

В. А. Матреничев, К. И. Степанов, О. М. Пупков

СТРАТИГРАФИЯ И ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА РАННЕПРОТЕРОЗОЙСКИХ МЕТАВУЛКАНИТОВ СОРТАВАЛЬСКОГО ПОДНЯТИЯ (СЕВЕРНОЕ ПРИЛАДОЖЬЕ)

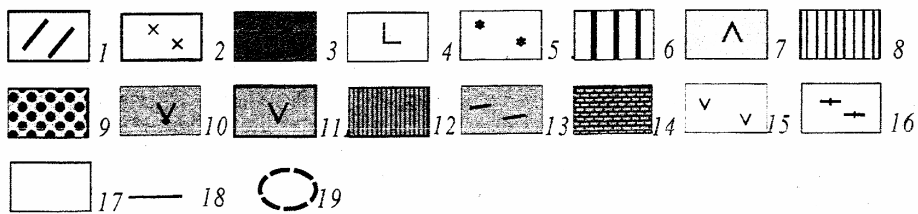
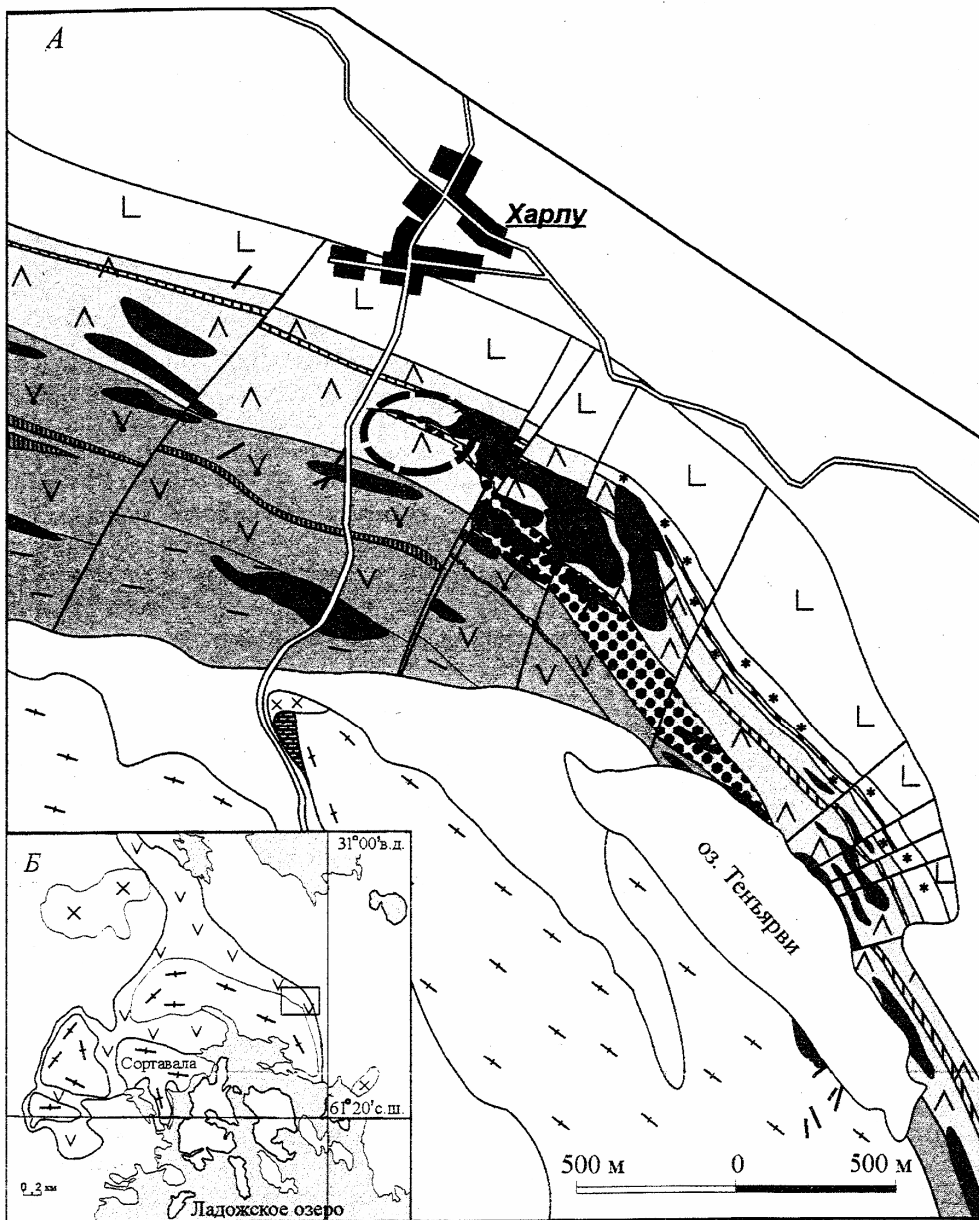
Метавулканыты в составе Северного Приладожья впервые были выделены Седерхольмом в 1916 г., разделившим ладожскую формацию на верхнюю песчано-сланцевую и нижнюю карбонатно-амфиболитовую толщи. К. О. Кратц отнес верхнюю толщу ладожского комплекса к ладожской серии, а нижнюю – к сортавальской [1].

В результате более поздних исследований установлено, что сортавальская серия сложена метаморфизованными гетерогенными вулканогенно-осадочными породами, залегающими в основании разреза раннепротерозойских отложений Раахе-Ладожской зоны Свекофеннского подвижного пояса. Они прослеживаются вдоль северной границы подвижного пояса и Карельского кратона, а также приурочены к внутренним антиформным поднятиям эпикратонной части Раахе-Ладожской зоны и тяготеют к обрамлению гранито-гнейсовых куполовидных выступов архейского фундамента (рис. 1). В Северном Приладожье выделяются два таких поднятия – Питкярантское на востоке и Сортавальское на западе. Вулканогенно-осадочные образования сортавальской серии залегают либо на нижнепротерозойских породах ятулийского надгоризонта, либо непосредственно на гранитоидах фундамента и перекрываются метатерригенными породами калевия. По возрастной позиции корреляционной стратиграфической схемы архейских и нижнепротерозойских отложений Карело-Кольского региона, принятой Региональной межведомственной стратиграфической комиссией в 2001 г., они соответствуют людикийскому надгоризонту.

Детальное расчленение пород сортавальской серии в объеме питкярантской свиты было произведено Г. В. Макаровой при изучении разрезов Питкярантского поднятия (см. [2]). По ее данным, обобщенный разрез питкярантской свиты имеет четырехчленное строение: в основании разреза залегают метатерригенные породы с прослоями амфиболитов и доломитов (первая подсвита), которые вверх по разрезу сменяются сканированными карбонатными породами второй подсвиты. Средняя часть разреза сложена однородными амфиболовыми сланцами третьей подсвиты. Верхняя часть разреза (четвертая подсвита) представлена метатерригенными породами, черными сланцами с прослоями амфиболитов, доломитов и кварцбиотитовых сланцев.

К. О. Кратц впервые отметил существенные различия в мощности и особенностях состава пород сортавальской серии в пределах Питкярантского и Сортавальского поднятий [1]. В северной части Сортавальского поднятия, в обрамлении Кирияволахтинской куполовидной структуры (рис. 1), вулканогенно-осадочные породы характеризуются максимальными мощностями и невысокой степенью динамометаморфических преобразований. На этой площади строение сортавальской серии в разное время изучали В. Е. Попов [3], А. П. Светов и Л. П. Свириденко [4], В. В. Иваников, Н. Б. Филиппов, В. А. Богачев, Г. Ш. Мурадымов [5].

В работах [3, 4] породы серии были расчленены на базальную терригенную толщу и несколько вулканогенно-осадочных толщ, образованных пачками переслаивания туфов, туффинов и лав базальтового и андезибазальтового составов. А. П. Светов с соавторами в южной части Сортавальского поднятия описали пачку высокомагнезиальных базальтов и пик-



ритов мощностью около 45 м. Высокомагнезиальные метавулканы залегают в верхней части вулканогенно-осадочного разреза, выделяются авторами в ранге свиты вуорио и рассматриваются как вулканогенный комплекс, перекрывающий сортавальскую серию.

В. В. Иваников с соавторами [5] в составе метавулканитов сортавальской серии выделили четыре разновозрастных вулканогенно-осадочных комплекса, отражающие смену геодинамических режимов формирования супракrustальных образований.

Схемы стратиграфического расчленения сортавальской серии предыдущих исследователей и авторов данной статьи представлены в табл. 1. Предложенные ранее схемы расчленения метавулканитов не поддаются однозначной корреляции, что обусловлено недостаточной изученностью положения в разрезах лав среднего и ультраосновного составов и отсутствием данных о фациальных особенностях и латеральной изменчивости вулканогенно-осадочных пород.

Цель настоящей работы – уточнение схемы стратиграфического расчленения пород сортавальской серии на основании изучения фациально-литологических особенностей и вещественного состава разновозрастных вулканогенно-осадочных ассоциаций.

На первой стадии работ в пределах Сортавальского поднятия было установлено, что наиболее полные и представительные разрезы метавулканитов характерны для северо-восточного обрамления Кирьяволахтинской куполовидной структуры. Несмотря на высокую степень регионального метаморфизма, отвечающего амфиболитовой фации, вулканогенно-осадочные породы данного участка, как правило, сохраняют первичные литологические признаки. В излившихся вулканитах хорошо различимы реликты подушечной, кластолаво-вой, миндалекаменной и порфириковой текстур лавовых потоков, в вулканогенно-осадочных образованиях – бомбовые текстуры туфов, слоистые текстуры туффитов и терригенных пород.

Для детальных исследований была выбрана площадь, расположенная в районе пос. Харлу. В пределах обнаженных участков проведено детальное геологическое изучение пород сортавальской серии. При картировании особое внимание уделялось изучению контактов выделенных толщ и пачек и прослеживанию маркирующих горизонтов по простиранию. В связи с тем, что в большинстве обнажений на участке работ уверенно распознаются первичные текстурные признаки вулканогенно-осадочных пород, для их названий была принята номенклатура кайнотипных пород.

В результате проведенных исследований были составлены схематическая геологическая карта площади масштаба 1:10 000 и четыре представительных опорных разреза вулканогенно-осадочных пород, получены данные о их вещественном составе, что позволило расчленить метавулканы сортавальской серии на три вулканогенно-стратиграфические подразделения (толщи) (табл. 1), соответствующие последовательным эпизодам вулканической активности.

Рис. 1. Схематическая геологическая карта северо-восточного крыла Кирьяволахтинской структуры (А) и обзорная карта Сортавальского поднятия (Б).

1–3 – раннепротерозойские интрузивные породы: 1 – дайки габбро, тоналитов, плагиогранитов суйстамского комплекса, 2 – габбро, диориты кааламского комплекса, 3 – габбро-долериты, комагматичные вулканиты сортавальской серии; 4–14 – породы сортавальской серии: 4–6 – верхняя толща: 4 – коматитовые базальты, базальты, 5 – коматиты и их туфы, 6 – горизонт туффитов; 7–9 – средняя толща: 7 – трахиандезиты, трахиандезибазальты, 8 – пирокластический горизонт, 9 – вулканогенно-терригенные отложения базальной пачки; 10–14 – нижняя толща: 10 – базальты третьей пачки, 11 – базальты второй пачки, 12 – кварциты, 13 – терригенные породы первой пачки, 14 – скарны первой пачки; 15 – нерасчлененные породы сортавальской серии (на врезке); 16 – гранитоиды архейского основания; 17 – четвертичные отложения; 18 – тектонические нарушения; 19 – предполагаемый эруптивный центр трахиандезитового вулканизма.

Таблица 1. Стратиграфическое расчленение сортавальской серии по данным различных исследователей

В. Е. Попов, 1991 [3]	А. П. Светов, Л. П. Свириденко, 1992 [4]	В. В. Иванков и др., 1999 [5]	Настоящая статья
<p><i>Сортавальская серия</i> Пачка 4. Миндалекаменные базальты, туфы, углеродсодержащие сланцы, туффиты Пачка 3. Туфы, углеродсодержащие сланцы, мраморы Пачка 2. Лавы и туфы миндалекаменных андезизбазальтов, туфопесчаники, углеродсодержащие сланцы Пачка 1. Песчаники, сланцы с прослоями туфов и лав базальтов</p>	<p><i>Свита vuorio.</i> Пикриты и высокомагнезиальные базальты <i>Сортавальская серия</i> Верхняя вулканогенно-осадочная толща. Туфы, туффиты, терригенно-карбонатные и карбонатно-кремнистые породы с прослоями излившихся базальтов Средняя вулканогенная толща. Плагио-порфировые базальты и андезизбазальты Нижняя вулканогенная толща. Массивные афроровые базальты, туфы, туффиты, углеродсодержащие алевролиты, кремнисто-карбонатные породы Базальная терригенная толща. Полимиктовые конгломераты, песчаники, яшмы, карбонатные породы, туфоалевролиты, туффиты</p>	<p><i>Калевийские образования?</i> Трахиандезиты <i>Сортавальская серия</i> Офиолитовая ассоциация. Габбро-диабазы, дайки и подушечные лавы базальтов Рифтогенная ассоциация. Пикриты, базальты, вулканогенно-осадочные породы Прототрапповая ассоциация. Мета-базальты и вулканогенно-осадочные породы</p>	<p><i>Сортавальская серия</i> Верхняя толща. Углеродистые алевролиты, туффиты, линзы мраморов, лавы и лавобрекчи коматиитов, коматиитовых базальтов и базальтов, туфы, туффиты, туфокогломераты Средняя толща. Лавы и лавобрекчи трахиандезизбазальтов, трахиандезитов и трахитов, туфы, туффиты, туфокогломераты, конгломераты полимиктовые Нижняя толща. Подушечные и массивные лавы афроровых базальтов, туфы, туффиты, углеродсодержащие алевролиты, кварциты, песчаники, скарнированные породы</p>

Таблица 2. Химические составы вулканитов сортавальской серии

Образец	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ *	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ппп	Сумма
<i>Нижняя толща</i>												
40301e	49,31	1,69	11,64	16,72	0,23	6,33	10,07	2,33	0,23	0,20	0,94	99,69
40401a	49,68	1,59	12,91	15,50	0,25	8,67	6,73	2,85	0,33	0,17	0,91	99,59
40501a	50,43	1,54	12,99	12,96	0,21	7,25	9,48	3,11	0,19	0,15	1,24	99,55
62400a	47,96	0,95	12,16	14,11	0,21	8,27	11,78	1,99	0,26	0,06	1,81	99,56
41501	48,77	1,00	12,83	13,50	0,19	8,75	11,49	2,07	0,14	0,06	0,84	99,64
62400в	47,41	0,86	12,56	13,39	0,22	9,25	13,25	1,23	0,25	0,05	1,42	99,89
62300б	52,44	0,62	11,52	10,55	0,16	9,81	9,35	2,78	0,42	0,19	1,71	99,55
<i>Средняя толща</i>												
67100	52,81	1,61	14,21	13,98	0,18	5,07	4,08	4,92	1,76	0,53	0,60	99,75
83200в	52,96	1,47	14,29	12,88	0,16	3,93	5,46	5,78	0,22	0,48	2,40	100,03
78800д	53,26	1,62	14,65	12,97	0,14	4,31	3,63	3,96	3,05	0,64	1,40	99,63
72900в	53,98	1,42	14,93	12,30	0,16	3,33	5,24	6,52	0,47	0,58	0,80	99,73
63000б	53,99	1,81	14,13	13,19	0,17	3,22	4,89	5,70	1,11	0,65	0,67	99,53
72900д	54,09	1,37	17,78	10,33	0,13	3,16	2,42	6,79	1,61	0,48	1,80	99,96
62800б	54,23	1,88	14,40	12,39	0,17	3,00	6,43	5,61	0,27	0,53	0,79	99,70
65600а	54,24	1,61	15,20	11,62	0,13	2,42	5,44	6,05	0,89	0,56	1,31	99,47
62800а	54,33	1,63	14,90	11,57	0,12	3,49	3,49	4,76	2,50	0,59	2,17	99,55
92500	54,40	1,54	18,55	8,58	0,11	2,16	3,70	6,64	2,37	0,61	1,20	99,86
62700а	54,40	1,72	14,60	12,20	0,18	3,98	2,77	4,14	2,99	0,53	1,83	99,34
72900г	54,77	1,35	17,38	9,94	0,11	2,91	2,89	7,29	1,38	0,51	1,10	99,63
63000а	55,38	1,82	13,11	12,81	0,19	3,54	4,90	4,42	1,83	0,46	1,20	99,66
78800е	55,51	1,50	14,10	12,44	0,15	4,45	4,57	5,09	1,25	0,54	0,30	99,90
61000а	55,72	1,73	13,61	11,75	0,18	2,63	5,74	5,32	0,87	0,49	1,59	99,63
62900	56,14	1,41	17,25	10,04	0,15	3,24	4,20	6,68	0,39	0,45	0,20	100,15
63900а	56,16	1,69	15,49	9,41	0,18	2,55	5,51	6,53	0,31	0,66	0,93	99,42
34199	56,85	1,67	13,49	11,33	0,16	2,34	5,97	5,92	0,22	0,44	1,11	99,50
62700в	58,70	1,48	14,37	8,23	0,12	2,36	5,46	5,56	0,57	0,50	2,21	99,56
62500	58,73	1,09	17,15	8,12	0,11	2,49	1,93	6,37	1,61	0,35	1,75	99,70
33899а	66,77	1,07	16,99	2,30	0,06	0,43	2,61	8,21	0,41	0,41	0,41	99,67
33899в	67,55	0,93	14,31	4,83	0,08	0,88	2,86	5,84	1,05	0,31	1,01	99,65
<i>Верхняя толща</i>												
13399в	42,39	1,03	12,99	13,45	0,20	8,19	15,19	1,96	0,54	0,03		95,97
88400а	51,2	1,16	11,60	13,81	0,19	7,80	8,05	4,25	0,10	0,11	1,50	99,99
32799а	50,98	1,07	12,03	13,10	0,18	7,52	11,13	2,41	0,30	0,12	0,61	99,45
32999ж	50,36	0,90	11,52	12,00	0,18	7,24	12,19	2,48	0,14	0,07	2,41	99,49
14099б	50,32	1,23	13,28	12,19	0,18	5,25	10,94	3,28	0,50	0,16	2,21	99,54
14099а	46,63	1,13	12,29	12,50	0,19	4,78	14,68	3,26	0,39	0,13	3,51	99,49
43001	54,07	1,70	12,24	15,37	0,20	4,55	6,51	3,48	0,92	0,26	0,71	100,01
62700б	50,99	1,01	11,00	12,84	0,29	8,23	9,51	3,19	0,27	0,07	2,31	99,71
13399д	40,10	0,91	10,78	15,09	0,18	19,40	7,67	0,62	0,08	0,07		94,90
13399а	45,52	0,81	7,74	13,55	0,20	17,12	10,95	0,60	0,13	0,05		96,67
11899а	46,45	0,82	9,25	14,08	0,21	14,21	10,97	1,36	0,08	0,07		97,50
13399г	49,51	0,85	9,87	12,55	0,20	11,69	11,50	1,94	0,09	0,07		98,27
67700а	52,51	0,93	11,06	12,66	0,17	10,69	7,73	3,43	0,11	0,11	0,90	100,30
67200б	51,90	0,96	13,87	11,15	0,16	9,56	6,88	3,07	1,18	0,16	1,20	100,09
13599	43,26	0,28	5,53	11,43	0,14	22,95	8,15	2,41	0,01	0,03		94,19
13399б	43,70	0,33	7,67	12,73	0,15	22,68	7,44	0,05	0,01	0,02		94,78
13699	41,53	0,48	9,32	13,55	0,17	22,10	7,55	0,15	0,01	0,03		94,89
32399а	40,16	0,65	9,72	14,43	0,16	21,44	7,64	0,29	0,02	0,06		94,57
62600	44,77	0,46	7,10	14,02	0,26	21,18	8,30	0,25	0,02	0,05	3,70	100,11

* Валовое железо в виде Fe₂O₃.

Ниже приводится описание выделенных стратиграфических подразделений сортавальной серии.

Нижняя вулканогенно-осадочная толща. Вулканогенные породы нижней толщи представлены лавами и туфами базальтов с низким содержанием TiO_2 , K_2O (табл. 2, рис. 2, А). Содержание и соотношения редких элементов в базальтах верхней части разреза этой толщи характеризуются плоским спектром распределения редкоземельных элементов с небольшим обеднением легкими лантаноидами ($Ce/Yb = 0,7-1,1$) и доминированием тяжелых редкоземельных элементов (7–9 нормированных единиц (норм. ед.)) (табл. 3, рис. 2, Б). В. В. Иванов с соавторами [5] относят эти базальты к «офиолитовой ассоциации». Геохимические особенности нижних частей разреза толщи изучены слабо. По отрывочным данным базальты «офиолитовой ассоциации» подстилаются железистыми базальтами «прототрапповой ассоциации» [5]. В составе осадочных образований нижней толщи преобладают углеродсодержащие алевролиты, алевропесчаники и скарнированные карбонатные породы.

Таблица 3. Содержание редкоземельных элементов

Образец	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu
<i>Нижняя толща</i>								
мф 13/5	2,60	4,91	4,89	1,50	0,70	0,40	1,60	0,27
мб 90/7	2,90	<3	5,20	1,64	0,63	0,42	1,70	0,26
<i>Средняя толща</i>								
33899а	21,90	44,90	31,30	4,81	1,66	0,75	2,76	0,38
34199	12,20	24,30	17,80	3,21	1,06	0,45	1,90	0,29
63000а	16,30	41,20	19,50	4,11	1,21	0,53	2,08	0,32
63000б	20,40	46,10	25,40	5,19	1,69	0,85	2,78	0,42
63900а	19,10	45,20	22,30	4,99	1,75	0,81	3,11	0,48
65600а	13,80	28,50	20,70	3,85	1,19	0,62	2,30	0,34
<i>Верхняя толща</i>								
88300а	8,80	20,60	12,70	3,45	1,28	0,77	2,43	0,36
88400а	4,90	13,10	9,80	3,16	1,05	0,63	2,08	0,32
88600в	11,40	28,80	19,00	3,92	1,16	0,73	3,03	0,46
88600г	13,20	29,40	17,20	4,29	1,44	0,84	3,08	0,47
13399а	3,15	7,70	6,00	1,76	0,84	0,33	1,40	0,21
13399в	2,95	7,50	5,80	1,78	0,79	0,37	1,41	0,21
13399г	2,24	6,00	3,80	1,65	1,20	0,40	1,55	0,23
31599б	4,62	10,20	5,70	1,65	0,72	0,38	1,43	0,21
67500	5,60	11,20	7,50	2,26	0,92	0,50	1,68	0,26
11899в	2,67	6,90	5,10	1,56	0,52	0,34	1,37	0,20
12899	1,25	4,80	5,60	2,04	0,49	0,47	1,76	0,26
13599	1,25	<3	<2	0,84	0,19	0,21	0,76	0,12
13699	1,05	<3	<2	1,07	0,40	0,27	1,15	0,17
32399а	1,64	5,00	4,20	1,47	0,39	0,32	1,42	0,21
67600	1,90	5,80	4,60	1,45	0,54	0,36	1,28	0,20

Примечание. Содержание породообразующих компонентов определены РФА в ПЯФМИ «Севморгео», концентрации редких элементов – ИННАА в ИГГД РАН А. А. Кольцовым.

Мощность нижней вулканогенно-осадочной толщи на изученной территории составляет 1350 м.

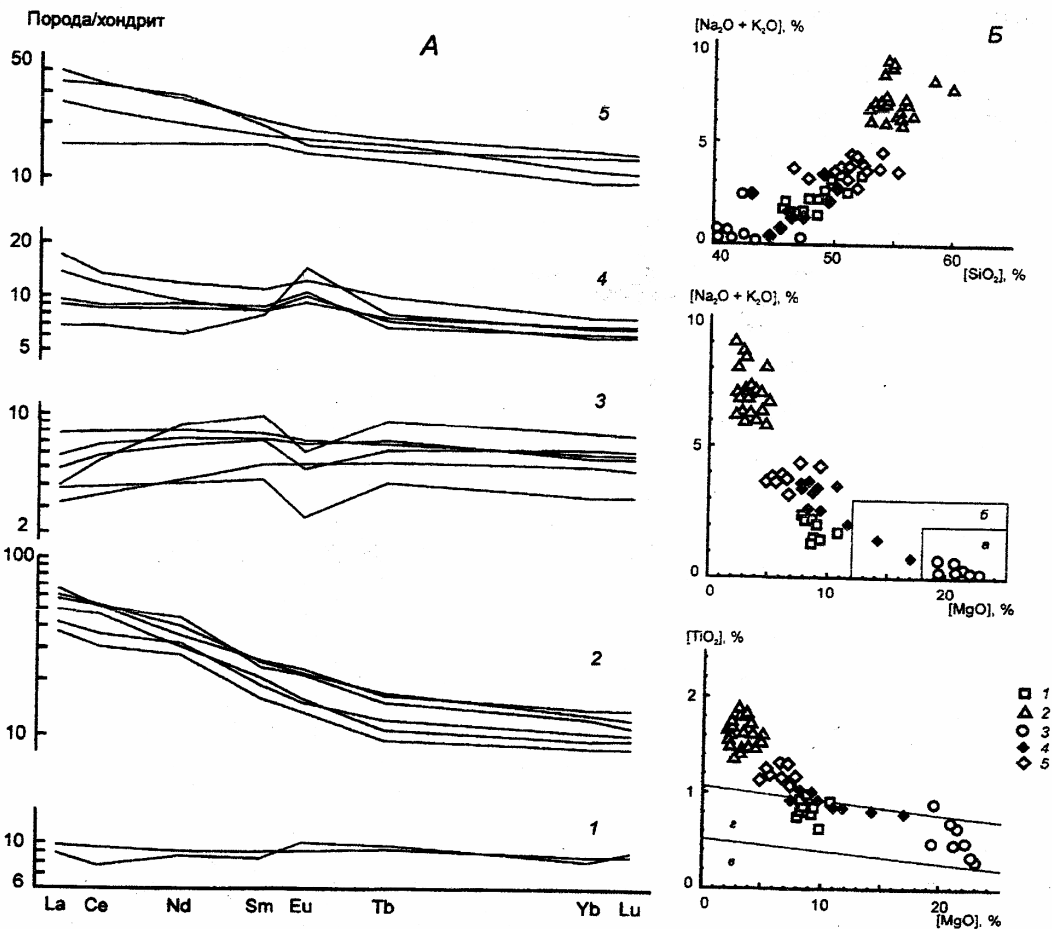


Рис. 2. Химический состав вулканитов сорваловской серии.

А – распределение редкоземельных элементов в пробах различных вулканических серий: 1 – базальты нижней толщи, 2 – трахиандезиты, трахиандезибазальты средней толщи, 3 – коматититы верхней толщи, 4 – коматититовые базальты верхней толщи, 5 – базальты верхней толщи; Б – соотношения петрогенных элементов в породах: 1–5 – номера породных групп, соответствующие фрагменту А. Поля составов коматититов (а) и коматититовых базальтов (б) – по [7], марианит-бонинитовой (в) и коматититовой (г) серий – по [6].

В основании разреза нижней толщи на контакте с гранитогнейсами архейского основания залегают карбонатно-терригенные образования *первой пачки* общей мощностью 400 м. Нижняя часть разреза первой пачки представлена горизонтом полосчатых диопсид-тремолитовых, скаполит-диопсидовых скарнов мощностью не менее 80 м. Скарнированные породы в верхней части разреза переслаиваются с тонкослоистыми алевролитами и постепенно сменяются углеродсодержащими терригенными породами, в составе которых преобладают углеродистые алевролиты с пирит-пирроотиновой вкрапленностью с прослоями существенно кварцевых углеродсодержащих пород. Завершается разрез терригенных пород маломощным горизонтом аркозовых песчаников с линзовидными прослоями кварцитопесчаников. Мощность терригенной части разреза нижней толщи – 470 м.

Вторая пачка нижней толщи сложена лавами афировых базальтов, залегающими непосредственно на аркозовых песчаниках. Общая ее мощность составляет 400 м, мощность отдельных потоков – 15–25 м. Среди массивных базальтовых лав наблюдаются единичные прослои слоистых туфов мощностью 5–8 м и метасоматически измененных кварцитов мощностью 8–10 м. В верхней части разреза второй пачки фиксируется латерально невыдержанный по мощности и составу горизонт терригенных пород мощностью до 25–30 м, представленных на западе изученной площади углеродсодержащими алевролитами и аркозовыми песчаниками, а в ее центре – кварцитами мощностью 2–5 м.

Третья пачка состоит из однородных базальтовых лав общей мощностью 400 м. Для них характерны подушечные текстуры, приуроченные к краевым частям потоков. Преобладают подушки размером от 0,5×0,7 до 0,3×0,4 м, реже встречаются более крупные – 1×0,5 м (рис. 3, *а*). Центральные части подушек зеленовато-серого цвета окружены тонкой (1–2 см) темно-серой каймой закалки. Межподушечное пространство заполнено вулканическим материалом псаммитовой размерности, реже встречаются скопления кремнистого материала. Мощность отдельных потоков варьирует от первых метров до первых десятков метров.

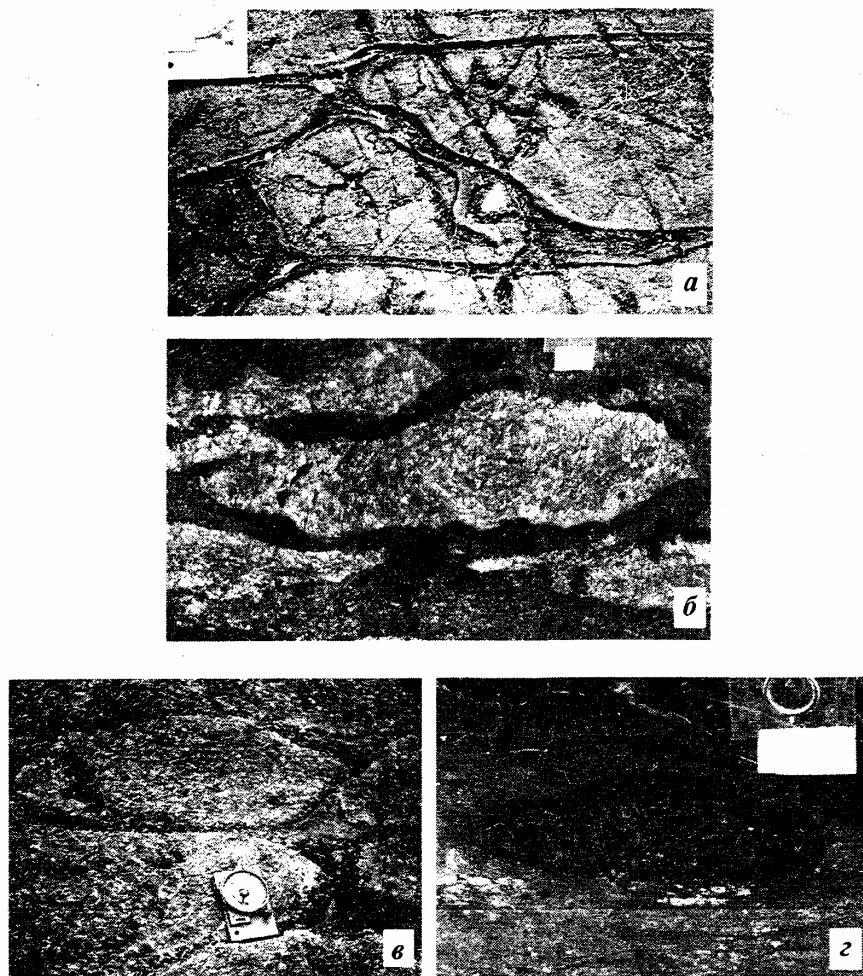


Рис. 3. Текстурные особенности вулкаников.

а – базальты с подушечной текстурой (нижняя толща); *б* – бомбовые туфы крупнолейстовых трахитов; *в* – вулканические бомбы крупнолейстовых трахитов (средняя толща); *г* – обломок миндалекаменных коматитов в коматитовой кластолаве (верхняя толща).

Метавулканики нижней толщи вмещают многочисленные тела (силлы) габбро-долеритов, в ряде случаев неотличимые от мощных базальтовых потоков. Все стратифицированные и субвулканические образования прорваны мелкими телами и дайками плаггиогранит-порфиров.

Характерной особенностью нижней толщи является широкое развитие линейных зон динамометаморфических и метасоматических преобразований, тяготеющих, как правило, к

границам пачек. Метасоматические изменения в виде окварцевания с участками куммингтонитовых, алмадин-куммингтонитовых и тремолит-диопсид-алмадиновых метасоматитов фиксируются как вдоль границ второй и третьей пачек, так и внутри первой.

Средняя вулканогенно-осадочная толща. Толща сложена вулканогенно-осадочными породами повышенной щелочности общей мощностью 250–350 м. Состав излившихся и вулканокластических пород варьирует от трахиандезибазальтов до трахитов, с преобладанием трахиандезитов и трахиандезибазальтов. (см. табл. 2, рис. 2, А). Метавулканиды средней толщи заметно обогащены легкими редкоземельными элементами ($Ce/Yb = 4-7$) при содержании тяжелых лантаноидов на уровне 9–13 норм. ед. (табл. 3, рис. 2, Б). Для метавулканидов данной толщи характерны порфириовидная структура лав и резкая латеральная изменчивость разрезов. Вблизи предполагаемого эруптивного центра преобладают излившиеся и вулканокластические фации метавулканидов преимущественно трахиандезитового состава, в удалении от вулканического центра – вулканогенно-осадочные и терригенные образования с подчиненной ролью трахиандезибазальтовых лав (см. рис. 1).

Нами были выделены и описаны два типа разреза второй толщи: первый – с большой долей вулканогенно-осадочных и терригенных пород, детально изученный на юго-западном фланге толши в районе оз. Теньярви, и второй – преимущественно вулканический, описанный на участке, прилегающим с юга к пос. Харлу. Для указанных типов разрезов снизу вверх отмечается возрастание щелочности и кислотности лав.

Первый (вулканогенно-осадочный) тип разреза. Основанием разреза является *базальная пачка*, в составе которой доминируют терригенные отложения с примесью вулканического материала. *Нижний горизонт базальной пачки* представлен аркозовыми песчаниками общей мощностью до 30 м, в которых выделяются линзы гравелитов и туфоконгломератов мощностью 5–7 м. В грубообломочных отложениях содержится до 40% мелких (0,5–4 см) слабоокатанных галек нижележащих пород, среди которых резко преобладают обломки базальтов или андезибазальтов, но в то же время хорошо диагностируются обломки слоистых кварцитов и углеродсодержащих алевролитов. Оценить количественные соотношения терригенного и вулканогенного материалов в туфоконгломератах по соотношению галек метавулканидов нижней и средней толщ затруднительно, так как макроскопически они не разделяются. По присутствию в цементе туфоконгломератов в разной степени окатанных обломков кристаллов плагиоклаза, порфириновые вкрапленники которых характерны для средней толши, можно предположить, что количество туфогенного материала составляет 20–30% объема цемента.

Выше по разрезу, в *среднем горизонте базальной пачки*, количество вулканического материала в терригенной матрице увеличивается, появляются отдельные прослои лав двух разновидностей: лавы черного цвета за счет биотита, развивающегося по основной массе с крупными вкрапленниками лейстового плагиоклаза; микропорфириновые лавы голубовато-зеленого цвета, часто миндалекаменные. Мощность среднего горизонта базальной пачки составляет 100 м.

Верхний горизонт базальной пачки характеризуется минимальным количеством вулканического материала в породах. В разрезе базальной пачки на этом уровне среди слоистых туффитов выделяются линзы полимиктовых конгломератов мощностью 3–5 м (рис. 4). Гальки конгломератов размером 1–10 см на 25–30% сложены гранитами и на 65–70% метавулканидами. Среди гранитов в гальках выделяются мелкозернистые порфириовидные плагиограниты с вкрапленниками плагиоклаза, среднезернистые плагиограниты, отличающиеся повышенным содержанием кварца (до 40%), и аплитовидные граниты. Гальки метавулканидов плохо диагностируются. Среди них различные трахиандезибазальты с мелкими лейстами плагиоклаза. Небольшой объем галек (менее 1%) представлен слоистыми и массивными кварцитами. Цемент конгломератов – лейкократовый, терригенный с незначительной примесью туфогенного материала. Выше конгломератов фиксируются маломощные (10–12 см) слои хемогенных кварцитов (рис. 4). Общая мощность базальной пачки – 100–120 м.

Вторая пачка средней толши сложена лавами трахиандезитовых порфиритов, среди которых по текстурным признакам выделяются массивные лавы, агломератовые лавы, кластолавы и лавобрекчи. По размеру порфириовых вкрапленников выделяются микро- и крупнопорфириовые разновидности лав. *Микропорфириовые лавы* мелкозернистые, однородные, массивные, голубовато-зеленого цвета, с большим количеством мелких лейст плагиоклаза, образующего офитовые структуры. Часто встречаются участки миндалекаменных текстур с различной степенью насыщенности миндалинами. В отдельных случаях наблюдаются признаки излияния лав микропорфириовых трахиандезитов потока на древесные отложения, сформированные на поверхности нижележащих лав. *Крупнопорфириовые лавы* содержат до 30% по объему крупных вкрапленников плагиоклаза. Основная масса среднезернистая, как правило, сильно биотитизирована, зеленовато-черного цвета. Встречаются отдельные лавовые потоки, где крупные лейсты плагиоклаза (3–4 см) образуют трахитоидную текстуру. Общая мощность лав второй пачки – 100–110 м.

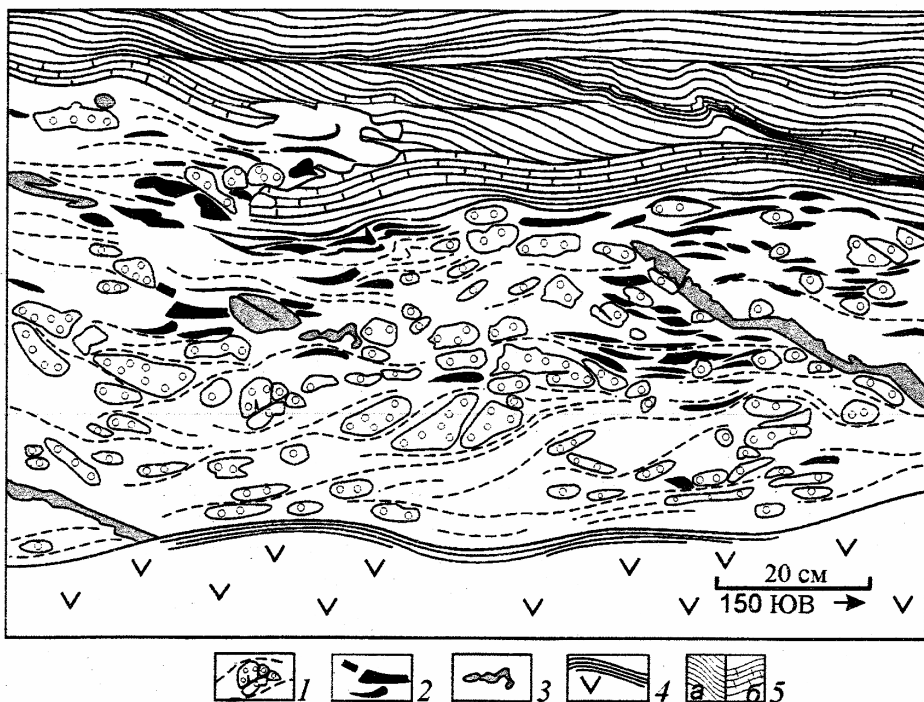


Рис. 4. Полимиктовые конгломераты средней толщи.
 1 – гальки гранитов; 2 – обломки вулканитов; 3 – кварцевые жилы; 4 – туффиты; 5 – хемогенные кварциты: массивные (а), тонкослоистые (б).

Третья пачка средней толщи (горизонт пирокластических отложений) представлена замещающимися по латерали бомбовыми, лапиллевыми и пепловыми туфами крупнопорфировых трахиандезитов – трахитов. Для бомбовых туфов характерны веретенообразные вулканические бомбы размером до 0,5 м по длинной оси (см. рис. 3, б), которые сложены крупнопорфировыми трахитами с concentрическими ориентированными лейстами плагиоклаза размером 3–5 см. Встречаются бомбы, где крупные лейсты плагиоклаза располагаются хаотично или субпараллельно. Бомбы сцементированы кристаллокластическим туфом, содержащим большое количество обломков плагиоклаза. По объему породы цемент составляет не менее 40–45%. В пепловых туфах более 95% объема занимает слабослойный вулканический пепел с обломками крупных лейст плагиоклаза, редко встречаются мелкие обломки пемзы и крупнолейстовых мандельштейнов.

Горизонт пирокластических отложений хорошо прослеживается на всей территории работ и может служить стратиграфическим маркером всплеска вулканической активности. Его мощность варьирует от 20 до 40 м. Как правило, верхнее стратиграфическое ограничение «пирокластического горизонта» подчеркнуто линзовидными телами гранат-амфиболовых метасоматитов мощностью от 2–3 до 15 м.

Четвертая пачка средней толщи сложена лавами трахиандезитов и трахитов мощностью 20–25 м. Лавы представлены крупнопорфировыми мандельштейнами, содержащими крупные кварц-карбонатные миндалины. Количество миндалин достигает 25–30%, содержание порфировых вкрапленников лейстового плагиоклаза составляет не менее 15–25%. В лавах часто наблюдаются характерные обособления существенно эпидотового состава овальной формы размером от 0,5 до 1,5 м, образованные в результате аутометасоматической поствулканической переработки пород. Обособления насыщены кварцевыми миндалинами или крупными выделениями кварца изометричной и жилковидной форм.

Второй (вулканический) тип разреза. В его основании залегает **первая пачка** трахиандезитобазальтов – трахиандезитов общей мощностью 180 м. Разрез начинается с лав тонколейстовых трахиандезитобазальтов, которые сменяются крупнолейстовыми трахиандезитами с кварц-кальцитовыми миндалинами. Потоки крупнолейстовых трахиандезитов мощностью 3–5 м разделяются маломощными прослоями тонколейстчатых и лапиллевых туфов. Мощность трахиандезитобазальтов – 15 м, трахиандезитов – 64 м.

На лавах залегают агломеративные и лапиллевые туфы с прослоями лав афировых трахиандезибазальтов. В основании преобладают светло-серые тонкополосчатые туфы, которые быстро сменяются лапиллевыми и агломеративными разновидностями. Общая мощность туфов составляет 80 м.

Разрез первой пачки завершается горизонтом слоистых туфопесчаников мощностью 20 м, которые представляют собой чередование слоев серо-зеленого и светло-серого цветов мощностью от 1 до 40 см. В туфопесчаниках иногда фиксируются мелкие обломки трахиандезитов. Горизонт туфопесчаников стратиграфически коррелируется с верхним горизонтом базальной пачки первого типа разреза.

Вторая пачка сложена лавами миндалекаменных трахиандезитов. По структурным особенностям выделяются афировые и порфириновые разновидности. Участками в лавах фиксируются плотно упакованные овальные подушки размером 20–40 см. По краям подушек наблюдается тонкая зона закалки. В некоторых подушках у краев обнаружены пустоты выщелачивания, а во внутренней зоне – овальные обособления существенно эпидотового состава. Мощность пачки – 45 м.

Третья пачка («пирокластический горизонт») мощностью 50 м состоит из преимущественно лито- и кристаллокластических туфов трахиандезитового состава. В ее основании залегают полосчатые туфы трахиандезитов с маломощными (20–30 см) прослоями лав аналогичного состава. Выше следует горизонт лапиллевых и агломеративных туфов с обломками афировых трахиандезитов и миндалекаменных трахиандезибазальтов. Обломки имеют уплощенную, округлую, реже остроугольную форму, их размер варьирует от 0,1 до 30–50 см. На границах обломков фиксируются тонкие зоны закалки. Разрез пачки завершается крупнобомбовыми туфами мощностью 4–5 м. Вулканические бомбы овальной формы размером до 1 м по длинной оси сложены крупнолейстовыми трахитами и содержат реликты газовых пустот со стороны «хвоста» (см. рис. 3, в). Лейсты плагиоклаза размером 1–5 см образуют флюидальную текстуру, директивные плоскости которой параллельны ограничениям бомб. Узкое (2–5 см) межбомбовое пространство заполнено мелкопорфиристыми кристаллокластическими туфами трахитов, количество которых не превышает более 5–7% объема пород.

Четвертая пачка сложена кластолавами трахиандезитов, латерально сменяющимися массивными крупнолейстовыми лавами аналогичного состава. Ее общая мощность 51 м. Кластолавы содержат обломки порфириновых трахиандезитов неправильной, линзовидной формы, составляющими 30–60 % объема пород. Матрикс, как правило, состоит из афировых, иногда миндалекаменных лав. Лейстовые трахиандезиты содержат 30–40% беспорядочно ориентированных вкрапленников плагиоклаза размером 0,5×0,7 и 0,5×1,5 см.

В целом фациальная изменчивость разреза средней толщи и литологические особенности метавулканитов свидетельствуют о том, что они сформированы в результате извержений центрального типа в субэаральных условиях. Эруптивный центр, по-видимому, располагался в центре изученной площади (см. рис. 1), в районе г. Суркилкеттинмяки, где широко проявлены околожерловые фации метавулканитов. Породы средней толщи отлагались на метавулканиты нижней толщи с размывом и угловым несогласием (см. рис. 4), на что указывает присутствие в породах базальной пачки обломков, залегающих ниже базальтов и кварцитов.

Верхняя вулканогенно-осадочная толща. В ее разрезе преобладают метаморфизованные лавы и туфы основного и ультраосновного составов, которые по содержанию MgO могут быть разделены на три серии: коматиитов, коматиитовых базальтов и базальтов (см. табл. 2 и рис. 2, А). Базальты отличаются от метавулканитов аналогичного состава нижней толщи повышенной щелочностью. Редкоземельные элементы в коматиитах характеризуются пониженным содержанием легких лантаноидов ($Ce/Yb = 0,7-1,1$) при концентрации тяжелых на уровне 4–8 норм. ед. (см. рис. 2, Б). Коматиитовые базальты и базальты близки между собой по степени обогащения легкими редкоземельными элементами ($Ce/Yb = 2-4$), но различаются по концентрации тяжелых лантаноидов, в коматиитовых базальтах $Yb = 6-8$ норм. ед., тогда как в базальтах 10–14 норм. ед. Особенностью нижней толщи является практически полное отсутствие терригенных пород в нижней и средней частях разреза и преобладание их в верхней части толщи. Общая мощность верхней толщи составляет не менее 500 м. Ее контакт с метавулканитами средней толщи стратиграфический, согласный, хотя и частично тектонизирован и затушеван поздними метасоматическими процессами.

Первая пачка верхней толщи мощностью 100–110 м состоит из чередующихся маломощных лавовых потоков и слоев туфов базальтового состава с единичными прослоями коматиитовых базальтов. В верхней части разреза выделяется маломощный горизонт туфитов и туфоконгломератов, в которых цемент и гальки представлены дезинтегрированными лавами коматиитовых базальтов.

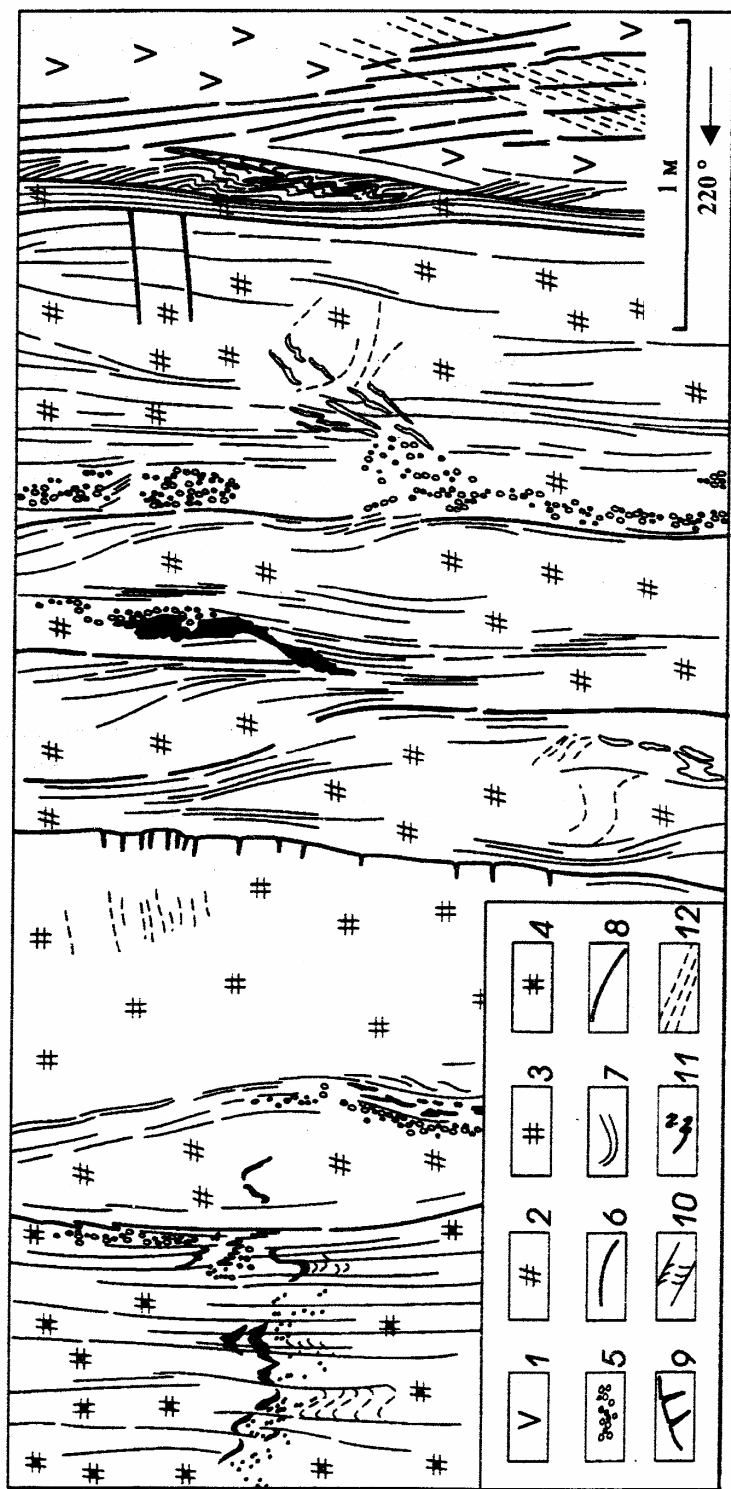


Рис. 5. Строение пачки коматитов верхней толщи.

1 — базальтовые туфиты; 2 — лавы коматитов; 3 — коматитов; 4 — реликты микалекаменной туфиты; 5 — коматитовые туфиты; 6 — границы потоков; 7 — плоскостные тектуры туфиты; 8 — лавы течения; 9 — контракционные трещины; 10 — CS-структуры; 11 — зоны выщелачивания; 12 — наложившаяся сланцеватость.

Вторая пачка верхней толщи мощностью 40–50 м сложена коматиитовыми лавами и туфами. Мощности отдельных потоков коматиитов варьируют в пределах 0,6–1,2 м (см. рис. 5). Между собой отдельные потоки разделены кровельными лавобрекчиями или слоистыми туфами, обогащенными карбонатным веществом. Иногда в лавобрекчиях и кластолавах встречаются обломки миндалекаменных коматиитов (см. рис. 3, з). В отдельных обнажениях видно, что маломощные потоки коматиитов изливались на эродированную поверхность базальтовых туфов, проникая в них по трещинам (см. рис. 5). Пачка насыщена субвулканическими силлами коматиитов. По латерали наблюдается увеличение доли осадочно-вулканогенных образований в разрезе толщи с северо-запада на юго-восток.

Третья пачка верхней толщи имеет мощность 300 м. Большая часть ее разреза (270 м) представлена переслаивающимися потоками базальтов и коматиитовых базальтов. В основании разреза залегают агломератовые лавы. Обломки в лавах состоят из порфиридных, афировых или миндалекаменных базальтов и коматиитовых базальтов размером от 2–6 до 10–25 см, редко встречаются валуны диаметром до 2–3 м. Цемент агломератовых лав микропорфировый. Агломератовые лавы перекрываются базальтами. Большая часть лавовых потоков сложена массивными афировыми базальтами, в верхних частях покровов переходящими в порфиридные и миндалекаменные разновидности либо в кровельные лавобрекчии. Мощности отдельных потоков достигают 20–30 м. В верхней части разреза, по данным бурения картировочной скважины 13, наблюдается переслаивание базальтов, тонкополосчатых туффитов и туфов коматиитового и базальтового составов.

Четвертая пачка характеризуется мощностью не менее 40 м. Описание разреза проведено по результатам бурения скважины 13. Нижняя часть разреза пачки сложена горизонтом графитсодержащих мраморов с прослойками углеродистых алевролитов и тонкослоистых песчаников мощностью 10 м. Выше залегает горизонт углеродистых алевролитов мощностью не менее 30 м.

Породы сортавальской серии в северо-восточном крыле Кирьяволахтинской структуры перекрываются отложениями ладожской серии, представленными розовыми кварцитами, которые вверх по разрезу сменяются пачкой переслаивающихся андалузит-биотитовых сланцев и серых кварцитов.

Результаты проведенных исследований позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Выделены три вулканогенно-осадочные толщи, соответствующие трем последовательным эпизодам вулканической активности, которые различаются условиями осадконакопления, особенностями эволюции вулканических серий и их геохимическими характеристиками.

2. Набор пород и состав метавулканитов нижней толщи типичны для трещинных излияний в морских бассейнах с расчлененным рельефом дна. Особенностью этой толщи является однородность состава эффузивов, которые представлены базальтами. По геохимическим характеристикам базальты верхней части толщи близки к современным базальтам океанического дна, что, впрочем, не исключает их возможной принадлежности к ассоциации континентальных траппов [8]. Присутствие в разрезе углеродсодержащих пород свидетельствует о восстановительных условиях осадконакопления. Разрез нижней толщи может быть скоррелирован с разрезами питкьярантской свиты, описанными в районе Питкьярантского поднятия.

3. Средняя толща залегает на нижней с признаками размыва и углового несогласия и характеризуется сравнительно небольшой мощностью и существенной литологической изменчивостью разреза по латерали. Толща сложена метавулканитами повышенной щелочности, состав которых варьирует от трахиандезибазальтов до трахитов. Они, вероятно, были сформированы в результате деятельности локальных вулканических аппаратов в субаэральных условиях при резко расчлененном рельефе. Для них свойственна высокая степень эксплозивности. В полном объеме данная толща выделена и описана впервые.

4. Верхняя толща согласно залегает на нижележащих субщелочных вулканитах, характеризуется латеральной выдержанностью разреза. В нижней части ее разреза преобладают эффузивные фации базальтов и высокомагнезиальных вулканитов, а породы верхней части имеют вулканогенно-терригенный и терригенно-карбонатный состав с существенной ролью углеродсодержащих пород. По химическому составу выделяются базальты, коматиитовые базальты и коматииты. Последние в составе сортавальской серии выделены впервые.

Авторы благодарят В. Н. Войтенко (ГГУП СФ «Минерал», С.-Петербург), Л. О. Пинькову, М. С. Ружьеву, А. Б. Вревского. (ИГГД РАН, С.-Петербург) за предоставленные материалы.

Summary

Matrenichev V. A., Stepanov K. I., Pupkov O. M. Stratigraphy, lithology and chemistry of Early proterozoic volcanics of the Sortava uplift (Northern Ladoga area).

A detailed study of volcanics located at the base of the Lower proterozoic section of epi-cratonic part of the Raahe-Ladoga mobile belt is presented. A new stratigraphic correlation is suggested. Distribution of major and rare earth elements in volcanic rocks was studied. Three volcanic-sedimentary rock associations, related to different volcanic stages are identified. Volcanic rocks in the lower unit are represented by flows and tuffs of tholeiitic basalts depleted with TiO_2 , Na_2O and K_2O . Basalts were erupted along fissures in a marine basin with significant relief. The middle unit overlaps the lower one with some evidence of unconformity at the base and consists of volcanics rich in alkalinity (trachandesite, trachandesite-basalts, trachite). Volcanics resulted from type eruptions in highly explosive subaerial environments. The upper unit conformably overlies the middle unit volcanics and consists of volcanics of three types: basalts with high alkalinity, komateite basalts and komateites. In the lower unit volcanic flows predominate, whereas the upper unit has mainly calcareous terrigenous composition with a significant portion of carbon-enriched rocks. Depositional environments changed from relatively deep-marine to shallow-marine.

Литература

1. *Кратц К. О.* Геология карелид Карелии. М., 1963.
2. *Харитонов Л. Я.* Структура и стратиграфия карелид восточной части Балтийского щита. М., 1966.
3. *Попов В. Е.* Генезис вулканогенно-осадочных месторождений и их прогнозная оценка. Л., 1991.
4. *Светов А. П., Свириденко Л. П.* Стратиграфия докембрия Карелии. Сортавальская серия свежикарелид Приладожья. Петрозаводск, 1992.
5. *Иваников В. В., Филиппов Н. Б., Богачев В. А., Мурадымов Г. Ш.* Минералого-геохимические признаки офиолитовой ассоциации в Приладожье. Рифтогенез, магматизм, металлогения докембрия. Корреляция геологических комплексов Фенноскандии // Материалы Междунар. конф. Петрозаводск, 1999.
6. *Куликов В. С.* О систематике и номенклатуре пород коматиитовой серии // Коматииты и высокомагнезиальные вулканы раннего докембрия Балтийского щита / Под ред. О. А. Богатикова. Л., 1988.
7. *Le Bas M. J.* IUGS reclassification of the high-Mg and picritic volcanic rocks // J. Petrol. 2000. Vol. 41.
8. *Геологическое картирование вулканоплутонических поясов: Метод. руководство по геодинамическому анализу при геологическом картировании* / Под ред. Н. В. Межеловского. М., 1994.

Статья поступила в редакцию 21 января 2003-г.