

ПРИНЦИП НА НОРМАЛНОСТТА В ГЕОХИМИЯТА НА ОКОЛНАТА СРЕДА

Симеон Куйкин

Минно-геоложки университет “Св. Иван Рилски”, София 1700, България
E-mail: kuikin@iname.com

РЕЗЮМЕ

Нова специфична парадигма на геохимията на околната среда е формулираният от автора (2002) принцип на нормалността: Оптималните условия за живот в околната среда се определят от нормалните стойности на нейните геохимични характеристики – равнище на съдържанията на елементите, физикохимични и термодинамични параметри. Той има шест аспекта и следствия: (1) кларковите концентрации на елементите служат като еколого-геохимичен стандарт за условията на обитаване на живите организми, вкл. човека, в биосферата; (2) важна задача на геохимията на околната среда е определянето на минимални и максимални прагове на вариация на нормалните (кларкови или фонови) съдържания на елементите; (3) всички елементи са необходими за нормалното съществуване на живите организми, вкл. човека – няма “полезни” и “вредни” или “неполезни” елементи; (4) фоновото съдържание на елементите е основен геохимичен стандарт за качество на околната среда; (5) комплексната оценка на състоянието на околната среда включва изучаването и на нейните физикохимични и термодинамични параметри; (6) геохимичният подход има предимство пред екоотоксикологичния при оценката на качеството на компонентите на околната среда и степента на замърсяването.

Ключови думи: геохимия на околната среда, принцип на нормалността, кларкови съдържания, геохимичен фон, геохимични стандарти.

ВЪВЕДЕНИЕ

През 70-те години на 20-ти век, в отговор на силното изостряне на проблемите във връзка със замърсяването на околната среда се зароди една нова интердисциплинарна наука – **геохимията на околната среда**. Тя се развива в областта на контакта на геохимията с редица други естествени науки, преди всичко – с екологията, геологията, физическата география, химията, минералогията, почвознанието, хигиената (геохигиената) и др. Понастоящем геохимията на околната среда има ясно дефинирани философия и предмет на изследване. Като самостоятелен клон на геохимията тя изучава закономерностите на разпространението и миграцията на химичните елементи и техните антропогенни преобразования в околната природна среда на човека. Последната включва частта от екзосферите на Земята (антропосферата), която се обитава или посещава от човека – повърхността на сушата, долната част на атмосферата, хидросферата и горния слой на литосферата. Отличителната особеност на геохимията на околната среда е изследването на взаимодействието между веществата на “техногенезата” (Ферсман, 1955 – с. 704) и на природните геохимични системи и отговорът на последните при подлагането им на антропогенно въздействие. Нейната стратегическа цел – “геохимичен идеал”, според термина на Л. Г. Бондарев (1976 – с. 48) – е запазването на Земята на оптимални природни условия за живот на човека и другите организми. Доколкото антропогенните замърсявания на средата се представят от някакви вещества, изследванията за тяхното идентифициране и въздействие върху природните системи правят геохимията на околната среда фундаментален и неотменим елемент на борбата за оцеляване на човешкото общество, за балансирани (“устойчиви”) отношения между него и природната среда. Така тя се

утвърждава като наука на 21-ви век, едно от най-модните и приоритетни направления на изследванията в науките за Земята.

Кратък анализ на развитието на геохимията на околната среда и на нейните теоретични основи е направен в предишни публикации на автора (Kuikin, 2002; Куйкин, 2002). Целта на настоящата статия е да представи по-пълно принципа на нормалността, който е доразвит след двете горесцитирани работи.

МОТИВИ ЗА ФОРМУЛИРАНЕ НА ПРИНЦИПА НА НОРМАЛНОСТТА

Както отбелязва Дж. Фортескьо (1985 – с. 308, 309), през 60 – 70-те години на 20-ти век, когато геохимията като научна дисциплина се оказва неподготвена да посрещне проблемите за замърсяването на околната среда, с изучаване на поведението на елементите (най-вече на токсичните вещества) в природната среда започват да се занимават изследователи, които нямат геолошко образование и не са запознати с основите на геохимията. Това противоречие предизвиква явна бъркотия, и по-специално – изразходване на големи средства за изследвания без да се ползват наличните сведения и знания (Този процес по-късно се проявява и в България през 90-те години – виж: Куйкин, 2002). Към края на 70-те години в развитите страни се наблюдава постепенно завръщане към холистичния подход в геохимията на околната среда, важен принос за което правят трудовете на Е. Котни (Kothny, 1973), Дж. Фортескьо (1985) и др. Изяснява се, че за запазването, а според някои автори – за “създаването” (Перельман, 1973; Бондарев, 1976), на оптимални условия за живот на Земята е необходимо дълбоко познаване на състоянието и процесите в природните геохимични системи и техните изменения при

антропогенно въздействие. Само при такова условие е възможен правилен избор на комплекс от природозащитни действия. Въпреки това, в практиката все още не са редки случаите на съществени недоразумения в тази област. Те се изразяват по отношение на такива въпроси като: неразбиране на значението на геохимичния фон; неотчитане или подценяване на “слабите” геохимични аномалии; пренебрегване на физикохимичните и термодинамичните параметри на средата; формалистично отношение към хигиенните норми – пределно допустими концентрации (ПДК) и пр.; надценяване на резултатите от лабораторни екотоксикологични изследвания, извън връзката им с геохимичните характеристики на природната среда; абсолютизиране на понятието за “токсичността” на някои елементи (например арсен, селен, кадмий, живак и др.) и “ползността” на други елементи (например “нутриентите” азот, фосфор и др.). Сблъскването с такива или подобни недоразумения доведе автора до идеята за необходимостта от формулиране на нова парадигма на геохимията на околната среда, която да разкрива същността на такива основни термини като: оптимална жива среда, замърсяване на околната среда, геохимични стандарти и пр. Терминът “*парадигма*” (от гр. *paradeigma* – образец, пример) е въведен в наукознанието от Т. Кун (1996) и означава всеобщо признато научно постижение (закон, теория, приложение, инструментариум), което за определен период от време предоставя на една практикуваща научна общност модели на проблеми и на тяхното решаване. Парадигмата определя начина на мисленето (идеологията) и насоките на изследванията в дадена научна област.

Геохимията на околната среда надстройва своите теоретични концепции върху фундаменталните парадигми на общата (“класическата”) геохимия (Kuiikin, 2002; Куйкин, 2002) и три специфични нови парадигми: (1) принцип на нормалността; (2) екологична геохимия (или “екологичен подход”) и (3) геохимия на ландшафтите (или “ландшафтно-геохимичен подход”). Втората и третата от специфичните парадигми са разглеждани като такива от Дж. Фортекъю (1985). Принципът на нормалността е формулиран за пръв път от автора през 2000 г. (“Проучване и разработване на предохранителни стойности <precautionary values> за тежки метали и металоиди в почвите” – И. Атанасов, С. Куйкин и др., София, 2000, МОСВ – отчет № 874-2324) и е представен публично през 2002 г. (Kuiikin, 2002). Конкретната подбуда за това бяха срещаните в практиката грешки при извеждане на хигиенни норми (прагове) за повишени съдържания на вредни вещества в компонентите на околната среда (ПДК и др.). Например, при лабораторни екотоксикологични изследвания в Холандия (Meent, Aldenberg *et al.*, 1990) за максимално приемливи рискови нива (MAR) и незначителни рискови нива (NRL) на съдържанията на тежки метали в почвите са изведени стойности равни и даже по-ниски от справочните стойности за техния фон. Такива резултати са неприемливи за един геохимик. Възниква съмнение, че “нещо не е наред” – “парадигмата” на изследователите е грешна (по Кун, 1996). Според парадигмите на геохимията, такъв тип прагове трябва да бъдат над горната граница на вариация на нормалните (“фоновите”) съдържания на замърсяващите вещества. Освен това, очевидно не е отчетен и фактът, че

в природата веществата обикновено се срещат в “инертни” (неподвижни) форми и само част от тях – в “подвижни” (разтворими) форми, лесно усвоими от живите организми (концепцията за общи и парциални съдържания на елементите). Самите автори на цитираното изследване, въпреки лабораторно изведените стойности, препоръчват като “желателни нива” за веществата, които се срещат природно, да се приемат техните фонове съдържания.

ФОРМУЛИРАНЕ НА ПРИНЦИПА НА НОРМАЛНОСТТА; АРГУМЕНТАЦИЯ

С малки изменения в дефиницията от Kuiikin (2002), предложеният принцип може да се формулира по следния начин: **Оптималните условия за живот в околната среда се определят от нормалните стойности на нейните геохимични характеристики – равнище на съдържанията на елементите, физикохимични и термодинамични параметри.** Като парадигма този принцип е тясно свързан с другите две “специфични” парадигми – екологичната и ландшафтно-геохимичната (трите са части от едно цяло и функционират заедно), но неговото самостоятелно формулиране осигурява на изследователя по-ясен и задълбочен поглед (възглед) върху същността на явленията в природата и модел за решаване на проблеми, свързани с качеството на околната среда.

Принципът на нормалността е изява на две фундаментални тези: (1) закона на В. И. Вернадский (1954) за повсеместното разпространение и всеобщото разсейване на елементите и (2) единството на неживата и живата природа. Животът на Земята е възникнал и се е развивал в течение на милиарди години при условия, определени от наличието на всички химични елементи и съответните физикохимични и термодинамични параметри на външните обвивки на земната кора. Живите организми изграждат телата си от веществата на средата на обитаване, а тези вещества, по силата на повсеместното си разпространение, неизменно се включват в състава на организмите и, в съответствие с различните си свойства и количества, изпълняват своите специфични функции в структурата на тъканите им и в процесите на обмяна на вещества, енергия и информация. От друга страна, под влияние на организмите, се преобразува и химичният състав на екосферите на Земята – формира се биосферата. Установява се динамично равновесие между нейните компоненти, реализирано чрез биогеохимичния кръговрат на елементите. Съвременните биогеоценози и екосистеми са се формирали в продължение на стотици хиляди и милиони години (Кватернерния период). Адаптацията на организмите към геохимичните условия има глобален характер, вследствие на което оптимални за тях са нормалните, най-широко разпространените характеристики на околната среда.

НЯКОИ АСПЕКТИ И СЛЕДСТВИЯ НА ПРИНЦИПА НА НОРМАЛНОСТТА

Съзнавайки трудностите накратко да се обсъдят всички аспекти и следствия на разглеждания принцип, ще се спрем на шест по-важни положения.

Първо: *Кларковите съдържания* на химичните елементи служат като еколого-геохимичен стандарт за условията на обитаване на живите организми, вкл. човека, в биосферата. Ю. Е. Сает, Б. А. Ревич *и др.* (1990 – с. 58) формулират тази аксиома конкретно за човека, но очевидно тя има по-широко екологично значение. Кларковите, изчислени като средни съдържания общо за земната кора, за отделните ѝ слоеве и компоненти на околната среда, са обективни справочни стойности – геохимични стандарти за концентрациите на елементите, при които съществува животът на Земята. При регионалните оценки съдържанията на елементите се категоризират като нормални (околокларкови), дефицитни или недостатъчни (подкларкови) и излишни (надкларкови). Екологичните ефекти (ендемични болести на растенията, животните и човека) в регионите с дефицитни или излишни съдържания на някои елементи – “биогеохимичните зони и провинции” (Ковальский, 1974) – са предмет на изучаване от геоепидемиологията.

Второ: Важна задача на геохимията на околната среда е определянето на *минимални и максимални прагови стойности* на интервалите на вариация на нормалните (кларкови или фонови) съдържания на елементите в компонентите на околната среда, които ограничават условията за оптимално развитие на организмите (Ковальский, 1974; Сает, Ревич *и др.*, 1990; Алексеенко, 2000). Досега в геохимията се акцентираше предимно на средните стойности или само на горните прагове на нормалните съдържания с оглед на геохимичната типизация на обектите на изследване или идентифицирането на рудогенните аномалии и антропогенните замърсявания.

С възприеманото ново правило принципът на нормалността се оказва в съгласие с известните два фундаментални закона на екологията – (1) закон на толерантността (закон на В. Шелфорд): всеки жив организъм има определени, еволюционно наследени горна и долна граница на толерантност към всеки екологичен фактор; излизането на равнището на фактора дори извън една от тези граници е адекватно на несъвместимост на средата с живота, т. е. води до смърт; (2) закон за лимитиращия фактор: всеки жив организъм има такива граници на устойчивост (издръжливост, толерантност) към който и да е екологичен фактор, при излизането извън които този фактор предизвиква обратими или необратими функционални отклонения (нарушения) в едни или други органи и физиологични процеси, без да довежда непосредствено до летален изход (Стадницкий, 2002 – с. 99, 100). Разглежданият принцип третира именно геохимичните фактори на околната среда. А. И. Перельман (1975 – с. 131) предлага понятието за оптимално съдържание на химичните елементи в околната среда – такова тяхно съдържание в хранителните продукти, водите и въздуха, което по най-добър начин осигурява потребностите на човека. Той пледира за създаване на оптимални геохимични условия в различните ландшафтни зони (Перельман, 1973).

Трето: *Всички химични елементи са необходими* за нормалното съществуване на живите организми, включително човека – няма “полезни” и “вредни” или

“неполезни” елементи. “Въпрос може да стои само за техните необходими и вредни концентрации” (Алексеенко, 2000 – с. 162 и 525). Съединенията на всички химични елементи могат да бъдат както полезни, така и отровни за човека (Бъчварова и Петров, 1997 – с. 12). От тук следва и понятието за условността на такива термини като “хранителни” и “токсични” елементи. В това отношение ние намираме предшественик на нашата парадигма в сентенциите на швейцарския лекар и природоизследовател от 16-ти век Парацелз (Филип Ауреол Теофраст Бомбаст фон Хохенхайм, 1493 – 1541): “Всичко е отрова и нищо не е лишено от отровност” и “Дозата прави отровата”. Концентрацията е нещото, което определя дадено вещество като лекарство или отрова. При това важни са не само количествата, но и формите на намиране на елементите.

Не е трудно да се илюстрира тезата, че и “най-токсичните” елементи в ниски концентрации са необходими храни за организмите, а “най-хранителните” елементи във високи концентрации се превръщат в отрова за тях. На върха на “отровната йерархия на химичните елементи и техните съединения” (Бъчварова и Петров, 1997- схема 1) арсенът заема позицията на “крал на отровите”, а селенът – на “кардинал на отровите”. Техни съединения обаче се използват и като лекарствени средства. В човешкия организъм оптималните съдържания на селенови съединения са необходими за изпълняването на функциите на редица органи (ретината на очите, скелетните мускули, сърцето, черния дроб и др.). В регионите с недостиг на селен той се набавя на организмите под формата на хранителни добавки или лекарства. От друга страна “хранителните” елементи (нутриенти) въглерод и азот, заедно с водорода и кислорода, са градивни компоненти на токсините – едни от най-опасните отрови, многократно по-силни от класическите отрови на арсеновите и циановите съединения. Или друг пример – с жизнено необходимия за човека кислород: както кислородният глад (задушаването), така и кислородното пресищане (предозирането на кислород) са разновидности на отравянето (Бъчварова и Петров, 1997 – с. 18 – 23). На човека е необходима (неговият организъм е приспособен към) една оптимална концентрация на кислород. В разглежданите случаи “действия” правилото за “златната среда”.

Четвърто: *Фоновото съдържание* на елементите е основен геохимичен стандарт за качество на околната среда при еколого-геохимичните оценки. Регионалният геохимичен фон е база за изработване на хигиенни норми за качество на компонентите на околната среда, а местният геохимичен фон – за оценката на конкретните геохимични аномалии (природни и антропогенни). Равнището на концентрации и формите на намиране на елементите, най-общо казано, се определят от геоложката история, геоложкия строеж и климатичните, или в по-широк смисъл – физикогеографските условия (от “геоложкото минало” и “климатичното настояще” – Ферсман, 1955, с. 555) на различните области (“биосферни структури” – Алексеенко, 2000, с. 527). В стадия на “ноосферата” в компонентите на външните обвивки на Земята (почви, води, въздух и пр.) в отделни региони се наблюдава повишаване на геохимичния фон вследствие на

повсеместно регионално дифузно разсейване и постъпване на вещества от антропогенни източници (Terytze, 2001 – p. 76; Kuikin, Atanassov *et al.*, 2001 – p. 129).

Пето: Комплексната оценка на състоянието на околната среда включва изучаването и на нейните **физикохимични и термодинамични параметри** – киселинно-алкални (pH) и окислително-редукционни (Eh) условия, температура (T), налягане (P), влажност и пр. Те са фактори за формите на намиране, миграцията или акумулацията на природните и антропогенните вещества, а същевременно са и част от непосредствените екологични фактори. Както е известно, всеки екологичен фактор е динамичен, изменчив в пространството и във времето. Ето защо съвременните еколого-геохимични изследвания трябва да се провеждат на ландшафтно-геохимична основа, с отчитане на историята на развитието на ландшафтите.

Шесто: Геохимичният подход има предимство пред екотоксикологичния при оценката на качеството на компонентите на околната среда, в частност – при оценката на степента на замърсяването. В литературата се излагат много критични бележки за разработените през последните десетилетия хигиенни норми за максималните приемливи/допустими равнища (ПДК и др.) на повишени съдържания на замърсителите (Сает, Ревич *и др.*, 1990; Алексеенко, 2000 и др.). Прави се извод, че ПДК могат да се използват в практиката само като предварителни показатели-ориентир, необходими вероятно в страните с ниска екологична култура и през първите етапи на изследване в нови райони (Алексеенко, 2000 – с. 521). Нормите/стандартите за качество трябва да отчитат геохимичните характеристики на конкретните биосферни (или ландшафтно-геохимични) структури.

Необходимо е да се контролират внимателно и “слабите” замърсявания – нещо, което е въведено вече като задължително чрез законодателството за защита на почвите в някои страни, например Холандия (Swartjes, 1999) и Германия (Terytze, 2001). Показателно в това отношение е утвърждаването за почвите в Германия на диференцирани предпазни стойности (precautionary values) – индикатори за начало на възникване на опасни изменения в почвите. Изисква се екотоксикологично намерените прагове на въздействие да бъдат проверени спрямо актуалните фонове съдържания на веществата в почвите (Terytze, 2001 – p. 74, 76). Некомпетентни са експертните интерпретации, срещани често в докладите за оценка на въздействието върху околната среда – ОВОС, че стойностите под ПДК са показател за отсъствието на замърсяване, без да се съпоставят данните с горните прагове на фоновите съдържания. Възможно е в такива случаи да са налице “слаби” замърсявания, което би било повод да се изяснят източниците и механизмите на антропогенното замърсяване с цел неговото по-нататъшно отстраняване или ограничаване. Същевременно трябва да се има предвид, че продължителното въздействие на “слабите” замърсявания също води до негативни екологични последици, сходни с по-краткотрайните “интензивни” замърсявания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Значителният опит от практическата дейност и направените теоретични разработки в течение на повече от три десетилетия създадоха благоприятни предпоставки за формулирането на принципа на нормалността като важна специфична нова парадигма на геохимията на околната среда, съществен компонент на нейната философия. Литературните цитати във връзка с разглежданите шест аспекта и следствия на принципа показват, че в последно време те в значителна степен вече са били осъзнати и набелязани от водещи специалисти в тази научна дисциплина. Очаква се тяхното систематизиране в обхвата на една обща парадигма и формулирането на принципа на нормалността от своя страна да стимулира прогреса в по-нататъшното решаване на проблемите на геохимията на околната среда, за запазването на оптимални природни условия за живота и дейността на човешкото общество на Земята.

ЛИТЕРАТУРА

- Алексеенко, В. А. 2000. *Екологическая геохимия. Учебник.* М., Логос, 627 с.
- Бондарев, Л. Г. 1976. *Ландшафты, металлы и человек.* М., Мысль, 72 с.
- Бъчварова, Д., Г. Петров. 1997. *Познавате ли отровите?* С., Ромина, 180 с.
- Вернадский, В. И. 1954. *Избранные сочинения.* т. 1. М., АН СССР: 395–410 (ориг.: 1910); 519–527 (ориг.: 1927).
- Ковальский, В. В. 1974. *Геохимическая экология.* М., Наука, 299 с.
- Куйкин, С. 2002. Геохимия на околната среда и нейното развитие в България. – *Геол. и минер. ресурси*, 9, 7–13; 10, 28–32.
- Кун, Т. 1996. *Структурата на научните революции.* С., Изд. къща Петър Берон, 224 с. (English orig.: Kuhn T. 1970. *The structure of scientific revolutions.* 2nd ed. – *Int. Encycl. of United Science*, v. II, 2, Univ. of Chicago Press, Chicago, 210 p.).
- Перельман, А. И. 1973. *Геохимия биосфери.* М., Наука, 168 с.
- Перельман, А. И. 1975. *Геохимия ландшафта.* 2-е изд. (1-е изд., 1966). М., Высшая школа, 342 с.
- Сает, Ю. Е., Б. А. Ревич, Е. П. Янин, Р. С. Смирнова, И. Л. Башаркевич, Т. Л. Онищенко, Л. Н. Павлова, Н. Я. Трефилова, А. И. Ачкасов, С. Ш. Саркисян. 1990. *Геохимия окружающей среды.* М., Недра, 335 с.
- Стадницкий, Г. В. 2002. Екологическая безопасность: императивы, иллюзии, перспективы. – *Вестник МАНЭБ*, 7, 1 (49), 99–105.
- Ферсман, А. Е. 1955. *Избранные труды*, т. 3, М., АН СССР, 385 – 798 (*Геохимия*, т. 2; ориг. – 1934).
- Фортескью, Дж. 1985. *Геохимия окружающей среды.* М., Прогресс, 360 с. (Engl. original: Fortescue J. A. C. 1980. *Environmental geochemistry. A Holistic Approach.* Springer-Verlag, New York (Ecological studies 35), 347 p.)
- Kothny, E. L. (ed.) 1973. Trace elements in the environment. *Proc. Symp. – 162nd Meeting of the American Chemical Society, Washington D. C., Sept. 15th 1971.* – *Adv. in Chemistry Series 123; Amer. Chem. Soc., Washington D. C., 179 p.*

- Kuikin, S. 2002. Environmental geochemistry and its development in Bulgaria. – In: *Bulg. Geol. Soc. Annual Scientific Conference, Abstr. vol.*, Sofia, Nov. 21–22, 2002: 29–32.
- Kuikin, S., I. Atanassov, J. Christova, D. Christov. 2001. Background contents of heavy metals and arsenic in the parent soil-forming rocks in Bulgaria. – In: *Assessm. of the quality of contam. soils and sites in CEEC and NIS. Proc. Int. Worksh., Sept. 30 – Oct. 3, 2001*, Sofia, GorexPress: 121–130.
- Meent, D. Van de, T. Aldenberg, J. H. Canton, C. A. M. Van Gestel, W. Slooff. 1990. Desire for levels. Background study for the policy document “Setting environmental quality standards for water and soil”. – *Engl. vers. from Dutch, “Streven Naar Waarden”*: 52 p., RIVM – report No 670 101.001.
- Swartjes, F. A. 1999. Risk-based assessment of soil and groundwater quality in the Netherlands: Standards and remediation urgency. – *Risk Analysis*, 19, 6, 1235–1249.
- Terytze, K. 2001. Precautionary soil values according to the Federal soil protection and contaminated sites ordinance. – In: *Assessm. of the Quality of Contam. Soils and Sites in CEEC and NIS. Proc. Int. Worksh., Sept. 30–Oct. 3, 2001*, Sofia, Gorex Press, 73–78.

Препоръчана за публикуване от
катедра “Минералогия и петрография”, ГПФ

PRINCIPLE OF THE NORMALITY IN THE ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY

Simeon Kuikin

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, Bulgaria

E-mail: kuikin@iname.com

ABSTRACT

The propounded by the author (2002) principle of the normality is a new specific paradigm of the environmental geochemistry. It reads: The optimum living conditions of the environment are determined by the normal values of its geochemical characteristics – elements content level, physical-chemical and thermodynamic parameters. There are six aspects and consequences of the principle: (1) the Clarke contents of the elements serve as an ecological-geochemical standard of the conditions for living organisms habitat, incl. man, in the biosphere; (2) an important goal of the environmental geochemistry is the determination of minimum and maximum threshold values of the variation intervals of the normal (Clarke or background) element contents; (3) all the chemical elements are indispensable for the normal existence of the living organisms, incl. man – there are not "useful" and "injurious" or "useless" elements; (4) the background content of the elements is a cardinal geochemical standard for the quality of the environment; (5) the complex assessment of the state of the environment includes the investigation also of its physical-chemical and thermodynamic parameters; (6) the geochemical approach gains an advantage over the ecotoxicological one at the assessment of the quality of the environment components and of the degree of pollution.

Key words: environmental geochemistry, principle of the normality, Clarke contents, geochemical background, geochemical standards.

INTRODUCTION

A new interdisciplinary science – *the environmental geochemistry* was born in the 70ties of the 20th century in reply to the high sharpening of the problems connected with the contamination of the nature. It develops in the field of interface of the geochemistry with a number of other natural sciences, first of all – ecology, geology, physical geography, chemistry, mineralogy, soil science, hygiene (geohygiene), etc. At the present time the environmental geochemistry has its clearly defined philosophy and object of investigation. As a separate branch of the geochemistry it studies the regularities of the distribution and the migration of the chemical elements and their anthropogenic transformations in the man's natural environment. The latter includes the part of the Earth exospheres (the anthroposphere), which is being inhabited or visited by man: the land surface, the low part of the atmosphere, the hydrosphere and the upper part of the lithosphere. The distinctive feature of the environmental geochemistry is the investigation of the interaction between the substances of the "technogenesis" (Ферсман, 1955 – p. 704) and of the natural geochemical systems, and the reply of the latter ones in the case they undergo an anthropogenic impact. Its strategic object – "geochemical ideal", in accordance with the term of L. G. Bondarev (Бондарев, 1976 – p. 48) – is the preservation of optimum natural living conditions for the man and the other organisms on Earth. As far as the anthropogenic pollutions of the environment are presented by different kinds of substances, the studies for their identification and their effects on the nature systems turns the environmental geochemistry into a fundamental and immutable element of the struggle for the survival of the human society, for balanced ("sustainable") relations between it and the environment. Thus it strengthens its position as a science of the 21st century – one of the most modish and priority directions of the investigations in the Earth sciences.

A brief analysis of the development of the environmental geochemistry and its theoretical bases is done in previous publications of the author (Kuikin, 2002; Куйкин, 2002). The aim of this article is to present more fully the principle of the normality, which has been developed further after the two above cited works.

REASONS FOR THE FORMULATION OF THE PRINCIPLE OF THE NORMALITY

As J. Fortescue (Фортескью, 1985 – p. 308, 309) notices, during the 60 – 70ties of 20th century, when the geochemistry as a scientific discipline proved not to be ready to face the problems on the contamination of the environment, research workers without any geological education and knowledge of the principles of the geochemistry began studying the behavior of the elements (mostly of the toxic substances) in the environment. This contradiction caused an evident confusion, and in particular – spending of great funds for investigation without using the available information and knowledge (Such a process happened later on in Bulgaria during the 90ties – see: Куйкин, 2002). A gradual return to the holistic approach in the environmental geochemistry was observed in the advances countries toward the end of the 70ties and a contribution of importance for this have the works of E. Kothny (1973), J. Fortescue (1980 – Фортескью, 1985) and others. It was clarified that a good knowledge of the state and the processes within the nature geochemical systems and their transformations under an anthropogenic influence is necessary for the preservation, and according to some authors – for "the creating" (Перельман, 1973; Бондарев, 1976), of optimum living conditions on Earth. A proper choice of a complex of nature protective measures is possible only under such circumstances. Regardless of this, the cases of substantial misunderstandings are still not rare in the practice of this field. They are manifested in relation to such matters as: lack of understanding of the importance of the geochemical background; not giving an account or underestimation of "the weak" geochemical anomalies; neglecting of the physical-chemical and the thermodynamic parameters of the environment; formalistic attitude to the hygiene norms – maximum allowable concentrations (MAC), etc.; overestimation of the results of the laboratory ecotoxicological examinations irrespective of their relation to the geochemical characteristics of the nature environment; giving absolute meaning of the terms "toxicity" of some elements (e. g. arsenic, cadmium, mercury, selenium, etc.) and the "usefulness" of other ones (e. g. the "nutrients" nitrogen, phosphorus, etc.). The clash with such ones and similar to them misunderstandings brought about the author to the idea of the necessity of the formulation

of a new paradigm of the environmental geochemistry, that would reveal the essence of such basic terms as: optimum living environment, pollution of the environment, geochemical standards and so on. The term “*paradigm*” (from Greek “*paradeigma*” – pattern, example) is introduced in the *Wissenschaftslehre* by T. Kuhn and means a generally acknowledged scientific achievement (a law, a theory, an application, instruments), which gives models of problems and of their solutions to a practising scientific community for a space of time (Кун, 1996 – p. 12). The paradigm determines the way of thinking (the ideology) and the directions of the studies in a given scientific field.

The environmental geochemistry builds up its theoretical concepts upon the *fundamental paradigms of the general (“classic”) geochemistry* (Kuikin, 2002; Куйкин, 2002) and three specific new paradigms: (1) principle of the normality; (2) ecological geochemistry (or “ecological approach”), and (3) landscape geochemistry (or “landscape-geochemical approach”). The second and the third of the specific paradigms are considered as such ones by J. Fortescue (Фортескью, 1985). The principle of the normality is formulated for the first time by the author in 2000 (I. Atanassov, S. Kuikin *et al.*: “Investigation and elaboration of precautionary values for heavy metals and metalloids in soils”, Sofia, 2000, MEW – report № 874-2324) and is presented publicly in 2002 (Kuikin, 2002). The concrete motives to that are the coming across in the practice mistakes of deriving as hygiene norms (thresholds) for increased contents of injurious substances in the environment components – maximum acceptable/permitable concentrations (MAC or MPC, etc.). For example, values for maximum acceptable risk levels (MAR) and negligible risk levels (NRL) of heavy metal concentrations in soil, equal and even lower than their referent background values were derived through laboratory ecotoxicological investigations in the Netherlands (Meent, Aldenberg, *et al.*, 1990). Such results are unacceptable for a geochemist. A doubt arises that “something is wrong” – the researchers’ “paradigm” is wrong (after T. Kuhn – Кун, 1996)? According to the paradigms of the geochemistry, such thresholds should be above the upper variation limits of the normal (“background”) contents of the polluting substances. Moreover, obviously it hasn’t been given an account of the fact, that the substances in the nature are usually met in “inert” (immobile) forms, and only a part of them – in “mobile” (soluble) forms, easily consumable by the living organisms (the concept of the total and partial element contents). The authors of the cited study themselves, notwithstanding the derived values, recommend the background contents to be accepted as “desirable levels” for the naturally occurring substances.

FORMULATION OF THE PRINCIPLE OF THE NORMALITY; ARGUMENTATION

The propounded principle, with slight modification of the formulation in Kuikin (2002), could be defined in the next way: **The optimum living conditions of the environment are determined by the normal values of its geochemical characteristics – elements content level, physical-chemical and thermodynamic parameters.** This principle as a paradigm is closely connected with the other two “specific” paradigms – the ecological and the landscape-geochemical

(the three ones are parts of a whole and they function together), but its separate formulation ensure a more clear and deeper vision (outlook) on the essence of the nature phenomena and a model of solving of the problems connected with the environment quality.

The principle of the normality is a manifestation of two fundamental theses: (1) the V. I. Vernadskiy’s (Вернадский, 1954) law of the ubiquitous distribution and the uniform dispersion of the elements, and (2) the unity of the inorganic and the animate nature. Life on Earth has originated and evolved in the course of several milliards of years under the conditions, determined by the presence of all the chemical elements and the respective physical-chemical and thermodynamic parameters of the outer spheres of the earth crust. The living organisms build their bodies from the substances of their habitat, and these substances, due to their ubiquitous distribution, enter into the organisms’ composition and, in accordance to their different properties and abundance, exercise their specific functions in the structure of their tissues and in the exchange processes of matter, energy and information. On the other hand, under the influence of the living organisms, the Earth exospheres change their composition too – the biosphere is formed. A dynamic equilibrium is established between its components, which is kept through the biogeochemical circle of the elements. The present-day biogeocoenoses and ecosystems are formed in the course of hundred thousands to millions of years (the Quaternary period). The adaptation of the organisms to the geochemical conditions has a global nature, owing to that the normal, widespread characteristics of the environment are optimum for them.

SOME ASPECTS AND CONSEQUENCES OF THE PRINCIPLE OF THE NORMALITY

Being aware of the difficulties to put all aspects and consequences of the considered principle in a nutshell, we will dwell on six statements of paramount importance.

First: The clark contents of the chemical elements serve as an ecological-geochemical standard of the conditions for living organisms habitat, incl. man, in the biosphere. YU. E. Saet, B. A. Revich *et al.* (Сает, Ревич *и др.*, 1990 – p. 58) formulate this maxim particularly about man, but it has obviously a wider ecological significance. The clarkes, calculated as mean element contents totally for the earth crust, for its individual layers and environment components, are objective reference values – geochemical standards for the element concentrations, in which presence the life on Earth exists. At the regional assessments, the element contents are being categorized as normal (nearly equal to their clarkes), deficit or insufficient (bellow the clarkes) and surplus or excessive (above the clarkes). The ecological effects (endemic diseases of plants, animals and man) within the regions of deficit or surplus concentrations of some elements – “the biogeochemical zones and provinces” (Ковальский, 1974) – are an object of study for the geoepidemiology.

Second: An important goal of the environmental geochemistry is the determination of **minimum and maximum threshold values** of the variation intervals of the normal (clarkes or

background) element contents in the environment components, that limit the conditions of an optimum development of the organisms (Ковальский, 1974; Саєт, Ревич *и др.*, 1990; Алексеенко, 2000). So far the accent in the geochemistry was put mainly on the mean values, or only on the upper thresholds of the normal contents with a view of the geochemical typification of the objects of study or the identification of the ore-genic anomalies and the anthropogenic pollutions.

By the adoption of the new rule, the principle of the normality proves to be in accordance with the two known fundamental laws of the ecology: (1) the law of the tolerance: each one of the living organisms has its determinate, evolutionary inherited upper and low limit of tolerance to every ecological factor; the going out of the factor level even beyond one of those limits is adequate to an incompatibility of the surroundings with the life, i.e. leads to death; (2) the law of the limiting factor: each one of the living organisms has such limits of stability (endurance, tolerance) to whichever of the ecological factors, at the going out beyond that this factor causes reversible and irreversible functional aberrations (disturbances) both of some organs and of some physiological processes, without leading directly to a lethal exit (Стадницкий, 2002). The considered principle deals namely with the geochemical factors of the environment. A. I. Perelman (Перельман, 1975 – p. 131) proposes the notion of an optimum content of the chemical elements in the environment – such a content of theirs in the foodstuffs, water and air, which supplies the man's needs in the best way. He pleads for a creating of optimum geochemical conditions in the different landscape zones (Перельман, 1973).

Third: All the chemical elements are indispensable for the normal existence of the living organisms, incl. man – there are not “useful” and “injurious” or “useless” elements. “A question could stand only about their necessary and injurious concentrations” (Алексеенко, 2000 – p. 162 and 525). The compounds of all chemical elements could be both useful and toxic for the man (Бъчварова и Петров, 1977 – p. 12). From this follows the notion of the conventionality of such terms as “nutrient” and “toxic” elements. In this respect we find a forerunner of our paradigm in the maxims of the Swish physician and naturalist from the 16th century Paracelz (Philip Theofrast Bombast von Hohenheim, 1493 – 1541): “Everything is poison and anything is not devoid of poisonousness” and “The dose makes the poison”. The concentration is the thing that specifies a particular substance as a medicine or a poison. At that not the quantities only, but the forms of state of the elements are of importance as well.

It is not difficult to illustrate the thesis that even “the most toxic” elements in low concentrations are a necessary food for the organisms, and “the most nutritious” elements in high concentrations become a poison for them. Arsenic occupies the position of “a king of the poisons” and selenium – of “a cardinal of the poisons” on the top of “the poisonous hierarchy of the chemical elements and their compounds” (Бъчварова и Петров, 1997 – scheme 1). However their compounds are being used as medicines as well. The optimum concentrations of selenium compounds in the human organism are necessary for the realization of the functions of some organs (the retina of the eyes, the skeleton muscles, the heart, the liver, etc.). In the regions of selenium insufficiency it is provided to the organisms in the forms of food supplements or medicines. On the other hand, the “nutritious” elements (“the nutrients”) carbon and

nitrogen, together with hydrogen and oxygen, are constructive components of the toxins – ones of the most dangerous poisons, many times stronger than the classic poisons of the arsenic and cyanic compounds. Or another example – with the vital necessary for the man oxygen: both the oxygen hunger (the suffocation) and the oxygen satiating (the oxygen overdose) are varieties of a poisoning (Бъчварова и Петров, 1997 – p. 18 – 23). A man needs (his organism is adapted to) an optimum oxygen concentration. The rule of “the golden mean” is active in the cases considered.

Fourth: The background content of the elements is a cardinal geochemical standard for the quality of the environment at the ecological-geochemical assessments. The regional geochemical background is a basis for the elaboration of hygiene norms for quality of the environment components, and the local geochemical background – for the assessment of the concrete geochemical anomalies (natural or anthropogenic ones). The level of concentrations and the forms of element state, generally speaking, are determined by the geological history, the geological structure and the climatic, or in a broader sense – by the physical-geographical conditions (by “the geological past” and “the climatic present” – Ферсман, 1954, p. 555) of the individual regions or “biospheric structures” (Алексеенко, 2000 – p. 527). In the stage of “the noosphere” an increase of the geochemical background for the components of the Earth exospheres (soil, water, air, etc.) is observed in some regions, as a result of the ubiquitous regional diffuse dispersion and input of substances from anthropogenic sources (Terytze, 2001 – p. 76; Kuikin, Atanassov *et al.*, 2001 – p. 129).

Fifth: The complex assessment of the state of the environment includes the study also of its **physical-chemical and thermodynamic parameters** – power of hydrogen (pH), oxidation-reduction potential (Eh), temperature (T), pressure (P), humidity, etc. They are factors for the forms of the element state, the migration or the accumulation of the natural and the anthropogenic substances, and at the same time they are a part of the direct ecological factors. As it is well-known, each one of the ecological factors is dynamic and changeable in the time and in the space. That's why the contemporary environmental-geochemical investigations must be carried out on a landscape-geochemical basis, with giving an account of the development history of the landscapes.

Sixth: The geochemical approach gains an advantage over the **ecotoxicological one** at the assessment of the quality of the environment components, in particular – at the assessment of the degree of pollution. Many critical notes are given in the literature about the developed in the recent decades hygiene norms for the maximum acceptable or permissible levels (MAC or MPC, etc.) of increased concentrations of the pollutants (Саєт, Ревич *и др.*, 1990; Алексеенко, 2000, and others). It is concluded that MAC should be applied in the practice only as previous indicators–reference points, necessary probably in the countries of low ecological culture and during the initial stages of investigations in new regions (Алексеенко, 2000 – p. 521). The quality norms/standards must give an account of the geochemical characteristics of the concrete biosphere (or landscape-geochemical) structures.

“The weak pollutions” also must be controlled carefully – a thing that is already brought as obligatory into action by means

of the soil protection legislation in some countries, for instance The Netherlands (Swartjes, 1999) and Germany (Terytze, 2001). The adoption in the Germany's legislation of differentiated precautionary soil values – indicators of the arising of a hazardous soil change is indicative in this respect. It is required the ecotoxicologically founded effect thresholds to be checked against the actual soil background values (Terytze, 2001 – p. 74 and 76). Incompetent are the expert's interpretations, often coming across in the reports about the assessment of the influence on the environment – AIE (Bulg. "OBOC"), that the values below MAC are an indicator of an absence of pollution, without juxtaposing the date to the upper background thresholds. "Weak" pollutions are possible to be available in such cases, which could be a cause to find out the sources and the mechanisms of the anthropogenic pollution in order of its further elimination or restriction. At the same time, we must have in mind that the prolonged influence of the "weak" pollutions also leads to negative ecological effects, similar to that ones of the short-term "intensive" pollutions.

CONCLUSION

The considerable experience from the practical activities and the theoretical developments in the course of more than three decades created favourable prerequisites for the formulation of the principle of the normality as an important specific new paradigm of the environmental geochemistry, an essential component of its philosophy. The literary quotations in connection with the considered six aspects and consequences of the principle show that recently the last ones have been realized and traced out to a great extent by the leading specialists in this scientific discipline. Their systematization within the scope of a general paradigm and the formulation of the principle of the normality is expected, on the other part, to stimulate the progress in the further solution of the problems in the environmental geochemistry, for the preservation of optimum natural conditions for the life and the activity of the human society on Earth.

REFERENCES

- Kothny E. L. (ed.) 1973. Trace elements in the environment. *Proc. Symp. – 162nd Meeting of the American Chemical Society, Washington D. C., Sept. 15th, 1971. – Advances in Chemistry Series 123; Amer. Chem. Soc., Washington D. C.: 179 p.*
- Kuikin S. 2002. Environmental geochemistry and its development in Bulgaria. – In: *Bulg. Geol. Soc. Annual Scientific Conference, Abstr. vol., Sofia, Nov. 21 – 22, 2002: 29 – 32.*
- Kuikin S., I. Atanassov, J. Christova, D. Christov 2001. Background contents of heavy metals and arsenic in the parent soil-forming rocks in Bulgaria. – In: *Assessm. of the quality of contam. soils and sites in CEEC and NIS. Proc.*

- Int. Worksh., Sept. 30 – Oct. 3, 2001, Sofia, GorexPress: 121 – 130.*
- Meent D. Van de, T. Aldenberg, J. H. Canton, C. A. M. Van Gestel, W. Slooff. 1990. Desire for levels. Background study for the policy document "Setting environmental quality standards for water and soil". – *Engl. vers. from Dutch, "Streven Naar Waarden": 52 p., RIVM – report No 670 101.001.*
- Swartjes F. A. 1999. Risk-based assessment of soil and groundwater quality in the Netherlands: Standards and remediation urgency. – *Risk Analysis, v. 19, No 6: 1235 – 1249.*
- Terytze K. 2001. Precautionary soil values according to the Federal soil protection and contaminated sites ordinance. – In: *Assessm. of the quality of contam. soils and sites in CEEC and NIS. Proc. Int. Worksh., Sept. 30 – Oct. 3, 2001, Sofia, GorexPress: 73 – 78.*
- Алексеенко В. А. 2000. Экологическая геохимия. Учебник. – *Логос, Москва: 627 с.*
- Бондарев Л. Г. 1976. Ландшафты, металлы и человек. – *Мысль, Москва: 72 с.*
- Бъчварова Д., Г. Петров. 1997. Познавате ли отровите? – *Ромина, София: 180 с.*
- Вернадский В. И. 1954. Избранные сочинения, т. 1. – *АН СССР: 395 – 410 (оригинал: 1910); 519 – 527 (оригинал: 1927).*
- Ковальский В. В. 1974. Геохимическая экология. – *Наука, Москва: 299 с.*
- Куйкин С. 2002. Геохимия на околната среда и нейното развитие в България. – *Геол. и минер. ресурси, 9: 7 – 13; 10: 28 – 32.*
- Кун Т. 1996. Структурата на научните революции. – *Изд. къща Петър Берон, София: 224 с.* (English original: Kuhn T. 1970. The structure of scientific revolutions. 2nd ed. – *Int. Encycl. of united science, v. II, No 2, Univ. of Chicago Press, Chicago: 210 p.*)
- Перельман А. И. 1973. Геохимия биосферы. – *Наука, Москва, 168 с.*
- Перельман А. И. 1975. Геохимия ландшафта. 2-е изд. (1-е изд. 1966). – *Высшая школа, Москва: 342 с.*
- Саев Ю. Е., Б. А. Ревич, Е. П. Янин, Р. С. Смирнова, И. Л. Башаркевич, Т. Л. Онищенко, Л. Н. Павлова, Н. Я. Трефилова, А. И. Ачкасов, С. Ш. Саркисян. 1990. Геохимия окружающей среды. – *Недра, Москва: 335 с.*
- Стадницкий Г. В. 2002. Экологическая безопасность: императивы, иллюзии, перспективы. – *Вестник МАНЭБ, 7, 1 (49): 99 – 105.*
- Ферсман А. Е. 1955. Избранные труды, т. III. – *АН СССР, Москва: 385 – 798 (Геохимия, т. 2; оригинал: 1934).*
- Фортескью Дж. 1985. Геохимия окружающей среды. – *Прогресс, Москва: 360 с.* (English original: Fortescue J. A. C. 1980. Environmental geochemistry. A holistic approach. – *Springer-Verlag, New York (Ecological studies 35): 347 p.*)

Recommended for publication by Department of Mineralogy and Petrography, Faculty of Geology and Prospecting