



Генетични класификации в метасоматичната петрология — обзор

Милко Каназирски

Геологически институт при БАН, 1113 София; E-mail: milko@geology.bas.bg

M. Kanazirski, 2006. *Genetic classifications in the metasomatic petrology: a review.* — *Rev. Bulg. Geol. Soc.*, 67, 1–3, 123–142.

Abstract. The theoretical basement, range and potential of the most advanced and widely used genetic classifications of wall-rock alterations (Creasy, 1959 — Fig. 1; Meyer, Hemley, 1967 — Fig. 2; Corbett, Leach, 1998 — Fig. 3) are analyzed. These classifications take into consideration the connection between the chemical composition and mineral associations, stable under given physico-chemical conditions obtained during the metasomatic processes. Types of alterations and some supplements to the classifications of the wall-rock alterations (Hayba et al., 1985; Heald et al., 1987; Pirajno, 1992 — Table 1; Kanazirski, 1992, 2003) are also discussed. The problems concerning application of the wall-rock alteration classifications are emphasized. They result from the usage of categories belonging to pure mineralogical classifications, but not to mineral parageneses based classifications of alteration types.

The classification embracing the whole range of genetic types of metasomatic rocks and best reflecting the present day knowledge on the problems of metasomatism is proposed by Жариков, Омеляненко (1978). This classification is a synthesis of the achievements of the physico-chemical petrology and gives the most comprehensive genetic information on the hydrothermal alteration processes. The classification is based on the physico-chemical analysis of the mineral parageneses (Коржинский, 1973) and on the theory of metasomatic zonation (Коржинский, 1953, 1969). The metasomatic facies is the accepted fundamental element of the classification (Table 2). The metasomatic facies, generated under different conditions, are combined in groups of facieses depending on the initial rock composition, temperature and activities of the perfectly mobile components. The whole spectrum of metasomatic facies is metasomatic formation. According to relation between the metasomatic alterations and ore mineralizations, the last are divided into 3 types: a) contemporaneous, b) accompanied and conjugated and c) overprinted. The problems with the usage of this classification in our country are also outlined.

The comparison of the results coming from the analyses of the theoretical basements and range of the formation-facial classification of the metasomatic rocks (Жариков, Омеляненко, 1978) and that of the wall-rock alterations (Meyer, Hemley, 1967) shows the significant advantages of the first.

Some other formation-facial classifications of metasomatic rocks as these of Жариков et al. (1992) and Омеляненко (*Метасоматизъм и...*, 1998), having into account the chemical changes during metasomatic processes, are also commented. Special attention is given to the physico-chemical systematization of the major metasomatic formations (Русинов In: *Метасоматизъм и...*, 1998 — Fig. 4). It takes into consideration the two major factors of the metasomatic mineral formation — temperature and alkalinity-acidity of the environment and lies at the base of the proposed by the Subcommittee on the Systematics of Metamorphic Rocks (SCMR) systematics for metasomatic rocks (Zharikov et al., 2003).

We were nicely surprised by the realized necessity, by SCMR, of working out a uniform and generally accepted systematics of metasomatic rocks. It is a problem we have been working on since 1994 with a will for using the achievements of the genetic classifications of wall-rock alterations and the formation-facial classification of metasomatic rocks and for finding common features between them. Genetically analogous altered rock can be identified in the two classifications and a common geological language can be gained when the classifications are applied and the genetic information they give is used. We have always thought that a decision taken by a competent international scientific team involving eminent researchers in the field of metasomatic petrology is strongly necessary. The formation-facial approach is chosen in the proposed by the SCMR systematics of the metasomatic rocks (Zharikov et al., 2003 — Fig. 5). The term “metasomatic formation” is replaced by the more suitable and easily acceptable equivalent term “metasomatic family” meaning combination of related facies, developed under different physico-chemical conditions resulting from the change of one (or more) of the physical-chemical parameters of the system rock—solution/fluid. We are very pleased to conclude that the SCMR has adopted the major achievements of the physical-chemical petrology school of Korzhinskii that is leading in the field of metasomatic processes: about the mechanism, types of metasomatism, classification of the processes and the theory of the metasomatic zonation. The finally accepted recommendations of the SCMR are still in preparation but it is expected to be published in 2007.

Key words: metasomatic petrology, genetic classifications, wall-rock alteration, metasomatic rocks.

Класификации на околорудните изменения на скалите

Общоприета класификация на хидротермалните изменения на скалите няма. Това се дължи на сложността и многообразието на метасоматичните процеси и на техните продукти. Съществуват три главни подхода за класифициране на измененията на скалите: минераложки, химичен и генетичен.

Минераложките класификации извеждат наименованието на процеса на изменение по името на главната новообразувана минерална фаза. В работите на Lindgren (1933) и Schwartz (1939) са изведени: силицификация, серицитизация, алунификация, хлоритизация, карбонатизация, фелдшпатизация, каолинизация, аргилизация (образуване на глинести минерали) и др. Schwartz (1955) подчертава значението на хидротермалните изменения на скалите за търсене на руди и отделя следните типове: серицитизация, хлоритизация, алунификация, карбонатизация, аргилизация, силицификация, фелдшпатизация, биотитизация, турмалинизация и пропилитизация. Пропилитизацията е характеризирана като сложно хидротермално изменение, което включва няколко новообразувани минерални фази — хлорит, епидот, цоизит, карбонат, сулфиди и някои други минерали.

Другият подход за разделяне на метасоматичните процеси се базира на характера на химичните преобразувания, главно по състава на привнесения химически компонент. Escola (1939), цитиран по Жариков и Омеляненко (1965), отделя пет главни типа метасоматоза: 1) алкална, 2) калциева, 3) железно-магнезиево-силикатна, 4) с привнос на Si, Sn, B, Li, F, Cl, S и 5) под действие на CO_2 .

Доколкото характерна особеност на метасоматичните процеси е едновременното протичане на разнообразни минераложки и химични изменения в различните зони на околорудно изменените скали в находищата, минераложките и химичните класификации не могат да се приемат като подходящи за класификация на измененията. Много от химичните изменения са свързани с едновременен привнос на компоненти, характерни за различни типове метасоматоза.

Минераложките и химичните систематики са формални систематики. Те не отразяват естествената последователност на процесите с характерната за тях смяна на устойчивите минерални асоциации във времето и пространството. Поради недостатъчната обвързаност на измененията на вместващите скали с рудните минерализации, тези класификации нямат прогнозен характер.

С най-големи предимства са генетичните класификации на околорудните изменения на скалите (Creasey, 1959; Meyer, Hemley, 1967; Corbett, Leach, 1998). Те отчитат връзката между химичния състав и минералните новообразувания, устойчиви

при дадени физикохимични условия на метасоматичното минералообразуване и са източник на генетична информация за измененията.

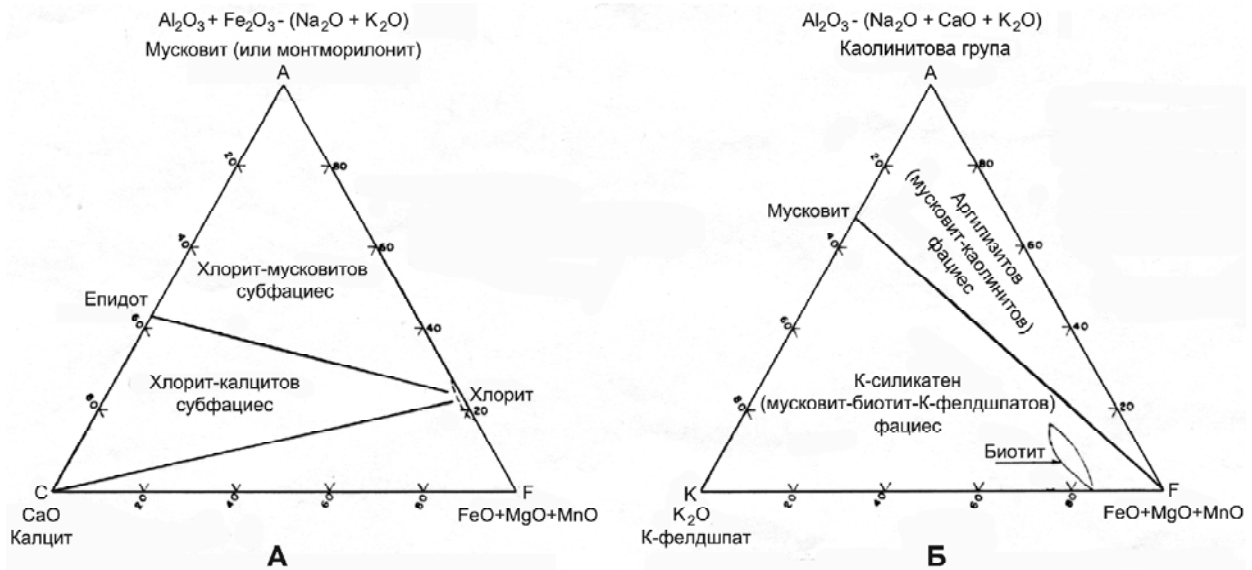
Класификация на Creasey (1959) на хидротермалните изменения на скалите в меднопорфирни находища

По аналогия с метаморфните фацеси с отчитане на процесите на промяна на минералите и химизма на скалите при метасоматизма Creasey (1959) отделя три метасоматични фацеси на основата на изследване на измененията в меднопорфирни находища в САЩ. Хидротермалните изменения на скалите в тези находища могат да бъдат показани на познатите от метаморфната петрология АСF и АКF диаграми на фацесите (фиг. 1А и Б).

Диаграмите АСF са приложими за пропилитовия тип изменение (пропилитовия фацес). Критичните компоненти са Al_2O_3 , CaO и ($\text{FeO} + \text{MgO} + \text{MnO}$), представени за удобство със съкращения, респективно А, С и F. Критични компоненти са тези, които участват в състава на две или повече минерални фази (при постоянна температура и налягане) и които водят до различни варианти в минералния състав на метасоматичния фацес. Тъй като при аргилизитовия и К-силикатния тип изменение CaO не участва в състава на някоя от стабилните минерални фази, критичните компоненти при тези изменения са Al_2O_3 , K_2O и ($\text{FeO} + \text{MgO} + \text{MnO}$), представени съответно от А, К и F. Диаграмите АКF отчитат повишената роля на К при метасоматозата и показват доминиращи равновесни асоциации с калийсъдържащи минерали, характеризирани основни типове изменения на скалите.

В изменените зони на меднопорфирните находища SiO_2 е в излишък (кварцът винаги е представен) и затова той може да бъде изключен от критичните компоненти. Водата също може да бъде изключена, защото при хидротермални условия тя винаги присъства. Специфичните минерални равновесни асоциации за отделените фацеси са следните: 1) за пропилитовия фацес — мусковит (серицит), епидот, хлорит, 2) за К-силикатния фацес — мусковит, биотит и К-фелдшпат и 3) за аргилизитовия фацес — минерали от каолинитовата група и серицит.

Creasey разглежда свеждането на хидротермалните изменения в меднопорфирните находища до три фацеси като опростяване в известна степен на сложните природни системи. Изтъква се, че стабилността на фазите при значителни смени на температурата и налягането е само отчасти позната. Наличието на метастабилни реликтови фази в изменените скали също затруднява ползването на диаграмите. Въпреки това, той заключава, че диаграмите позволяват да се разбере по-добре фундаменталното значе-



Фиг. 1
А. Пропилитов фациес: ACF диаграма за хидротермално изменени скали при излишък на SiO_2 , K_2O и CO_2 (Creasey, 1959)
Б. AKF диаграма за хидротермалните изменения в San Manuel, Arizona

Fig. 1
A. Propylitic facies: ACF diagram for hydrothermally altered rocks with excess SiO_2 , K_2O and CO_2 (Creasey, 1959)
B. AKF diagram for hydrothermal alterations at San Miguel, Arizona

ние на критичните компоненти за получаване на равновесни минерални асоциации в зависимост от химичния състав на системата. Това дава възможност в диаграмата ACF да се отдели полета, характеризиращи съответни субфациеси — за пропилитовия фациес (фиг. 1А) са отделени хлорит-мусковитов субфациес и хлорит-калцитов субфациес. Двете полета на диаграмата AKF за аргилизитовия и К-силикатния тип изменение характеризират съответните аргилизитов (мусковит-каолинитов) и К-силикатен (мусковит-биотит-К-фелдшпатов) фациес (фиг. 1Б). Тъй като изследванията се отнасят за околорудните изменения в меднопорфирните находища, класификацията е с ограничен обхват.

Систематика на Meyer и Hemley (1967) на околорудните изменения на скалите

Теоретичните основи на класификацията обхващат: а) минералните асоциации, б) химичните промени и в) връзката между химичния състав и минералните новообразувания, устойчиви при дадените физикохимични условия. В основата на тази класификация Meyer и Hemley (1967) поставят група от минерали, образуващи се едновременно в условия, близки до състоянието на термодинамично равновесие. Това не означава, че

съществуващите минерали са непременно в равновесно състояние. Напълно е възможно новообразуваните фази да отразяват част от процеса на приспособяване на скалите към новите физикохимични условия, водещ в крайна сметка до устойчиво равновесие.

Meyer и Hemley считат, че номенклатура на околорудните изменения на скалите може да се разработи като се използва представата за метаморфните фациеси. Те разглеждат хидротермалните околорудни изменения като тип метаморфизъм, свързан с прекристализацията на вместващите скали и образуването на нови минерали, по-стабилни в изменящите се химични условия. Това им дава основание да приложат част от методите за изучаване на метаморфните скали към изследването на хидротермалните изменения. Като главен отличителен признак на процеса на хидротермалните изменения се изтъква важната роля на хидротермалния флуид, който е носител на химически инградиенти и топлина. За разлика от метаморфните флуиди, които са близки до състоянието на равновесие с окръжаващите ги твърди фази, хидротермалните флуиди, идващи в контакт със скали със значителна напуканост или повишена проницаемост, могат съществено да се отклоняват от характерното за минералните фази на скалите равновесие.

Meyer и Hemley предлагат сдвоени триъгълни диаграми ACF и AKF с обща страна AF (фиг. 2). Стойностите на А и F за AKF и ACF диаграмите са: $A = Al_2O_3 + Fe_2O_3 - (Na_2O + K_2O + CaO)$ и $F = FeO + MgO + MnO$, а тези на К и на С за двата типа диаграми съответно са $K = K_2O$ и $C = CaO - (3,3P_2O_5 + CO_2)$.

За повечето от алумосиликатните скали Meyer и Hemley (1967) отделят следните типове хидротермални изменения: калиева метасоматоза, пропилитизация, умерена аргилизация, серицитизация и интензивна аргилизация (фиг. 2). Допълнително към пропилитизацията са дадени албитизация, хлоритизация, зоолитизация и карбонатизация. Списъкът на типовете изменения се допълва от окварцяване, скарниране и грайзенизация. По-късно Meyer и Hemley (устно съобщение на Hemley, цитирано по Heald et al., 1987) уточняват, че за меднопорфирните находища вместо отделената от тях калиева метасоматоза е по-целесъобразно да се използва К-силикатен тип изменение.

Най-съществените особености на предложените от Meyer и Hemley типове хидротермални

изменения са обобщени от Роз и Берт (1982) в следния вид:

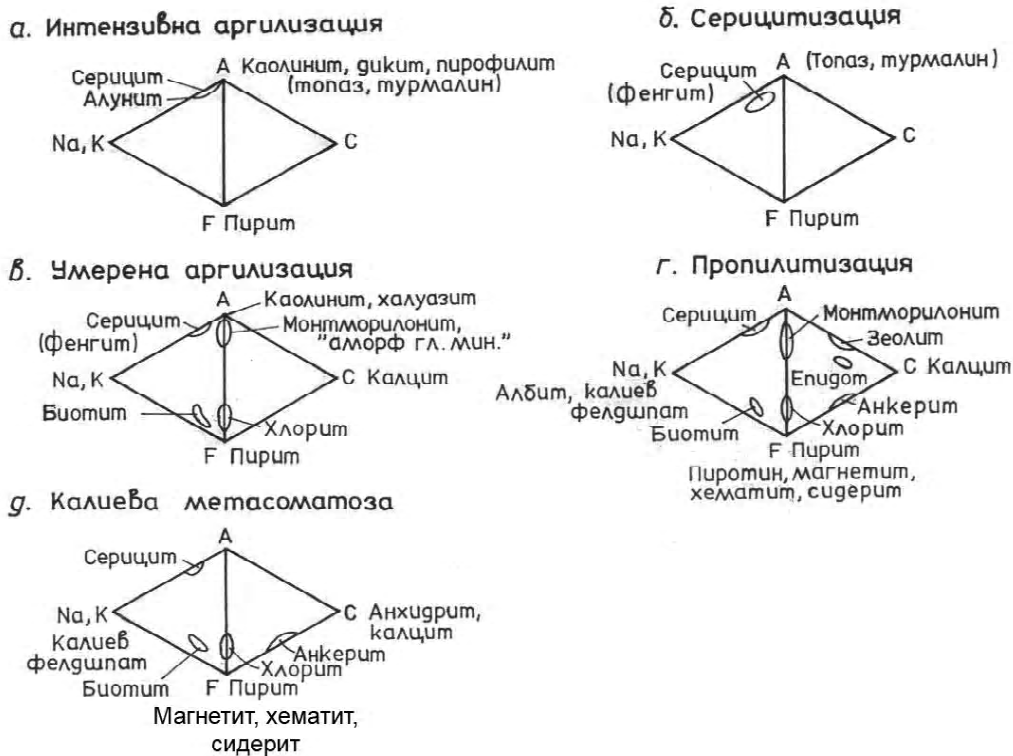
Пропилитизация. Присъствие на епидот и/или хлорит и отсъствие на някаква забележима изява на катионна метасоматоза или извличане на алкални и алкалоземни елементи; H_2O , CO_2 и S могат да се привнесат.

Умерена аргилизация. Присъствие на значително количество каолинит, монтморилонит или аморфен глинест минерал; плагиоклазът обикновено е заместен; серицитът може да се съпровожда от глинести минерали; калиевият фелдшпат не е засегнат от промени или е аргилизиран; забележимо извличане на Ca, Na и Mg.

Интензивна аргилизация. Фелдшпатите са заместени от дикит, каолинит, пирофилит, диаспор, алунит и други богати на Al фази.

Серицитизация. Както калиевият фелдшпат, така и плагиоклазът е заместен от серицит, възможно е присъствие на неголеми количества каолинит.

Калиева метасоматоза. Калиевият фелдшпат и/или биотитът се образуват при заместването на плагиоклаз или железомagneзиеви минерали.



Фиг. 2. Минерални асоциации, съответстващи на главните типове околорудни изменения (Meyer, Hemley, 1967). Кварцът обикновено присъства. Минералите, означени на всяка диаграма, са най-характерните фази за конкретните типове изменения. Те се образуват в широк интервал на P и T, ако не се считат зоолитите и в по-малка степен каолинита. Високотемпературен еквивалент на минералните асоциации, съответстващи на интензивната аргилизация, са асоциациите с андалузит.

Fig. 2. Mineral associations corresponding of major types of wall-rock alterations (Meyer, Hemley, 1967). Quartz usually is present. The minerals named on each diagram are the common phases in each type of alteration. Except for the zeolites, and to a lesser extend kaolinite, they have relatively wide P-T ranges of formation. High-temperature equivalents of the mineral associations corresponding of the advanced argillization would be andalusite-bearing assemblages.

Meyer и Hemley (1967) специално отбелязват значението на диаграмите състав—парагенеза за доказване на равновесните минерални асоциации, които са в основата на класификацията. Да се говори за генетична съвместимост на минералите може само в случаите, когато микроскопски се наблюдават същите фази, каквито са получени и при нанасянето на химичните състави на подходяща диаграма състав—парагенеза. Това позволява да се отчете значението само на вътрешните фактори на равновесие на системата, а именно съдържанията на компонентите в променящата се по състав скала, които имат значение за получаването на една или друга минерална равновесна асоциация. Meyer и Hemley признават, че нанасянето на съставите на диаграмите само по себе си не говори нищо за геоложката еволюция на скалата и съветват при използването на метода „да не се губи чувството на мярка и геоложкото благоразумие“. Образците за анализ трябва да характеризират определени изменени участъци на скалата. Съчетанието им със сложните образувания от типа на пресичащи се прожилки с различна възраст и собствени ореоли на изменения биха превърнали нанесените на една диаграма данни в безмислен набор от минерали. Според авторите „подобни диаграми и метод като цяло трябва да се считат като по-пригодни за изучаване по-скоро на минералите на изменените зони, отколкото за създаване на универсална класификация на типовете изменения“. С това се подчертава сложността от разработване и предлагане на общоприета класификация на метасоматичните образувания.

За съжаление, иницирираните от Creasey (1959) изследвания не са използвани за разработване на по-пълна фашиална класификация на околорудно изменените скали — идея, останала като едно пожелание на създателите на класификацията на околорудните изменения — Meyer и Hemley. Сами те отбелязват: „Ако ние се научим точно да диагностираме различните равновесни асоциации на зоналните изохимични системи, то може да бъде разработена номенклатура, опираща се главно на представата за метаморфните фациса, а в качество на важна спомагателна характеристика могат да бъдат използвани налягането и температурата, свойствени на процесите на изменение. Тези пределни стойности на налягането и температурата могат да бъдат използвани за определяне на различните фациса на дадено хидротермално изменение“.

Извън възможностите на разработените диаграми за околорудните изменения на скалите е отчитането на зависимостта на минералните равновесни асоциации от зададените физикохимични параметри от външните условия като температура, налягане, концентрация (активност, фугитивност, химичен потенциал) на компоненти, имащи значение за получаване на качествено разнообразие на равновесно съществува-

щите минерали при метасоматичния процес. Освен това е необходимо да се знаят условията на образуване не само на отделните минерални асоциации, характеризиращи измененията, а и на съвкупността им в зоните на изменения в хидротермалните рудни находища.

Поради тесния обхват на отделените изменения на алумосиликатни скали в класификацията на Meyer и Hemley (1967), свързани с гранитоидния магматизъм, авторите нямат претенции за разработване на класификация. В този смисъл използването в метасоматичната петрология на предложената систематика като класификация е условно и е прието за удобство при провеждане на изследванията на околорудните изменения на скалите, както и за съпоставка с генетичните класификации на метасоматитите на формационна основа.

Други типове изменения и допълнения към систематиката на околорудните изменения на скалите

Pirajno (1992) описва подробно както отделените от Meyer и Hemley (1967) основни типове изменения, така и допълнителни типове изменения, отразени в табл. 1.

Heald et al. (1987) прибавят към класификацията на околорудните изменения и К-фелдшпат тип изменение (образуване на К-фелдшпат като жилин материал). Отчитайки преходите между родствените изменения, те отделят смесени типове: К-фелдшпатово-серицитов и серициново-аргилизитов. На термодинамична основа Каназирски отделя преходни пропилиново-серицитов и пропилиново-аргилизитов тип изменение, а в интензивната аргилизация — кисело-хлориден и кисело-сулфатен тип (Каназирски, 1996; Kanazirski, 1992, 2003).

От особено значение са отделените от Nayba et al. (1985) и Heald et al. (1987) адулар-серицитов и кисело-сулфатен тип изменение в епитермални находища на злато. Авторите специално отбелязват затрудненията в коректното прилагане от изследователите на терминологията за околорудните изменения — затруднения, свързани с неумението в редица случаи да се отличат равновесните минерални асоциации, характеризиращи измененията при наличие на метастабилни реликтови минерали или наложени минерализации.

Класификация на Corbett и Leach (1998) на хидротермалните изменения на скалите

Corbett и Leach (1998) предлагат класификация, която отчита значението на два основни фактора на измененията в хидротермалните системи

Таблица 1

Допълнителни типове околорудни изменения на скалите (Pirajno, 1992)

Table 1

Complementary types of wall-rock alterations (Pirajno, 1992)

Околорудни изменения	Минерали и минерални асоциации
Турмалинизация	турмалин, кварц
Талк-карботатно и талк-хлоритово изменение	талк, карбонат (доломит, анкерит, магнезит), магнезит, хлорит, смектитови глини, сулфиди, възможни серицит, албит
Серпентинизация	лизардит, хризотил, брусит, магнетит
Силикация	скарнови минерали – волластонит, доломит, гранат, тремолит-актинолит, клиноцоизит и др.
Фенитизация	алкални пироксени (напр. егирин), алкални амфиболи (напр. рибекит), алкални фелдшпати (ортоклаз, микроклин и албит)
Хематитизация	хематит, Fe-карбонати (анкерит, сидерит), богати на Fe хлорит и амфиболи
Карбонатизация и доломитизация	калцит, доломит, анкерит, сидерит, тремолит, актинолит, хлорит, пирит

— температурата и рН на флуида (фиг. 3). Те използват основните типове изменения от класификацията на Meyer и Hemley (1967) и обединяват характеризиращите ги равновесни минерални асоциации в няколко групи. Без да коментират обаче, правят необосновани съществени промени в класификацията на Meyer и Hemley (1967). При умерената аргилизация в схемата на Corbett и Leach липсват хлорит и биотит, при пропилизацията — биотит, при калиевата метасоматоза — калцит, анкерит и анхидрит, при интензивната аргилизация — серицит, а пиррофилитът е даден като възможен минерал и при серицитизацията. В класификацията на Corbett и Leach в скарните не намират място характерни минерали като оливин, скаполит, паргасит, флогопит, гранати, ларнит, геленит и шпинел. Липсват минералните асоциации за албитизирани гранити и грайзени. Парагенезата К-фелдшпат-албит-кварц и всички биминерални парагенези на кварца със слюди, фелдшпати и епидот също не са отразени в класификацията. Това е предпоставка за възможни обърквания при определение на един и същ тип околорудни изменения по двете класификации.

Отчитането на зависимостта на минералните парагенези и типовете изменения от температурата и киселинност—основността на средата в класификацията на Corbett и Leach (1998) е определено предимство пред класификацията на Meyer и Hemley (1967). Corbett и Leach отбелязват, че класификацията е съставена при постоянно значение на концентрацията и съотношението на елементите във флуида, както и на хидростатичното и литоложкото налягане, които могат да окажат значителни вариации на температурната и рН стабилност на разнообразните минерални фази.

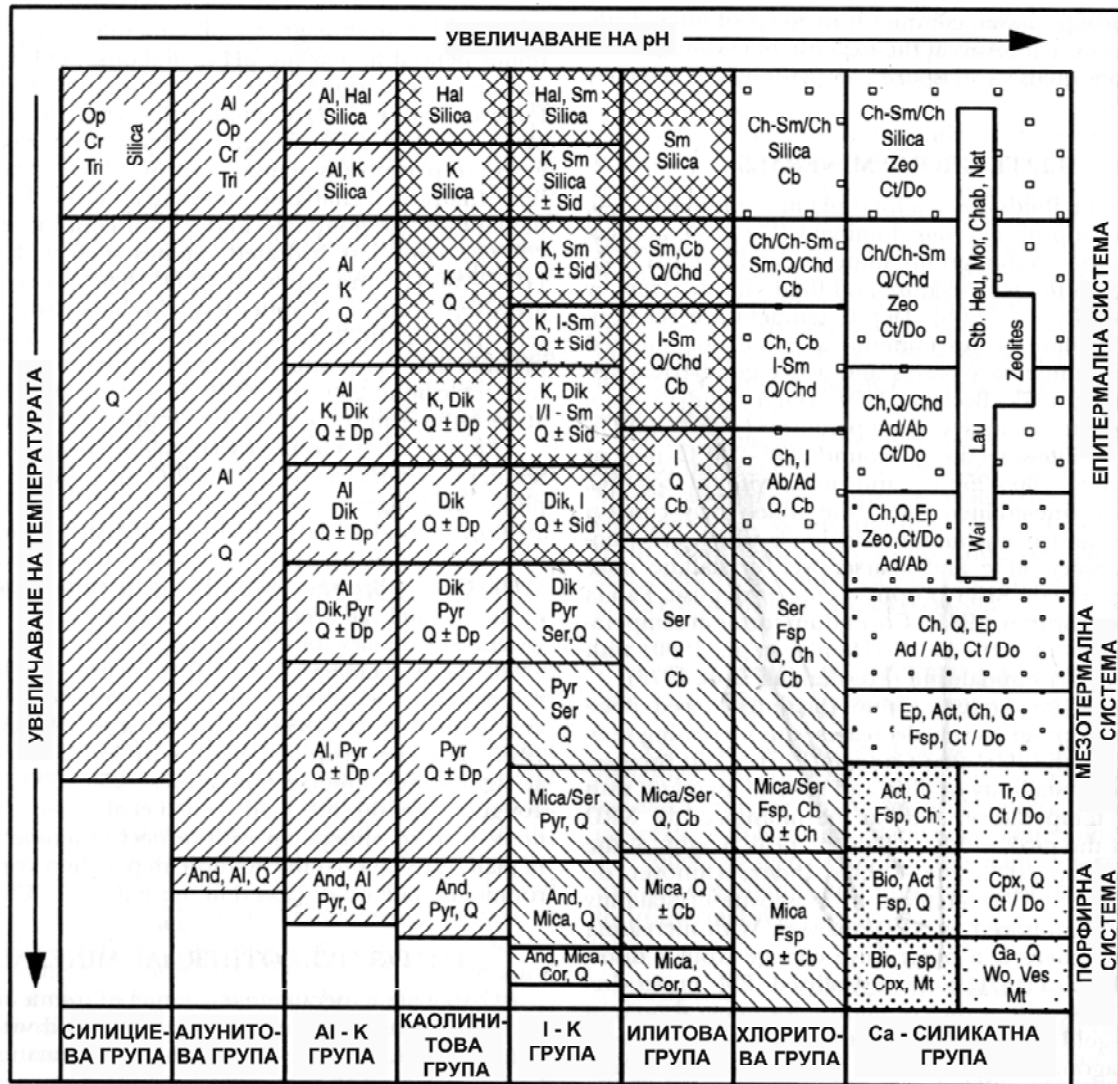
Изтъкнатите по-горе обстоятелства задължават ползването на разработките на Corbett и

Leach да става с повишено внимание, анализ и обосновка за предпочитанието за всеки конкретен случай, като важен фактор за утвърждаването или отхвърлянето на класификацията в близките години.








Вниманието на изследователите е привлечено от лесното ползване на класификацията, която се прилага и у нас. За това допринасят и изведените от Corbett и Leach (1998) в класификацията парагенетични трендове на околорудните изменения в различните етапи от еволюцията на злато-меднопорфирните системи и на епитермалните системи от високосулфидизиран и нискосулфидизиран тип.

Проблеми в прилагането на класификациите на околорудните изменения на скалите

За коректното определяне на типа околорудно изменение в разгледаните класификации на околорудните изменения на скалите е необходимо правилното определяне на равновесните минерални асоциации. За това не е задължително владенето на физикохимичния анализ на минералните парагенези. Просто трябва да се ползват с разбиране диаграмите с нанесени равновесни минерални асоциации, определящи околорудните изменения. При всички случаи да се има предвид равновесната минерална асоциация, която може да включва освен новообразуваните, така също и наследените минерали от изходната скала, които са устойчиви при новите физикохимични условия. Като реликтови трябва да се описват тези минерали, които не са стабилни при промените на скалата. При тях скоростта на миграцията на хидротермалния флуид изпреварва заместването на минерала и той не може цялостно да се приспособи към новите физикохимич-



Тип оклорудно изменение:

- | | |
|---|--|
|  К-силикатен |  Аргилизитов |
|  Скарниране |  Външно/Субпропилитов |
|  Филизитов |  Интензивно аргилизитов |
|  Пропилитов | |

Фиг. 3. Обобщена минералогия на измененията в хидротермални системи (Corbett, Leath, 1998)

Символи на минералите: Ab – албит; Act – актинолит; Ad – адулар; Al – alunite; And – андалузит; Bio – биотит; Cb – карбонат (Ca, Mg, Mn, Fe); Ch – хлорит; Chab – хабазит; Chd – халцедон; Ch-Sm – хлорит-сметит; Cor – корунд; Crx – клинопироксен; Cr – кристобалит; Ct – калцит; Do – доломит; Dik – дикит; Dp – диаспор; Ep – епидот; Fsp – фелдшпат; Ga – гранат; Hal – халуазит; Heu – хейландит; I – илит; I-Sm – илит-сметит; K – каолинит; Lau – ломонтит; Mt – магнетит; Mor – морденит; Nat – натролит; Op – опал; Pyr – пиропилит; Q – кварц; Ser – серицит; Sid – сидерит; Sm – сметит; Stb – стилбит; Tr – тремолит; Tri – тридимит; Ves – везувиан; Wai – вайрацит; Wo – воластонит; Zeo – зеолит

Fig. 3. Common alteration mineralogy in hydrothermal systems (Corbett, Leath, 1998)

Mineral abbreviations: Ab, albite; Act, actinolite; Ad, adularia; Al, alunite; And, andalusite; Bio, biotite; Cb, carbonate (Ca, Mg, Mn, Fe); Ch, chlorite; Chab, chabazite; Chd, chalcidony; Ch-Sm, chlorite-smectite; Cor, corundum; Crx, clinopyroxene; Cr, cristobalite; Ct, calcite; Do, dolomite; Dik, dickite; Dp, diaspore; Ep, epidote; Fsp, feldspar; Ga, garnet; Hal, halloysite; Heu, heulandite; I, illite; I-Sm, illite-smectite; K, kaolinite; Lau, laumontite; Mt, magnetite; Mor, mordenite; Nat, natrolite; Op, opaline silica; Pyr, pyrophyllite; Q, quartz; Ser, sericite; Sid, siderite; Sm, smectite; Stb, stilbite; Tr, tremolite; Tri, trydimite; Ves, vesuvianite; Wai, wairakite; Wo, wollastonite; Zeo, zeolite

ни условия. Необходимо е умение да се различават и непарагенетичните (хистерогенните) минерали, които са получени при налагане на по-късни метасоматични процеси върху изменените скали.

Най-честите грешки при определянето на хидротермалните изменения на скалите се дължат на боравенето с категории на чисто минераложки класификации, а не на класификацията по типове изменения на основа минерални парагенези. Например, когато употребяват понятието серицитизация, повечето автори имат предвид образуването на серицит в хода на метасоматичния процес. Но серицит в различни минерални парагенези е характерен още за следните типове околорудни изменения: калиева метасоматоза, пропицитизация, умерена аргилизация, интензивна аргилизация, беризитизация и адулар-серицитов тип изменение. Изследването именно на парагенетичните съотношения на серицита с асоциираните с него минерали е от значение за определяне на типа околорудно изменение.

Аналогично е положението с използването на калишпатизация, каолинитизация или аргилизация само в минераложки аспект, без да се отчитат парагенетичните отношения с асоциираните минерали с калиевия фелдшпат и каолинита. Това е крайно недостатъчно и неприемливо при характеризиране на метасоматичните процеси и е проблем не само за нашата страна. Както отбелязват Роз и Берг (1982) „за съжаление, повечето от изследователите при наименованието на един или друг тип изменение най-често вземат за основа преобладаващите минерални видове“, а не равновесните минерални асоциации.

Класификации на метасоматитите на формационна основа

Формационният подход към изучаване и систематика на метасоматитите е от петдесетте години на миналия век (Коржинский, 1953; Наквник, 1954; Жариков, 1956, 1959). Класификации на метасоматитите на формационна основа са разработени от Жариков, Омелъяненко (1965, 1978), Рундквист, Павлова (1974), Омелъяненко (1978), Беляев, Рудник (1978), Плющев (1978), Жариков (1982), Марин (1989), Жариков и др. (1992), Омелъяненко (в: *Метасоматизм и ...* 1998), Русинов (в: *Метасоматизм и ...* 1998). Формационният подход е приет и в Систематиката на метасоматични скали, предложена от името на Подкомисията за систематика на метаморфните скали (Zharikov et al., 2003).

Класификацията, която обхваща най-пълно цялото разнообразие на генетичните типове метасоматити и отразява най-добре съвременното състояние на изученост на проблема на метасоматизма, е предложената формационна класификация на Жариков и Омелъяненко (1978).

Класификация на метасоматитите на формационна основа на Жариков и Омелъяненко (1978)

Анализ на теоретичните основи на класификацията

Класификацията е създадена на базата на генетичната класификация на метасоматичните процеси на Коржинский (1953), обхващаща подразделянето на хидротермалния процес по стадии. В основата на класификацията на Жариков и Омелъяненко са физикохимичният анализ на минералните парагенези (Коржинский, 1973) и теорията на метасоматичната зоналност (Коржинский, 1953, 1969).

Жариков и др. (1992) определят категориите на метасоматичните образувания в йерархичната стълбица, на които се гради класификацията, както следва:

1. *Метасоматична зона*, изградена от определена минерална парагенеза.

2. *Метасоматична колонка*, представляваща съвкупност от метасоматични зони, разположени в определена последователност, характеризираща даден метасоматичен фациес, единичен член на класификацията.

3. *Метасоматична формация*, представляваща съвкупност от метасоматични колонки (фациеси), образувани под въздействието на разтвори от определен тип. Тя е главната класификационна категория — интегрален член на класификацията.

Основен принцип на всяка наука е еднозначността на понятията, които използва. В предлаганата класификация се приемат определенията на Коржинский (1973) за понятието минерална парагенеза и на Жариков (1968b) за понятията метасоматичен фациес и метасоматична формация. Тези понятия обхващат както типовете метасоматични скали, така и условията на тяхното образуване, включващи геоложката позиция и физикохимичните параметри на метасоматичното минералообразуване.

Минералната парагенеза, метасоматичният фациес и метасоматичната формация са основни термини в науката за околорудните изменения на скалите.

Минерална парагенеза: закономерна, повтаряща се при дадени геоложки условия съвкупност от съвместно съществуващи и намиращи се в равновесие минерали в тясно съприкосновение един с друг. Минералната парагенеза може да включва не само новообразуваните, но и наследените минерали на скалата, ако те са устойчиви и се намират в равновесие с новообразуваните минерали. След коректното определяне на съществуващите минерални фази, изграждащи метасоматичната скала в дадена зона, е необходимо да се определят минералните парагенези, т.е. равновесните минерални асоциации

като начален единичен елемент на класификацията на метасоматитите. Термодинамичното определяне на равновесните минерални фази се постига с прилагане на *физикохимичния анализ на минералните парагенези* (Коржинский, 1973). Този анализ позволява от цялата съвкупност на съвместно срещащи се минерали в състава на метасоматичната скала да се определят: а) реликтови минерали — метастабилни фази от изходната скала, б) наследени минерали от изходната скала и новообразувани минерали, устойчиви при условията на хидротермалното изменение и в) хистерогенни минерали, продукт на по-късни наложени метасоматични процеси.

Признаците за равновесно състояние са: прекристализация на минералите, изменение на състава на наследените минерали, изменение на съдържанията на елементите-следи в тях. Отсъствието на тези признаци показва, че по-рано образуваният минерал е реликтов, т.е. не се намира в равновесни отношения с новообразуваните минерали, а съществува като метастабилна фаза при новите физикохимични условия.

Според количествата на новообразуваните вторични минерали и на наследените минерали условно хидротермално изменените скали са разделени на: неизменени скали (до 5%), слабо изменени (от 5% до 30%), средно изменени (от 30% до 80%) и силно изменени (от 80% до 100%).

Метасоматичен фациес: съвкупност от скали, образувани в различните зони на единната метасоматична колонка, в резултат на въздействието на разтвори на определен етап от хидротермалния цикъл и определени условия на температура и дълбочина (или налягане), на състав на изходните скали, на подвижността и активността (концентрация или химичен потенциал) на напълно подвижните компоненти в разтвора.

В основата на определението на метасоматичния фациес е един от главните изводи на физикохимичната теория на метасоматичните процеси, а именно — при инфилтрационната и дифузионната метасоматоза, в резултат на изменението на скалите от въздействието им с неравновесните разтвори, се образува колонка с рязко ограничени зони с качествено различен минерален състав (Коржинский, 1953).

Определянето на метасоматичния фациес се постига с прилагане на фациалния анализ, основаващ се на главните изводи на теорията на метасоматичната зоналност (Коржинский, 1953, 1969). Това става чрез свързването на скалите, изградени от равновесни минерали във всяка зона в находището, в интегрална метасоматична колонка. На границите между зоните се определят химичните реакции на преходите, в резултат на взаимодействието на скалата с хидротермалния флуид, водещо до получаването на метасоматичната зоналност и характерния ред на

диференциална подвижност на компонентите. Това помага за получаването на идеализирана метасоматична колонка, основната фациална характеристика във формационната класификация на метасоматитите.

Метасоматична формация: съвкупност от метасоматични фациеси, различаващи се по температура, дълбочина, активност на напълно подвижните компоненти в разтвора, състав на изходните скали, но образувани при сходна геоложка обстановка в резултат на един и същ петрогенетичен процес.

Формациите се отнасят до главните генетични типове метасоматични скали (вторични кварцити, пропилити, грайзени, скарни, березити и др.), а фациалните разновидности на формацията включват техните конкретни метасоматични колонки. Според Жариков (1968а) „различните фациални условия, на които и да е единен геоложки процес или комплекс се изразяват в различните стойности (различните интервали на стойности) на интензивните параметри на системата: температура, налягане (дълбочина), активност (концентрация, химични потенциали) на напълно подвижните компоненти, както и в различната подвижност на компонентите“. Някои изменения на тези параметри на метасоматичния процес обуславят различията между фациесите. Тези изменения са в границите на физикохимичните условия, определящи, заедно с геоложката позиция на метасоматитите, съществуването на дадена формация.

На някои от термините за наименоуване на скалите (скарни, грайзени, пропилити, вторични кварцити, березити) е придадено формационно съдържание. За да се избегне различната трактовка на едно и също понятие като наименоуване на скала и на формация, за предпочитане е да се разделят понятията — грайзени и формация на грайзените, пропилити и формация на пропилитите и т.н. Това би помогнало да се избегне смесването на понятията, което се допуска в много изследователски работи и производствени доклади.

Като съвкупност от метасоматични фациеси всяка от метасоматичните формации е относително добре характеризирани. Разнообразието в граничните физикохимични условия за съществуването на формациите обаче води до различия в критериите за формационната самостоятелност и изисква конкретизирането на тези критерии в съответствие със специфичната обстановка на метасоматичното минералообразуване за всеки природен феномен. Отнасянето на метасоматичните фациеси към дадена метасоматична формация се осъществява с коректното използване на йерархичната последователност в принципната схема на метасоматичните образувания и класификацията на главните метасоматични формации (Жариков, Омельяненко, 1978; Жариков, 1982; Жариков и др., 1992).

Принципна схема на класификацията

Като единичен елемент на класификацията е приет метасоматичният фацис (табл. 2). Метасоматичните фациса, различаващи се по условията на образуване, са обединени в групи в зависимост от: състава на изходните скали, температурата и активността на напълно подвижните компоненти. Отделени са фациса и на спрегнатите (съпътстващи) метасоматити. Цялата съвкупност от метасоматични фациса се обединява в метасоматична формация.

Метасоматичната формация като съвкупност от конкретни минерални фациса е интегралният, определящият елемент на класификацията и има водещо значение като индивидуализиран геоложки обект, съпоставим с други еднотипни геоложки образувания. Метасоматичните формации са систематизирани по стадии на хидротермалния цикъл. Отделени са формации за следните стадии: магмен и постмагмен (ранен алкален, на киселинно извличане със спрегнато отлагане и заключителен). Подразделянето на постмагмените стадии на хидротермалния процес се основава на предложената от Коржинский (1953, 1957) хипотеза за киселинно-алкалната хидротермална диференциация при еволюцията на хидротермалните разтвори. Тази хипотеза отчита удивителната геохимична особеност на постмагменния хидротермален процес, а именно закономерното изменение на режима на киселинност на постмагмените разтвори. В течение на постмагмения процес в резултат на инверсия ранните алкални разтвори преминават в кисели. Киселинността на разтворите постепенно нараства и достига високи стойности, след което намалява и разтворите отново придобиват алкален характер. Тази вътрешна еволюция в киселинността на разтворите обуславя възрастовите и пространствените съотношения между

различните метасоматити, както и между метасоматитите и рудите. Другите физикохимични параметри на метасоматичното минералообразуване — температура, налягане (дълбочина) и състав на вместващите скали, имат по-частен характер. Те определят конкретната обстановка на образуването на изменените скали и рудите, но не и главния механизъм в еволюцията на постмагмените разтвори (*Метасоматизъм и ...*, 1998).

В пределите на стадията се отделят зони на малки, умерени или големи дълбочини. Метасоматичните формации и отнасянето им към различните стадии на хидротермалния цикъл и различните дълбочинни зони са обединени в четири класа според типовете родоначална магма. Отделени са метасоматити, свързани с ултрабазично-базичен, с гранитоиден (диоритово-сиенитово-гранитов), с алкален и с ултрабазично-алкален магматизъм. В табл. 3 са дадени метасоматични формации, свързани с гранитоидния магматизъм.

Според Жариков и Омеляненко (1978) по съотношенията с метасоматичните преобразувания орудяванията се поделят на:

1. *Тип на едновременно орудяване* — отлагането на рудните минерали протича едновременно с измененията на скалите в единната метасоматична колонка.

2. *Тип на съпътстващо и спрегнато орудяване* — орудяването изостава от образуването на главната колонка на метасоматитите и протича в резултат на по-нататъшна киселинна еволюция на разтворите: повишаване на киселинността в ранния постмагмен алкален стадий (съпътстващо орудяване) или намаляване на киселинността при прехода от киселинния към късния алкален стадий (спрегнато орудяване). Спрегнатите метасоматични новообразувания са тясно свързани със съответната метасоматична формация. По същество те представляват по-късна

Таблица 2
Принципна схема на класификацията (Жариков, Омеляненко, 1978)

Table 2
Principle sketch of the classification (Жариков, Омеляненко, 1978)

Групи (класове) на метасоматичните формации в зависимост от типа магматизъм	Групи (подкласове) на метасоматичните формации от различните дълбочинни зони	Групи на метасоматичните формации по стадията на хидротермалния процес	Собствено метасоматични формации в естествена последователност в хидротермалния цикъл	Група метасоматични формации в зависимост от:	Собствено метасоматични фациса
ултрабазичен, средно-кисел, алкален, ултрабазичен-алкален	малки, умерени, големи дълбочини	магмен стадий, ранен постмагмен стадий, стадий на киселинно извличане, заключителен стадий	метасоматична формация	състав на изходните скали, температурата, активността на напълно подвижните компоненти, спрегнати (съпътстващи) метасоматити	метасоматичен фацис

Таблица 3

Класификация на най-главните метасоматични формации, свързани с гранитоидния (диоритово-сиенитово-гранитов) магматизъм (Жариков, Омеляненко, 1978)

Table 3

Classification of the principle metasomatic formations, related with granitoid (dioritic-sienitic-granitic) magmatism (Жариков, Омеляненко, 1978)

Зони на дълбочина	Стадий на хидротермалния цикъл	Метасоматична формация	Метасоматични фазиеси				Тип орудяване на формацията			
			в зависимост от			спрегнати (съпътстващи) метасоматити	едновременно	съпътстващо и спрегнато	наложено	
			състав на изходните скали	температура	активност на напълно подвижните компоненти					
Малки	магмен		-	-	-	-	-	-	-	
	постмагмен	ранен								
		киселинно извличане	пропилити	+	зеолитов, албит-хлоритов	ломонитов, албит-калцитов	зеолитови, хидрослюдени	-	Ag, Au; Hg, Sb, As	
			вторични кварцити	+	дикит-диаспоров, пиррофилит-диаспоров	алунинов, серицитов	дикитови, хидрослюдени, алунинови, серицитови	Al	Al; Au, Ag	-
			кварц-адулар-серицитови метасоматити	+			серицитови, хидрослюдени, адуларови	-	Ag, Au; Hg, Sb	
			аргилизити		каолинитов, монтмори-лонитов		хидрослюдени, каолинитови, монтморило-нитови	-	S; Fe; Hg; Ag, Au; Fe	-
	заклучи-телен	не е изучена								
Умерени	магмен		магнезиеви скарни	-	монтichelит-шпинелов, диопсид-форстерит-шпинелов	флогопит-серпентин-калцитови	(Fe)	Fe; B; Fe, Cu, Zn	B; Pb, Zn, Cu; W, Mo; Sn; Be	
	постмагмен	ранен	алкални метасоматити	едноконтак-тов (апогранитоиден) екзоконтак-тов?		разнообразни в зависимост от $a_K, a_{Na}, a_{Li}, a_F, a_B$		Li, Ta, (Be), Nb, Zr		
			калциеви скарни	собствено скарнов, скарноиден, контактово-инфилтрационни ендо- и екзоскарни	воластонитов, пироксен-гранатов, пироксен-епидотов	пироксен-плагноклазов, пироксен-скаполитов, ортоклаз-гранатов, други фазиеси в зависимост от a_K, a_{Na}, a_{Fe}, pH	амфибол-(епидот)-албит-хлорит-(ортоклаз)-калцитови		Fe; Fe, Cu; Cu; Fe, As, Co	Sn, W; W, Mo; Pb, Zn; Cu, Pb, Zn; Cu, Au, Ag
		киселинно извличане и спрегнато отлагане	кварц-фелдшпатови метасоматити	+		кварц-кали-фелдшпатови, кварц-албитови	кали-фелдшпатови, албитови, мусковитови	Sn, W; W, Mo; (Sn), W, Cu, Zn	Sn, W; W, Mo; (Sn), W, Cu, Zn	Sn; W; W, Mo; (Sn), W, Mo; Cu
			грайзени	+		разнообразни в зависимост от $a_F, a_B, a_K, a_{Na}, a_{Rb}, a_{Cs}, a_{Li}$	калифелдшпатови, слюдени	Be, W; Be; W; Zn, Cu	Sn; Sn, W; Be; Be, W; Mo; Cu; Li; Cs; TR	
			пропи-лити		актинолит-епидотов, хлорит-епидотов	кварц-ортоклазов, кварц-албитов	епидот-хлорит-калцитови, адуларови, зеолит-карбонатни	Zn, Pb, Cu	Cu, (Zn), Pb, Ag; Pb, Ag	

Таблица 3 (продължение)

Table 3 (continued)

			вторични кварцити		+	андалузитов, диаспоров	алунитов, серицитов, диомортиеритов, турмалинов	корунд-андалузитови, алунит-хематитови, алунит-диаспорови, дикитови	Al, разнообразно неметално	Al; Mo, Cu; Cu, As; Cu, Pb, Zn, Ag; Au; разнообразно неметално	-		
			кварц-серицитови метасоматити						серицитови, хлоритови	Cu, Au, Pb; Ag, Au	Mo, Cu; Pb, Ag, Au		
				гум-беити		+						W; Pb, Zn, Cu	
			березити		березитов лиственитов анкеритов					серицитови карбонатни хлоритови	Cu, Zn, Pb, Au, (Ag)	Au; As, Au; Zn, Pb, Sb; Zn, Cu, Pb, Ag; U; Co, Ni, Bi, Ag, U	
			аргилзити		глинесто-кварцов, глинесто-карбонатен, кварц-карбонатен		каолинитов, монтморилонитов, хидрослюден			хидрослюдени, шамозитови (хлоритови) карбонатни, албитови		Au, Ag; U; Hg, As; Pb, Zn; Sb; Cu; W, Au	
заклучителен		ейсити	албитов, кварц-албитов, калцитов, калцит-апатитов	албит-калцитов, албит-хлоритов	албит-анкеритов, албит-хлоритов, албит-апатитов		анкеритови, хлоритови, кварцови		U; U, P; U, (Mo), (Zr)				
Големи	магмен		магнезиеви скарни		-		форстерит-диопсид-шпинелов, енстатит-шпинелов	хумитови, флогопит-серицит-калцитови	(Fe)	флогопит; B; B, Fe; Fe; Fe, Cu; Fe, Zn			
	постмагмен	ранен	алкални метасоматити		+		калиеви метасоматити, натриеви метасоматити	карбонатни		Be; U, Th, TR			
			магнезиеви скарни		биметасоматитов, контактово-инфилтрационни ендо- и екзоскарни		фелдшпатоиден, флогопитов, паргаситов	флогопит-калцитови, серпентин-калцитови	лазурит	флогопит			
		киселинно извличане и спрегнато отлагане	кварц-фелдшпатови метасоматити				кварц-албит-микроклинов	микроклиновите, албититови		Nb, Ta			
		заклучителен	не е изучена										

Забележки:

Знакът „+“ означава, че метасоматитите се развиват по скали с всякакъв състав с образуване на съответните фацисии; знакът „-“ означава отсъствие на метасоматични фацисии или на орудяване от съответния тип; празните клетки означават, че за отделяне на съответните фацисии и орудявания данните са недостатъчни.

В скоби са показани елементите, чиято концентрация е по-ниска от промишлените стойности; с точка и запетая са разделени елементите, свойствени на различни рудни формации; със запетая са разделени елементите, характерни за една рудна формация.

Отляво са формациите, свързани с магми с гранитов състав, а вдясно — с гранодиоритов и граносиенитов състав

по време на образуване фащиална разновидност на същата тази формация и се дължат на промяната на състава на разтвора, водеща до намаляване на киселинността на средата на минералообразуване.

3. *Тип наложено орудяване* — рудоотлагането протича в резултат на взаимодействието на разтвори от друг, обикновено киселинен стадий върху вече образуваните метасоматити на по-ранен стадий.

Многообразието в наблюдаваните съотношения между хидротермалните изменения на рудоместващите скали и орудяванията на фона на тяхната генетична общност, обусловена от принадлежността към един или различни стадии на единния постмагмен хидротермален цикъл, убедително е доказано в работите на водещите изследователи в областта на метасоматизма и рудоотлагането.

Жариков и Омельяненко (1978) отбелязват, че характеристиката на фациесите и рудоносността е непълна. Основната причина за това е нееднаквата степен на изученост на различните метасоматични формации. Метасоматичните фациеси на редица формации са дадени в най-общ вид, а за детайлно изучените формации (вторични кварцити и др.) са отделени само главните фациеси. Независимо от отбелязаните недостатъци и различната степен на изученост на формациите, все пак табличният вид на класификацията е удобен за ползване. Той отразява до голяма степен съвременното състояние на проблема и може да служи като основа за по-нататъшните изследвания на метасоматитите и тяхната рудоносност, както и за детайлизиране и доразработване на класификацията.

Авторите изтъкват две задачи като най-актуални: 1) задълбочаване на изучаването на метасоматичните формации, характерни за определени, генетично индивидуализирани магмени комплекси, 2) детайлно изследване на рудоносността на метасоматичните формации и уточняване на нейната специфичност за различните метасоматични фациеси.

Изследването от Жариков (1982) на формациите, свързани с гранитоидния магматизъм, е един пример за по-нататъшните възможности за целесъобразна детайлизация и характеристика на метасоматичните формации. То е извършено на базата на постиженията в областта на физикохимичната петрология по това време. За целта авторът е използвал четири методични направления: анализ на метасоматичната зоналност, анализ на минералните парагенези, експериментално и теоретично моделиране на граничните реакции и тяхната зависимост от температурата, киселинността и други особености на хидротермалните разтвори. Всяка от отделените формации се откроява с дадена геоложка позиция, както и с определена съвкупност от парагенези със специфичен набор от метасоматични фациеси (т.е. специфичен набор от метасома-

тични колонки) и накрая с характерни спрегнати метасоматити и орудявания.

Проблеми в прилагането на класификацията на метасоматитите

Незадоволителното ниво на познанията за физикохимичния анализ на минералните парагенези и на теорията на метасоматичната зоналност е причина за неправилното определяне на формационната и фащиалната принадлежност на метасоматитите в някои находища. Това води до неправилното им означаване на геоложките карти и схеми, което означава неизползваема или трудно използвана информация за метасоматизма и орудяването.

Повечето научни публикации и производствени доклади изобилстват с примери за некоректно ползване на основни понятия в класификациите:

— смесване на формация с наименованието на скали: пропилити, скарни, грайзени, вторични кварцити, аргилизити, кварц-серицитови метасоматити;

— неразличаване на отделните фациеси, особено когато те могат да се отнесат към повече от една формация: напр. серицитов фацес (кварц-серицитов фацес) — към формациите на вторичните кварцити, кварц-серицитовите метасоматити, кварц-адулар-серицитовите метасоматити, березитите или гумбеитите;

— определяне на фацес по водещ (типоморфен) минерал, а не по минерална парагенеза и типова метасоматична колонка даже и след публикуването на класификацията на Жариков и Омельяненко (1978). Напр.: отнасяне на метасоматитите към серицитов фацес на формацията на вторичните кварцити, когато кварцът е повече от 50%, и на формацията на кварц-серицитовите метасоматити, когато серицитът е повече от 50%. В случая се пренебрегват парагенетичните съотношения на серицита с другите минерали и разликите в минералния състав на междинните и външните зони в метасоматичните колонки на различните формации;

— употреба на категорията фацес, без да е ясно по каква класификация е отделен и без да е привързан към определена метасоматична формация (напр. кварц-серицитов фацес);

— отделяне на диаспор-кварцов фацес на формацията на вторичните кварцити при доказана парагенетична несъвместимост на диаспора и кварца;

— отнасяне на монокварцитите най-често към формацията на вторичните кварцити. Всъщност в зависимост от строежа на метасоматичната колонка монокварцитите като скала от вътрешната зона могат да принадлежат към различни фациеси на всички формации на киселинния стадий, свързан с хидротермални разтвори на гранитоидния магматизъм: кварц-фелдшпатови метасоматити, грайзени, пропилити, вторични

кварцити, кварц-серицитови метасоматити, аргилизити, березити и др.;

— отделяне на няколко формации в едно находище (напр. вторични кварцити, аргилизити, пропицити), когато се касае само за различни типове изменения в рамките на една формация (напр. интензивно аргилизитов, серицитов, умерено аргилизитов и пропицитов в рамките на формацията вторични кварцити) и др.

Независимо от изтъкнатите проблеми, изключителен шанс за страната ни е, че специализираните изследвания на околорудните изменения на скалите още от шестдесетте години на миналото столетие са проведени с прилагане на класификации на метасоматитите на формационна основа, които са с несъмнени предимства пред минераложките и химичните класификации.

До публикуването и налагането на класификацията на Жариков и Омелъяненко (1978), а при някои изследователи и след това, се използва приетата по това време формационна класификация на Наковник (1954, 1964). В тази класификация метасоматичните фацисии са изведени по минералните асоциации във всяка зона от метасоматичната колонка. За едно съвременно изследване на метасоматизма е необходимо да се знаят условията на образуване не на отделните парагенези по зони, а на метасоматичната колонка като съвкупност от зони на изменения, представляваща метасоматичния фацис в класификацията на Жариков и Омелъяненко (1978).

Непознаването на теоретичните основи на метасоматичната петрология не позволява на изследователите на метаморфните комплекси да различат многобройните изяви на метасоматоза, проявени в различна степен в изследваните от тях метаморфни процеси. В много от тези скални комплекси има проявена метасоматична зоналност. Тя е в резултат от въздействието на хидротермални флуиди със скалите на комплексите и се изразява не само с обмяна на компонентите H_2O и CO_2 , характерни за метаморфизма. Продукти на метасоматична гранитизация, метасоматично десилициране, Na-алкална метасоматоза, образуване на магнезиеви и калциеви скарни, на автореакционни скарни и др. остават извън вниманието на изследователите. Част от гранитизираните скали, десилицираните пегматити, еклогитизираните серпентинити и др. биха получили своите точни названия по класификациите в метасоматичната петрология. С разглеждането на изследваните скали като продукт на алохимичен метаморфизъм не се изчерпва проблемът, тъй като няма класификация на процесите на този метаморфизъм. Обратно, съществуващата класификация на околорудните изменения и особено на формационната класификация на метасоматитите дават възможности за богата генетична информация.

Основна грешка е търсенето на проявена метасоматична зоналност в изследваните скали от метаморфни и магмени комплекси като задъл-

жително условие за отнасянето им към продуктите на метасоматизма. Това означава несъобразяване с определението на метасоматозата, която се изразява в промяна в химичния и минералния състав на едукта под въздействието на хидротермалните флуиди. Обикновените псевдоморфози при минералните замествания са също продукти на метасоматизма. От теорията на метасоматичната зоналност следва, че могат да липсват отделни зони в случаи на проявена локална метасоматична зоналност. Нещо повече, възможно е под въздействие на отработени флуиди да се получат продуктите само на външната зона на метасоматичната колонка, т.е. да не се прояви метасоматичната зоналност, характерна за случаите на интензивни хидротермални изменения.

Други генетични класификации на метасоматитите

По-късно същите автори (Жариков и др., 1992; Омелъяненко в: *Метасоматизм и ...*, 1998) предлагат формационни класификации, като имат предвид направлението на химизма на метасоматичните процеси.

В систематиката на метасоматитите на Жариков и др. (1992) реално наблюдаваните в природата съвкупности на метасоматитите са разпределени въз основа на киселинно-алкалните свойства и температурата на разтворите (табл. 4). Редовете (формациите) в класификацията са подредени по направлението на химизма на метасоматичните процеси. Класификацията дава и принадлежащите към формациите семейства (фацисии) на метасоматитите. Омелъяненко (в: *Метасоматизм и ...*, 1998) отбелязва формалния характер на тази класификация, която не отчита установени генетични съотношения между някои типове метасоматити.

Като други слабости на класификацията могат да се изтъкнат следните: а) необвързването на формациите към етапите на хидротермалния цикъл и типовете магматизъм, б) неотчитането на основните физикохимични фактори, водещи до разнообразието на различните фацисии и в) липсата на връзката на формациите с орудяванията.

За ликвидирането в известна степен на част от слабостите на класификацията на Жариков и др. (1992) Омелъяненко (в: *Метасоматизм и ...*, 1998) предлага нова класификационна схема за характерните типове метасоматични скали. В схемата са въведени някои допълнителни характеристики: като дълбочина на формиране на формациите, връзка с магматизма, спрегнати метасоматични процеси, характерни рудни елементи (синхронни, спрегнати и наложени).

По отношение на рудата рудоносните метасоматити се поделят от Русинов (в: *Метасоматизъм и ...*, 1998) на дорудни, предрудни и синрудни.

Таблица 4
Систематика в класа на метасоматитите (Жариков и др., 1992)

Table 4
Systematic in the class of metasomatic rocks (Жариков и др., 1992)

Ред (формация)	Семейство (фацис)
А. Група на киселинните метасоматити	
1. Аргилизити – фумаролно-солфатарни и хидротермални	каолиново, монтморилонново, хидрослюдено
2. Березити – листовити	карбонатно, хлоритово, пиритово, хематитово
3. Кварц-серицитови метасоматити	–
4. Пропилити	актинолит-епидотово, хлорит-епидотово, хлорит-карбонатно
5. Вторични кварцити	дикит-диаспорово, пиропилит-диаспорово, алуново, серицово, дюмортиеритово, турмалиново
6. Кварц-турмалинови метасоматити	турмалин-(актинолит)-хлоритово, турмалин-серицово, калциево-борсиликатно и др.
7. Грайзени	мусковитово, цинвалдитово, топазово, флуоритово и др.
8. Кварц-фелдшпатови метасоматити	калцифелдшпатово, албитово
9. Кварц-дистен (силиманит)-мусковитови метасоматити	дистеново, силиманитово, мусковитово, кордиеритово и др.
10. Кварц-амфибол (хлорит)-епидот-фелдшпатови метасоматити	актинолит-епидотово, хлорит-епидотово
11. Серпентинити по ултрабазити	антигоритово, хризотилово, лизардитово
12. Талк-карбонатни метасоматити	тремолитово, талк-магнезитово
Б. Група на алкалните метасоматити	
13. Натриеви метасоматити	егирин-рибекитово, епидот-хлоритово, калцит-хлоритово
14. Микроклинови метасоматити	–
15. Албит-микроклинови метасоматити	–
16. Нефелинови метасоматити	–
В. Група на алкалоземните метасоматити	
17. Камафорити	–
18. Карбонатити	калцитово, доломитово и др.
19. Епидот-албит-калцитови метасоматити	–
20. Амфибол-хлоритови метасоматити	амфиболово, хлоритово
21. Хлорит-карбонатни метасоматити	калцитово, анкеритово, хлоритово
22. Зеолит-монтморилонитови метасоматити	морденит-хейландитово, ломонтит-десминово
23. Апатит-хематит-кварц-карбонатни метасоматити	–
24. Кордиерит-биотитови метасоматити	биотитово, кордиерит-биотитово
Г. Група на контактно-реакционните метасоматити	
25. Калиеви метасоматити	ортоклазово, биотит-ортоклазово
26. Силициевоалкални метасоматити	–
27. Фенити	оливиново, пироксеново, биотитово, алкално амфиболово
28. Магнезиеви скарни	форстерит-шпинелово, монтичелитово, хиперстеново и др.
Подгрупа на посмагнените метасоматити	
29. Магнезиеви скарни	флогопитово, паргаситово и др.
30. Оливинови, пироксенови и актинолитови метасоматити	оливиново, пироксеново, актинолитово
31. Калциеви скарни	воластонитово, пироксен-гранатово, пироксен-епидотово и др.

Дорудните метасоматити са относително големи по обхват изменени скали, които не са свързани непосредствено с рудоотлагането. В тях са вместили по-късни, обикновено киселинни метасоматити — носители на рудната минерализация. Към най-добрите примери за дорудни метасоматити се отнасят изменените скали на формацитите на скарните и пропилитите, в които орудяването е наложено.

Предрудните метасоматити са с локална изява и се характеризират с голямо разнообразие. Локално проявеният метасоматизъм протича по-рано от рудоотлагането и може да се наложи върху дорудния. Напр. той е проявен в ендоконтактите на гранитпорфирови интрузиви като негов продукт са рудоносни скали от формацитите на вторичните кварцити, грайзените, кварц-фелдшпатовите метасоматити, кварц-серицитовите метасоматити и др; в куполите на хипоабисалните гранитоиди — с образуване на предруд-

ни метасоматити на формацията на грайзените и др., или като околжилно изменение — с изменени скали към формацитите на березитите, гумбитите и др.

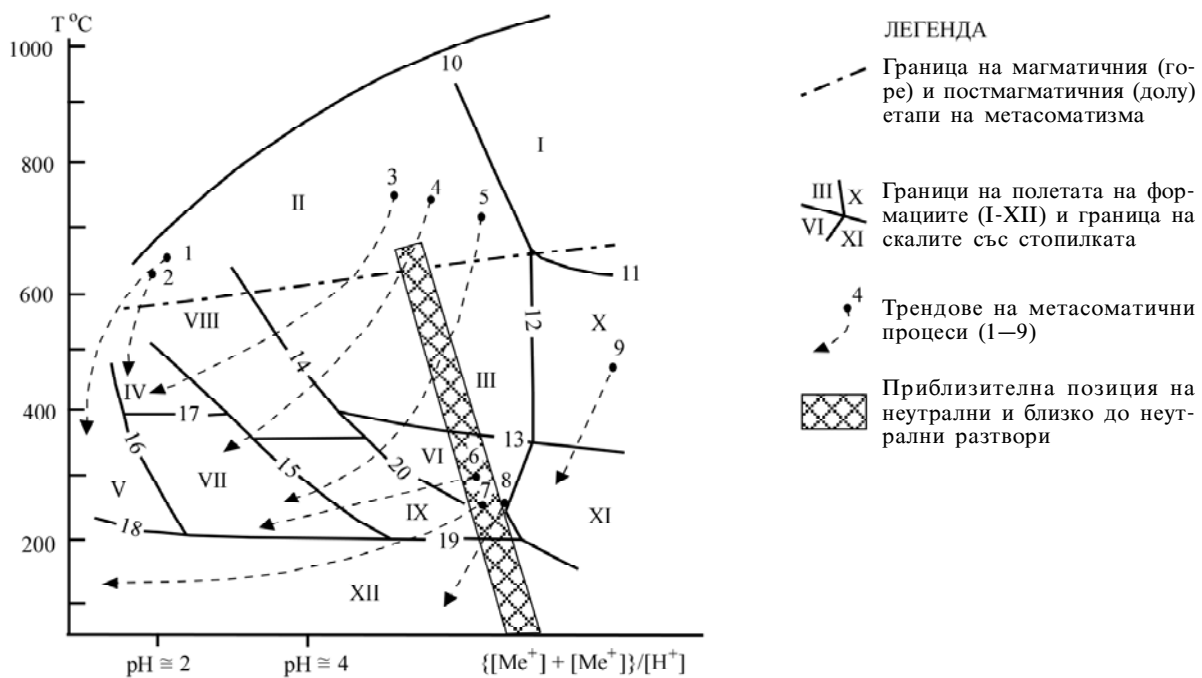
Синрудните (рудосъпровождащите) метасоматити са продукти на непосредственото въздействие на рудоносния разтвор с вместиращите скали. Най-често са мономинерални, без зонален строеж. Разпространени са в контактните зони на зърната или агрегатите на рудните минерали, около рудните прожилки и в залбандите на рудните жили. Примери за тези метасоматити са рудните брекчи, в които изменени (амфиболови, хлоритови, карбонатни, калиевофелдшпатови, албитови, серицови, кварцови) късове от вместиращите скали са циментирани от рудна spojка.

Пострудните метасоматити са представени обикновено от прожилки на калцит, кварц или зоолити без рудни минерали.

В редица случаи съвместяването на метасоматитите и рудите в пространството е свързано с наличието на общ структурен контрол по отношение на различни по възраст хидротермални изменения и орудявания. Особено често се установява налагане на локални хидротермални метасоматични процеси, с които е свързано орудяване, върху по-ранни дорудни метасоматити с площно развитие. Очевидно за наложения тип орудяване е необходимо да се отделят по-ранните метасоматити, несвързани с рудообразователния хидротермален процес. Тези по-ранни метасоматити не могат да се разглеждат като

собствено околорудни метасоматити, генетически свързани с орудяването.

С отчитане на двата най-главни фактора на метасоматичното минералообразуване — температурата и алкалност–киселинността на средата, изразена чрез отношението на валовата активност на едно- и двувалентните катиони на основите и активността на водородния катион в разтвора, е предложена физикохимична систематизация на главните метасоматичните формации (Русинов в: *Метасоматизм и ...*, 1998). На фиг. 4 е показана полуколичествената диаграма с полетата на формациите.



Фиг. 4. Полуколичествена диаграма с полетата на главните метасоматични формации (Русинов в: *Метасоматизм и ...*, 1998)

Поleta на формации: I — метасоматити на алкално-ултрабазични комплекси; II — магнезиеви скарни; III — калциеви скарни; IV — грайзени; V — вторични кварцити; VI — пропилити; VII — березити; VIII — кварц-фелдшпатови метасоматити; IX — гумбеити; X — алкални метасоматити (егирин-албитови, албитити, микроклинити); XI — ейсити; XII — аргилизити

Трендове на еволюцията (1–9): 1 — порфиров (кварц-фелдшпатови метасоматити — вторични кварцити); 2 — грайзенов; 3 — скарново-грайзенов; 4 — скарново-березитов; 5 — скарново-пропилитово-березитов; 6 — пропилитово-гумбеитово-березитов; 7 — пропилитово-аргилизитов (в епитермални рудни находища); 8 — пропилитово-аргилизитов (в геотермални полета); 9 — алкално-фелдшпатов

Моновариантни граници на полетата (10–20): 10 — фелдшпат + (K, Na)₂O = фелдшпатоид; 11 — егирин + H₂O = рибекит; 12 — клинопироксен + (K, Na)₂O = егирин; 13 — диопсид + H₂O + CO₂ = актинолит + хлорит; 14 — албит + CaO = плагиоклаз; 15 — мусковит + K₂O = калиев фелдшпат; 16 — каолинит + K₂O = мусковит; 17 — мусковит + H₂O = серицит; 18 — диаспор + кварц + H₂O = каолинит; 19 — албит + H₂O = аналцит; 20 — анкерит + кварц + MgO = калцит + хлорит + CO₂

Fig. 4. Semiquantitative diagram with the fields of major metasomatic formations (Rusinov in: *Метасоматизм и ...*, 1998)

Fields of formations: I, metasomatites of alkaline-ultramafic complexes; II, magnesian skarns; III, calcic skarns; IV, greisens; V, secondary quartzites; VI, propylites; VII, beresites; VIII, quartz-feldspar metasomatic rocks; IX, gumbeyites; X, alkaline metasomatic rocks (aegirine-albite, albitites, microclinites); XI, aecites; XII, argillizites

Trends of evolution: (1–9) 1, porphyric (quartz-feldspar metasomatic rocks — secondary quartzites); 2, greisen; 3, skarn-greisen; 4, skarn-beresitic; 5, skarn-propylitic-beresitic; 6, propylitic-gumbeitic-beresitic; 7, propylitic-argillic (in epithermal ore deposits); 8, propylitic-argillic (in geothermal fields); 9, alkali feldspar

Monovariant boundaries between the fields (10–20): 10, feldspar + (K, Na)₂O = feldspatoid; 11, aegirine + H₂O = riebeckite; 12, clinopyroxene + (K, Na)₂O = aegirine; 13, diopside + H₂O + CO₂ = actinolite + chlorite; 14, albite + CaO = plagioclase; 15, muscovite + K₂O = K-feldspar; 16, kaolinite + K₂O = muskovite; 17, muscovite + H₂O = sericite; 18, diaspor + quartz + H₂O = kaolinite; 19, albite + H₂O = analcime; 20, ankerite + quartz + MgO = calcite + chlorite + CO₂

Отбелязано е, че в общи линии полетата съответстват на взаимоотношенията на природните метасоматични образувания. По отношение на алкалност-киселинността се отделени четири групи метасоматични формации: 1) най-киселинни (вторични кварцити), 2) по-слабо киселинни (березити, грайзени), 3) близко до неутрални метасоматити (с устойчиви верижни силикати — фелдшпати и зеолити), 4) алкални (с фелдшпатоиди). Границата между високо- и среднотемпературните формации е около 400°C, а между средно- и нискотемпературните метасоматити е малко над 200°C.

Схемата не предлага фащиална подялба на метасоматичните формации, а главна формация като кварц-серицитови метасоматити не е означена и най-вероятно е в полето на формацията на березитите. Самият автор характеризира предлаганата схема като опит за систематизация на главните метасоматични формации и отбелязва, че схемата допуска детайлизация за отделяне на фацисии или на нови формации в пределите на обособените полета.

В заключение, в стремежа за предлагане на по-лесно ползваеми класификации се констатира отстъпление по отношение на възможностите на класификацията на формационна основа (Жариков, Омеляненко, 1978). Тази класификация е синтез на постиженията във физикохимичната метасоматична петрология и предлага най-богатата генетична информация за процесите на хидротермални изменения.

Сравнителна характеристика на класификациите на метасоматитите и на околорудните изменения на скалите

Едно сравнение на резултатите от анализите на теоретичните основи и обхвата на класификациите на метасоматитите на формационна основа (Жариков, Омеляненко, 1978) и на околорудните изменения на скалите (Meyer, Hemley, 1967) показва значителните предимства на формационната класификация. Формационната класификация обхваща значително по-широк спектър от метасоматични процеси, отразява по-пълно тяхната сложност и многообразие.

Равновесните минерални асоциации в класификацията на околорудните изменения са характерни само за състава на метасоматитите от дадена зона в находището и са определящият елемент за типа изменение на скалите в зоната. Те не предлагат информация за външните условия на метасоматичното минералообразуване (температура, налягане, активност на напълно подвижните компоненти). Единичният елемент във формационната класификация — метасоматичният фацис, обхваща съвкупността от минералните парагенези в различните зони на единната

метасоматичната колонка. Това дава значително по-пълна генетична информация за еволюцията на процесите в системата скала—хидротермален разтвор. По отношение на типовете изменения по зони фацисът е интегрален елемент — в една метасоматична колонка са проявени различни типове околорудни изменения и преходи между тях.

Благодарение на разработената от Коржинский (1973) класификация на компонентите за целите на физикохимичния анализ на минералните парагенези, в сред компонентите, изграждащи метасоматичната скала в дадена зона, могат да се определят виртуалните инертни компоненти, имащи значение за образуването на продуктите на най-различни по физикохимичната си същност метасоматични процеси. Цялото разнообразие на възможните при даден метасоматичен процес минерални парагенези се изследва като се строят диаграми, на координатните оси на които се нанасят два от параметрите, зададени от външните условия (t , pH , активност на напълно подвижните компоненти). В полетата на тези диаграми за отчитане на външните условия на метасоматичното минералообразуване са диаграмите за състав—парагенеза, във върховете на които са поставени виртуалните инертни компоненти. Това позволява във формационната класификация на метасоматитите да се отделят фацисии в зависимост от температурата, активностите на напълно подвижните компоненти и алкалност—киселинността на средата.

Теоретичните основи на формационната класификация дават възможност за цялостно изследване на физикохимичните условия на образуването на метасоматитите, което не е по възможностите на класификацията на околорудните изменения на скалите. В парагенетични диаграми могат да се представят многокомпонентни системи и равновесните съотношения на повече от три минерални фази във външните и междинните зони на единната метасоматична колонка.

С прилагане на физикохимичния анализ на минералните парагенези и теорията на метасоматичната зоналност могат да се проследят химичните реакции на границите между зоните в колонката, реда на диференциалната подвижност на компонентите и свързаното с него редуциране на минералния състав в междинните и вътрешните зони на колонката. Това предлага значителна по обем и детайли генетична информация за естеството и еволюцията на метасоматичния процес.

Достатъчно е да се сравнят два от най-детайлно изследваните генетични аналози в двете класификации — околорудното изменение интензивна аргилизация и метасоматитите на формацията на вторичните кварцити, за да се открият ясно предимствата на формационната класификация (Каназирски, 1996).

Общото в двете класификации са характеризиращите ги минерали и възможните равновесни отношения между тях. В диаграмата за интензивната аргилизация на фиг. 2 се отчита връзката химичен състав — минерален състав само в зависимост от съдържанията на критичните компоненти в състава на параметрите А, К и F. В текста на фигурата е отбелязано, че високотемпературния еквивалент на минералите със състав в т. А е андалузитът. С това се изчерпва генетичната информация на диаграмата.

При разглеждане на метасоматичните фациса Каназирски (1996) коментира част от фациалното разнообразие на метасоматитите на формацията на вторичните кварцити в зависимост от температурата и активностите на напълно подвижните компоненти, имащи значение за качествено разнообразие на минералните парагенези. Всеки фацис се характеризира със своя специфична метасоматична колонка. Това е несъмнено много по-пълна генетична информация, която не може да се получи от класификацията на околорудните изменения на скалите.

Изследванията с прилагане на формационната класификация на изучените във висока степен околорудни изменения в златно-алунитовото находище Родалкилар, ЮИИ Испания позволяват да се обогатят познанията ни за образуване на находището (Каназирски, 1996). Като основа за коректното определяне на типовете изменения в различните зони при латералната и вертикалната зоналност в находището се използва физикохимичният анализ на минералните парагенези, който дава възможност да се характеризират физикохимичните условия на протичане на метасоматичните минералообразователни процеси. Изведени са химичните реакции на границите между зоните, проследен е парагенетичния тренд на измененията. С прилагане на фациален анализ е определена фациалната и формационната принадлежност на метасоматитите и е анализирана богатата генетична информация, която формационната класификация позволява да се изведе.

Използването на класификацията на околорудните изменения у нас е целесъобразно в началните изследвания на изменените скали преди провеждането на фациален анализ и точното определяне на формационно-фациалната принадлежност на метасоматитите. Характерните типове изменения за различните зони на единната метасоматична колонка биха послужили като основа за сравнение на двете класификации и привеждане данните на изследователите от двете школи на единен геоложки език.

Прилагането на формационната класификация на метасоматитите в страната ни е предимство на българските геолози. Повишаването на нивото на физикохимичните петроложки познания на специалистите в областта на метасоматизма у нас несъмнено ще допринесе за компетентното използване на класификацията и решаването на важни проблеми в метасоматична-

та петрология в страната. Принос в това отношение могат да имат също така: а) задълбоченото физикохимично петроложко изучаване на метасоматични формации, характерни за определени, генетично индивидуализирани магмени комплекси с голямо разпространение у нас, б) съставянето и предлагането на лесно ползваеми за целите на формационно-фациалния анализ специфични за всеки фацис метасоматични колонки, в) използване на някои резултати в разработките на изследователи, прилагащи класификацията на околорудните изменения на скалите (в случаи на детайлна разработка на тип изменение), за генетичните им аналози във формационната класификация.

Систематика на метасоматични скали, предложена от Подкомисията за систематика на метаморфните скали

Бяхме приятно изненадани от осъзнатата необходимост от Подкомисията за систематика на метаморфните скали за разработване на общоприета единна систематика на метасоматичните скали, която да обедини постиженията на генетичните класификации на околорудните изменения на скалите и формационната класификация на метасоматитите. Това е проблем, по който работим от 1994 г. и за който винаги сме считали, че трябва да има решение от авторитетно международно научно звено, обединило усилията на изтъкнати изследователи в областта на метасоматичната петрология. Систематиката на метасоматичните скали е разработена от работна група с председател Н. Перцев от ИГЕМ (Русия). Ние разполагаме с варианта от декември 2003 г. (Zharikov et al., 2003). Окончателно приетият вариант се очаква да бъде публикуван през 2007 г.

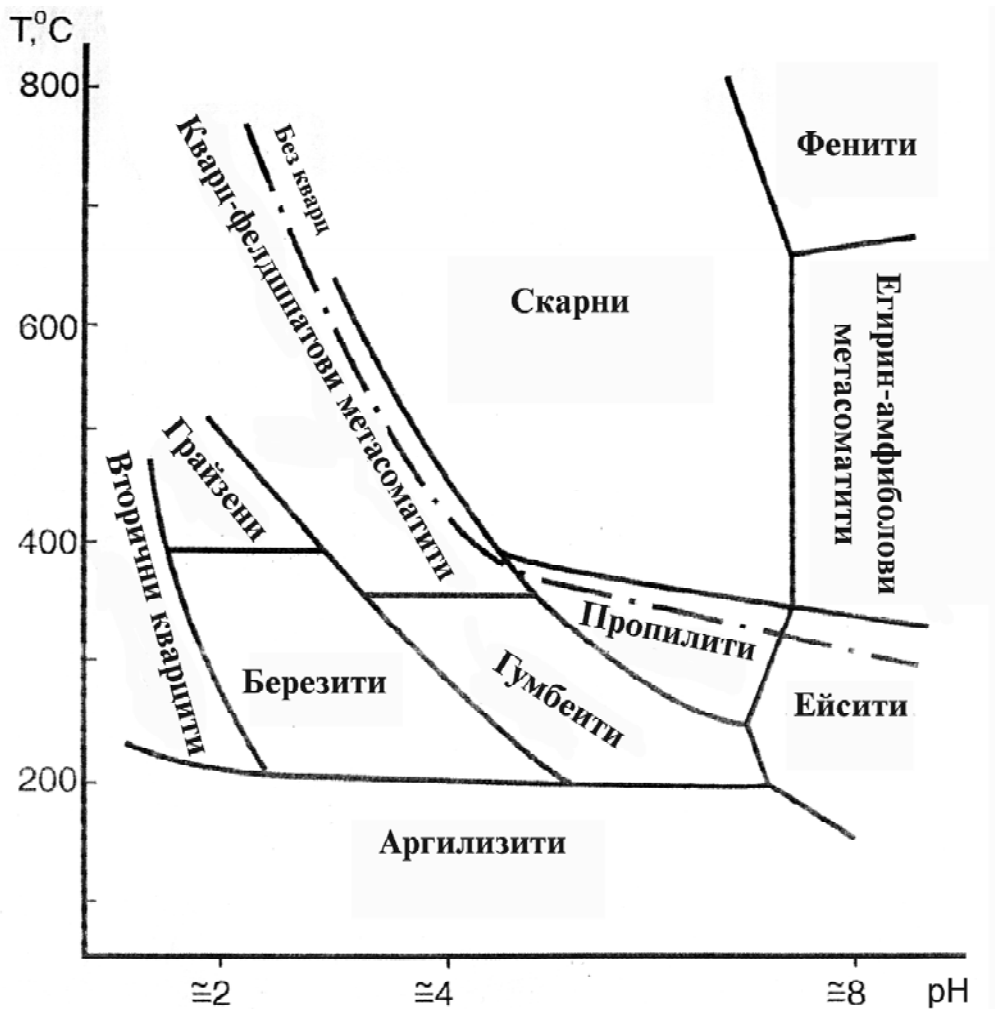
Със задоволство констатираме, че за създаване на предложената систематика са приети основните постижения на водещата в областта на метасоматичните процеси физикохимична петроложка школа на Коржинский — за механизма, типовете метасоматоза и класификацията на процесите и теорията на метасоматичната зоналност. Като основни елементи на систематиката се предлагат понятията метасоматичен фацис и метасоматично семейство. Метасоматичният фацис е определен като „специфична съвкупност от метасоматични зони — метасоматична колонка, получена при сходни физикохимични условия (състав на изходните скали, Т—Р условия и състав на метасоматизиращите разтвори или флуиди)“. Вместо метасоматична формация се предлага по-подходящото за възприемане еквивалентно понятие метасоматично семейство — съвкупност от родствени фациса, получени при различаващи се физикохимични условия, обусловени от промяната на един (или повече) от физикохимичните параметри на системата скала—разтвор/флуид.

Всъщност систематиката (фиг. 5) е видоизменен вариант за по-лесно ползване на физико-химичната систематика на главните метасоматични формации, предложен от Русинов (в: *Метасоматизм и ...*, 1998), показан на фиг. 4.

Направено е кратко описание на метасоматичните семейства: фенити, скарни (с подсемеяства на магнезиеви скарни на магмения и постагмения етап и на калциеви скарни), родингити, грайзени, березити, пропилити, „вторични“ (хидротермални) кварцити, гумбеити, ейсити, аргилизити, алкални метасоматити. Гумбеитите са средно-до нискотемпературни метасоматични скали с главни минерали кварц, ортоклаз и хематит. Образувани са при промяна на гранодиорити и са свързани с жили с W и Cu. Ейситите са асоциирани с U-минерализация метасоматични скали, получени при нискотемпературна натриево алкална метасоматоза. Изградени са

от албит, в подчинени количества карбонат и хематит и като акцесорен минерал U-съдържащ апатит. Детайлно описание на голямата част от тези семейства като метасоматични формации е дадено в *Метасоматизм и ...* (1998).

На диаграмата на фиг. 5 са показани най-главните и разпространени метасоматични семейства. Както отбелязват авторите, списъкът на метасоматичните семейства може да бъде продължен, но той би включил семейства, които не са така отчетливо характеризирани и представени. Голяма част от метасоматичните скали не показват генетично проследими родствени отношения по между си. В случаите, в които има затруднения за отнасяне на метасоматитите към определено семейство, Подкомисията препоръчва наименованията на скалите да се направи по главните минерали в тях. Не е за предпочитане да се дават нови, географски или други наименования



Фиг. 5. Обща T – pH (качествена) скица на полетата на метасоматичните семейства (Zharikov et al., 2003)
Линията с точки отделя семейства с кварц или без кварц; плътните тесни линии са границите между семействата.

Fig. 5. The general T – qualitative pH sketch of the metasomatic families fields (Zharikov et al., 2003)
The dotted lines separate families with and without quartz, thin solid lines are boundaries of families.

на метасоматичните скали, фацисите и семействата, които не са основани на минералния състав.

Отчитайки сложността на проблема и степента на подготовка в областта на метасоматичната петрология на специалистите от различни страни, с разбиране се отнасяме към трудностите, свързани с приемането от всички изследователи на препоръчаната система-

тика на метасоматичните скали от Подкомисията за систематика на метаморфните скали. В очакване на публикуване на окончателния вариант, считаме като начална успешна стъпка решението на Подкомисията, което отразява приоритета на систематиката на основа метасоматични фацисе и семейства (формации) пред класификациите на околорудни изменения на скалите.

Литература

- Беляев, Г. М., В. А. Рудник. 1978. Зональность и комплементарность продуктов метасоматизма как основа формационного анализа. — В: *Метасоматизм и рудообразование*. М., Наука, 34—47.
- Жариков, В. А. 1956. Опыт классификации метасоматических образований на примере скарновых полей Западного Карамазара. — *Зап. Всес. минерал. общ.*, 85, 3, 344—356.
- Жариков, В. А. 1959. *Геология и метасоматические явления в скарново-полиметаллических месторождениях Западного Карамазара*. Тр. ИГЕМ АН СССР, 14, 371 с.
- Жариков, В. А. 1968а. Парагенезис минералов, фаций и формаций. — *Зап. Всес. минерал. общ.*, 97, 4, 510—514.
- Жариков, В. А. 1968б. Скарновые месторождения. — В: *Генезис эндогенных рудных месторождений*. М., Недра, 220—302.
- Жариков, В. А. 1982. Физико-химические исследования околорудного метасоматизма. — *Геохимия*, 12, 1754—1779.
- Жариков, В. А., Б. И. Омеляненко. 1965. Некоторые проблемы изучения изменений вмещающих пород в связи с металлогеническими исследованиями. — В: *Изучение закономерности размещения минерализации при металлогенических исследованиях*. М., Наука, 119—190.
- Жариков, В. А., Б. И. Омеляненко. 1978. Классификация метасоматитов. — В: *Метасоматизм и рудообразование*. М., Наука, 9—28.
- Жариков, В. А., Б. И. Омеляненко, Н. Н. Перцев. 1992. Систематика и номенклатура метасоматических пород. — В: *Классификация и номенклатура метаморфических горных пород*. Справочное пособие. Новосибирск, 123—129.
- Каназирски, М. 1996. *Физикохимична петрология на формацията вторични кварцити и интензивната аргилизация на скалите. Хидротермални изменения в епитермално златно-алунитово находище Родалклар (ЮИ Испания)*. Автореферат дисерт. дгн. С., БАН, 79 с.
- Коржинский, Д. С. 1953. Очерк метасоматических процессов. — В: *Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях*. М., Изд. АН СССР, 333—456.
- Коржинский, Д. С. 1957. Режимы кислотности послемагматических растворов. — *Изв. АН ССР, Сер. геол.*, 12, 3—12.
- Коржинский, Д. С. 1969. *Теория метасоматической зональности*. М., Наука, 109 с.
- Коржинский, Д. С. 1973. *Теоретические основы анализа парагенезисов минералов*. М., Наука, 288 с.
- Марин, Ю. Б. 1989. *Метасоматические формации и их рудоносность*. 1989. Л., Изд. ЛГУ, 94 с.
- Метасоматизм и метасоматические породы*. 1998. М., Научный мир, 490 с.
- Наковник, Н. И. 1954. Пропилитизованные породы, их минеральных фации, генезис и практическое значение. — *Зап. Всес. минерал. общ.*, 2, 85—94.
- Наковник, Н. И. 1964. *Вторичные кварциты СССР и связанные с ними месторождения полезных ископаемых*. М., Недра, 338 с.
- Омеляненко, Б. И. 1978. *Околорудные гидротермальные изменения пород*. М., Недра, 216 с.
- Плюшев, Е. В. 1978. Геологические условия проявления метасоматических формаций. — В: *Метасоматизм и рудообразование*. М., Наука, 28—33.
- Роз, А. У., Д. М. Берт. 1982. Гидротермальные изменения пород. — В: *Геохимия гидротермальных рудных месторождений*. М., Мир, 148—199.
- Рундквист, Д. В., И. Г. Павлова. 1974. Опыт выделения формаций гидротермально-метасоматических пород. — *Зап. Всес. минерал. общ.*, 103, 3, 289—304.
- Corbett, G. J., T. M. Leath. 1998. *Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization*. Special Publication 6, Society of Economic Geologists, 237 p.
- Creasey, S. C. 1959. Some phase relations in hydrothermally altered rocks of porphyry copper deposits. — *Econ. Geol.*, 54, 351—373.
- Hayba, D. O., P. M. Bethke, P. Heald, N. K. Foley. 1985. The geological, mineralogical, and geochemical characteristics of volcanic-hosted epithermal precious metal deposits. — In: *Geology and Geochemistry of Epithermal Systems*. Rev. Econ. Geol., 2, 129—168.
- Heald, P., D. O. Hayba, N. K. Foley. 1987. Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: acid-sulfate and adularia-sericite types. — *Econ. Geol.*, 82, 1—26.
- Kanazirski, M. 1992. Mineral equilibria in the $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O-SO_3$ system as a basis for distinguishing the acid-sulfate and adularia-sericite types of magmatic rock alteration in epithermal deposits. — *C. R. Acad. bulg. Sci.*, 45, 12, 89—91.
- Kanazirski, M. 2003. Thermodynamic basis for distinguishing the acide-sulphate and adularia-sericite types of rock in epithermal deposits and genetic analogy the metasomatites of the formation classification. — *Geologica Balc.*, 33, 1-2, 65—74.
- Lindgren, W. 1933. *Mineral deposits*. 40ed. N. York, McGraw-Hill, 903 p.
- Meyer, C., J. J. Hemley. 1967. Wallrock alteration. — In: *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. N. York, Holt, Rinehart & Wilson Publ., 166—235.
- Pirjano, F. 1992. *Hydrothermal Mineral Deposits*. Principles and Fundamental Concepts for Exploration Geologist. Berlin, Springer-Verlag, 709 p.
- Schwartz, G. M. 1939. Hydrothermal alteration in the „porphyry copper“ deposits. — *Econ. Geol.*, 54, 161—183.
- Schwartz, G. M. 1955. Hydrothermal alteration as a guide to ore. — *Econ. Geol.*, 50th Anniversary Vol., 1905—1955, 1, 300—323.
- Zharikov, V. A., N. N. Pertzev, V. L. Rusinov, E. Callegari, D. J. Fettes. 2003. *Metasomatism and Metasomatic Rocks. A Proposal on behalf of the Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks*. Draft version, Sept. 2003, 16 p.

(Постъпила на 29.06.2006 г., приета за печат на 28.09.2006 г.)