УДК 552.3+550.4(569.4)

МАГМАТИЗМ МАХТЕШ РАМОНА: ГЕОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ, ПЕТРОГЕНЕЗИС (ПРИРОДООХРАННАЯ ЗОНА ХАР ХА-НЕГЕВ, ИЗРАИЛЬ)

© 2014 г. З. А. Юдалевич*, Г. Б. Ферштатер**, М. Эйяль*

*Университет Бен Гуриона Беер-Шева, Израиль **Институт геологии и геохимии УрО РАН 620075, г. Екатеринбург, пер. Почтовый, 7 E-mail: fershtater@igg.uran.ru Поступила в редакцию 03.02.2014 г.

Раннемеловые магматические породы котловины Махтеш Рамон (пустыня Негев, Израиль), среди которых преобладают щелочные оливиновые базиты, образуют две группы, разделенные конгломератами Arod, залегающими в основании формации Hatira I (нижняя). Ранняя группа – предконгломератовая (PreArod cgl) – представлена базальтами Сахароним и бимодальной габбро(базальт)-сиенитовой серией, а поздняя – (PostArod cgl) – базальт-базанит-нефелинитовой серией. Породы образуют лавовые потоки, дайки, силлы, некки. Они отвечают геодинамическому типу внутриплитных рифтогенных континентальных базальтов. По петрологическим и геохимическим особенностям породы PreArod cgl группы близки к постщитовой серии Гавайских островов, а породы базальт-базанит-нефелинитовой к постэрозионной серии этих островов. PostArod cgl ассоциация, кроме того, очень близка к континентальной базальт-базанит-нефелинитовой части серии Балконес в США. В качестве магматического источника пород предполагается участие метасоматизированной мантии, представленной ксенолитами железистых верлитов в базанитах.

Ключевые слова: Израиль, щелочной оливиновый базальт, базанит, нефелинит, геодинамика.

ВВЕДЕНИЕ

Махтеш Рамон — это живописный ландшафтный объект, природоохранная зона, расположенная в южной части Израиля в пустыне Негев, в котловине, вытянутой в субширотном направлении на 45 км (рис.1). В ней обнажены разнообразные раннемеловые магматические породы — щелочные оливиновые базальты (габбро), сиениты, базаниты, нефелиниты. Магматиты представляют собой типичные континентальные образования, обладающие в то же время особенностями вещественного состава магматических пород океанических островов, в частности, Гавайских. Цель статьи — рассмотреть основные особенности магматизма Махтеш Рамона, познакомив, таким образом, российского читателя с этим эталонным объектом.

В региональном тектоническом плане район относится к территории Леванта — континентальной окраине Восточного Средиземноморья, на востоке ограниченной трансформным разломом Мертвого моря, в пределах которой породы кристаллического основания перекрыты мощным чехлом преимущественно мезокайнозойских отложений. Образование котловины Махтеш Рамон объясняется эрозией крупной антиклинальной складки с пологозале-

гающим северным и крутопадающим южным крылом [67], а формирование складчатости, создавшей эту антиклиналь – образованием Сирийского свода как отголоска коллизии Африканской и Аравийской плит и Альпийско-Гималайского (Средиземноморского) складчатого пояса в позднем мелу [24, 31]. Геологическая карта и стратиграфическая колонка представлены на рис. 2, 3.

Основы расчленения магматических род района на отдельные возрастные и геологопетрографические группы были заложены Бентором [15, 16]. Позднее эти данные были уточнены и дополнены, рассмотрены геологические, тектонические и геодинамические аспекты магматизма [13, 14, 18, 19, 22, 24–26, 29, 44, 50, 53, 68; неопубликованные отчеты М. Эйяля с сотрудниками 2000-2008 гг.]. Рассмотрены особенности вещественного состава пород [9, 18, 19, 51, 63]; выполнены определения K-Ar, Ar-Ar и Rb-Sr изотопного возраста [36, 37, 47, 55, 59, 60]. В ряде работ содержатся сведения о глубинном строении района и физических свойствах пород [34, 49, 54].

В результате названных работ, предыдущими исследователями Махтеш Рамона выделено 4 возрастных подразделения магматитов: 1 — базальты Сахароним (202–214 млн. лет, поздний триас), 2 — оливи-



Рис. 1. Фото юго-западного окончания котловины Махтеш Рамон. Темные возвышенности внутри котловины – выходы пород Postcgl ассоциации.

новые базальты и габбро с вариациями до андезитов и монцонитов (122–146 млн. лет), 3 – щелочные сиениты и трахиты (127–135 млн. лет), 4 – оливиновые базальты, анкарамиты, тефриты, базаниты и нефелиниты (81–124 млн. лет). Вместе с тем, согласно данным Бонена [18] и нашим наблюдениям, породы 2 и 3 групп представляют единую бимодальную серию, и поэтому мы выделяем в районе три группы (серии) магматитов: 1 – щелочных оливиновых базальтов Сахароним, 2 – бимодальную базальт (габбро)сиенитовую и 3 – базальт-базанит-нефелинитовую.

Образование базальтов Сахароним хронологически связано с предъюрским этапом формирования латеритов Mishor Fm. [27, 31], бимодальной серии – с общим поднятием района и глубокой его эрозией в конце юры—начале мела, а базальт-базанитнефелинитовой – с постэрозионной стадией его развития, начало которой зафиксировано формированием пачки конгломератов Arod в основании нижнемелового разреза территории. Эти конгломераты служат хорошим стратиграфическим репером, разделяющим магматиты района на две крупные возрастные группы: 1 — предшествующая конгломератам, в которую входят щелочные оливиновые ба-

зальты Сахароним и щелочная бимодальная базальтсиенитовая серия (PreArod cgl— в дальнейшем сокращенно Precgl), 2 — образованная позднее конгломератов базальт-базанит-нефелинитовая серия (PostArod cgl, в дальнейшем — Postcgl), породы которой оказались в узкой возрастной вилке внутри Hatira Fm. (рис. 3). Поскольку все магматиты района являются щелочными, а базиты и нефелиниты, за редкими исключениями, содержат породообразующий оливин, в дальнейшем изложении мы будем называть их по главному петротипу, без прилагательных "оливиновый" и "щелочной".

АНАЛИЗЫ

Новые анализы пород, использованные в статье, выполнены в Институте геологии и геохимии УрО РАН. Петрогенные элементы определены на рентгенфлюоресцентных спектрометрах СРМ-18, СРМ-25, VRA-30 (аналитики Н.П. Берсенева, Л.А. Татаринова, Г.С. Неупокоева) а рассеянные — на массспектрометре ICP-MS ELAN-9000 фирмы Perkin Elmer (аналитики Д.В. Киселева, Н.В. Чередниченко, Л.К. Дерюгина).

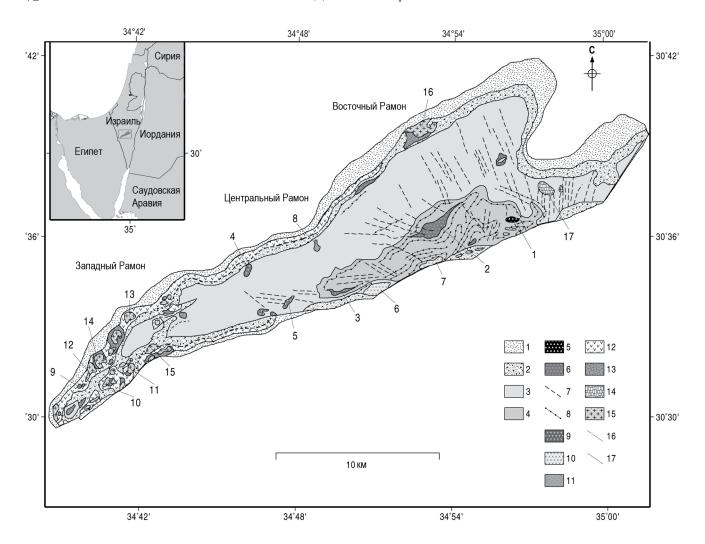


Рис. 2. Схема геологического строения Махтеш Рамона (на основе геологической карты 1 : 100 000 [57], дополненной данными 3. Юдалевича и М. Эйяля).

1—4 — осадочные отложения: 1—2 — группа раннемеловых отложений: 1 — Upper Hatira Fm. (Hatira II), 2 — Lower Hatira Fm. (Hatira I + Arod cgl), 3 — группа ранне- и среднеюрских отложений, включающая Mishor + Ardon, Inmar и Mahmal Fms., 4 — группа средне- и позднетриасовых отложений (Gevanim, Saharonim и Mohilla Fms.); 5—16 — магматические породы: 5 — Precgl базальты Сахороним, 6—11 — Precgl бимодальная габбро (базальт)-сиенитовая ассоциация, 6 — лакколиты габбро и базальтов, 7 — дайки тех же пород, 8 — силлы тех же пород, 9 — лакколиты, штоки монцонитов и монцодиоритов, 10 — лакколиты, штоки сиенитов, 11 — пирокластические брекчии (вент); 12—16 — Postcgl базальт-базанит-нефелинитовая ассоциация: 12 — базальты, иногда базаниты с редкими прослоями туфов, туфогенных песчаников и известняков (покровная фация), 13 — агломераты, пирокластические брекчии, туфы, пемзы, 14 — погребенная кальдера, 15 — базальты, базаниты, нефелиниты и мелилитовые нефелиниты (субвулканическая фация), 16 — силлы габбро; 17 — разрывные нарушения. Магматические тела: 1 — базальты Сахароним, 2 — лакколит Ramon (габбро с подчиненными гавайитами и сиенитами), 3 — силл габбро со щелочными сиенитами в центральной части, 4—5 — монцодиориты и монцониты, 6—7 — сиениты: Shen Ramon (6) и Gavnunim (7), 8 — вент Maale На-Аzmaut, 9 — поле распространения покровных базальтов Кагпеі Ramon, 10 — то же, Southern Karnei Ramon, 11 — базаниты Мt. Arod, 12 — базальты Triangular Hill, 13 — базаниты Basanitic Hill, 14 — нефелиниты и мелилитовые нефелиниты Мt. Tabaat, 15 — габбро Мt. Sills, 16 — базальты, базаниты и нефелиниты Иt. Gaash, 17 — погребенная кальдера Red Valley.

PRECGL ПОРОДЫ

Сахароним базальты

Породы представлены субвулканической фацией. Обнажаются в Восточном Махтеш Рамоне (№ 1 на рис. 2) в районе выхода вади Рамон из котлови-

ны. Они образуют линзовидное тело мощностью 2–4 м, секущее Mohilla Fm. и в пределах ее переходящее с уровня гипсово-карбонатных пород в залегающие выше мергели. Прямых взаимоотношений с предположительно более молодыми латеритами Mishor Fm. (рис. 3) не имеют, выделены на основании данных Ar-Ar возраста [14].

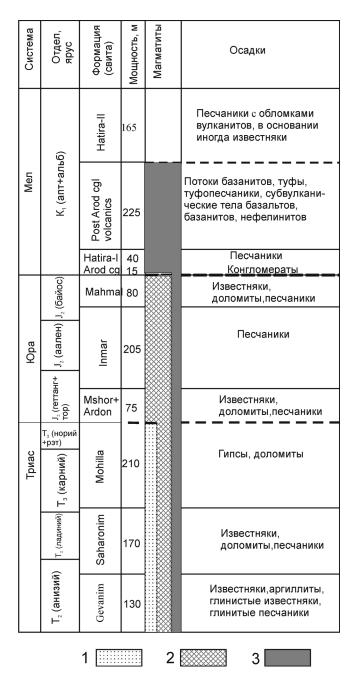


Рис. 3. Стратиграфическая колонка Махтеш Рамона.

1-3 - магматические комплексы: 1, 2 - Precgl базальты Сахароним (1) и бимодальной серии(2), 3 - Postcgl базальт-базанит-нефелинитовая серия.

Это черные плотные тонкозернистые мелкопорфировые базальты, совершенно не затронутые выветриванием и метасоматозом. Структура сериально-порфировая, офитовая; фенокристы оливин. Основная масса сложена авгитом, тонкопризматическим (0.2–0.6 мм в длину) плагиоклазом (An_{68-73}), оливином, титаномагнетитом, ильменитом. Состав типичного базальта приведен в табл. 1 (ан. 1).

Бимодальная габбро (базальт)сиенитовая серия

Породы серии распространены в центральной и восточной частях котловины и представлены дай-ками, силлами, небольшими лакколитами и одной диатремой (№ 8, рис. 2). Среди них различаются следующие типы пород: габбро, иногда калишпатсодержащие, габбро-пироксениты, монцогаббро, монцониты, лейкогаббро, монцодиориты, сиенодиориты и сиениты. Преобладают базиты, с одной стороны, и сиениты – с другой, что определяет бимодальный характер ассоциации.

Габброиды и их микро- и скрытокристаллические аналоги - базальты - образуют сеть силлов мощностью до 43 м, лакколитов и даек. Наиболее крупный лакколит Рамон (№ 2 на рис. 2) имеет поперечный размер 1 × 3 км при мощности до 90 м, представляет собой раздутый участок силла, расщепляющегося на несколько сближенных силлов (мощностью до 5-6м), продолжающихся в обе стороны от утолщения на 11 км. Дайки распространены преимущественно в Центральном и Восточном Махтеш Рамоне. Общее их количество не менее 200, мощность колеблется от 0.3 м и до 10 м, в основном 1-1.5 м, а протяженность - от первых десятков метров до 4 км. В центральной части они ориентированы субширотно, в восточной - субмеридионально.

Неизмененные разности габбро имеют порфировую структуру. Хорошо раскристаллизованные габбро связаны с силлами и дайками, мощность которых более 2 м. Менее мощные тела представлены базальтами. Фенокристы размером 1–10 мм сложены плагиоклазом (Ап_{54–74}), богатым глиноземом титанистым авгитом и оливином. При этом оливин, частью серпентинизированный и иддингситизированный, и плагиоклаз являются ранними кристаллическими фазами, т.к. только они наблюдаются в закаленных фациях габбро, а клинопироксен появляется в лучше раскристаллизованных центральных зонах тел.

Изредка среди габбро встречаются кварцсодержащие разновидности. Матрикс сложен плагиоклазом, клинопироксеном, оливином, титаномагнетитом, ильменитом, апатитом; иногда встречаются цеолиты и кальцит. Калишпат-, амфибол- и кварцсодержащие габбро и монцогаббро являются фациальными разновидностями главного типа габбро, они приурочены к приконтактовым зонам или апофизам. Калишпат в этих породах развит в виде каемок, обрастающих фенокристы плагиоклаза, изредка наблюдается в виде антипертитовых вростков в нем, а также в виде самостоятельных короткопризматических зерен в интергранулярных промежутках в ассоциации с тонкочешуйчатым агрегатом темно-бурого биотита. Клинопироксен по краям частично эгиринизирован, редкий амфибол при-

Таблица 1. Содержание петрогенных (мас.%) и редких (г/т) элементов в Precgl породах

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Обр.	1884	1955	1714	1896	2126	2285	2146a	1369	Bs8-2	GV	2192
SiO ₂	46.64	47.24	45.83	50.30	46.55	45.48	53.50	54.83	56.18	60.78	59.79
TiO ₂	2.18	3.43	3.51	2.84	4.22	3.68	3.07	1.96	1.40	1.40	0.69
Al_2O_3	14.59	14.82	15.10	14.90	14.34	16.64	14.79	15.53	16.46	15.49	17.17
Fe_2O_3	5.46	6.35	9.09	10.12	8,43	6.07	6.64	8.59	7.60	9.03	7.13
FeO	8.14	5.10	4.90	1.35	6,25	8.60	2.30	1.00	1.50	0.22	
Mno	0.17	0.13	0.18	0.10	0.12	0.17	0.11	0.16	0.16	0.16	0.11
MgO	9.39	4.17	5.04	4.99	4.88	5.49	2.84	1.94	2.26	0.18	0.90
CaO	9.48	8.45	7.77	9.19	7.39	8.76	11.14	4.87	3.27	0.26	2.21
Na ₂ O	2.78	3.89	3.63	3.30	3.46	2.80	3.70	5.60	5.19	7.00	4.02
K_2O	0.79	0.83	1.37	0.98	2.25	1.28	1.22	2.97	4.32	4.30	4.45
P_2O_5	0.31	0.49	0.74	0.46	0.49	0.60	0.56	0.62	0.37	0.37	0.13
ппп	1.00	5.05	4.00	4.00	2.40	1.40	0.70	2.80	2.30	2.15	4.60
сумма	100.9	99.55	101.2	102.5	100.8	101.0	100.6	100.9	101.0	100.4	100.2
Li	15.03	11.73	17.39	14.77	54.50	15.64	4.60	6.74	9.25	12.42	13.71
Cs	0.67	0.14	0.51	0.13	26.04	0.62	0.23	1.77	0.65	0.42	0.40
Be	0.67	0.97	1,02	0.74	0.93	1.15	1.08	2.04	2.64	4.52	2.09
Rb	13.35	16.80	21.89	14.73	23.1	18.73	20.14	50.62	64.80	93.82	35.72
Ba	197.1	218.9	283.2	188.0	343.1	265.6	239.6	764.0	504.7	452.6	520.1
Sr	346.6	461.8	603.9	446.7	1008.0	569.0	688.0	428.7	269.4	9.0	202.2
Sc	21.09	15.84	16,08	19.47	16.58	17.62	17.10	7.56	6.73	0.98	2.75
V	203.1	196.5	191.3	192.2	248.0	210.5	194.3	29.0	27.7	0.3	0.2
Cr	316.2	22.7	14.5	40.8	8.5	81.4	11.0	0.4	0.6	0.3	0.4
Co	59.7	38.8	34.4	45.9	39.1	58.7	44.6	13.9	21.5	336.9	7.2
Ni	206.7	18.2	13.7	34.7	32.3	99.2	7.2	0.8	1.2	1.6	0.5
Cu	55.4	27.7	29.7	34.8	58.4	42.0	24.8	10.1	11.4	2.8	4.4
Zn	80.5	104.7	89.0	100.1	90.7	102.7	123.3	108.1	96.5	136.7	263.9
Ga	17.8	21.2	19.9	20.3	19.6	21.5	23.7	25.2	24.2	31.4	28.3
Ge	1.11	0.79	1.01	0.91	1.17	1.01	1.04	1.20	1.04	1.48	1.05
Y	16.5	21.1	23.0	19.8	21.2	23.0	25.3	36.4	37.9	67.9	25.3
Zr	111.5	197.6	191.1	172.3	201.2	236.0	230.8	494.2	501.6	878.0	586.3
Hf	2.86	5.23	4.75	4.62	5.16	6.02	6.05	11.39	11.94	21.54	14.00
Nb	22.34	36.79	44.39	28.91	41.56	45.88	37.52	94.32	91.16	145.21	114.47
Ta	1.93	2.65	4.62	2.09	2.94	3.38	2.85	6.04	6.08	17.66	7.38
W	82.5	53.2	24.0	36.5	17.9	75.5	86.4	33.6	57.5	1523.0	30.6
Mo	1.63	1.79	1.78	1.26	1.61	2.21	1.65	3.13	2.81	9.61	4.43
Ag	0.33	0.54	0.61	0.40	0.74	0.68	0.54	1.38	1.25	2.11	1.65
Cď	0.09	0.17	0.23	0.21	0.28	0.19	0.64	0.43	0.38	0.71	0.48
Sn	1.11	2.12	1.69	1.83	2.11	2.25	1.86	3.57	4.19	7.31	5.86
Pb	1.16	1.80	1.95	1.75	1.89	1.73	1.95	4.08	5.35	5.5	1.92
Th	1.75	3.24	3.80	2.70	3.83	3.81	3.55	9.59	11.60	17.86	7.17
U	0.58	1.05	1.22	1.11	1.21	1.24	1.01	3.40	3.31	5.02	3.61
La	13.53	24.74	30.75	19.89	27.72	31.05	26.87	57.35	59.63	83.65	31.05
Ce	30.64	54.50	67.06	44.44	60.47	68.34	59.80	119.69	119.60	167.94	65.25
Pr	3.82	6.59	8.19	5.50	7.22	8.36	7.43	13.92	13.70	19.63	7.37
Nd	17.44	30.14	35.98	25.00	32.06	37.94	33.31	57.76	55.32	79.42	29.70
Sm	4.09	6.60	7.40	5.18	6.81	8.03	7.41	11.15	10.54	15.94	6.03
Eu	1.45	2.24	2.48	2.00	2.24	2.63	2.54	3.35	2.96	2.08	1.97
Gd	4.47	6.48	6.98	6.04	6.35	7.56	7.51	9.66	9.33	14.76	5.73
Tb	0.68	0.94	0.98	0.87	0.92	1.05	1.09	1.43	1.44	2.45	0.93
Dy	4.36	5.71	5.89	5.36	5.58	6.24	6.67	9.08	9.43	16.72	6.16
Но	0.81	1.04	1.08	0.97	0.97	1.08	1.18	1.68	1.80	3.26	1.21
Er	2.15	2.64	2.75	2.48	2.47	2.82	3.08	4.55	4.91	9.18	3.42
Tm	0.27	0.33	0.35	0.31	0.3	0.34	0.39	0.61	0.69	1.28	0.47
Yb	1.67	1.99	2.10	1.90	1.8	2.01	2.28	3.79	4.33	7.96	3.20
Lu	0.23	0.28	0.30	0.27	0.25	0.28	0.32	0.55	0.64	1.15	0.48
Lu	0.23	0.20	0.50	0.27	0.20	0.20	0.52	0.55	J.07	1.15	0.10

Примечание. 1 — Сахароним базальты; 2–11 — бимодальная серия: 2–6 — базальты и габбро из силлов, штоков и даек; 7 — кварцсодержащее габбро; 8 — монцодиорит; 9 — меланосиенит из центральной части габбрового силла; 10, 11 — щелочные сиениты из самостоятельных тел.

надлежит керсутиту, реже феррогастингситу и арфведсониту. Составы габбро и базальтов приведены в табл. 1 (анализы 1–7).

В лакколите Рамон и некоторых наиболее мощных силлах наблюдаются обособленные линейные тела лейкогаббро (гавайитов) мощностью до 6 м и протяженностью до 35 м.

Крупные тела габбро сопровождаются также сиенитами и меланосиенитами, образующими внутри них линзы мощностью до 8 м и протяженностью до 300 м (№ 3 на рис. 2), неправильные жильные тела мощностью до 20 см и длиной до 10 м [50], расплывчатые обособления или тонкие (3 см) параллельные прожилки, не выходящие за пределы вмещающих габбро. Такие сиенитоиды (табл. 1, ан. 9) представляют собой мелкозернистые породы, состоящие из зонального плагиоклаза (An₂₀₋₃₆), ортоклаза и анортоклаза; цветные минералы (8–10%): титанистый авгит, эгирин-авгит, феррогастингсит, арфведсонит. Местами отмечается буро-красный биотит. В интерстициях – кварц (8–12%). Акцессорные – магнетит и апатит. Структура порфировидная гипидиоморфнозернистая, местами трахитоидная.

Сиениты и ассоциированные с ними монцодиориты (муджиериты) и монцониты в виде обособленных тел обнажены преимущественно в Центральном Махтеш Рамоне. Монцонитами сложены два находящихся рядом лакколита площадью 600×300 м и 720×670 м (№ 5 на рис. 2) в правом борту вади Рамон, монцодиоритами — лакколит площадью 675×500 м в левом борту этого вади, а сиенитами — лакколиты Shen Ramon (№ 6) площадью 0.7×1.7 км и Gavnunim (№ 7) площадью 0.3×1.7 км.

Монцониты и монцодиориты сложены плагиоклазом (An_{37-50}), ортоклазом и анортоклазом, титансодержащим авгитом, в краевых зонах переходящим в эгирин-авгит, феррогастингситом, арфедсонитом и рибекитом. Местами встречается интергранулярный кварц.

Сиениты – светлые порфировидные породы. Фенокристы образованы плагиоклазом (Ап_{28–37}) и калишпатом размером 3–5 мм. В матриксе трахитовой структуры резко преобладает тонкопризматический ортоклаз, санидин или анортоклаз, обычно встречающиеся совместно. Плагиоклаз матрикса также длиннопризматический. В интерстициях лейстового полевого шпата развиты кварц (10–12%), эгиринавгит, эгирин, акмит, феррогастингсит, арфведсонит и рибекит. Местами встречается буро-красный биотит. Апатит дает две генерации зерен: крупные короткопризматические (ранние) размером до 0.8 мм, и игольчатые (поздние). Рудный (2–3%) представлен ильменитом и магнетитом.

Отличительной чертой сиенитов из самостоятельных тел от залегающих внутри габбро является повышенная лейкократовость, развитие санидина, эгирина, а также более широкое распространение рибекита. Они отличаются пониженным содержа-

нием MgO и повышенным – таких элементов, как Zr, Nb, Sn, Mo (табл. 1, ан. 10, 11).

Неотъемлемая составляющая данной серии пирокластическая диатрема Maale Atsmaut [26] в Центральном Махтеш Рамоне (№ 8, рис. 2) – субмеридиональное тело размером 940 × (180–450) м, сложенное разноразмерными (до 5-6 м в поперечнике) фрагментами габбро и базальтов, местами калишпатизированных, гавайитами, муджиеритами, щелочными сиенитами и трахитами, по составу соответствующими описанным выше породам. Цементирующая масса представлена лапиллиевыми и пепловыми туфами, часто туффизитами. Вместе с обломками осадочных пород, в основном, Inmar и Ardon Fms., в диатреме есть блок-ксенолиты оксфордских известняков Beer Sheva Fm., отсутствующих в стратиграфическом разрезе района вследствие интенсивной предмеловой эрозии, уничтожившей почти 1 км его мощности [25, 24]. Отсюда, вполне вероятен и полный смыв продуктов наземных извержений, безусловно сопутствовавших образованию данной серии.

Postcgl базальт-базанит-нефелинитовая серия

Рассматриваемая серия — самая сложная по внутреннему строению и составу. Стратиграфическое положение — внутри Hatira Fm. с апт-альбскими органическими остатками — надежно определяет ее геологический возраст: покровные фации вулканитов (базальты, туфы) согласно залегают на песчаниках Lower Hatira Fm. и вместе с субвулканическими образованиями с размывом перекрываются песчаниками Upper Hatira Fm. (рис. 3). Наиболее полно рассматриваемая ассоциация проявилась в Западной части Махтеш Рамона — своего рода эпицентре апт-альбского магматизма, в Центральной и Восточной зонах интенсивность вулканизма постепенно снижается.

По условиям залегания среди пород ассоциации различаются две фациальные группы: покровная и субвулканическая. В первой выделяются вулканические потоки, туфовые и туфогенно-осадочные отложения, во второй — некки, штоки, дайки, силлы и пирокластические диатремы.

Ассоциацию формируют базальты и микрогаббро, базаниты, нефелиниты, и анальцимиты, мелилитовые нефелиниты и безоливиновые нефелиниты (фурчиты). Среди базальтов по содержанию модального оливина выделено две разновидности (Ol < 10%; Ol > 10%), различающиеся также и содержанием MgO (табл. 2), которые ранее относились, соответственно, к тефритам и базанитам [22, 51]. Среди первых преобладают гиперстен-нормативные разности, среди вторых – нефелин-нормативные.

Вулканические потоки сложены в основном базальтами, изредка базанитами, их мощность колеблется от первых метров до 41 м. В наиболее пред-

ставительном разрезе на участке Qarnei Ramon в западной зоне (№ 9 на рис. 2) участвует 11 потоков общей мощностью 233 м. Четыре нижних и 11-й потоки представлены базальтами с низким содержанием оливина, а с 5-го по 10-й — базальтами с повышенным содержанием этого минерала.

Каждый отдельный поток имеет характерное трехчленное строение: в нижней половине оливиновые базальты, над ними — метасоматически измененные калишпатизированные базальты, в верхней — аргиллизированные образования коры выветривания. Смена коры выветривания одного потока вышележащими свежими базальтами служит хорошим индикатором стратификации вулканитов района. Потоки имеют хорошо развитую призматическую отдельность, изредка они представлены пиллоу-лавами мощностью до 7 м (южный Карней Рамон, № 10, рис. 2).

В направлении на восток количество потоков в разрезе сокращается до 3–4, а их общая мощность – до 54 м. В восточном окончании котловины развиты только туфовые накопления.

Туфов и туфогенно-осадочных пород в покровной фации мало. Сложены они чередующимися крупнообломочными туфобрекчиями, агломератами, лапиллиевывыми туфами, туффитами, туфопесчаниками и туфогенными известняками общей мощностью до 50 м.

Широко развиты пирокластические диатремы. Некоторые из них представляют собой фреатомагматические образования. Форма диатрем изометричная, овальная, реже линейная и неправильная, размер от 70 × 160 м до 1.2 × 1.8 км (№ 16, рис. 2). На восточной окраине Махтеш Рамона находится не вскрытая эрозией диатрема Red Valley [13] размером 0.5 × 1.0 км, погребенная под песчаниками Lower Hatira Fm. (№ 17, рис. 2).

Обломки пирокластических брекчий обычно имеют овальную форму, представлены преимущественно базальтами и базанитами, нередко в той или иной степени калишпатизированными. В диатреме Maale Ramon (центральная зона) обнаружено, кроме того, несколько ксенолитов (размер до 1.2 м) карбонатитоподобной породы, представляющей собой орбикулярную муджиерит-кальцитовую смесь с сотношением частей от 1 : 1 до 4 : 1.

Фреатомагматические диатремы сложены нацело аргиллизированным пеплами с интенсивно калишпатизированными обломками базальтов и галькой кварцитов из конгломератов Arod.

Состав субвулканических тел, сравнительно с покровными вулканитами, более разнообразен. Кроме базальтов, габбро и базанитов, среди них развиты нефелиниты, анальцимовые и мелилитовые нефелиниты, анальцимиты и изредка безоливиновые нефелиниты (фурчиты). Преобладают базаниты и нефелиниты. Всего в районе установлено более 60 тел. Форма их в плане преимуществен-

но круглая, овальная и клиновидная, а размеры варьируют от 7–30 м в поперечнике (некки) до 0.67 × 1.7 км. Мощность даек до 3.5 м, протяженность до 75 м. Самый крупный силл, сложенный микрогаббро (Центральная зона), вытянут на 11 км, имеет мощность до 40 м. Обычно субвулканические тела сложены каким-либо одним типом пород, но есть и сложные, представленные 2–3 разновидностями пород (№№ 11, 14, 16). Некоторые из них, например № 11 и 16, являются жерловыми образованиями, а тело № 11 рассматривается даже как наднекковое лавовое озеро [22].

Неизмененные породы рассматриваемой группы, независимо от их фациального положения, – это темные породы массивной текстуры, местами миндалекаменные и ноздреватые. Структура их сериальнопорфировая. Преобладают мелкопорфировые разности, реже встречаются средне- и крупнопорфировые (5–10 мм и более). Общее содержание фенокристов колеблется в пределах 5–35%, при этом минимальное их количество отмечается в нижних частях вулканических потоков и краевых зонах нефелинитовых тел. Для всех типов пород характерны фенокристы оливина и клинопироксена, в базальтах к ним часто присоединяется плагиоклаз.

Матрикс пород микро- и криптокристаллический, местами частично или полностью стекловатый. В базальтах он представлен микролитами плагиоклаза, авгитом, оливином и интергранулярными цеолитом, реже, кальцитом. В базанитах и нефелинитах эту группу минералов дополняют интергранулярные нефелин и анальцим, при этом содержание плагиоклаза в них заметно уменьшается или он вообще исчезает.

Оливин (Fo₇₀₋₉₀) развит в основном в фенокристах, местами замещен иддингситом и боулингитом. Клинопироксен по составу варьирует от глиноземистого (7–9% Al_2O_3) авгита до эгирин-авгита. В фенокристах он обычно зональный с незакономерной сменой состава зон и, в частности, нередко с центральным эгирин-авгитовым ядром, что характерно не только для пород описываемой ассоциации [20; наши данные], но и для ее аналогов в других регионах мира [1, 12]. Изредка встречаются вкрапленники гиперстена, окаймленные более поздним клинопироксеном или реинвертированным пижонитом, и единичные зерна керсутита, замещающие клинопироксен. Только в безоливиновых нефелинитах содержание керсутита поднимается до 5%. Зональный плагиоклаз (An_{53-69}), нередко с обратной зональностью, развит в базальтах и базанитах, иногда встречается в нефелинитах (до 5%). Состав фенокристов и микролитов близкий. Нефелин – минерал основной массы нефелинитов и базанитов – выделяется в виде ксеноморфных зерен (0.01-0.05мм), заполняющих межзерновое пространство призматического клинопироксена. С нефелином часто ассоциирует анальцим, местами преобладающий над ним (в анальцимитах), цеолит и кальцит. Мелилит обнаружен нами только в интрузивном теле Mt. Tabaat (№ 14 на рис. 2), представлен, в основном, таблитчатыми фенокристами (до 0.3–0.5 мм) и наиболее крупными зернами матрикса, составляющими в общей сложности до 10% породы.

В шлировидных участках матрикса пород, обогащенных кальцитом и цеолитами, иногда встречаются анортоклаз, санидин, реже, олигоклаз. Местами в них наблюдаются биотит и ренит, отмеченный также в расплавных включениях в оливине из базанитов [9, 63].

Апатит представлен игольчатыми кристаллами (до 0.8 мм). Изредка встречается зональный эвколит (железистая разновидность эвдиалита). Среди рудных преобладают титаномагнетит и ильменит (7–12%), реже отмечается бурая шпинель.

Вулканическое стекло сопровождает практически все главные разновидности пород. Содержание его колеблется от 1–2 до 40%, цвет коричневый с оттенками от темно-бурого до светло-коричневого, кремового и желтого.

Составы пород приведены в табл. 2, 3, а в табл. 4—средние составы магматических пород Махтеш Рамона. Для сравнения в табл. 5 показаны средние составы меловых и кайнозойских базальтов смежных районов Ближнего Востока, а также континентальной ассоциации Балконес (штат Техас, США) и Гавайских островов.

Ксенолиты

Базальты, базаниты и, реже, нефелиниты содержат ксенолиты глубинных пород размером от 2–3 см до 25–30 см. Они представлены верлитами, реже – дунитами, гарцбургитами, лерцолитами, а также габбро-норитами, оливиновыми вебстеритами, клинопироксенитами, анортозитами. Составы наиболее распространенных пород из мантийных ксенолитов приведены в табл. 6. По химическому составу и петрографическим особенностям они образуют три группы (рис. 4): мелкозернистые магнезиальные верлиты или лерцолиты при наличии редкого ортопироксена с Mg# (100Mg/(Mg + Fe) =90-92 (анализы 1, 2, табл. 6), среднезернистые железистые верлиты с Mg#-77-78 (анализы 3-5) и породы типа оливинового полевошпат-содержащего клинопироксенита (анкарамита) с Mg# - 66-71 (анализы 6–11). Все остальные породы Махтеш Рамона имеют меньшее значение Мg#. Величина этого параметра главных минералов ксенолитов - оливина и клинопироксена – хорошо согласуется с его значением для пород (рис. 5). Распределение редких элементов (рис. 6) подтверждает наличие названных трех групп мантийных ксенолитов. При примерно одинаковой конфигурации трендов от наиболее магнезиальных составов к более железистым количество редких элементов в породах возрастает, достигая максимума в заведомо магматических базанитах. Все ксенолиты (как и базаниты) имеют отрицательную аномалию калия и свинца и положительную (в отличие от базанитов) аномалию лития и скандия, что характерно для метасоматизированной мантии. Можно полагать, что перидотиты первого типа представляют собой первичную мантию, второго и третьего — ее метасоматизированный вариант, за счет которого была образована Postcgl базальт-базанит-нефелинитовая серия пород.

Изучение термобарометрических параметров расплавных и флюидных включений в минералах ультрамафитовых ксенолитов [62, 63] показало, что они образованы при температуре 1200–1250°С и 6–9.5 кбар. Равновесие роговая обманка-плагиоклаз в ксенолите клинопироксенита ВН20 по соответствующему барометру [5] отвечает примерно 6–7 кбар.

Метасоматиты

Раннемеловые базальтоиды района сопровождаются однотипными метасоматическими изменениями (калишпатизация, карбонатизация и аргиллизация), местами весьма интенсивными и строго ограниченными рамками магматических тел, в которых они залегают. По условиям проявления они близки к вмещающим их неизмененным породам и так же, как и они, разделены во времени конгломератами Arod, перекрывающими метасоматиты бимодальной ассоциации.

Более того, метасоматоз в ней оказался "зажатым" между фазами габбро и сиенитов, о чем свидетельствует приконтактовое ороговикование апогаббровых даек и силлов под воздействием сиенитового интрузива Gavnunim (N27, рис. 2), развитие по ним зон гроссуляр-андрадитовых роговиков шириной 0.3–0.4 м.

Метасоматозом в той или иной степени охвачено большинство тел базитов этого возраста. Тела малых размеров нередко изменены на всю их мощность и протяженность.

метасоматиты базальт-базанит-Калиевые нефелинитовой серии приурочены к базальтам, габбро и базанитам и не встречаются в связи с нефелинитами. Для этой ассоциации характерно многократное проявление метасоматоза, сопровождающего отдельные фазы ее становления. Выше был отмечен характер изменения состава вулканических потоков от их основания к кровле: базальты (или базаниты) – их калишпатизированные базальты (вплоть до ультракалиевых) – аргиллизированные образования коры выветривания. Мощность калишпатизированных пород от 0.5 до 1.5 м, аргиллизированных – от 1.0 до 13.5 м. Аналогичные изменения происхо-

Таблица. 2. Содержание петрогенных (мас. %) и редких (г /т) элементов в оливиновых базальтах Postcgl

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Обр.	Mr1	3b	12	1241	7b	621	j11a	54-1	94	818	1841	1852	1838	1845
SiO ₂	46.69	46.41	48.91	47.54	46.43	46.11	46.24	44.92	44.20	44.48	43.64	44.33	43.20	44.72
TiO ₂	2.45	2.72	2.08	2.88	2.20	2.40	2.37	2.34	2.63	2.52	2.92	2.79	2.78	2.85
Al_2O_3	14.49	13.63	14.34	14.87	14.29	14.92	14.94	14.50	13.38	13.09	13.14	13.96	14.34	14.47
Fe_2O_3	6.09	6.97	4.95	5.68	4,79	6.40	5.73	4.79	5.95	6.04	4.82	6.61	6.29	6.34
FeO	6.20	6.60	7.60	7.50	6.90	6.25	6.70	6.20	6.90	6.60	6.45	5.80	6.10	6.05
Mno	0.17	0.17	0.18	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17	0.19	0.16	0.16	0.17
MgO	6.56	7.87	6.47	5.73	8.81	8.95	7.81	9.24	9.79	9.62	8.70	8.58	9.19	8.19
CaO	9.83	8.87	9.61	10.07	9.01	8.39	8.40	10,40	10.36	10.06	11,50	9,50	9,50	9,51
Na ₂ O	2.80	2.90	3.60	2.80	3.10	2.90	3.10	3.80	3.08	3.10	3.90	3.22	3.09	3.80
K_2O	1.64	1.14	1.03	1.25	1.57	1.63	1.63	1.07	1.22	1.32	1.05	1.89	1.79	1.43
P_2O_5	0.76	0.66	0.50	0.66	0.74	0.55	0.54	0.74	0.67	0.99	1.04	0.72	0.75	0.75
LOI	2.40	3.33	1.60	1.80	3.10	2.11	3.25	2.28	2.64	1.95	2.90	3.20	2.00	2.60
Сумма	100.1	101.3	100.9	101.0	101.1	100.8	100.9	100.5	101.0	99.9	100.3	100.8	100.2	100.9
Li	7.66	5.27	5.71	5.86	7.54	6.01	8.34	9.32	5.62	5.62	8.36	8.11	6.85	4.31
Cs	0.25	0.18	0.31	0.23	0.58	0.26	0.53	0.84	0.28	0.40	0.43	0.76	0.45	0.35
Be	1.49	1.16	0.91	0.94	1.26	1.46	1.16	1.25	1.22	1.44	1.13	1.69	1.34	1.37
Rb	33.07	18.07	17.25	20.85	29.00	28.77	32.93	10.30	21.41	17.56	22.16	27.84	21.15	18.43
Ba	713.0	338.3	346.2	349.8	517.7	443.3	565.0	648.6	519.7	519.6	504.1	719.1	578.1	562.2
Sr	1006.5	598.0	471.4	706.6	796.3	656.4	769.9	863.2	959.6	936.5	831.1	1145.3	897.7	1107.5
Sc	15.95	17.05	18.93	17.51	16.50	13.62	17.40	20.26	17.70	16.36	11.12	15.95	12.96	13.26
V	179.6	176.4	172.9	182.3	164.2	137.4	188.9	195.1	189.5	166.4	132.7	190.5	155.6	160.5
Čr	177.7	197.1	287.3	138.2	223.7	186.8	274.9	297.1	223.4	239.8	106.3	141.4	121.4	112.4
Co	55.64	50.53	49.33	52.67	47.36	45.1	55.36	48.44	53.50	50.60	41.09	55.89	46.79	47.03
Ni	127	148	116	105	154	123	165	142	142	193	95	127	123	103
Cu	53	55	62	68	59	50	55	54	66	55	42	58	48	50
Zn	121	123	124	88	127	138	127	151	142	88	92	104	97	105
Ga	20.08	18.87	18.75	19.09	19.06	19.93	17.72	19.68	19.64	18.63	16.70	24.59	19.13	20.31
Ge	1.11	1.18	1.20	1.01	1.14	1.23	1.15	1.28	1.25	0.92	0.74	1.08	0.86	0.85
Y	20.58	19.29	17.91	19.91	19.83	20.06	20.23	22.36	21.22	20.25	15.46	22.46	17.89	18.67
Zr	195.4	162.8	137.8	147.0	192.8	208.3	180.3	189.0	193.4	232.6	196.4	281.3	224.8	245.4
Hf	4.36	3.83	3.42	3.68	4.33	4.67	4.26	4.39	4.33	4.73	4.13	5.89	4.71	5.14
Nb	64.33	42.96	37.61	51.87	57.61	52.41	72.14	76.77	70.25	81.61	57.16	84.18	68.03	73.40
Ta	4.22	2.73	2.35	3.30	3.60	3.35	4.46	4.67	4.23	4.97	3.55	5.24	4.21	4.54
W	99.4	71.5	50.0	65.4	46.6	68.3	92.8	58.2	85.2	55.5	53.0	51.1	53.4	54.1
Mo	2.73	1.79	1.50	1.87	2.40	2.6	2.45	1.73	3.16	3.50	3.35	4.13	3.18	4.48
Ag	0.9	0.57	0.52	0.68	0.85	0.75	1.01	1.03	0.88	1.08	0.78	1.12	0.92	1.00
Cd	0.23	0.35	0.24	0.17	0.25	0.73	0.32	0.38	0.30	0.17	0.16	0.18	0.15	0.13
Sn	1.67	1.6	1.32	1.38	1.80	1.87	1.59	1.60	1.80	1.47	1.46	2.16	1.74	1.79
Pb	2.84	18.83	1.50	1.51	3.08	2.34	2.37	2.89	2.43	2.83	1.73	2.10	1.74	2.11
Th	5.07	3.01	2.71	3.55	5.25	4.08	5.31	6.33	5.31	7.35	3.95	5.99	4.88	5.24
U	1.47	0.92	0.75	0.98	1.56	1.26	1.43	1.69	1.50	2.18	1.29	1.99	1.55	1.72
La	40.45	26.40	24.03	31.00	39.12	32.33	43.77	47.87	42.87	54.62	32.85	49.27	39.17	42.04
Ce	80.77	56.76	49.36	63.95	76.56	65.32	84.51	93.84	85.50	104.32	65.30	97.20	78.09	83.44
Pr	9.13	6.84	5.71	7.54	5.88	7.36	9.43	10.45	9.62	11.52	7.39	10.98	8.74	9.41
Nd	36.85	28.98	24.09	31.71	34.59	30.71	36.97	42.06	38.86	46.10	30.35	45.25	35.70	38.20
Sm	6.75	6.09	5.02	6.52	6.31	6.04	6.87	7.70	7.18	8.03	5.84	8.49	6.84	7.38
Eu	2.21	2.06	1.69	2.14	2.01	1.97	2.22	2.42	2.31	2.60	1.85	2.78	2.22	2.40
Gd	5.58	5.29	4.87	5.81	5.42	5.31	5.45	6.32	5.97	6.23	4.92	7.01	5.61	6.03
Tb	0.8	0.78	0.70	0.83	0.77	0.75	0.79	0.32	0.83	0.23	0.67	0.98	0.79	0.03
	4.86	4.74	4.31	5.08	4.60	4.79	5.01	5.37	5.16	5.13	3.93	5.75	4.64	4.84
Dy	0.84	0.84	0.79	0.91	0.83	0.86	0.87	0.99	0.88	0.88	0.68	1.00	0.79	0.82
Ho Er	2.14	2.08	2.06	2.22	2.13	2.23	2.27	2.54	2.31	2.17	1.64	2.40	1.98	1.99
Tm	0.28	0.26	0.26	0.28	0.27	0.29	0.27	0.32	0.29	0.26	0.20	0.30	0.24	0.25
Yb		1.58		1.67	1.65	1.78	1.65	1.98	1.67	1.52	1.18	1.65	1.36	1.43
	1.61		1.60											
Lu	0.23	0.22	0.23	0.23	0.24	0.26	0.24	0.28	0.25	0.21	0.17	0.23	0.18	0.19

Примечание. 1–4 базальты с содержанием модального оливина <10%, в остальных пробах –>10%.

Таблица. 3. Содержание петрогенных (мас. %) и редких (г/т) элементов в Postcgl микрогаббро, базанитах и нефелинита

140011114	Сод		nerporen		. , o) 11 pc,	410111 (1 / 1					оазанита		
$N_{\underline{0}}$	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
обр.	43a-1	1186	1110	22-3	175	249	337	448	274	285-1	538-8	351	1067
SiO ₂	44.83	44.19	42.40	41.73	41.53	40.33	41.00	40.49	44.04	41.51	41.61	37.99	43.62
TiO ₂	2.02	2.61	2.41	2.59	2.75	2.68	2.67	2.51	2.21	2.22	2.26	2.32	293
Al_2O_3	13.57	13.80	13.24	13.38	13.18	11.75	12.87	12.64	12.79	12.81	12.39	11.15	15.13
Fe ₂ O3	5.99	5.71	7.52	7.62	7.53	6.19	5.07	6.52	5.76	5.47	6.65	6.63	799
FeO		7.40	3.00	6.80			8.10			7.50			3.70
	5.45				6.60	6.92		6.10	7.72		7.15	723	
Mno	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.19
MgO	10.60	9.01	9.33	10.50	10.38	12.74	10.14	10.05	10.30	11.15	10.98	11.28	451
CaO	11.00	9.49	10.42	10.90	11.89	11.37	11.76	12.72	11.41	11.40	12.46	13.97	11.50
Na ₂ O	2.90	3.36	2.10	3.40	3.40	2.81	3.30	3.80	3.40	3.60	2.94	3.50	2.81
K ₂ O	1.05	0.79	0.94	1.15	0.81	0.81	1.06	1.29	1.18	1.19	0.60	0.97	2.06
P_2O_5	0.81	0.42	0.72	0.70	0.64	0.76	0.84	1.26	0.99	1.00	0.87	1.32	1.03
ППП	2.00	1.80	7.70	1.90	2.02	3.75	2.10	2.45	2.60	2.50	2.30	3.10	4.50
Сумма	100.4	98.8	101.0	100.8	100.9	100.3	99.1	100.0	100.2	100.5	100.4	99.7	99.97
Li	7.07	6.00	12.80	10.38	8.18	5.71	5.79	9.05	6.91	5.90	3.60	9.30	14.87
Cs	0.42	0.22	0.59	0.34	0.47	0.50	0.48	0.52	0.61	0.51	0.44	0.68	3.40
Be	1.12	0.68	1.04	1.21	1.26	1.10	1.43	1.81	1.36	1.16	1.23	1.65	1.69
Rb	14.34	14.89	31.60	7.27	22.99	13.85	12.68	30.14	20.48	15.64	12.27	40.24	65.86
Ba	447	255	699	570	565	479	611	854	676	567	446	775	3215
Sr	680	520	957	833	892	660	986	1197	815	697	733	1158	1036
Sc	23.08	18.46	18.79	20.76	21.18	20.48	20.29	20.02	20.32	18.71	19.64	18.78	12.75
V	207.5	185.8	188.8	209.9	175.2	195.9	195.9	188.7	185.9	166.1	176.9	184.3	212.1
Cr	372.3	223.9	215.8	306.2	312.9	286.3	272.6	244.9	332.8	214.5	311.6	230.9	9.7
Co	51.1	55.1	54.4	54.2	49.5	52.7	54.7	53.1	55.0	51.5	57.4	58.1	37.7
Ni	195.2	171.3	158.7	181.2	183.7	222.2	192.2	175.1	210.2	194.9	203.1	194.2	30.9
Cu	66.2	57.6	56.0	77.5	54.1	50.2	61.7	56.5	62.8	55.2	61.7	52.6	59.7
Zn	114.7	86.1	90.4	130.2	116.8	88.4	145.4	158.4	84.7	101.5	94.7	110.5	163.2
Ga	17.34	17.56	17.42	18.89	16.68	16.20	19.19	18.47	17.82	15.89	17.18	17.94	19.49
Ge	1.18	0.99	0.99	1.23	1.02	0.92	1.18	1.13	1.07	0.86	0.95	0.99	1.37
Y	19.84	16.53	19.08	19.48	19.47	18.64	21.96	26.98	20.94	19.16	20.00	26.58	28.82
Zr	165.3	109.8	178.6	181.1	183.9	174.7	215.6	260.2	182.9	163.0	173.2	236.0	275.7
Hf	3.82	2.83	4.20	4.02	3.85	4.08	4.61	5.27	4.05	3.69	3.93	4.93	5.47
Nb	63.05	30.64	64.83	69.58	72.30	68.87	86.95	127.52	95.43	82.68	89.89	128.29	143.76
Ta	3.76	1.93	4.03	4.36	4.11	4.13	5.00	7.17	5.57	4.94	5.48	7.43	8.67
W	59.0	50.7	20.3	77.6	77.6	34.3	32.8	43.9	55.1	61.8	92.2	76.8	47.8
Mo	2.06	1.13	2.38	3.40	1.74	2.01	2.73	2.74	2.17	2.34	2.53	1.77	2.56
Ag	0.82	0.41	0.89	0.98	0.94	0.90	1.21	1.71	1.34	1.17	1.23	1.72	1.93
Cd	0.31	0.13	0.16	0.22	0.25	0.17	0.29	0.28	0.33	0.30	0.32	0.21	0.37
												1.44	
Sn	1.93	1.15	1.42	2.58	1.52	1.39	3.25	1.66	1.32	1.19	1.29		1.68
Pb	2.50	1.30	1.96	2.51	2.51	1.69	2.92	4.09	3.22	2.86	3.11	4.28	4.44
Th	5.64	2.47	4.65	5.32	6.62	5.33	7.21	11.69	9.03	7.92	8.67	12.97	11.43
U	1.48	0.68	1.48	1.55	1.68	1.45	1.93	3.01	2.21	1.95	2.18	3.03	3.13
La	41.33	18.80	37.48	43.00	48.32	41.58	54.42	79.80	58.90	51.39	55.56	85.12	87.55
Ce	81.02	39.71	74.83	86.59	93.50	81.68	104.31	147.91	108.59	95.10	104.33	154.81	163.64
Pr	8.97	4.66	8.49	9.74	10.32	9.29	11.54	15.93	11.68	10.46	11.33	16.76	17.75
Nd	35.83	20.21	35.21	39.38	39.98	37.83	45.90	60.45	45.62	40.79	43.89	64.36	69.12
Sm	6.60	4.41	6.59	7.22	7.32	6.78	8.13	10.27	7.81	7.10	7.61	10.65	11.42
Eu	2.10	1.55	2.04	2.35	2.31	2.17	2.53	3.16	2.46	2.19	2.37	3.23	3.40
Gd	5.53	4.35	5.51	6.00	5.42	5.55	6.23	7.47	6.16	5.56	5.84	7.97	8.12
Tb	0.78	0.64	0.78	0.81	0.76	0.77	0.86	1.07	0.87	0.78	0.84	1.07	1.18
Dy	4.91	3.92	4.66	4.86	4.54	4.59	5.23	6.29	5.14	4.76	5.09	6.33	7.02
Но	1.88	0.73	0.83	0.86	0.80	0.79	0.91	1.11	0.91	0.84	0.89	1.09	1.24
Er	2.24	1.94	2.06	2.13	2.02	1.96	2.26	2.78	2.27	2.04	2.21	2.69	3.09
Tm	0.28	0.24	0.27	0.26	0.25	0.24	0.29	0.34	0.29	0.26	0.27	0.34	0.40
Yb	1.74	1.51			1.49	1.42	1.60	2.02	1.72	1.50	1.62	2.00	2.40
1			1.63	1.51									
Lu	0.26	0.21	0.22	0.22	0.21	0.19	0.23	0.28	0.24	0.22	0.22	0.28	0.32

Примечание. 1-4: — микрогаббро, 5, 6 — базаниты, 7-12 — нефелиниты, 13 — мелилитовый нефелинит, 14 — безоливиновый нефелинит (фурчит).

Таблица 4. Средние содержания петрогенных (мас. %) и редких (г/т) элементов в главных типах пород Махтеш Рамона

NC.	1	2	2	1 1			7	0	0	10	1.1
No	1		3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO ₂	46.73	47.93	48.65	54.83	60.76	46.99	44.30	41.55	41.04	37.93	43.62
TiO ₂	2.05	2.77	2.55	1.96	0.83	2.32	2.57	2.76	2.55	2.41	2.93
Al_2O_3	14.12	14.81	19.77	15.53	15.66	14.86	13.96	13.09	12.44	11.89	15.13
Fe_2O_3	5.43	5.97	2.42	8.59	7.40	5.40	5.91	4.20	5.23	6.57	7.99
FeO	8.04	5.21	6.11	1.10	0.35	6.37	6.16	8.57	7.61	7.01	3.70
MnO	0.19	0.15	0.14	0.16	0.16	0.18	0.18	0.22	0.20	0.24	0.19
MgO	10.02	5.44	3.83	1.94	0.54	7.40	9.63	10.31	11.14	11.06	4.51
CaO	9.34	8.79	10.34	4.87	1.23	8.88	9.67	10.77	11.89	14.12	11.50
Na ₂ O	2.69	3.76	4.24	5.60	5.73	3.36	3.10	3.97	3.50	3.67	2.81
K ₂ O	0.72	1.09	0.58	2.97	4.70	1.20	1.26	1.30	0.97	1.18	2.06
P_2O_5	0.30	0.43	0.28	0.62	0.37	0.62	0.68	0.97	0.91	1.22	1.03
ппп	0.82	3.29	2.06	2.80	2.36	2.15	2.24	1.75	2.26	2.29	4.50
Li	15.00	14.90		6.74	13.10	6.12	7.04	8.50	5.30	9.20	14.90
Rb	13.30	17.30		50.62	64.80	22.31	23.51	17.10	16.00	35.20	65.90
Cs	0.70	0.40		1.77	0.40	0.20	0.50	0.50	0.50	0.60	3.40
Be	0.70	0.90		2.04	4.50	1.12	1.24	1.30	1.30	1.70	1.70
Sr	346.6	734.1	628.0	428.7	105.7	695.6	820.2	874.4	870.1	1172	1036
Ba	197.1	239.7	226.0	764.0	45.6	436.8	523.0	571.0	621.2	814.2	3215
Sc	21.1	16.8	20.9	7.6	1.9	17.1	17.8	18.3	18.3	19.5	12.7
V	203.1	200.0	20.7	29.0	0.2	177.8	177.1	180.2	180.2	182.0	212.1
Cr	316.2	37.8	84.0	0.4	0.2	200.0	227.7	246.8	250.7	250.7	9.7
	59.7	37.8	33.1	13.9	336.9	52.1	51.1	52.7	52.7	55.6	37.7
Co						124.2					31.0
Ni	206.7	35.4	61.0	0.8	1.1		152.7	162.5	186.8	184.6	
Cu	55.35	36.20		10.14	3.60	59.80	56.40	57.40	57.40	54.60	59.70
Zn	58.90	77.00		90.50	162.3	70.30	71.10	68.90	72.60	84.40	143.8
Ga	17.80	21.10		25.15	29.80	19.20	18.80	18.20	18.10	18.20	19.50
Y	16.50	21.30		36.38	67.90	19.40	19.80	19.70	19.70	26.80	28.80
Nb	22.3	39.2		94.3	129.8	49.2	64.6	70.0	85.8	127.9	143.8
Ta	1.90	3.10	1.25	6.04	17.70	3.10	4.10	4.20	4.90	7.30	8.70
Zr	111.5	188.5		494.2	732.1	160.7	192.7	183.3	183.3	248.1	275.7
Hf	2.90	4.90	3.52	11.39	21.50	3.80	4.30	4.20	4.50	5.10	5.50
Mo	1.60	1.70		3.13	9.60	2.00	2.60	2.40	2.40	2.40	2.60
Sn	1.10	2.00		3.57	6.60	1.50	1.70	1.90	1.70	1.60	1.70
Pb	1.20	1.70		4.08	5.50	1.95	2.39	2.30	3.00	4.20	4.40
U	0.60	1.10	0.57	3.40	5.00	1.02	1.50	1.60	1.90	3.00	3.10
Th	1.70	3.20	2.04	9.59	17.90	3.59	5.10	5.60	7.20	12.30	11.40
La	13.50	25.30	17.50	57.35	83.60	30.46	40.30	43.50	61.80	84.10	87.50
Ce	30.6	56.0	35.7	119.7	167.9	62.7	79.2	86.1	110.0	110.0	163.6
Pr	3.80	6.70		13.92	19.60	7.30	8.86	9.60	12.10	16.30	17.70
Nd	17.40	30.80	16.60	57.56	79.40	30.40	35.80	38.10	47.10	62.40	69.10
Sm	4.10	6.70	4.29	11.15	15.90	6.10	6.71	7.10	8.20	10.50	11.40
Eu	1.40	2.30	1.56	3.35	2.60	2.03	2.17	2.30	2.60	3.20	3.40
Gd	4.50	6.50		9.66	14.80	5.39	5.61	5.70	6.30	7.70	8.10
Tb	0.70	0.90	0.79	1.43	2.50	0.78	0.80	0.80	0.90	1.10	1.20
Dy	4.40	5.70		9.08	16.70	4.75	4.82	4.70	4.90	6.30	7.00
Но	0.80	1.00		1.68	3.30	0.85	0.85	0.80	0.90	1.10	1.20
Er	2.10	2.60		4.55	9.20	2.12	2.17	2.00	2.10	2.70	3.10
Tm	0.30	0.30		0.61	1.30	0.27	0.27	0.30	0.30	0.30	0.40
Yb	1.70	2.00	1.33	3.79	8.00	1.61	1.63	1.60	1.60	2.00	2.40
Lu	0.20	0.30	0.20	0.55	1.10	0.23	0.23	0.20	0.20	0.20	0.30
К-во ан	4	31	6	1	5	23	62	17	46	8	1
т-во ап		<i>J</i> 1		1			02	1 /	U	U	1

Примечание. 1-5 — Precgl магматические породы: 1 — позднетриасовый базальт Сахароним; 2-5 — раннемеловая бимодальная габбро (базальт)-сиенитовая серия: 2 — микрогаббро, базальт, 3 — лейкогаббро, 4 — сиенодиорит, 5 — сиенит; 6—11 — Postcgl раннемеловая базальт-базанит-нефелинитовая серия: 6 — базальт с содержанием оливина <10 %, 7 — базальт с содержанием оливина >10 %, 8 — базанит, 9 — нефелинит, 10 — мелилитовый нефелинит, 11 — безоливиновый нефелинит (фурчит).

По породообразующим оксидам средние содержания подсчитаны по анализам из работ [13, 14, 18, 26, 33, 50, 51, 63 Eyal et al, 2000, 2004 (не опубликовано)] с учетом авторских данных, приведенных в табл. 1–3. Содержания редких элементов подсчитаны по авторским данным из табл. 1–3. В нижней строке указано количество анализов, по которым подсчитаны содержания петрогенных оксидов.

Таблица 5. Средние содержания петрогенных (мас. %) и редких (г/т) элементов в базальтах и базанитах из ассоциаций, сходных с Махтеш Рамоном

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	45.40	45.27	44.61	46.29	46.13	43.66	46.61	43.70	45.39	42.96	40.91	37.94
TiO ₂	2.86	3.07	2.58	2.21	2.58	3.12	2.69	2.55	2.25	2.35	2.58	2.36
Al_2O_3	14.63	15.07	13.71	13.66	15.15	14.68	12.66	13.19	14.69	12.04	12.13	11.50
Fe_2O_3	4.36	4.45	12.75	12.83*	12.92*	12.65*	2.56	3.19	3.86	6.03	5.18	6.21
FeO	9.14	8.78					8.24	7.61	8.76	7.17	8.43	7.61
MnO	0.18	0.18	0.19	0.13	0.17	0.18	0.16	0.17	0.19	0.20	0.22	0.24
MgO	8.23	7.75	8.99	9.04	7.03	7.99	7.88	11.05	8.20	12.56	12.67	12.82
CaO	9.83	9.05	9.93	8.87	9.61	9.77	10.50	10.49	10.83	10.53	11.12	13.68
Na ₂ O	3.02	3.30	2.84	2.84	3.30	4.24	3.43	3.98	3.25	2.85	3.50	4.15
K_2O	0.85	1.40	0.95	1.08	1.06	1.30	0.88	1.52	0.79	0.76	0.86	1.12
P_2O_5	0.67	0.77	0.47	0.47	0.61	1.18	0.52	0.68	0.49	0.53	0.81	1.16
ппп	0.99	1.21	2.83	2.02	1.36	1.54	4.02	2.95	1.19	0.76	1.32	0.98
Rb	16.70	23.30	13.10	16.30	12.70	18.40	27.00	51.00	17.30	21.00	20.40	30.00
Sr	824.0	792.0	548.0	493.0	819.00	1236.00	522.0	727.0	752.0	652.0	968.0	1250
Ba	427.0	416.0	538.0	223.0	358.00	518.00	308.0	554.0	484.0	454.0	704.0	892.0
Sc	19.2	19.4	21.5	21.2	20.80	16.60			22.3	24.0	24.0	24.0
V	195.0	194.0	236.0	195.0	205.00	183.00			293.0	315.0	279.0	244.0
Cr	189.0	217.0	325.0	238.0	208.00	169.00	266.0	390.0	426.0	535.0	499.0	450.0
Co	55.0	55.0			45.10	45.50			57.3	66.0	68.4	66.0
Ni	114.0	142.0	229.0	181.0	140.00	149.00	184.0	256.0	180.0	407.0	334.0	261.0
Cu	45.00	49.00		46.30	51.40	36.60			78.30	70.00	53.50	65.00
Zn	115	115		103	109.00	114.00			117	125	122	129
Ga			19.90	19.70	23.00	23.10						
Y	26.30	25.30	26.70	21.40	24.10	26.00	23.00	26.00	20.00	18.00	24.30	28.70
Nb	56.9	60.0	37.9	34.7	37.20	71.90	38.0	71.0	24.0	28.0	38.0	53.7
Ta	3.14	3.25	2.71	2.13	1.89	3.58			1.77	2.42	2.59	2.77
Zr	248.0	247.0	167.0	173.0	188.00	280.00	205.0	312.0	130.0	148.0	155.0	182.0
Hf	5.47	5.39	4.89	3.76	4.08	5.78			2.90	3.10	3.28	3.47
Pb	2.60	3.30	4.53	2.22	2.48	3.20			4.00	4.00	5.53	5.65
U	1.24	1.32	5.95	0.88	0.72	1.46						
Th	3.94	4.16	10.54	2.75	2.56	5.23			2.40	2.90	5.50	8.07
La	36.15	37.67	22.91	23.90	29.60	54.74			26.30	31.20	56.40	82.20
Ce	76.9	79.0	47.4	49.4	62.80	109.00			52.7	59.3	102.1	142.9
Pr	9.18	9.42	5.79	6.02	7.99	12.94			27.00	20.20	40.64	60.20
Nd	38.27	38.05	24.14	24.50	32.58	51.70			27.00	28.30	49.64	60.20
Sm	7.59	7.37	5.42	5.61	6.82	9.78			6.94	6.93	11.05	14.79
Eu	2.54	2.49	1.68	1.96	2.25	3.08			2.24	2.22	3.19	4.10
Gd	7.15	6.73	5.01	5.75	6.91	8.42			0.04	0.07	1.00	1.55
Tb	1.04	0.98	0.70	0.83	0.86	1.15			0.94	0.87	1.26	1.55
Dy	5.40	5.17	3.86	4.27	4.67	5.46						
Но	0.98	0.92	0.71	0.85	0.83	0.97						
Er	2.46	2.30	1.81	2.12	2.11	2.33						
Tm	0.32	0.30	0.23	0.27	0.28	0.30			1.67	1 40	1.70	1.02
Yb	2.00	1.91	1.37	1.68	1.71	1.76			1.67	1.49	1.70	1.82
Lu	0.30	0.29	0.19	0.24	0.24	0.24	1	1	0.27	0.26	0.29	0.26
К-во ан.	3	3	16		85	60	1	1	4	4	13	15

Примечание. 1, 2 – меловая базальт-базанит-трахитовая ассоциация г. Хермон (северный Израиль) [56, 65]: 1 – оливиновый базальт, 2 – базанит; 3, 4 – меловые оливиновые базальты: 3 – центральный Ливан [10], 4 – северо-западная Сирия [40]; 5, 6: кайнозойские (миоцен-голоценовые) оливиновые базальты (5) и базаниты (6) зоны НАЅ (Harrat Ash Shaam) в Израиле [64], Иордании [61], Ливане [11], Сирии [8, 35, 41]; 7, 8: – базальт (7) и базаните (8) меловой базальт-базанит-нефелинит-фонолитовой ассоциации Balcones (Texac, США); [66]; 9–12: – постэрозионная оливин-базальт-базанит-нефелинитовая ассоциация Гавайских островов: 9 – базальт, 10 – базанит, 11 – оливиновый нефелинит, 12 – мелилитовый оливиновый нефелинит.

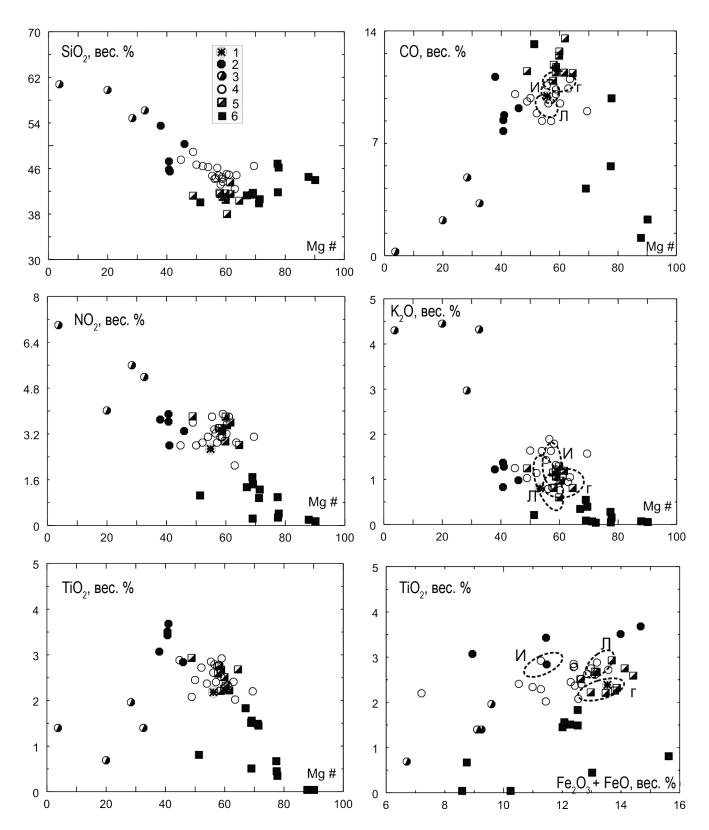


Рис. 4. Диаграммы Мg#-петрогенные оксиды для пород Махтеш Рамона.

1–3 – Precgl группа: 1 – базальты Сахароним, 2–3 – соответственно, габбро (базальт) и сиениты бимодальной серии; 4, 5 – Postcgl группа: 4 – базальты, 5 – базаниты, нефелиниты и мелилитовые нефелиниты; 6 – ксенолиты. Овалами, ограниченными штриховыми линиями, отмечены поля составов мезозойских базальтов Ливана (Л), кайнозойских базальтов севера Израиля (И) и базальтов Гавайских островов (Г), Источники данных приведены в примечании к табл. 5.

Таблица 6. Содержания петрогенных (мас. %) и редких (г/т) элементов в ксенолитах из базанитов Махтеш Рамона

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO ₂	43.97	44.51	41.83	41.58	46.16	39.88	46.83	40.61	41.40	41.72	41.29
TiO ₂	0.04	0.04	0.45	0.51	0.35	1.49	0.67	1.45	1.51	1.56	1.83
Al_2O_3	1.69	1.80	3.57	3.11	3.33	11.33	6.36	11.26	11.95	11.85	11.59
Fe_2O_3	5.39	4.04	5.00	7.26	5.92	8.63	4.35	9.61	8.77	8.17	8.03
FeO	3.2	6.2	11	15.1	7.1	3.9	4.4	2.4	3.5	3.9	4.5
MnO	0.07	0.09	0.12	0.16	0.09	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.16
MgO	41.34	40.07	30.02	27.04	24.47	16.13	16.01	15.48	14.17	14.14	13.39
CaO	2.26	1.11	5.58	4.18	9.80	14.62	17.94	15.35	14.06	14.94	14.49
Na ₂ O	0.15	0.20	0.28	0.24	0.42	0.96	0.99	1.26	1.69	1.44	1.34
K_2O	0.06	0.07	0.05	0.09	0.15	0.07	0.28	0.04	0.50	0.41	0.39
P_2O_5	0.02	0.03	0.04	0.04	0.06	0.15	0.15	0.15	0.23	0.26	0.25
ппп	1.9	1.5	1.8	0.0	1.5	2.9	1.5	2.8	2.1	2.0	2.5
Li	7.62	10.72	4.00	5.40	12.57	8.14	29.77	10.83	12.13	11.05	13.10
Ве	0.09	0.09	0.09	0.20	0.25	0.52	1.68	0.72	0.99	0.84	0.70
Sc	12.87	12.77	18.10	15.09	53.61	43.23	192.5	66.62	52.89	42.91	40.30
V	53.3	54.8	119.5	91.7	186.9	305.3	588.1	454.9	394.3	309.2	315.9
Cr	2248	2312	1811	248	1854	228	3079	317	311	242	410
Co	133.6	153.1	122.5	149.0	141.1	56.3	156.7	73.9	82.5	56.9	55.0
Ni	2411	2625	947	529	1116	193	596	276	337	197	183
Cu	34.42	4.57	8.73	9.37	26.43	27.58	268.6	44.16	89.99	51.13	48.78
Zn	62.00	119.2	99.78	98.91	108.6	94.62	152.4	113.2	124.5	92.82	97.95
Ga	2.35	3.26	7.48	4.56	8.27	20.87	27.98	26.44	26.80	19.98	20.07
Rb	1.72	2.24	0.85	1.26	7.40	2.10	16.68	1.88	14.25	8.78	9.24
Ba	14.02	22.31	9.74	15.15	151.1	20.74	276.1	24.47	146.9	95.56	250.1
Sr	24.6	44.0	33.1	37.2	124.2	97.2	647.1	150.0	242.8	204.4	276.0
Y	1.42	1.86	4.41	4.19	6.96	11.07	27.47	17.43	16.40	12.65	14.16
Zr	3.92	11.77	14.99	18.47	25.32	62.32	125.6	95.97	113.0	84.61	86.20
Hf	0.12	0.26	0.62	0.68	0.79	2.27	3.91	3.60	3.49	2.75	2.80
Nb	0.46	2.88	1.27	3.05	5.35	11.09	30.93	16.75	32.09	20.09	19.51
Ta	0.16	0.24	0.28	0.28	0.47	0.91	2.18	1.38	2.21	1.42	1.46
Pb	0.41	0.40	0.50	0.22	0.43	0.57	2.06	0.98	1.53	1.01	0.92
Th	0.19	0.14	0.16	0.24	0.49	1.05	2.71	1.55	2.78	1.96	1.69
U	0.12	0.05	0.04	0.06	0.15	0.30	0.80	0.45	0.80	0.54	0.48
La	0.94	1.63	1.88	2.20	4.91	7.40	22.65	11.64	18.53	14.55	15.04
Ce	1.70	4.10	4.89	5.40	11.73	17.18	54.23	27.45	37.54	29.99	31.75
Pr	0.17	0.54	0.73	0.77	1.70	2.40	7.63	3.87	4.58	3.75	4.09
Nd	0.70	2.16	3.59	3.72	8.25	11.40	34.88	18.25	20.04	16.25	17.99
Sm	0.21	0.47	1.09	1.08	2.30	3.31	9.44	5.37	5.07	4.06	4.42
Eu	0.06	0.13	0.38	0.37	0.74	1.14	2.73	1.82	1.65	1.36	1.47
Gd	0.25	0.40	1.18	1.19	2.32	3.39	8.65	5.63	5.14	4.00	4.41
Tb	0.04	0.06	0.18	0.17	0.31	0.48	1.15	0.77	0.70	0.57	0.60
Dy	0.28	0.35	1.08	1.01	1.73	2.77	6.55	4.40	4.05	3.20	3.48
Но	0.06	0.08	0.19	0.19	0.32	0.49	1.24	0.80	0.73	0.58	0.63
Er	0.20	0.22	0.51	0.48	0.82	1.24	3.24	1.99	1.89	1.42	1.60
Tm	0.03	0.03	0.06	0.06	0.11	0.15	0.42	0.24	0.23	0.18	0.21
Yb	0.19	0.23	0.42	0.37	0.61	0.84	2.51	1.43	1.35	1.03	1.17
Lu	0.03	0.04	0.05	0.05	0.08	0.12	0.34	0.19	0.18	0.14	0.16

^{1, 2 —} магнезиальные верлиты, бедные клинопироксеном, ВН10 и ВН6; 3—5 — железистые верлиты НР7, НР1, ВН8; 6—11 — оливиновые клинопироксениты, полевошпатсодержащие (анкарамиты) НР4, ВН20, ВН22, ВН21, НР5, НР2 с ксе-

дят около субвулканических тел: непосредствено на границе с вмещающими породами часто развиты аргиллизиты, которые ближе к центральной зоне тел сменяются калишпатизированными, а затем неизмененными породами. Важно отметить, что среди фрагментов эруптивных брекчий

интенсивно калишпатизированные разности габбро, базальтов и базанитов встречаются наряду с неизмененными, что однозначно указывает на их образование до формирования брекчий. Характерной особенностью метасоматоза является сохранность структуры первичных пород.

нолитами верлитов.

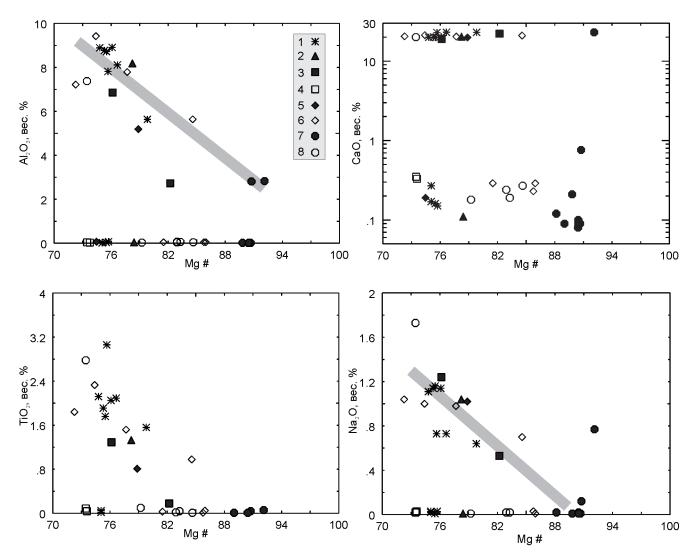


Рис. 5. Диаграммы Mg#—петрогенные оксиды для оливина (точки в нижней части диаграмм и вдоль горизонтальной оси) и клинопироксена из ксенолитов верлитов и вкрапленников во вмещающих базанитах.

1, 2 – железистые верлиты: HP1 (1), BP5 (2); 3, 4 – ксенолит железистого верлита (3) и вкрапленники (4) в базаните BH20, 5, 6 – мелкие ксенолиты верлита (5) и вкрапленники (6) в базаните HP4; 7, 8 – мелкие ксенолиты магнезиального верлита

(7) и вкрапленники (8) в базаните ВН20.

Петро- и геохимия

В целом, базальтоиды Махтеш Рамона принадлежат к недосыщенным кремнеземом щелочным гиперстен- и нефелин-нормативным разностям (рис. 7, 8). К первым относятся базальты Сахароним и часть базальтов бимодальной серии. Нормативный нефелин здесь содержат только лейкогаббро, являющиеся плутоническим петрохимическим аналогом гавайитов. Большая часть Postcgl пород характеризуется наличием нормативного нефелина.

Все базальты, базаниты и нефелиниты Махтеш Рамона отличает натровый профиль щелочности ($Na_2O/K_2O > 1.5$). Precgl базальты и сиениты отличаются (за исключением базальтов Сахароним) более низкой величиной Mg# от всех Postcgl пород

(рис. 4). В первых это значение составляет 35–45, во вторых – 50–60. Ксенолиты, как отмечено выше, имеют более высокое значение Mg#.

Содержание СаО обнаруживает ясную отрицательную корреляцию с величиной Mg#. Наиболее высокое содержание СаО отмечается в Postcgl породах, при этом оно падает от нефелинитов и базанитов к базальтам. Эта зависимость обусловлена массовой кристаллизацией кальцита на последних стадиях формирования нефелинсодержащих пород, карбонатитовой тенденцией поздних стадий дифференциации. Содержания P_2O_5 растут в ходе эволюции магматизма. Наиболее низкие содержания характерны для Precgl базальтов Сахароним (0.3%) и базитов бимодальной ассоциации (0.43%), наиболее высокие (>0.6%) – для Postcgl серии, при-

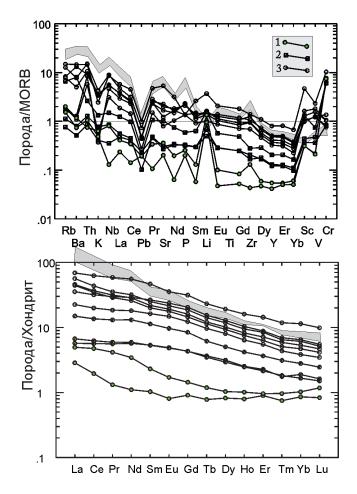


Рис. 6. Распределение редких элементов в ксенолитах из пород Махтеш Рамона.

1 — магнезиальные верлиты ВН10, НР1; 2 — железистые верлиты НР7, НР1, ВН8; 3 — оливиновые полевошпат-содержащие клинопироксениты (анкарамиты) НР4, ВН20, ВН22, ВН21, НР5, НР2. Серое поле — область составов базанитов.

чем от ранних базальтов к завершающим мелилитовым нефелинитам содержание в ней P_2O_5 возрастает почти вдвое.

Содержание TiO_2 в базальтах и нефелинитах находится в пределах $2.0{\text -}3.0\%$. Вместе с тем, наиболее низкие значения характерны для базальтов Сахароним, а наиболее высокие (до 4.2%) — для базальтов бимодальной ассоциации. В ксенолитах отмечается отрицательная корреляция TiO_2 , а также CaO, cMg#.

Петрохимическими аналогами базальтов Сахароним в северных районах Израиля являются породы Asher Volcanics, позднетриасовые по [14] или раннеюрские по [53], хотя по набору пород, представленных базальтами и трахитами [21], они ближе, на наш взгляд, к бимодальной серии Махтеш Рамона. Хорошо коррелируется с последней меловая базанит-гавайит-муджиерит-трахитовая часть

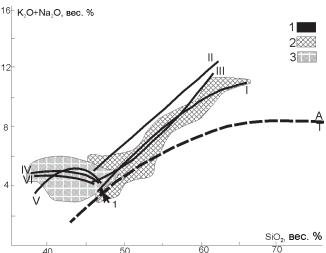


Рис. 7. Диаграмма SiO_2 –(Na₂O + K₂O).

1-3 - поля составов магматических пород Махтеш Рамона [13, 14, 18; 26, 33, 50, 51, 63; данные авторов]: 1, 2 - Precgl базальты Сахароним(1) и бимодальной габбро (базальт) - сиенитовой ассоциации; 3 - Postcgl базальт-базанит-нефелинитовая ассоциация. Эволюционные линии: І – бимодальная ассоциация Махтеш Рамона; II – раннемеловая базальт-базанит-сиенитовая ассоциация г. Хермон (северный Израиль); III - постщитовая бимодальная ассоциация Гавайских островов; IV - базальт-базанит-нефелинитовая ассоциация Махтеш Рамона; V – базальт-базанит-нефелинитовая (без фонолитов) часть ассоциации Балконес (Техас, США); VI – постэрозионная базальт-базанит-нефелинитовая ассоциация Гавайских островов. Штриховая линия разграничивает поля нормальной (Т) и повышенной щелочности (А).

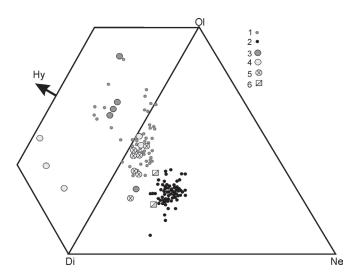


Рис. 8. Диаграмма оливин—диопсид—нефелин для магматитов Махтеш Рамона.

1, 2 — базальты (1), базаниты и нефелиниты (2) по авторам (ссылки см. подпись к рис. 7); 3—6: авторские данные — 3 — Precgl базальты, 4, 5 — Postcgl базальты с количеством оливина <10% (4) и >10% (5), 6 — базаниты, нефелиниты, мелилитовые нефелиниты.

вулканического разреза северо-восточного фланга г. Хермон на севере Израиля [56, 65], предшествующая образованию Hatira Fm. Отличие заключается в широком развитии базанитов, отсутствующих в Precgl породах Махтеш Рамона Обе сравниваемых ассоциации относят к выделенной в районе Шомрон (центральный Израиль) формации Тауазіг Volcanics [45]. Севернее, в Ливане, эти вулканиты представлены только щелочными оливиновыми базальтами [10, 38], а в Сирии – подобными же базальтами и анкарамитами [7, 8, 40].

Postcgl базальт-базанит-нефелинитовая серия не имеет среди меловых образований полных вещественных аналогов в Израиле и соседних регионах. Нефелиниты, анальцимиты и мелилитовые нефелиниты описаны пока только в Махтеш Рамоне. Из близких по возрасту и составу к базальтам и базанитам этой группы можно указать на поздние дайки и некки г. Хермон, обычно содержащие нормативный и модальный нефелин [56], базальты Тимны на юге Израиля и г. Кармель на севере [55].

Между тем, породы, подобные базальтам и базанитам Махтеш Рамона, широко распространены также и в миоцен-голоценовой части разреза кайнозоя Леванта, как в Израиле [64], так и смежных районах Иордании [61], Ливана [10, 11] и Сирии [7, 8, 35, 39, 41], сопровождая главный тектонический линеамент региона — Трансформ Мертвого моря. В этих разрезах они иногда содержат небольшие тела трахитов.

По основным геохимическим параметрам главные магматические породы Махтеш Рамона - базальты и базаниты – близки друг другу, мезозойским аналогам севера Израиля, Ливана, Сирии и миоценчетвертичным магматитам этой территории (рис. 9, 10). Из их общих геохимических особенностей отметим положительные аномалии фосфора и циркония, отрицательные - свинца. Более поздние и эволюционно "продвинутые" Precgl сиениты и Postcgl базаниты и нефелиниты обогащены, по сравнению с базальтами, большинством редких элементов, в первую очередь, литофильными и легкими редкоземельными элементами. Общая конфигурация трендов с предшествующими базальтами сохраняется (рис. 11). В базальтах и сиенитах ясно выражено обеднение хромом. Вместе с тем, как в сиенитах, так и в нефелинитах наблюдаются положительные аномалии циркония и отрицательные – лития и свинца. Эти общие геохимические особенности не оставляют сомнений в генетическом родстве рассматриваемых пород с предшествующими им базальтами.

Особо следует подчеркнуть общие черты геохимии магматических пород Postcgl ассоциации и развитых по ним метасоматитов, что отражает автометасоматическую природу процесса. Исключение составляет калий, содержание которого в метасоматитах заметно выше, и именно калиевая щелочность определяет химию процесса. Следует, однако, заметить, что накопление калия при кристаллизации Postcgl пород ясно проявлено в составах остаточных стекол их матрикса и в составе расплавных включений в оливине [9].

В то же время, необходимо отметить, что при ярко выраженном геохимическом сходстве Pre- и Postcgl базальтов, по ряду параметров, связанных с геохимической эволюцией, они заметно различаются (рис. 12, 13). Более молодые из них, в частности, характеризуются более высоким La/Sm и Ce/ Yb отношением.

Магматиты Махтеш Рамона располагаются вдоль мантийного тренда NMORB–EMORB–OIB (рис. 13). При этом все их фигуративные точки смещены в область фертильных составов, в том числе и мантийные ксенолиты. Так, породы Precgl группы концентрируются вблизи среднего базальта OIB, а Postcgl смещены в область еще более обогащенных составов. Базиты Махтеш Рамона сильно отличаются от орогенных габбро и базальтов Уральского подвижного пояса.

Исследователи магматизма Леванта обращали внимание на сходство развитых в нем пород с базальтами океанических островов, указывая в качестве примеров о-ва Св. Елены в Атлантике [38, 64] и Красного моря [41], Benue Trough в Нигерии и Boina Centre в Эфиопии [11]. По нашим данным, тренды петрохимической эволюции бимодальной ассоциации Махтеш Рамона и меловых базальтов севера Израиля. Ливана и Сирии наиболее близки трендам постщитовой бимодальной оливинбазальт-трахитовой (с гавайитами, муджиеритами и бенмореитами) и постэрозионной оливинбазальт-базанит- нефелинитовой серий Гавайских островов [17, 30, 48]. Континентальным аналогом Post-cgl ассоциации является базальт-базанитнефелинитовая составная часть серии Балконес [1, 28, 58, 66], локализованная в тектонической зоне Уачита (штат Техас, США, северная окраина Мексиканского залива).

По своим петрохимическим параметрам базальты, в первую очередь содержащие менее 10% модального оливина, принадлежат двупироксенплагиоклазовой котектике при 5-6 кбар общего давления (рис. 14). Такие условия магмообразования типичны для внутриплитных океанических и континентальных базальтов рифтогенного типа и резко отличны от разного рода орогенных обстановок, которым отвечают, в частности, базиты Урала. Все рифтогенные базальты отвечают по составу низкобарическим котектикам, и это означает, что исходные для них расплавы имеют более основной, чем базальты, состав, соответствующий более глубинным условиям зарождения. Котектический состав базальтового расплава отвечает малоглубинным условиям его отделения от исходного, что давно предполагали некоторые исследователи [3]. При давлении 6-7 кбар, как отмечалось выше, уравновешены и минеральные парагенезисы пород, о чем

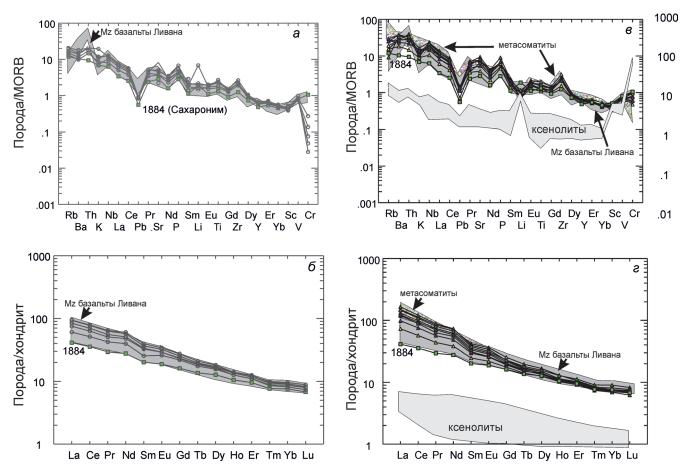


Рис. 9. Распределение редких и редкоземельных элементов в базальтах Precgl (a, δ) и Postcgl (e, ϵ) серий. Данные в табл. 1, 2.

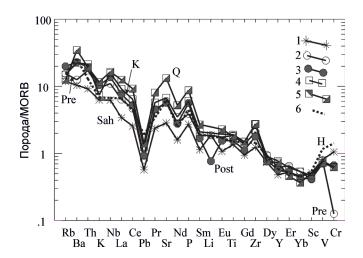


Рис. 10. Распределение редких элементов (средние содержания по данным табл. 4, 5) в базальтах Махтеш Рамона, других районов Ближнего Востока, а также Гавайских островов.

1–3 — Махтеш Рамон: 1 — Precgl базальты Сахароним, 2 — Precgl бимодальная серия, 3 — Postcgl базальт-базанитнефелинитовая серия; 4, 5 — меловые (4) и кайнозойские (5) базальты севера Израиля, Иордании, Ливана и Сирии; 6 — базальты Гавайских островов (ссылки на источники см. подпись к табл. 5).

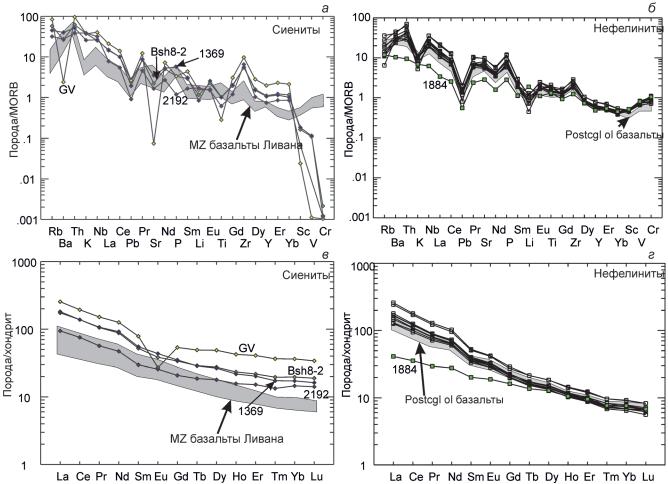


Рис. 11. Распределение редких и редкоземельных элементов в Precgl сиенитах (a, δ) и Postcgl нефелинитах и базанитах (a, c).

Данные в табл. 1, 3.

свидетельствует равновесие плагиоклаз—роговая обманка в ксенолите BH20 и термобарометрические исследования включений в ксенолитах [62, 63].

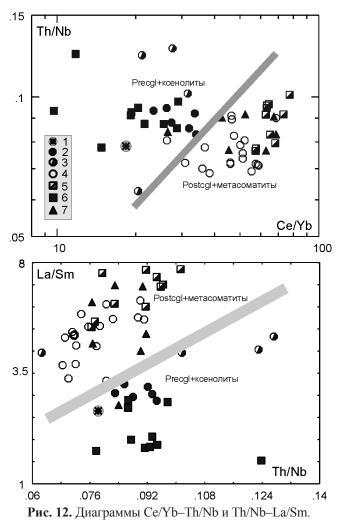
Заключение

Магматические породы Махтеш Рамона принадлежат к щелочным образованиям с ясным натровым профилем. Они отвечают геодинамическому типу внутриплитных континентальных базальтов, точнее базальтам континентальных рифтов. Из известных, наиболее близких по геологопетрографическим признакам континентальных аналогов Postcgl серии района укажем на позднемеловую серию Балконес на юге США [58], в которой, кроме базальтов, нефелинитов и мелилитовых нефелинитов, развиты отсутствующие в Махтеш Рамоне фонолиты. Особо следует отметить сходство пород района с базальтами и нефелинитами океанических островов, в частности, гавайского типа.

По-видимому, это сходство обусловлено участием в магматическом источнике базальтоидов

метасоматизированной мантии [40, 41] при глубине выплавления около 100 км [35]. Представителем такой метасоматизированной мантии могут быть ксенолиты железистых верлитов и пироксенитов, содержащих оливин Fo₇₅ (см. табл. 6, анализы 3-5; рис. 4, 5), тогда как лерцолиты и магнезиальные верлиты с Мg# = 90, по-видимому, являются фрагментами первичной мантии. Что же касается глубины обособления базанитовых и базальтовых расплавов, то она значительно меньше глубины области плавления в мантии. Базальты Махтеш Рамона соответствуют низкобарической пироксен-плагиоклазовой котектике при давлении 5-6 кбар (рис. 14), что позволяет предположить формирование щелочно-оливин-базальтового расплава в результате оливин-клинопироксен фракционирования более основного, чем базаниты расплава, близкого по составу к анкарамиту. Последний, возможно, и выплавляется на модельных глубинах в 100 км и более.

Для оценки геодинамического режима мелового магматизма Израиля и соседних Ливана и Сирии



1-6 – то же, что на рис. 4; 7 – метасоматиты. Серая линия разделяет составы пород Precgl и Postcgl серий.

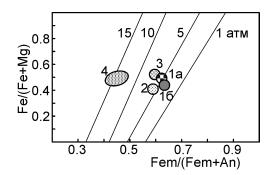


Рис. 14. Диаграмма Fem/(Fem + An)—Fe/(Fe + Mg) для базальтов Махтеш Рамона.

Сплошные линии — котектики системы An–Cpx–Opx для пироксенов с Fe/(Fe + Mg)-отношением равным 0.4 при давлении, обозначенном цифрами (кбар) около линий (источники первичных данных и описание методики построения диаграммы см.[4]). Овалом и кружками показаны области составов базальтов с содержанием оливина меньше 10% (1а) и больше 10% (1б), а также средние составы океанических (2) континентальных (3) базальтов [2] и габбро-норитов Уральского платиноносного пояса (4).

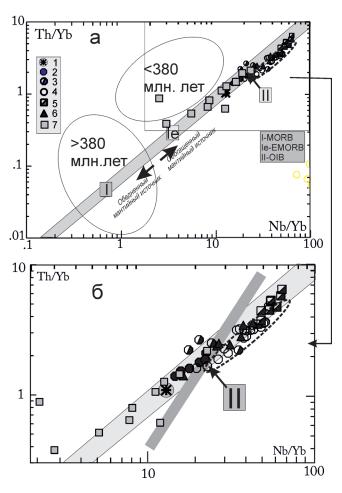


Рис. 13. Диаграмма Nb/Yb-Th/Yb [46].

1-6 - то же, что на рис. 4, 7 - метасоматиты. Серое поле - мантийный тренд океанических базальтов NMORB-EMORB-OIB, средние составы которых обозначены прямоугольниками. Овалами ограничены области составов габбро Уральского эпиокеанического орогена древнее и моложе 380 млн. лет [6]. Жирная серая линия на диаграмме "б" разделяет составы пород Precgl и Postcgl серий.

следует учитывать, что в мезозое это была пассивная континентальная окраина Средиземноморского бассейна. Здесь установлены рифтогенные троги [43] с большой мошностью осадочного разреза, к которым и приурочен мезозойский магматизм, производный обогащенного HIMU OIB источника [38]. Появление базальтов с геохимическими параметрами океанических островных разностей в необычной для них континентальной обстановке может быть связано с рифтогенезом, вызываемым общим для районов их распространения утонением земной коры [23], мощность которой в Израиле составляет 13-15 км, сокращаясь на юге, в районе Эйлатского залива, до 10 км [32], в Ливане – до 12 км [11]. Для сравнения укажем, что в провинции Балконес, где развит магматизм, сходный с Postcgl серией Махтеш Рамона, мощность коры составляет 10–17 км [52]. Подъем Мохо сопровождается метасоматическими преобразованиями мантийного вещества, что и отражают продукты магматической деятельности.

Авторы признательны аспиранту Университета Бен Гуриона (Беер-Шева, Израиль) Б. Елише за помощь в оформлении статьи. Наша благодарность рецензенту, чьи замечания способствовали улучшению статьи

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН 12-П-5-1024 и РФФИ (проекты 08-05-00018-а и 12-05-000109-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Бородин Л.С.* Петрохимия магматических серий. М.: Наука, 1987. 261 с.
- 2. *Лутц Б.Г.* Геохимия океанического и континентального магматизма. М.: Недра, 1980. 246 с.
- 3. Рябчиков И.Д., Богатиков О.А., Пилоян Г.О., Бабанский А.Д. Первичные магмы серии океанических толеитов // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1980. № 8. С. 5.
- 4. *Ферштатер Г.Б.* Петрология главных интрузивных ассоциаций. М.: Наука, 1987. 232 с.
- Ферштатер Г.Б. Эмпирический плагиоклазроговообманковый барометр // Геохимия. 1990. № 3. С. 328.
- Ферштатер Г.Б. Палеозойский интрузивный магматизм Среднего и Южного Урала. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013. 368 с.
- 7. Шарков Е.В., Снайдер Г.А., Тейлор Л.А., Лазько Е.Е., Джерде Э., Хана С. Геохимические особенности астеносферы под Аравийской плитой по данным изучения мантийных ксенолитов четвертичного вулкана Телль-Данун, Сирийско-Иорданское плато, Южная Сирия // Геохимия. 1996. № 9. С. 819–835.
- 8. Шарков Е.В., Чернышев И.В., Девяткин Е.В., Додонов А.Е., Иваненко В.В., Карпенко М.И., Леонов Ю.Г., Новиков В.М., Ханна С., Кхатиб К. Геохронология позднекайнозойских базальтов западной Сирии // Петрология. 1994. Т. 2, № 4. С. 439–448.
- 9. *Шарыгин В.В.* Включения расплава в оливине из базанита Махтеш Рамона, Южный Израиль. Геохимия магматических пород. М.: ГЕОХИ РАН, 2002.
- 10. Abdel-Rahman M. Abdel-Fattah Mesosoic volcanism in the Middle East: geochemical, isotopic and petrogenetic evolution of extension-related alkali basalt from central Lebanon // Geol. Mag. 2002. V. 139 (b). P. 621–640.
- 11. *Abdel-Rahman M. Abdel-Fattah, Nassar P.* Cenozoic volcanism in the Middle East: petrogenesis of alkali basalts from Northern Lebanon // Geol. Mag. 2004. V. 141, № 5. P. 545–563.
- Antje D., Schmincke H. Polybaric differentiation of alkali basaltic magmas: evidence from green-core clinopyroxenes (Eifel, FRG) // Contrib. to Mineral., Petrol. 1985. V. 91, Iss. 4. P. 340–353.
- 13. Baer G., Frishlander U., Goldman M. The Red Valley An Early Cretaceous caldera in eastern Makhtesh Ramon // Isr. J. Earth Sci. 1989. V. 38. P. 163–171.

- 14. Baer G., Heimann A., Eshet Y., Weinberger R., Musset A., Sherwood G. The Saharonim Basalt: A Late Triassic—Early Jurassic intrusion in south-eastern Makhtesh Ramon // Isr. J. Earth Sci. 1995. V. 44. P. 1–10.
- 15. Bentor Y. On the magmatic occurrences in Wadi Raman// Isr. Explor. Soc. Bull. 1951. V. 16 (1-2). P. 3–16.
- Bentor Y. Magmatic intrusion and lava sheets in the Raman area of the Negev (Southern Israel) // Geol. Mag. 1952. V. 89, № 2. P. 129–140.
- 17. Best M., Christiansen E. Igneous Petrology. 2001. 448 p.
- 18. *Bonen D.* The Mesozoic basalts of Israel. Ph.D. scient. thesis. Jerusalem: Hebrey Univ., 1980. 59 p.
- Bonen D., Perlman I., Yelin J. The evolution of trace element concentrations in basic rocks from Israel and their petrogenesis // Contrib. Mineral. Petrol. 1980. V. 72. P. 397–414.
- 20. *Bonen D.*, *Shafranek D.* The "Green Core" phenomena and its relevance to the crystallization trend of pyroxene in the alkaline basalt of Makhtesh Ramon // Isr. Geol. Soc. 1987. Ann. meet. P. 21–23.
- 21. *Dvorkin A., Kohn B.* The Asher Volcanics, Northern Israel: petrography, mineralogy and alteration // Isr. J. Earth Sci. 1989. V. 38. P. 105–123.
- 22. *Eyal M., Becker A., Samoylov V.* Mt. Arod An Early Cretaceous basanitic volcano with a fossil lava lake // Isr. J. Earth Sci. 1996. V. 45. P. 31–38.
- 23. Fitton G. The OIB-like paradox. // Geol. Soc. Am. Spec. Papers. 2007. V. 430. P. 387–412.
- 24. Garfunkel Z. Tectonic setting of phanerozoic magmatism in Israel // Isr. J. Sci. 1989. V. 38. P. 51–74.
- 25. *Garfunkel Z., Derin B.* Reevaluation of Latest Jurassic Early Cretaceous History of the Negev and role of magmatic activity // Isr. J. Earth Sci. 1988. V. 37. P. 43–52.
- 26. *Garfunkel Z., Katz A.* New magmatic features in Makhtesh Ramon, Southern Israel // Geol. Mag. 1967. V. 104, № 6. P. 608–629.
- 27. Goldbery R. Palaeosols of the Lower Jurassic Mishor and Ardon formations (laterite derivative facies), Makhtesh Ramon, Israel // Sediment. Geol. 1982. V. 29 (5). P. 669–690.
- 28. *Griffin W., Stern R., Leuborn M.* Episode Late Cretaceous volcanism in the Balcones igneous province, Texas // Geol. Soc. Amer. Abstr. Program. 2009. V. 141. P. 14.
- 29. Gvirtzman Z., Bartov Y., Garfunkel Z., Rotstein Y. Mesozoic magmatism in central Negev (Southern Israel): implications from magnetic anomalies // Isr. J. Earth Sci. 1994. V. 43. P. 21–38.
- 30. *Hess P.* Origin of Igneous rocks. Cambridge, 1989. 336 p.
- 31. *Hirsh F.* Phanerozoic history of Israel // J. African Earth Sci. 1990. V. 11. P. 177–196.
- 32. *Hofstetter A., Feldman L., Rotstein Y.* Crustal structure of Israel: constrains from teleseismic and gravity data // Geophys. J. Int. 1991. V. 104. P. 371–379.
- 33. *Itamar A., Steinitz G.* Potassium-Argon ages of polymetallic mineralization Gevanim Valley, Makhtesh Ramon, Israel // Isr. Geol. Soc. 1987. Ann. meet. P. 66.
- 34. *Khesin B., Feinstein S.* Phanerozoic rock magnetization in southern and Central Israel // Isr. J. Earth Sci. 2005. V. 54. P. 97–111.
- 35. Krienitz M., Haase K., Mezger K., Shaik-Mashail M. Magma genesis and mantle dynamics at the Harrat Ash Shaam volcanic field (Southern Syria) // J. Petrol. 2007. V. 48. P. 1513–1542.

- 36. Lang B., Hebeda E., Priem H., Steinitz G., Verdumen E. K-Ar and Rb-Sr Ages of Early Cretaceous Magmatic Rocks from Makhtesh Ramon, Southern Israel // Isr. Earth Sci. 1988. V. 37. P. 65–72.
- 37. *Lang B., Steinitz G.* K-Ar dating of Mesozoic magmatic rocks in Israel: A review // Isr. J. Earth Sci. 1989. V. 38. P. 89–103.
- 38. *Laws E., Wilson M.* Tectonics and magmatism associated with Mesozoic passive continental margin development in the Middle East // J. Geol. Soc. 1997. V. 154. P. 459–464.
- 39. *Lustrino M., Sharkov E.* Neogenic volcanic activity of Western Syria and its relationship with Arabian plate kinematics // J. Geodinamics. 2006. V. 42. P. 115–139.
- 40. *Ma G., Malpas J., Xenophontos C., Chan G.* Petrogenesis of Latest Miocene-Quaternary Continental Intraplate volcanism along the Northern Dead Sea Fault System (Al-Ghab–Homs Volcanic Field), Western Syria: Evidence for Lithosphere-Astenosphere Interaction // J. Petrol. 2011. V. 52, № 2. P. 401–430.
- 41. *Ma G., Malpas J., Xenophontos C., Suzuki K., Lo C.-H.* Early Cretaceous volcanism of the Coastal Range, NW Syria: magma genesis and regional dynamics // Lithos. 2011. V. 126. P. 290–306.
- 42. *Macdonald G., Katsura T.* Chemical Composition of Hawaiian Lavas // J. Petrol. 1964. V. 5, № 1. P. 82–133.
- 43. *May P.* The Eastern Mediterranian Mezosoic Basin: Evolution and Oil // Habitat. 1991. V. 7. P. 1215–1232.
- 44. *Mazor E.A.* Low Cretaceous volcano in Makhtesh Ramon (Southern Israel) // Isr. Res. Counc. Bull. 1961. 10 G. P. 207–215.
- Mimran Y. The Tayasir volcanics // Isr. Geol. Surv. Bull. 1972. V. 52. P. 9.
- 46. *Pearce J.A.* Geochemical fingerprinting of oceanic basalts applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust // Lithos. 2008. V. 100. P. 14–48.
- 47. Recanatti P., Steinitz G., Platzner I., Starinsky A. Early Cretaceous igneous activity in the Northern Negev: Evidence from K-Ar dating of subsurface cores // Isr. J. Earth Sci. 1989. V. 38. P. 155–162.
- 48. Regelous M., Hofmann A., Abouchami W., Galer S. Geochemistry of Lavas from the Emperor Seamounts and the Geochemical Evolution of Hawaiian Magmatism from 85 to 42 Ma // J. Petrol. 2003. V. 44, № 1. P. 113–140.
- Ron H., Baer G. Paleomagnetism of Early Cretaceous Rocks from Southern Israel // Isr. J. Earth Sci. 1988. V. 37. P. 73–81.
- Rophe B., Eyal Y., Eyal M. The Ramon Laccolith A composite magmatic body // Isr. J. Earth Sci. 1989.
 V. 38. P. 143–154.
- 51. Samoilov V., Vapnik Y. Fractional melting the determining factor in the origin of the tephrite-basanite-nephelinite rock suite: evidence from Western Makhtesh Ramon, Israel // N. Jb. Miner. Abh. 2007. V. 184 (2). P. 181–195.
- Satsukawa T., Michibauashi K., Raye U., Anthony E., Pulliam J., Stern R. Uppermost mantle anisotropy beneath the southern Laurentian margin: Evidence from Knippa xenoliths, Texas // Geophys. Res. Lett. 2010. V. 37, L 20312, 5 p.

- 53. Segev A. Phanerozoic Magmatic Activity Associated with Vertical Motions in Israel and Adjacent Countries // Geological Framework of the Levant. 2005. V. II. Chapt. 21. P. 553–577.
- 54. Segev A., Goldshmidt V., Itamar A., Rybakov M. Effect of Mesozoic magmatism on composition, structure, and metallic mineralization in the Ramon area (Southern Israel): Magnetometric and gravimetric evidence // Isr. J. Earth Sci. 1996. V. 45. P. 89–112.
- 55. Segev A., Weissbrod T., Lang B. Ar/Ar dating of the Aptian-Albian igneous rocks in Makhtesh Ramon (Negev, Israel) and its stratigraphic implications // Cretaceous Research. 2005. V. 26. P. 633–656.
- 56. *Shimron A., Lang B.* Cretaceous magmatism along the southern flank of Maunt Hermon // Isr. J. Earth Sci. 1989. V. 38. P. 125–142.
- 57. Sneh A., Bartov Y., Rosensaft M., Avni Y., Baer G., Becker A., Soudry D., Zilbervan E. Geological map of Israel, 1:100 000. Sheets 21, 22: Mizpe Ramon and En Yahav // Geol. Surv. Isr. 1997.
- 58. Spenser A. Alkalic Igneous Rocks of the Balcones Province, Texas // J. Petrol. 1969. V. 10, № 2. P. 272–306.
- 59. Starinsky A., Bielsky M., Bonen D., Steinitz G. Rb-Sr Whole Rock Age of the Syenite Intrusions (Shen Ramon and Gavnunim) in the Ramon Area, Southern Israel // Isr. J. Earth Sci. 1980. V. 29. P. 177–181.
- 60. *Steinitz G., Lang B.* The state of isotopic dating in central and Northern Negev // Isr. Geol. Soc. 1987. Ann. meet. P. 128–129.
- 61. Tarawneh H., Ilani S., Rabba I., Harlavan Y., Peltz S., Ibrahim H., Weinberger R., Steinitz G. Dating of the Harrat Ash Shaam Basalts Northeast Jordan. Jordan Israel, 2000. Report GSI (2). 59 p.
- Vapnik Y. Melt and fluid inclusions and mineral thermobarometry of mantle xenolths in Makhtesh Ramon, Israel // Isr. J. Earth Sci. 2005. V. 54. P. 15–28.
- 63. Vapnik Y., Sharygin V., Samoilov V., Yudalevich Z. The petrogenesis of basic and ultrabasic alkaline rocks of Western Makhtesh Ramon, Israel: melt and fluid inclusion study // Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsh.). 2007. V. 96. P. 663–684.
- 64. Weinstein Y., Navon O., Altherr R., Stein M. The Role of Lithosphere Mantle Heterogeneity in the Generation of Plio-Pleistocene Alkali Basaltic Suites from NW Harrat Ash Shaam (Israel). // J. Petrol. 2006. V. 47, № 5. P. 1017–1050.
- 65. Wilson M., Shimron A., Rosenbaum J., Preston J. Early Cretaceous magmatism of Mount Hermon, Northern Israel // Contrib. Mineral. Petrol. 2000. V. 139. P. 54–67.
- 66. Wittke J., Mack L. OIB-like mantle source for continental alkaline rocks of the Balcones Province, Texas: trace elements and isotopic evidence // J. Geology. 1993. V. 101, № 3. P. 333–344.
- 67. *Zak I*. The structure of the Ramon arch and the Ramon line, Southern Israel // Isr. Geol. Soc. 1987. Ann. meet. P. 145–147.
- 68. Zilberfarb A., Itamar A., Halicz L., Baer G. On the quartz syenitic province in Makhtesh Ramon and Har-Arif // Isr. Geol. Soc. 1985. Ann. meet. P. 108–109.

Рецензент Е.В. Шарков

Magmatism of Makhtesh-Ramon: Geology, geochemistry, petrogenesis (Conservation area Har Ha-Negev, Israel)

Z. A. Yudalevich*, G. B. Fershtater**, M. Eyal*

*Ben Gurion University, Israel
**Institute of Geology and Geochemistry Urals Branch of RAS

The Early Cretaceous magmatic rocks of Makhtesh Ramon depression (the Negev desert, Israel) are represented mainly by alkaline olivine basites. They form two rocks series divided by Arod fm. conglomerates. The Pre-Arod rock series is represented by Sakharonim basalts and by bimodal gabbro (basalt)-syenite association and the PostArod series – by olivine basalt-basanite-nephelinite association. The rocks form lava flows, dykes, sills and necks. They correspond to a geodynamic type of interplate rift continental basalt. According to their petrological and geochemical properties they are close to the postshield series of Hawaiian Islands, while basalt-basanite-nephelinite series correspoond to posterosion rocks of these islands. Besides Post Arod cgl association is very close to the continental basalt-basanite-nephelinite part of the Balkones series in USA. The magma source of Makhtesh Ramon rocks is expected to be the metasomatized mantle represented by xenoliths of ferruginous wehrlites in the basanites.

Key words: Israil, alkaline olivine basalt, basanite, nephelinite, geodynamis.