

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРА СВЯЗИ МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ПОРОД И ИХ ЭДУКТОВ ПО КИСЛОТНО-ОСНОВНЫМ СВОЙСТВАМ

Г. П. Дворник

Evaluation of the nature of connection of metasomatic rocks and their educts by their acid-base properties

G. P. Dvornik

The author developed the systematics of metasomatic rocks according to acid-base properties, expressed by the magnitude of the general basicity. There are four distinguished groups of metasomatites: highly basic (carbonatites, magnesian and calcareous endoskarns and exoskarns, rodingites, calcite and dolomite-ankerite metasomatites), basic (serpentinities, fenites, gumbaïtes, microclinites, talcites, microcline-sericite, carbonate-talc and magnesite metasomatites), medium-basic (albitites, listvenites, eisites, propylites, biotite-orthoclase metasomatites), low-basic (berезites, muscovite-quartz greisens, argillizites, secondary quartzites, hematite-magnetite quartzites, jasperoids, quartz-sericite, chlorite-sericite-quartz, diaspore-pyrophyllite and quartz-pyrophyllite metasomatites). The author established signs of difference by the nature of the bond with the educt between metasomatites over aluminosilicate and carbonate rocks. Metasomatic rocks formed along the aluminosilicate substrate (magnesian and calcareous endoskarns, fenites, biotite-orthoclase and microcline-sericite metasomatites, albitites, serpentinities, gumbaïtes, eisites, greisens, berезites, argillizites) have a characteristically significant positive correlation by basicity value with the rocks of the educt. The revealed differences are due to the peculiarities of the composition of substituted aluminosilicate and carbonate rocks and the hydrothermal solutions affecting them. The author established a significant positive correlation between the basicity of alkaline metasomatites (albitic, kalispatic, feldspathoid), metasomatites of the acid leaching stage (muscovite-quartz greisens, secondary quartzites, berезites, argillizites) from the inner zones of experimental metasomatic columns and the composition of initial solutions expressed by pH. In addition, the basicity of magnesian and calcareous skarns weakly correlates with the pH of hydrothermal solutions.

Keywords: metasomatic processes; basicity of metasomatites and educts; correlation dependencies.

Разработана систематика метасоматических пород по кислотно-основным свойствам, выраженным величиной общей основности. Выделены четыре группы метасоматитов: высокоосновные (карбонатиты, магнезиальные и известковые эндоскарны и экзоскарны, родингиты, кальцитовые и доломит-анкеритовые метасоматиты), основные (серпентиниты, фениты, гумбеиты, микроклиниты, талькиты, микроклин-серицитовые, карбонатно-тальковые и магнезитовые метасоматиты), среднеосновные (альбититы, листвениты, эйситы, пропициты, биотит-ортоклазовые метасоматиты), низкоосновные (березиты, мусковит-кварцевые грейзены, аргиллизиты, вторичные кварциты, гематит-магнетитовые кварциты, джаспероиды, кварц-серицитовые, хлорит-серицит-кварцевые, диаспор-пирофилитовые и кварц-пирофилитовые метасоматиты). Установлены признаки отличия по характеру связи с эдуктом между метасоматитами по алюмосиликатному и карбонатному породам. Метасоматические породы, сформировавшиеся по алюмосиликатному субстрату (магнезиальные и известковые эндоскарны, фениты, биотит-ортоклазовые и микроклин-серицитовые метасоматиты, альбититы, серпентиниты, гумбеиты, эйситы, грейзены, березиты, аргиллизиты), характеризуются значимой положительной корреляционной связью по величине основности с породами эдукта. А апокарбонатные метасоматиты (экзоскарны, кальцитовые, магнезитовые, доломит-анкеритовые метасоматиты, джаспероиды) слабо коррелируются по основности с исходными породами. Выявленные различия определяются особенностями состава замещающих алюмосиликатных и карбонатных пород и воздействующих на них гидротермальных растворов. Установлена значимая положительная корреляционная связь между основностью щелочных метасоматитов (альбитовых, калишпатовых, фельдшпатоидных), метасоматитов стадии кислотного выщелачивания (мусковит-кварцевых грейзенов, вторичных кварцитов, березитов, аргиллизитов) из внутренних зон экспериментальных метасоматических колонок и составом исходных растворов, выраженным величиной pH. А основность магнезиальных и известковых скарнов слабо коррелируется с pH гидротермальных растворов.

Ключевые слова: метасоматические процессы; основность метасоматитов и эдуктов; корреляционные зависимости.

Одной из важных проблем петрогенезиса и рудообразования является выяснение характера зависимости состава метасоматитов от состава замещаемых пород и воздействующих на них гидротермальных растворов. Фактическим материалом для решения поставленной задачи послужили данные 1908 химических анализов исходных пород и метасоматитов внутренних зон природных метасоматических колонок и результаты изучения состава метасоматитов внутренних зон 99 экспериментальных метасоматических колонок [1, 2]. Для характеристики кислотно-основных свойств метасоматических пород и их эдуктов использовался метод протонного эквивалента, по которому рассчитывались показатели основности пород. Мерой оценки кислотно-щелочных свойств горных пород в этом методе служило химическое средство входящих в их со-

став катионов к протону [3], определяемое величиной свободной энергии (ΔZ°_T) реакции катионов с водой, равной относительно химическому потенциалу протона ($\mu_{H^+}^{H_2O}$). Метод протонного эквивалента использовался для систематики по кислотно-основным свойствам магматических, метаморфических и осадочных пород [4, 5]. Этот метод применим и для изучения эволюции процессов метасоматизма. В рядах метасоматических пород согласно [6] характер понижения основности отражает интенсивность процессов кислотного выщелачивания, а ее возрастание связывается с развитием основного (щелочного) метасоматоза. В предложенной автором систематике метасоматических пород [7, 8] при сравнении их средних составов (таблица) по кислотно-основным свойствам, выраженным величиной общей основности ΔZ , они подразделяются на четыре группы: высокоосновные (I), основные (II), среднеосновные (III) и низкоосновные (IV) (рис. 1).

В группу высокоосновных метасоматитов ($\Delta Z > 20$ кДж) входят карбонатиты, апокарбонатные кальцитовые и доломит-анкеритовые метасоматиты, магнезиальные и известковые скарны и родингиты, сформировавшиеся в раннюю щелочную стадию в условиях проявления субщелочного кальциевого и железомagneзиального метасоматоза. Метасоматиты первой группы характеризуются низкими содержаниями глинозема, кремнезема, оксида калия (таблица), преобладанием в их минеральном составе карбонатов (кальцита, доломита, анкерита) или пироксенов и гранатов.

Группы основных ($\Delta Z = 13-20$ кДж) и среднеосновных ($\Delta Z = 6-13$ кДж) метасоматитов включают образования ранней щелочной стадии, возникшие в обстановках щелочного (фениты, биотит-ортоклазовые метасоматиты, гумбеиты, микроклиниты, альбититы, эйситы) или субщелочного метасоматоза (пропициты, магнезитовые и сидероплезитовые метасоматиты) и продукты стадии кислотного выщелачивания (серпентиниты, листвениты, карбонат-тальковые и микроклин-серицитовые метасоматиты).

Фениты формируются в контактовых зонах калиевых и калинатриевых щелочных массивов [2, 8]. В калиевых щелочных комплексах они представлены преимущественно пироксен-полевошпатовыми метасоматитами, характеризуются отношением $K_2O/Na_2O > 1$, развитием щелочных пироксенов (эгирина, эгирин-авгита, эгирин-диопсида). А в контактовых зонах калинатриевых щелочных массивов фениты нефелин-пироксен-по-

Средний химический состав (масс.%) метасоматических пород по [7, 8].

Компоненты	1(22)	2(16)	3(28)	4(28)	5(24)	6(24)	7(27)	8(37)	9(26)	10(29)	11(20)	12(20)	13(10)
SiO ₂	6,82	5,90	1,76	4,49	45,19	43,44	40,12	40,63	39,77	36,51	56,60	32,62	34,70
TiO ₂	0,34	1,28	0,02	0,04	0,24	0,24	0,19	0,50	0,53	0,05	0,89	0,05	0,39
Al ₂ O ₃	1,52	1,38	0,30	0,76	7,68	11,59	6,87	11,47	14,44	1,11	15,17	0,51	8,91
Fe ₂ O ₃	2,23	4,43	0,22	4,47	2,28	3,28	7,66	8,54	3,31	5,08	4,54	0,69	1,91
FeO	2,96	4,21	0,10	0,10	0,88	2,31	3,76	4,06	5,49	3,47	2,59	0,70	1,01
MnO	0,39	1,25	0,06	1,54	0,68	0,14	1,94	0,55	0,13	0,13	0,11	0,50	0,06
MgO	2,18	13,91	1,60	17,87	19,45	16,18	4,70	3,23	9,64	40,85	2,05	20,90	9,63
CaO	45,47	31,09	52,45	27,87	18,92	16,79	28,66	27,56	22,27	0,46	3,85	20,07	14,35
Na ₂ O	0,62	0,39	0,07	0,09	0,23	0,87	0,42	0,38	0,79	0,19	3,66	0,14	0,21
K ₂ O	0,65	0,40	0,10	0,32	0,07	2,39	0,10	0,32	0,02	0,07	9,33	0,22	6,80
P ₂ O ₅	2,20	1,65	0,03	0,02	0,05	0,02	0,10	0,09	0,07	0,02	0,20	0,02	0,15
H ₂ O	0,76	0,49	0,43	0,77	2,14	2,14	0,37	0,87	3,63	11,94	0,94	2,21	0,60
CO ₂	33,59	33,91	42,51	41,14	1,74	0,65	4,06	0,34	0,10	0,35	0,41	21,67	21,27
Сумма	99,73	98,62	99,65	99,48	99,55	100,04	98,95	98,54	100,19	100,23	100,34	100,30	99,99

Компоненты	14(31)	15(25)	16(20)	17(34)	18(20)	19(29)	20(20)	21(20)	22(27)	23(20)	24(29)	25(24)	26(25)
SiO ₂	1,84	59,82	54,43	55,76	59,39	34,52	57,22	65,31	65,16	60,49	29,93	37,51	53,76
TiO ₂	0,02	0,35	0,19	0,44	0,22	0,02	0,12	0,32	0,27	0,44	0,04	0,95	0,60
Al ₂ O ₃	0,83	18,71	27,14	21,02	0,41	0,76	2,12	16,45	18,38	13,43	1,32	13,97	13,70
Fe ₂ O ₃	0,63	2,09	1,58	2,66	0,49	2,25	2,79	1,70	1,28	3,14	1,28	1,70	1,38
FeO	1,17	0,90	0,31	1,60	0,13	3,98	3,30	0,96	1,05	1,01	4,73	6,40	2,64
MnO	0,05	0,08	0,02	0,13	0,02	0,11	0,07	0,04	0,05	0,05	0,16	0,20	0,12
MgO	44,21	0,45	0,24	0,68	31,54	32,33	28,19	0,82	0,80	1,36	25,62	5,89	3,23
CaO	1,64	0,74	0,28	1,93	1,62	1,56	0,99	1,10	1,34	3,67	3,68	10,17	6,62
Na ₂ O	0,08	1,23	0,44	2,97	0,27	0,06	0,18	1,87	8,99	1,07	0,05	0,98	6,62
K ₂ O	0,07	13,71	12,60	10,19	0,27	0,06	0,14	9,44	0,88	8,91	0,31	3,15	0,73
P ₂ O ₅	0,03	0,07	0,05	0,11	0,10	0,14	0,03	0,12	0,17	0,24	0,02	0,16	0,18
H ₂ O	0,07	1,00	2,20	2,08	4,72	3,51	4,60	1,02	0,35	0,62	1,02	2,09	0,48
CO ₂	48,97	0,50	0,14	0,95	2,14	20,23	0,67	0,53	0,32	4,29	31,02	16,60	9,31
Сумма	99,61	99,65	99,62	100,52	101,05	99,53	100,42	99,68	99,07	98,72	99,18	99,77	99,37

Компоненты	27(20)	28(22)	29(20)	30(23)	31(22)	32(37)	33(20)	34(27)	35(27)	36(23)	37(17)	38(35)	39(15)
SiO ₂	58,17	3,84	65,40	69,29	41,06	75,54	71,21	67,67	74,56	52,03	70,31	90,90	80,80
TiO ₂	0,63	0,03	0,50	0,44	1,19	0,21	0,42	0,49	0,38	0,23	0,62	0,05	0,08
Al ₂ O ₃	16,77	1,54	14,34	14,58	46,99	12,96	12,16	15,72	15,25	1,41	20,54	1,17	3,92
Fe ₂ O ₃	3,44	1,96	1,94	1,74	0,14	1,42	2,94	1,14	1,53	29,60	3,35	0,77	1,91
FeO	2,98	39,57	1,82	1,48	0,21	1,74	1,68	1,67	0,45	12,51	0,39	0,87	2,87
MnO	0,11	1,22	0,15	0,03	0,03	0,08	0,04	0,05	0,07	0,40	0,03	0,04	0,15
MgO	2,79	12,49	1,28	1,07	0,07	0,66	3,33	1,04	0,63	1,56	0,08	1,03	1,41
CaO	4,37	1,51	2,64	1,22	0,13	0,68	1,16	1,49	0,34	0,90	0,22	2,15	3,20
Na ₂ O	2,87	0,01	0,89	1,34	0,21	0,62	0,42	1,18	0,45	0,19	0,19	0,11	0,42
K ₂ O	3,06	0,01	4,52	4,42	0,44	3,58	2,44	3,98	2,20	0,10	0,09	0,33	2,23
P ₂ O ₅	0,09	0,01	0,13	0,11	0,07	0,08	0,08	0,08	0,06	0,35	0,08	0,05	0,07
H ₂ O	2,76	–	2,09	2,33	8,93	1,45	2,98	4,41	3,82	0,38	4,21	0,52	0,60
CO ₂	0,33	37,58	3,52	0,87	–	0,16	0,21	2,34	–	0,15	–	2,09	2,60
Сумма	98,37	99,77	99,22	98,92	99,47	99,18	99,07	101,26	99,74	99,81	100,11	100,09	100,26

Примечание. Здесь и на рис. 1: 1–9 – высокоосновные метасоматиты (1–2 – кальцитовые и доломит-анкеритовые карбонатиты, 3–4 – кальцитовые и доломит-анкеритовые апокарбонатные метасоматиты, 5–6 – магнизиальные экзокскарны и эндоскарны, 7–8 – известковые экзокскарны и эндоскарны, 9 – родингиты по основным породам); 10–19 – основные метасоматиты (10 – серпентиниты, 11 – фениты, 12–13 – аподолмитовые карбонатно-тальковые метасоматиты и гумбеиты, 14 – магнизитовые метасоматиты, 15 – микроклиниты, 16–17 – микроклин-серицитовые метасоматиты по щелочным сиенитам и псевдолейцитовым порфирам, 18 – аподолмитовые талькиты, 19 – апосерпентинитовые магнизит-тальковые метасоматиты); 20–28 – среднеосновные метасоматиты (20 – апосерпентинитовые талькиты, 21 – биотит-ортотлазовые метасоматиты, 22 – альбититы, 23 – гумбеиты по алюмосиликатным породам, 24–25 – листовиты по ультраосновным и основным породам, 26 – эйситы, 27 – пропициты, 28 – сидероплезитовые метасоматиты); 29–39 – низкоосновные метасоматиты (29 – березиты, 30 – кварц-серицитовые метасоматиты, 31 – диаспор-пиррофиллитовые метасоматиты, 32 – мусковит-кварцевые грейзены, 33 – хлорит-серицит-кварцевые метасоматиты, 34 – аргиллизиты, 35 – вторичные кварциты, 36 – гематит-магнетитовые кварциты, 37 – кварц-пиррофиллитовые метасоматиты, 38–39 – джаспероиды по карбонатным и алюмосиликатным породам). В скобках приведено количество анализов пород.

левошпатового состава выделяются более низким отношением K₂O/Na₂O < 1, образованием пироксенов диопсид-геденбергитового ряда и нефелина за счет высокого содержания в эдуктах натрия. Широко распространенные в калиевых щелочных массивах микроклин-серицитовые метасоматиты резко отличаются по среднему химическому составу от других типов метасоматических пород более высокими содержаниями глинозема (за исключением диаспор-пиррофиллитовых метасоматитов)

и оксида калия (таблица), преобладанием в минеральном составе высококалиевых алюмосиликатов.

Группа низкоосновных метасоматитов (ΔZ < 6 кДж) охватывает гидротермально измененные породы (березиты, грейзены, аргиллизиты, кварциты, джаспероиды, хлорит-серицит-кварцевые метасоматиты), образовавшиеся в кислотную стадию. Состав метасоматических пород четвертой группы характеризуется высоким средним содержанием кремнезема, повышенной

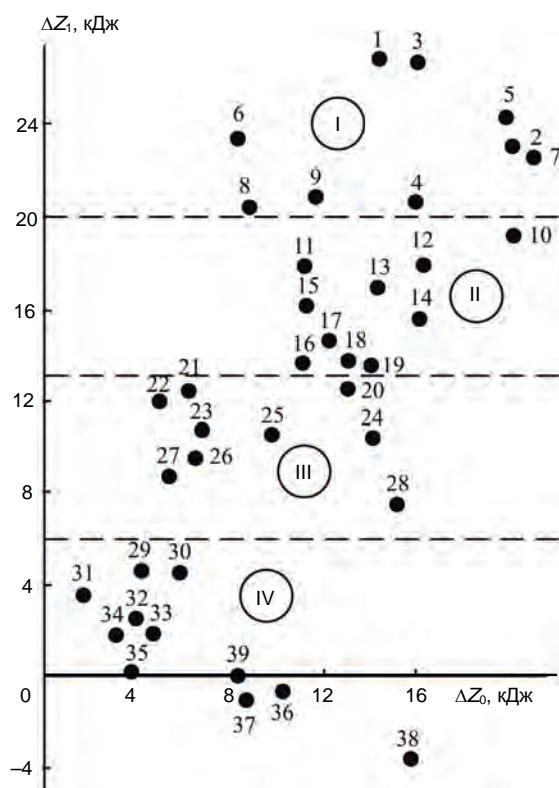


Рисунок 1. Диаграмма зависимости между основностью метасоматических пород ΔZ и их эдуктов ΔZ_0 .

концентрацией воды (таблица), широким развитием серицита и кварца. Крайними членами в этой группе метасоматитов являются березиты, распространенные на многих золото-сульфидно-кварцевых месторождениях [9, 10], и джаспероиды, формирующие метасоматические залежи на золоторудных, полиметаллических и ртутно-сурьмяных месторождениях [11–13].

Проведенный автором сравнительный анализ метасоматитов внутренних зон природных метасоматических колонок и исходных пород по кислотно-основным свойствам позволил выявить существенные различия по характеру корреляционных связей с эдуктом между метасоматитами по алюмосиликатным и карбонатным породам [7, 8].

Большинство метасоматических пород, сформировавшихся по алюмосиликатному субстрату (фениты, биотит-ортоклазовые и микроклин-серицитовые метасоматиты, альбититы, серпентиниты, пропициты, гумбеиты, эйситы, грейзены, березиты, аргиллиты), характеризуются значимой положительной корреляционной связью по величине основности с породами эдукта (рис. 2).

Магнезиальные и известковые эндоскарны также конкурданты по величине основности с исходными алюмосиликатными породами в отличие от экзоскарнов, состав которых слабо зависит от состава исходных карбонатных пород. Кальцитовые, доломит-анкеритовые, магнезитовые метасоматиты и джаспероиды также выделяются слабой корреляционной связью по величине основности с породами карбонатного субстрата.

Установленные различия обусловлены как особенностями состава замещаемых пород, так и спецификой воздействовавших на них гидротермальных растворов, во многом определяющей соотношением в них воды и углекислого газа. Согласно экспериментальным данным [2, 14], вода и углекислый газ совершенно по-разному ведут себя в постмагматических гидротермальных системах. Если повышение активности воды в них способствует развитию процессов кислотного выщелачивания, то возрастание концентрации углекислого газа во флюидной фазе, наоборот,

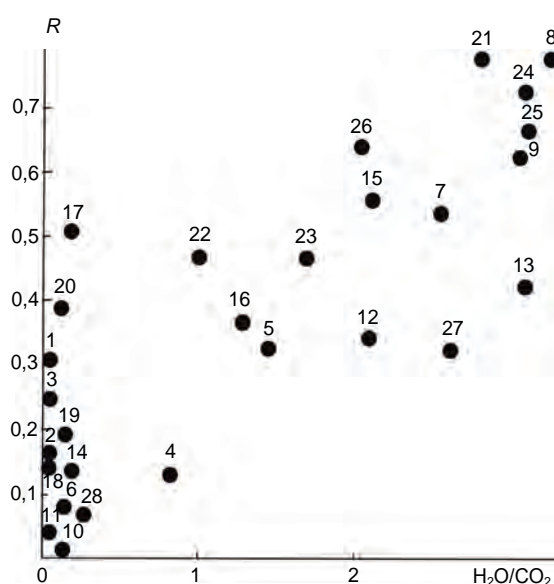


Рисунок 2. Диаграмма зависимости между коэффициентом корреляции R метасоматических пород и их эдуктов по величине основности ΔZ и отношением содержаний H_2O и CO_2 в средних составах метасоматитов. 1–7 – высокоосновные метасоматиты: 1 – кальцитовые карбонатиты ($n = 30$); 2–3 – кальцитовые ($n = 28$) и доломит-анкеритовые ($n = 28$) апокарбонатные метасоматиты; 4–5 – магнезиальные экзоскарны ($n = 29$) и эндоскарны ($n = 36$); 6–7 – известковые экзоскарны ($n = 32$) и эндоскарны ($n = 50$); 8–14 – основные метасоматиты: 8 – серпентиниты ($n = 34$), 9 – фениты ($n = 35$), 10 – аподоломитовые карбонатно-талковые метасоматиты ($n = 20$), 11 – магнезитовые метасоматиты ($n = 32$), 12 – микроклиниты ($n = 25$), 13 – микроклин-серицитовые метасоматиты по щелочным сиенитам ($n = 32$), 14 – апосерпентинитовые магнезит-талковые метасоматиты ($n = 31$); 15–21 – среднеосновные метасоматиты: 15 – биотит-ортоклазовые метасоматиты ($n = 31$), 16 – альбититы ($n = 30$), 17 – гумбеиты по алюмосиликатным породам ($n = 31$), 18–19 – листвениты по ультраосновным ($n = 31$) и основным ($n = 38$) породам, 20 – эйситы ($n = 34$), 21 – пропициты ($n = 36$); 22–28 – низкоосновные метасоматиты: 22 – березиты ($n = 34$), 23 – кварц-серицитовые метасоматиты ($n = 34$), 24 – мусковит-кварцевые грейзены ($n = 40$), 25 – хлорит-серицит-кварцевые метасоматиты ($n = 34$), 26 – аргиллиты ($n = 37$), 27 – гематит-магнетитовые кварциты ($n = 28$), 28 – джаспероиды по карбонатным породам ($n = 35$); n – количество анализов пород.

затормаживает интенсивность их проявления. Косвенным подтверждением этого является наличие прямой корреляционной зависимости ($R = 0,75$ при $n = 28$) между теснотой связи метасоматических пород и их эдуктов по величине основности и отношением содержаний H_2O/CO_2 в средних составах метасоматитов (рис. 2).

Многочисленные геологические данные, а также результаты экспериментальных исследований [2, 6, 14] свидетельствуют о фазовой неоднородности постмагматических гидротермальных систем, в которых при понижении температуры ниже критической (300–400 °C) флюиды распадаются на две несмешивающиеся жидкости – полярную (вода с растворенными в ней щелочными металлами) и неполярную (водород и кислотные компоненты – HCl , HF , CO_2), что приводит к смене кислотного режима минералообразования на щелочной режим, возникновению дополнительной солевой фазы и последующему рудоотложению. Это подтверждает теорию метасоматических процессов [15], разработанную Д. С. Коржинским, выделившим в их эволюции раннюю щелочную, кислотную и позднюю щелочную стадии.

По результатам обобщения данных о составе внутренних зон экспериментальных метасоматических колонок [1, 2] автором были также установлены значимые положительные корреляционные зависимости между составом исходных растворов, выраженным величиной pH, составом щелочных метасоматитов (альбитовых, калишпатовых, фельдшпатоидных) и метасоматитов стадии кислотного выщелачивания (мусковит-кварцевых

грейзенов, вторичных кварцитов, березитов, аргиллизитов) по величине основности ($R = 0,47; 0,63$ при $n = 22, 24$) [8]. А в колонках, характеризовавших процесс скарнообразования, рН исходных растворов слабо коррелируется с основностью магниезильных и известковых скарнов ($R = 0,24; -0,16$ при $n = 30, 23$).

ЛИТЕРАТУРА

1. Зарайский Г. П. Зональность и условия образования метасоматических пород. М.: Наука, 1982. 324 с.
2. Метасоматизм и метасоматические породы / под ред. В. А. Жарикова и В. Л. Руסיнова. М.: Научный Мир, 1998. 492 с.
3. Маракушев А. А. Метод термодинамического расчета показателей основности горных пород и минералов // Бюл. МОИП, отд. геол. 1976, Т. 51, № 1. С. 5–25.
4. Маракушев А. А. Петрохимическая систематика изверженных и метаморфических горных пород // Изв. вузов. Сер. Геология и разведка. 1973. № 8. С. 3–16.
5. Кислотно-основные свойства химических элементов, минералов, горных пород и природных растворов. М.: Наука, 1982. 212 с.
6. Маракушев А. А. Петрогенезис и рудообразование (геохимические аспекты). М.: Наука, 1979. 264 с.
7. Дворник Г. П. Систематика метасоматических пород по кислотно-основным свойствам // Геология метаморфических комплексов: Межвуз. науч.-тема. сб. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 1998. С. 83–94.
8. Дворник Г. П. Метасоматизм и золотое оруденение калиевых щелочных массивов (на примере Центрально-Алданской щелочной провинции). Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. 329 с.
9. Грязнов О. Н. Рудоносные метасоматические формации складчатых поясов. М.: Недра, 1992. 256 с.
10. Сазонов В. Н. Березит-лиственитовая формация и сопутствующее ей оруденение. Свердловск: УрО АН СССР, 1984. 208 с.
11. Дворник Г. П. Золоторудные метасоматические формации Центрально-Алданского района // Литосфера. 2012. № 2. С. 90–105.
12. Угрюмов А. Н. Джаспероидные месторождения золота (геология, условия размещения и формирования): дис. ... д-ра геол.-минерал. наук: 25.00.11. Екатеринбург: УГИ, 1993. 620 с.
13. Федорчук В. П. Околорудные изменения ртутно-сурьмяных месторождений. М.: Недра, 1969. 264 с.
14. Коржинский М. А. Общие закономерности химического поведения солевых и кислотных компонентов в сложном хлоридно-углекисловодном флюиде при повышенных Т-Р параметрах // Экспериментальные проблемы геологии. М.: Наука, 1994. С. 607–623.
15. Коржинский Д. С. Теория метасоматической зональности. М.: Наука, 1982. 104 с.

REFERENCES

1. Zarayskiy G. P. 1982, *Zonal'nost' i usloviya obrazovaniya metasomaticheskikh porod* [Zonality and formation conditions of metasomatic rocks], Moscow, 324 p.

2. Zharkov V. A., Rusinov V. L. 1998, *Metasomatizm i metasomaticheskie porod* [Metasomatism and metasomatic rocks], Moscow, 492 p.
3. Marakushev A. A. 1976, *Metod termodinamicheskogo rascheta pokazateley osnovnosti gornykh porod i mineralov* [The method of thermodynamic calculation of the basicity of rocks and minerals]. *Byul. MOIP, отд. геол.* [Bull. Soc. Imp. Nat. Mosc. Geological Department], vol. 51, no. 1, pp. 5–25.
4. Marakushev A. A. 1973, *Petrokhimicheskaya sistematika izverzhennykh i metamorficheskikh gornykh porod* [Petrochemical systematics of igneous and metamorphic rocks]. *Izv. vuzov. Ser. Geologiya i razvedka* [Proceedings of Higher Schools. Geology and Exploration], no. 8, pp. 3–16.
5. 1982, *Kislотно-osnovnye svoystva khimicheskikh elementov, mineralov, gornykh porod i prirodnykh rastvorov* [Acid-base properties of chemical elements, minerals, rocks and natural solutions], Moscow, 212 p.
6. Marakushev A. A. 1979, *Petrogenезis i rudoobrazovanie (geokhimicheskie aspekty)* [Petrogenesis and ore formation (geochemical aspects)], Moscow, 264 p.
7. Dvornik G. P. 1998, *Sistematika metasomaticheskikh porod po kislотно-osnovnym svoystvam* [Systematics of metasomatic rocks according to acid-base properties]. *Geologiya metamorficheskikh kompleksov: Mezhevuz. nauch.-temat. sb.* [Geology of metamorphic complexes: Interuniversity scientific-thematic collection], Ekaterinburg, pp. 83–94.
8. Dvornik G. P. 2014, *Metasomatizm i zolotoe orudnenie kalievyykh shchelochnykh massivov (na primere Tsentral'no-Aldanskoy shchelochnoy provintsi)* [Metasomatism and gold mineralization of potassium alkaline masses (on the example of the Central-Aldan alkaline province)], Ekaterinburg, 329 p.
9. Gryaznov O. N. 1992, *Rudonosnye metasomaticheskie formatsii skladchatykh poyasov* [Ore-bearing metasomatic formations of folded belts], Moscow, 256 p.
10. Sazonov V. N. 1984, *Berezit-listvenitovaya formatsiya i soputstvuyushchee ey orudnenie* [Berezite-Listvenite formation and its accompanying mineralization], Sverdlovsk, 208 p.
11. Dvornik G. P. 2012, *Zolotorudnye metasomaticheskie formatsii Tsentral'no-Aldanskogo rayona* [Gold ore metasomatic formations of the Central Aldan region]. *Litosfera* [Litosfera], no. 2, pp. 90–105.
12. Ugryumov A. N. 1993, *Dzhasperoidnye mestorozhdeniya zolota (geologiya, usloviya razmeshcheniya i formirovaniya): dis. ... d-ra геол.-минерал. наук: 25.00.11* [Jasperoid gold deposits (geology, conditions of location and formation): dissertation of Doctor of geological-mineralogical sciences: 25.00.11], Ekaterinburg, 620 p.
13. Fedorchuk V. P. 1969, *Okolorudnye izmeneniya rtutno-sur'myanykh mestorozhdeniy* [Near ore changes in mercury-antimony deposits], Moscow, 264 p.
14. Korzhinskiy M. A. 1994, *Obshchie zakonornosti khimicheskogo povedeniya solevykh i kislотnykh komponentov v slozhnom khlорidno-uglekislovodnom flyuide pri povyshennykh T-R parametrah* [General regularities of the chemical behavior of salt and acid components in a complex chloride-carbon dioxide fluid at elevated T-P parameters]. *Eksperimental'nye problemy geologii* [Experimental problems of geology], Moscow, pp. 607–623.
15. Korzhinskiy D. S. 1982, *Teoriya metasomaticheskoy zonal'nosti* [The theory of metasomatic zoning], Moscow, 104 p.

Геннадий Петрович Дворник,
 gpdvornik@yandex.ru
 Институт геологии и геохимии УрО РАН
 им. А. Н. Заварицкого
 Россия, Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, 15

Gennadiy Petrovich Dvornik,
 gpdvornik@yandex.ru
 Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch
 of the Russian Academy of Sciences
 Ekaterinburg, Russia