осадочных пород этого трога ограничен временными рамками от самого молодого детритового циркона из расположенного на восточном берегу Ладожского озера Салминского массива (1.55 млрд лет), выявленного в песчаниках приозерской свиты, до этапа становления Валаамского силла (1.47 млрд лет), уже внедренного в раннерифейские отложения [7]. Кварцевые порфиры на острове Соммерс, аналогичные тем, которые присутствуют в разрезе хогландской серии на о. Гогланд, известны и в других местах юга Балтийского щита. Они встречены в виде даек в северном обрамлении Выборгского массива и внутри него, а также в дайках среди пород Салминского и Аландского массивов, возраст которых составляет 1.55 и 1.58 млрд лет соответственно [5, 12, 14]. Кварцевые порфиры были описаны на небольшом острове Соммерс в Финском заливе [12] (рис. 1). Предполагалось, что эти породы аналогичны образованиям о. Гогланд, но какиелибо определения возраста для них отсутствовали. Кроме того, судя по результатам морского магнитного профилирования, они могут слагать большие площади дна [12], чем показано на некоторых картах. Ввиду того, что долгое время о. Соммерс был трудно досягаем для геологических исследований, его положение в региональной структуре весьма неопределенное. Так, на большинстве геологических карт, в том числе и на ГГК 1:200 000 показано, что этот остров сложен гранитами рапакиви Выборгского массива. В то же время на карте м-ба 1:1000000 здесь показано поле раннерифейских отложений. Данная статья посвящена определению возраста эффузивных пород на о. Соммерс.

В отличие от о. Гогланд, где в состав раннерифейской хогландской серии входят кварцевые конгломераты, на о. Соммерс обнажаются только магматические породы (рис. 2). Южная часть острова Соммерс сложена кварцевыми порфирами — риолитами (пробы ТС-6, ТС-1, ТС-2, ТС-3, табл. 1) по составу аналогичными порфирам с о. Гогланд [2]. В северной части острова обнажаются более разнообразные по составу породы: трахибахальты (ТС-8), андезибазальты (ТС-7, ТС-10), гранодиориты (ТС-11) и кварц-полевошпатовые порфиры (ТС-5, ТС-9). Среди кварцевых порфиров в центре острова встречен горизонт лавобрекчий (ТС-4).

В южной части о. Соммерс встречаются однообразные по внешнему виду и составу породы — кварцевые порфиры и взятая проба TC — 6 олицетворяет эту толщу. Пробы TC-8 (трахибазальт) и TC-9 (кварц-полевошпатовый порфир) взяты из северной части острова, где породы более разнообразные, а эти пробы являются крайними в ряду: основная — кислая порода (табл. 1). Изучение U— Pb-системы для представительной выборки циркона из проб TC-6, TC-8 и TC-9 проведено на ионном микрозонде SHRIMP-II (ВСЕГЕИ) по стандартной методике с выбором точек анализа по катодолюминесцентным (CL) изображениям зерен.

Кварцевые порфиры — риолиты (проба ТС-6) — порфировая темно-серая порода с вкрапленниками КПШ. В этой породе присутствуют изометричные зерна кварца и выделения мусковита и альбита неправильной формы. По спайности мусковита развиваются ламели биотита, которые замещаются хлоритом.

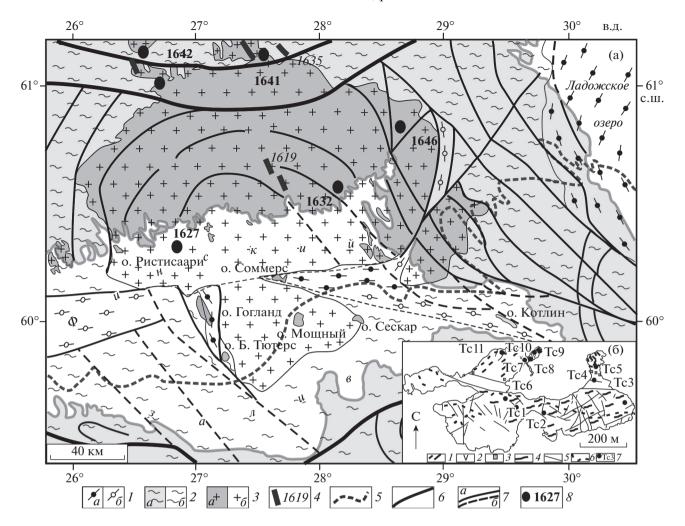


Рис. 1. Структурное положение раннерифейских образований в восточной части Финского залива (а): I — раннерифейские отложения на суше (а) и в акватории (б), хогландская серия в районе о. Гогланд, она же и вероятно приозерская в структуре к востоку от о. Соммерс и приозерская свита в районе Ладожского озера; 2 — палеопротерозойские свекофеннские образования на суше (а) и в акватории (б); 3 — граниты-рапакиви Выборгского массива на суше (а) и в акватории (б); 4 — дайковые рои кварцевых порфиров и их возраст (по [14]); 5 — северная граница распространения вендских отложений; 6 — краевые разломы Балтийско-Мезенской тектонической зоны; 7 — разломы: достоверные (а) и предполагаемые (б); 8 — точки геохронологического опробования и возраст (по [14]). На врезке (б) схема геологического строения о. Соммерс: 1 — кварц-полевошпатовые порфиры (риодациты) северной толщи; 2 — лабодароровые порфириты (базальты); 3 — лавобрекчии кварцевых порфиров; 4 — кварцевые порфиры (риолиты) южной толщи; 5 — разломы; 6 — предполагаемые границы лавовых потоков; 7 — точки опробования.

Основная масса породы полностью раскристаллизована и представлена мелкозернистым агрегатом из тех же минералов и черными пылевидными кристалликами рудного минерала. Циркон из кварцевых порфиров (проба ТС-6) в основном представлен идиоморфными удлиненными (Куд 1:3—1:4 и более) зернами с тонкополосчатой осциляционной зональностью в серых тонах, достигающий по удлинению 300 и более мкм (рис. 3а). В редких случаях центральная часть зерен темносерая и незональная (точка 6). Содержание U варьирует от 37 до 509 ррт при среднем значении 117 ррт (табл. 2). Содержание Th меняется в таких же пределах (от 19 до 527 ррт, в среднем 101 ррт).

Th/U-отношение варьирует от 0.52 до 1.07 при среднем значении 0.80, что отвечает циркону магматического генезиса. Все проанализированные зерна циркона образуют конкордантный кластер со значением конкордантного возраста 1663 ± 8 млн лет (рис. 4a).

Кварц-полевошпатовые порфиры — риодациты (проба TC-9) — темно-серая порода с яркими розовыми вкрапленниками КПШ величиной от 1 до 6 мм. В этой породе присутствуют крупные до 3 мм изометричные выделения кварца и биотита, который замещен желтыми паркетовидными сростками кристаллов хлорита-шамозита. Основная масса породы раскристаллизована и пред-



Рис. 2. Типичные представители пород на о. Соммерс: а — кварцевый порфир (проба TC-6); б — лавобрекчия кварцевых порфиров; в — дайкоподобное тело трахибазальтового состава (проба TC-8); г — кварц-полевошпатовый порфир с крупными кристаллами КПШ (проба TC-9). Кружком выделено место опробования.

ставлена удлиненными скелетными ветвящимися кристаллами альбита, кварца, КПШ, биотита, мусковита, черными мелкими (10-100 мкм) зернами рудных (магнетита, рутила) и крупными (1— 5 мм) овальными выделениями ильменита. Визуально риодациты содержат меньше кварца в 1.5-2 раза, чем риолиты. Циркон из кварц-полевошпатовых порфиров по форме похож на циркон из кварцевых порфиров (рис. 3б). Отличие заключается в более темных тонах окраски циркона в CL и в более частом наличии темно-серых центральных частей зерен (например, точки 1 и 9). Содержание U варьирует от 93 до 5720 ppm (в темных центральных частях). Содержание Th ведет себя аналогично (от 32 до 2458 ррт), при этом Th/U-отношение остается достаточно выдержанным — от 0.32 до 0.58 при среднем значении 0.44, также отвечающем магматическому циркону. Почти все точки циркона демонстрируют обратную дискордантность и образуют компактный кластер (рис. 4б). Вне зависимости от содержания U, точки всех зерен проанализированного циркона из пробы ТС-9 лежат на дискордии, ориентированной на нулевую отметку и пересекающей конкордию в значении возраста 1578 ± 5 млн лет.

Трахибазальты (проба ТС-8) – порфировая темно-серая порода с крупными светло-серыми удлиненными вкрапленниками плагиоклаза (лабрадора) величиной до 8 мм. Кроме плагиоклаза в породе присутствуют вкрапленники соссюритизированного КПШ. Основная мелкозернистая масса сложена теми же мелкими удлиненными кристаллами лабрадора, КПШ, селадонита, кварца, равномерно распределенными в полностью раскристаллизованном стекле, присутствуют многочисленные пылевидные, а также редкие мелкие черные зерна рудного минерала (магнетита) величиной до 0.5 мм, и выделения зеленого и желто-бурого хлорита. Присутствие в породе КПШ и селадонита - калиевых щелочных минералов подтверждает еее название трахибазальт, установленное по валовому химическому анализу. Циркон из трахибазальтов (проба ТС-8) показал различные значения возраста (табл. 2). Четыре зерна (1, 4, 7, 8, рис. 3в) вытянутой формы и с ростовой зональностью в серых тонах в CL образуют конкордантный кластер со значением конкордантного возраста 1591 ± 14 млн лет (рис. 4в). Для этих зрен характерно умеренное содержание U (от 101 до 256 ppm) и Th (от 65 до 126 ppm) при



Рис. 3. Катодолюминесцентные изображения продатированных зерен циркона из пробы: TC-6 (a), TC-9 (б) и TC-8 (в). Кружком показано положение аналитического кратера диаметром около 20 мкм.

среднем значении Th/U-отношения 0.69. Зерно циркона с молодым значением ²⁰⁶Pb/²³⁸U-возраста около 600 млн лет (3 на рис. 3в) отличается своей округлой формой и светло-черной окраской в CL. По всей видимости, это зерно ксеногенное – неясного генезиса. Другая группа зерен (2, 5, 6, 9, 10, рис. 3в) расположена субконкордантно в интервале 1750-2000 млн лет. Эти зерна имеют темно-серую окраску, реликты ростовой зональности, округлую или изометричную форму. Содержание U и Th в них заметно выше, чем в других зернах — от 583 до 1642 ppm и от 148 до 376 ppm coответственно. Для трех зерен (2, 5 и 9) Th/U-отношение составляет в среднем 0.14, что больше соответствует метаморфическому циркону, в остальных зернах из этой группы (6 и 10) Th/U-отношение выше — 0.61 и 0.64. Скорее всего, данная группа зерен с более древним возрастом является захваченной дайкой из пород фундамента свекофеннского возраста при ее внедрении.

Близость о. Соммерс к коренным выходам гранитов рапакиви и к предполагаемому подводному продолжению Выборгского массива позволяет рассматривать геологическую ситуацию на этом острове в ассоциации с массивом гранитов рапакиви. Кварцевые порфиры этого региона исследователями рассматриваются как эффузивные комагматы гранитов рапакиви или как поздние дайки тех же массивов [2, 5]. Изученные на о. Соммерс породы, в том числе проба ТС-6, по петрогеохимическим параметрам близки аналогичным образованиям о. Гогланд, отличаясь от них толь-

Кћо		0.599	0.662	0.641	0.681	0.615	0.899	0.767	0.581	0.736	0.649	0.706	0.733	0.783	0.618	0.720		926.0	0.918	0.889			
% T		1.3	1.4	1.5	1.4	1.3	1.1	1.2	1.3	1.3	1.2	1.3	1.3	1.2	1.2	1.3		1.3	1.3	1.4			
Ω _{8εζ} /*9d _{90ζ}	-				0.2957	0.2952	0.2932	0.3002	0.2948	0.2953	0.2931	0.2974	0.2899	0.2927	0.2925	0.2963	0.2971	0.2946	0.3006	-	0.2950	0.2981	0.2896
% ∓				2.1	2.1	2.3	2.0	2.1	1.2	1.6	2.2	1.7	1.8	1.8	1.7	1.5	2.0	1.8		1.3	1.5	1.6	
$\Omega_{SEZ}/*9d_{L0Z}$		4.123	4.098	4.134	4.256	4.083	4.14	4.083	4.244	4.094	4.047	4.08	4.195	4.129	4.158	4.294	-	3.987	4.025	3.901			
% ∓		1.7	1.6	1.8	1.5	1.6	0.54	1.0	1.8	1.2	1.4	1.3	1.2	0.94	1.5	1.2		0.29	0.58	0.71			
*9d ₉₀₇ /*9d _{∠07}		0.1011	0.1007	0.1023	0.1028	0.1005	0.1017	0.1010	0.1035	0.1024	0.1003	0.1012	0.1027	0.1008	0.1024	0.1036	-	0.09801	0.09793	0.09769			
% ∓		1.3	1.4	1.5	1.4	1.3	1.1	1.2	1.3	1.3	1.2	1.3	1.3	1.2	1.2	1.3	•	1.3	1.3	1.4			
*9d _{90Z} /\U_88Z		3.382	3.387	3.411	3.332	3.392	3.387	3.412	3.362	3.449	3.417	3.418	3.375	3.366	3.395	3.327	•	3.390	3.355	3.453			
D %	Проба ТС-6	-1	-2	1	-1	-2	-1	-1	1	2	-2	-1	0	-2	0	0	Проба ТС-9	-5	9-	4			
возраст, б	Проб	± 31	± 29	± 33	± 27	± 30	± 10	± 19	± 33	± 21	± 26	± 24	± 22	± 17	± 28	± 23	Проб	9 +	± 11	± 13			
94 ₉₀₂ /94 ₂₀₇		1645	1636	1666	1676	1632	1655	1643	1688	1668	1629	1645	1673	1639	1668	1690		1587	1585	1581			
Возраст, рабор 200 рабор		± 19	± 20	± 21	± 20	± 19	± 16	± 18	± 19	± 18	± 17	± 19	± 19	± 17	± 18	± 19		± 19	± 20	± 20			
U ⁸⁶² /dq ⁹⁰²		1670	1668	1657	1692	1665	1668	1657	1679	1641	1655	1654	1673	1677	1664	1694	-	1667	1682	1639			
Ту bbm 1006 bb		20.3	11.9	9:36	13.4	24.9	129	26.1	21.5	20.6	36.8	17.0	20.2	47.0	29.0	19.4	-	306	75.2	54.6			
∩ _{8€7} /ч⊥ _{7€7}		99.0	89.0	0.52	0.79	0.71	1.07	69:0	1.02	0.64	96.0	99.0	0.98	0.99	0.71	96.0	•	0.48	0.40	0.58			
udd yL		50.8	30.8	18.7	39.8	0.89	527	0.69	83.4	51.7	136	43.0	75.3	176	78.5	69.4	<u>-</u>	564	113	123			
mqq U		79.9	46.9	37.1	52.1	98.4	508	104	84.2	82.9	146	67.5	79.2	184	115	75.0	-	1207	294	219			
% °9d ₉₀₇		0.04	90.0	0.08	90.0	0.04	0.01	0.03	0.03	0.04	0.02	90.0	0.04	0.01	0.03	0.05	-	0.01	0.01	0.04			
Номер Тонки		-	2	3	4	5	9	7	8	6	10	11	12	14	15	13	-		2	3			

Окончани	
7	
Таблица	

	уро	0.918	698.0	0.939	0.877	0.817	0.982	0.938		0.305	0.661	0.876	0.772	0.707	0.915	0.950	896.0	0.975	0.929
	% T	1.3	1.4	1.3	1.4	1.5	1.3	1.3	-	1.4	1.4	1.6	1.3	1.4	1.1	1.1	1:1	1.5	1.2
	∩ _{8€7} /*9d ₉₀₇	0.3030	0.2887	0.3024	0.2677	0.2917	0.3086	0.2861	-	0.0970	0.2800	0.2812	0.2817	0.2850	0.3166	0.3420	0.3422	0.3537	0.3684
	% ∓	1.5	1.6	1.4	1.6	1.8	1.3	1.4		4.6	2.1	1.8	1.6	2.0	1.3	1.2	1.2	1.5	1.3
	∩ ₅₅₇ /*9d ₇₀₂	4.095	3.894	4.041	3.605	3.916	4.142	3.83	-	0.832	3.742	3.778	3.794	3.889	4.689	5.323	5.478	5.839	6.196
	% ∓	0.58	0.79	0.49	0.75	1.0	0.24	0.49	-	4.4	1.6	0.89	1.0	1.4	0.51	0.38	0.29	0.34	0.47
	*9d ₉₀₇ /*9d _{L07}	0.09802	0.09782	0.09692	992600	0.09740	0.09734	0.09708	-	0.06220	0.09690	0.09744	0.09770	0.09900	0.1074	0.1129	0.1161	0.1197	0.1220
	%∓	1.3	1.4	1.3	1.4	1.5	1.3	1.3	_	1.4	1.4	1.6	1.3	1.4	1.1	1:1	1.1	1.5	1.2
	*4d _{90Z} /U _{86Z}	3.300	3.464	3.307	3.735	3.429	3.240	3.495	-	10.31	3.571	3.557	3.550	3.509	3.159	2.924	2.922	2.828	2.715
	% О		-3	8-	3	-5	6-	-3	Проба ТС-8	14	-2	-1	<u></u>	-		-3	0	0	-2
	207 Pb/ ²⁰⁶ Pb возраст, млн лет	± 11	± 15	+ 6	± 14	± 19	+ 5	+ 6	Проба	± 93	± 30	± 17	± 20	± 26	+ 6	± 7	+ 5	9 ∓	% +I
		1587	1583	1566	1580	1575	1574	1569		681	1566	1576	1580	1605	1756	1846	1897	1952	1986
	206 р b/ ²³⁸ U возраст, млн лет	± 20	± 20	± 20	± 19	± 21	± 20	± 19	-	× +	± 20	± 23	+ 18	± 20	+ 18	± 19	± 19	± 25	+ 20
		1706	1635	1703	1529	1650	1734	1622		597	1592	1597	1600	1617	1773	1896	1897	1952	2022
	mqq *dq ⁹⁰²	80.2	41.7	111	50.5	23.4	1520	112	-	13.3	24.3	61.8	43.1	27.3	173	279	483	415	185
	Ω_{867} /Ч L_{767}	0.43	0.53	0.48	0.37	0.35	0.44	0.32	-	0.50	0.67	0.51	0.59	1.00	0.61	0.16	0.12	0.13	0.64
	шdd ц <u>Т</u>	129	85.4	197	78.1	31.7	2458	139		77.8	65.1	126	101	108	376	148	188	170	361
Таблица 2. Окончание	mqq U	308	168	427	220	93.4	5720	454	-	160	101	256	178	111	989	950	1642	1361	583
а 2. Окс	% ³ 9d ₉₀₇	0.02	0.03	0.02	0.07	0.00	0.01	0.03	-	0.00	0.15	0.03	0.04	0.07	0.02	0.02	0.01	0.27	0.02
Таблиц	номер Номер	4	5	9	7	∞	6	10	-	3	4	∞		7	9	5	6	2	10

Рь_с и Рь* — обыкновенный и радиогенный свинец. Ошибки при калибровке стандарта (0.41% для обр. ТС-6, 0.37% для обр. ТС-9, 0.35% для обр. ТС-8), не включены в указанные выше ошибки, но требуются при сравнении данных из разных источников. Коррекция на обыкновенный свинец при расчете возраста по измеренному ²⁰⁴ Рр. Rho — коэффициент корреляции ошибок. D — дискордантность, в %.

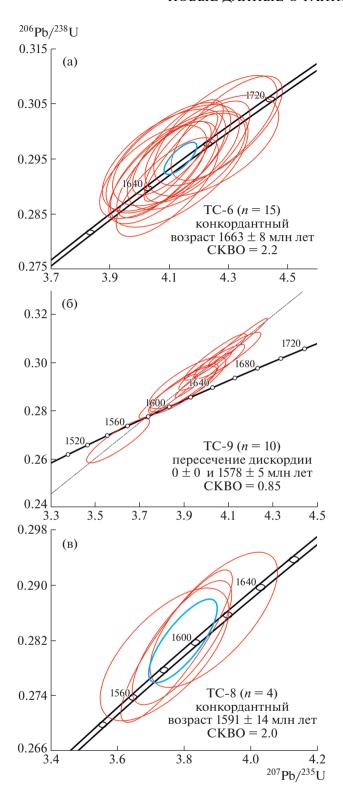


Рис. 4. Диаграммы с конкордией для циркона из пробы: TC-6 (а), TC-9 (б) и TC-8 (в). Эллипсы и значения конкордантного возраста соответствуют 2σ , включая погрешность константы распада.

ко более древним на 20 млн лет возрастом. Возраст 1663 ± 8 млн лет, установленный для кварцевых порфиров, может отвечать самой ранней магматической активности Выборгского массива.

Современные представления о геохронологии Выборгского массива основаны на обширной выборке U—Pb-анализов, проведенных за последние 40 лет [13, 15]. Эти данные предполагают возраст кристаллизации гранитов рапакиви в интервале $1650-1627\,$ млн лет [11, 14]. U—Pb-возраст циркона $1627\pm3\,$ млн лет (ID-TIMS) из темного выборгита с о. Ристисаари является самым молодым значением, до сих пор определенным для пород Выборгского батолита. Этот остров является самой близкой точкой к о. Соммерс.

На основе уже опубликованных данных о U-Рb-возрасте циркона (от 1.65—1.64 млрд лет на севере, и до 1.627 млрд лет на юге) предполагается, что по мере роста Выборгского батолита, общий очаг магматизма мог смещаться на юг, но при этом возраст даек кварцевых порфиров еще более молодой — 1619 млн лет [14]. "Молодой" возраст кварцевого порфира-риодацита с о. Соммерс (проба ТС-9), который равен 1578 млн лет, вполне вписывается в эту тенденцию омоложения. Здесь уместно отметить, что центр Финского залива, где расположен о. Соммерс, является осевой частью крупной долгоживущей тектонической зоны, которая имеет различные названия: Балтийско-Мезенская зона, флексура Полканова или периферическая часть Балтийской кольцевой структуры (нуклеара) [4, 10]. К этой структуре приурочены и другие массивы гранитов-рапакиви, в частности, Салминский с возрастом 1.55 млрд лет [8]. Эта же широтная зона выделяется и на дне Ладожского озера, где она контролирует резкое увеличение глубины Пашского грабена [1].

Взаимосвязь между гранитной и габбро-анортозитовой магмами в Выборгском массиве и других массивов юга Балтийского щита до конца не выяснена. Преобладает мнение, что при образовании Выборгского массива основная магма как более ранняя и ее термальное воздействие на кислую кору способствовали формированию гранитного материала. Данные геохронологических исследований указывают на более древний возраст габбро-анортозитов Салминского и Выборгского массивов по сравнению с гранитами тех же массивов [8]. Геологические взаимоотношения базальтов и кварцевых порфиров на о. Гогланд также указывают на более древний возраст основных пород по сравнению с кислыми [2]. Наши данные по трахибазальтам (проба TC-8) — 1591 ± 14 млн лет и риодацитам (проба TC-9) — 1578 ± 5 млн лет, подтверждают закономерное омоложение возраста от основных пород к кислым. Если исходить из того, что эффузивные комагматы первоначально были расположены над будущим массивом, то по мере

его роста, структура, выполненная этими отложениями, будет сдвигаться относительно центра массива, а вблизи нее будут появляться все более и более молодые граниты, что отразилось в появлении гранитов о. Ристисаари с возрастом 1627 ± ± 3 млн лет и кварц-полевошпатовых порфиров о. Соммерс (проба TC-9) с возрастом 1578 ± 5 млн лет. Но, вероятнее всего, возраст пород из проб TC-8 и TC-9 – (в интервале 1591–1578 млн лет) олицетворяет новый цикл магматической активности в районе Выборгского массива, который накладывается на его основной этап с возрастом 1660-1630 млн лет. При этом проба кварцевых порфиров TC-6 (1663 \pm 8 млн лет) относится к южной, более древней и однообразной толще, которую можно коррелировать с самыми ранними проявлениями рифейских событий: развитием сдвиговых зон и сопряженных с ними трогами пулл-аппартного типа, заполненные породами хогландской серии. Севернее горизонта лавобрекчий (проба ТС-4) на о. Соммерс расположен более молодой гетерогенный комплекс с возрастом 1591—1578 млн лет. Вероятно, что магматические и осадочные образования именно этого возраста слагают субширотный прогиб, протягивающийся от о. Соммерс на восток. В пользу наличия осадочных пород в этой структуре свидетельствуют многочисленные валуны конгломератов и кварцито-песчаников по берегам о-вов Мощный и Сескар. Тектоническая активность, связанная с формированием раннерифейских трогов этого возраста, проявилась и в формировании разломных зон по периферии Балтийского щита, где индикаторами сейсмических событий явились псевдотахилиты с возрастом 1.59 млрд лет [9].

В заключение следует отметить, что для кварцевых порфиров, слагающих южную часть о. Соммерс, впервые для района Финского залива, получены самые древние определения возраста вулканитов (1663 \pm 8 млн лет), которые можно относить к низам хогландской серии раннего рифея. В северной части острова развиты разнообразные породы: кварц-полевошпатовые порфиры (риодациты), андезибазальты, трахибазальты, гранодиориты. В целом они сильнее изменены, чем породы южной части острова, так как в них присутствуют минералы индикаторы: хлорит-шамозит и магнетит, свидетельствующие о метаморфизме зеленосланцевой фации, но их возраст моложе. При этом трахибазальты (проба $TC-8-1591 \pm$ ± 14 млн лет) древнее кварц-полевошпатовых порфиров (риодацитов — проба $TC-9 - 1578 \pm 5$ млн лет). "Молодые" возрасты пород кварц-полевошпатовых порфиров и трахибазальтов северной части о. Соммерс, возможно, отражают наличие в этом районе более молодого массива гранитов рапакиви, чем Выборгский. В этом случае рифейская троговая структура, прослеженная на восток от о. Соммерс (рис. 1), может быть выполнена породами не только хогландской серии, а часть ее является более молодой и коррелируется с низами разреза Пашского грабена — приозерской свитой.

БЛАГОДАРНОСТИ

Первичная рекогносцировка острова Соммерс проводилась в 2017 г. в рамках комплексной экспедиции Русского географического общества на Внешние острова Финского залива "Гогланд". Проведение полевых работ в 2021 г. организовано АНО "Центр содействия экспедиционной деятельности".

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках исследований по темам Государственного задания ГИН РАН, ИГЕМ РАН и ИФЗ РАН. Датирование циркона выполнено в рамках темы НИР ИГГД РАН № FMUW-2022-0005.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Амантов А.В.* Геология дочетвертичных образований и тектоника Ладожского озера // Региональная геология и металлогения. 2014. № 58. С. 22—32.
- 2. *Беляев А.М.* Петрология вулканических пород формации рапакиви (о. Гогланд) // Региональная геология и металлогения. 2013. Т. 55. С. 28–36.
- 3. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (новая серия). Лист P-(35)-37 Петрозаводск. Объяснительная записка. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. 322 с.
- 4. Колодяжный С.Ю., Терехов Е.Н., Балуев А.С., Полещук А.В., Зыков Д.С. Тектоника и этапы эволюции Балтийско-Мезенской сдвиговой зоны в фанерозое, Северо-Запад России // Геотектоника. 2020. № 1. С. 3—22.
- Конышев А.А., Аносова М.О., Русак А.А., Алексеев И.А., Якушев А.И., Шаповалов Ю.Б. Дайки кварцевых порфиров и их место в становлении Салминского батолита (Южная Карелия) // Доклады РАН. Науки о Земле. 2020. Т. 491. № 1. С. 23—28.
- 6. Кузнецов Н.Б., Балуев А.С., Терехов Е.Н., Колодяжный С.Ю., Пржиялеовский Е.С., Романюк Т.В., Дубенский А.С., Шешуков В.С., Ляпунов С.М., Баянова Т.Б., Серов П.А. О времени формирования Кандалакшского и Керецкого грабенов палеорифтовой системы Белого моря в свете новых данных изотопной геохронологии // Геодинамика и тектонофизика. 2021. Т. 12. № 3. С. 570—607. https://doi.org/10.5800/ GT-2021-12-3-0540
- 7. Купцова А.В., Худолей А.К., Дэвис В., Рейнберд Р.Х., Ковач В.П., Загорная И.Ю. Возраст и источники сноса песчаников приозерской и салминской свит рифея в восточном борту Пашско-Ладожского бассейна (Южная окраина Балтийского щита) // Стратиграфия. Геологическая Корреляция. 2011. Т. 19. № 2. С. 3—19.
- 8. *Ларин А.М.* Граниты рапакиви и ассоциирующие породы. СПб.: Наука, 2011. 402 с.

- 9. *Морозов Ю.А., Юдин Д.С, Травин А.В., Смульская А.И., Кулаковский А.Л., Матвеев М.А.* Первые находки и ⁴⁰Ar/³⁹Ar-датирование псевдотахилитов в палеопротерозойском зонально метаморфизованном Ладожском комплексе Фенноскандии // Доклады РАН. Науки о Земле. 2020. Т. 493. № 1. С. 5—9.
- 10. Терехов Е.Н., Балуев А.С. Постскладчатый магматизм (1.85—1.7 млрд лет) восточной части Балтийского щита: корреляция структурного положения его проявлений с эволюцией вмещающих комплексов // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2011. Т. 19. № 6. С. 26—43.
- 11. Heinonen A., Rämö O.T., Mänttäri I., Andersen T., Heinonen L.K., Rämö A.P., Mänttäri O.T., Andersen I.T., Larjamo K. Zircon as a Proxy for the Magmatic Evolution of Proterozoic Ferroan Granites; the Wiborg Rapakivi Granite Batholith, SE Finland // J. Petrol. 2017. V. 58. P. 2493–2517.

- Laitakari I., Rämö O.T., Suominen V., Niin M., Stepanov K., Amantov A. Subjotnian: Rapakivi Granites and Related Rocks in the Surroundings of the Gulf of Finland // Geol. Survey of Finland Geol. Special Paper. 1996. V. 21. P. 59–97.
- 13. *Rämö O.T., Haapala I.* One Hundred Years of Rapakivi Granite // Miner. Petrol. 1995. V. 52. P. 129–185.
- 14. Rämö O.T., Turkki V., Mänttäri I., Heinonen A., Larjamo K., Lahaye Y. Age and Isotopic Fingerprints of Some Plutonic Rocks in the Wiborg Rapakivi Granite Batholith with Special Reference to the Dark Wiborgite of the Ristisaari Island // Bull. of the Geol. Society of Finland. 2014. V. 86. P. 71–91.
- 15. *Vaasjoki M*. Explanation to the Geochronological Map of Southern Finland: The Development of the Continental Crust with Special Reference to the Svecofennian Orogeny // Geol. Survey of Finland. Rep. of Investigation 135. 1996. 30 p.

NEW DATA ON THE EARLY RIPHEAN AGE (U-PB, SHRIMP-II) OF ACID AND BASIC EFFUSIVES OF THE GULF OF FINLAND (SOMMERS ISLAND, RUSSIA)

E. N. Terekhov^{a,#}, S. G. Skublov^{b,c}, A. B. Makeyev^d, Corresponding Member of the RAS Yu. A. Morozov^e, E. V. Levashova^b, and A. A. Yurmanov^f

^a Geological Institute Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

^b Institute of Precambrian Geology and Geochronology Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russian Federation

^c Saint-Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation

^d Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

^e Schmidt Institute of Physics of the Earth Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

^fN.V. Tsitsin Main Botanical Garden, Moscow, Russian Federation

#E-mail: terekhoff.zhenya@yandex.ru

This paper presents data on the age of the volcanites of the Sommers Island. Sommers, located to the south of the submarine extension of the Vyborg Massif. Volcanites are probable comagmates of the Rapakivi granites. The U-Pb system of zircon from Early Riphean volcanics was studied to determine their geochronological age using the SHRIMP-II ion microprobe (VSEGEI). For quartz porphyries composing the southern part of the Somers Island. The oldest age determinations of volcanic rocks (1663 ± 8 Ma) were obtained for the first time for the Gulf of Finland area, which may be assigned to the lower parts of the Hogland series of the Early Riphean. In the northern part of the island, there are various rocks: quartz-feldspar porphyries (rhyodacites), andesibasalts, trachybasalts, and granodiorites. All of them underwent changes in the conditions of greenstone metamorphism in contrast to the relatively fresh rocks of the southern part of the island. The trachybasalts (1591 \pm 5 Ma) are older than the quartz-feldspar porphyries (rhyodacite - 1578 \pm 14 Ma), and a similar change from older basic rocks to younger acidic ones is typical of all magmatic occurrences of the anorthosite-rapakivite formation in the Gulf of Finland region. The "young" ages of the rocks of the northern part of the island. Sommers possibly represent the presence of a younger massif of rapakivi granites in the center of the Gulf of Finland than the Vyborg massif. In this case, the Riphean trog structure traced eastward from Somers Island is not of the same age. Sommers, is composed not only of rocks of the Hogland series, and its part correlates with the bottoms of the Pashsky graben section – the Priozero Formation

Keywords: quartz porphyries, rapakivi granites, U-Pb age, zircon, Early Riphean