

П. М. КАПЛАНЯН

ПРИНЦИПЫ НОРМИРОВАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЭЛЕМЕНТОВ В ПИТЬЕВЫХ ВОДАХ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ*)

В связи с предстоящей стандартизацией пресных подземных питьевых вод территории республики в предлагаемой статье делается попытка установления основных критериев оценки их качества.

В рамках этой проблемы рассматриваются правомерность и достаточность требований, предъявляемых к качеству питьевых вод для территории в целом, а также наличию и количественному содержанию различных ингредиентов, лимитированных (или подлежащих нормированию) величиной предельно-допустимой концентрации.

При выделении элементов с токсичными концентрациями наряду с действующим в большинстве стран жестким медико-биологическим нормированием предлагается учитывать и эколого-геохимические условия территории.

Действовавший на территории бывшего СССР государственный общесоюзный стандарт «Вода питьевая» носил весьма интегративный характер. Разработанный для одной шестой части суши планеты этот документ не мог учитывать все разнообразие природных факторов этой огромной территории, включающей к тому же такие сложные регионы, какими являются горно-складчатые области. Одним из таких усложненных регионов бывшего Союза является и территория Республики Армения. Все это дает нам основание считать, что распространение на всю территорию Союза единых нормативных документов по качеству питьевых вод с эколого-геохимической точки зрения ошибочно. И поэтому одной из основных (эколого-геохимических) задач стандартизации питьевых вод должно явиться дифференцированное нормирование компонентов минерализации применительно к различным регионам республики.

Большой диапазон существующих биоклиматических условий, разнообразие литолого-петрографического состава водовмещающих пород и металлогеническая специализация региона накладывают на природные воды своеобразную специфику, определяющую их питьевые качества.

Мозаичная пестрота химического состава вод, особенно по зонам местного и регионального стоков, во многом определяется существованием на территории республики различных металлогенических зон с набором полиметаллических, свинцово-сурьмяных, медно-молибденовых, медноколчеданных, хромитовых, алюминийсодержащих и других руд.

В результате сформированные экосистемы в каждом конкретном случае обладают различными, присущими только данной области, геохимическими показателями. Или иначе, весь комплекс нормированных элементов и их концентрации для различных регионов будут различны. Это обусловлено тем, что отмеченные параметры характеризуют принадлежность региона к той или иной биоклиматической, литолого-петрографической и металлогенической провинциям.

В первую очередь это относится к макрокомпонентному составу вод, формирующему экосистему в целом (хлор, сульфаты, гидрокарбонаты, формы азота, натрий, калий, кальций, магний, кремний) и которые обуславливают классы химического состава и величину минерализации.

*) Работа выполнена в рамках темы 94—582, финансируемой из госбюджета Республики Армения.

Эта категория ни в одном из известных нам стандартов не фиксируется, что, по нашему убеждению, является существенным упущением системы нормирования. Принадлежность воды к тому или иному классу является характерной особенностью формирования экосистемы региона. К примеру, для территории Армении хлоридные натриевые или сульфатно-хлоридные натриевые классы пресных питьевых вод с минерализацией свыше 650—700 мг/л следует, по-видимому, отнести к экологически неблагоприятным, распространение которых может явиться причиной нарушения функций организма. Наиболее распространенными классами формирующихся на территории республики питьевых вод являются: гидрокарбонатные кальциевые, гидрокарбонатно-хлоридные кальциево-магниевые, гидрокарбонатно-сульфатные, кальциево-натриевые с величиной общей минерализации 250—350 мг/л. Поэтому, для условий территории республики нормирование питьевых вод следует начинать с типизации классов химического состава на основе генерализации по следующему принципу— в анионном ряду учитывать компоненты, процентное содержание которых превышает 25—30%, а в катионном—за основу брать ведущий элемент. При таком подходе выделяются следующие химические классы питьевых вод, имеющие наибольшее распространение на территории республики: 1) гидрокарбонатные натриевые; 2) гидрокарбонатные кальциевые; 3) гидрокарбонатные магниевые; 4) гидрокарбонатно-хлоридные натриевые; 5) гидрокарбонатно-хлоридные кальциевые; 6) гидрокарбонатно-хлоридные магниевые; 7) гидрокарбонатно-сульфатные натриевые; 8) гидрокарбонатно-сульфатные кальциевые; 9) гидрокарбонатно-сульфатные магниевые.

Естественно, отмеченные классы вод имеют далеко не одинаковое распространение. Так, наиболее характерными для северной области складчатых хребтов являются гидрокарбонатные натриевые, гидрокарбонатно-сульфатные натриевые и гидрокарбонатные кальциевые с величиной общей минерализации от 250 до 400 мг/л. Химический состав вод Центрального вулканического нагорья, в основном характеризуется следующими показателями: гидрокарбонатным кальциевым; гидрокарбонатно-хлоридным кальциевым и, частично, гидрокарбонатно-хлоридным магниевым с довольно низкой величиной общей минерализации—от 100 до 280 мг/л, и, наконец, воды, формирующие свой состав в пределах складчатых и складчато-глыбовых южных областей, обладают преимущественно следующими параметрами: гидрокарбонатно-сульфатным натриевым; гидрокарбонатным кальциевым; гидрокарбонатным натриевым и гидрокарбонатно-хлоридным кальциевым составами с величиной общей минерализации, варьирующей в интервале значений от 70 до 400 мг/л.

Одним из наиболее существенных объектов разработки основ стандартизации питьевых вод является их микрокомпонентный состав. Здесь выделяются две группы элементов: первая группа—с установленными государственными стандартами и вторая—с неустановленными нормами. При этом следует отметить, что подавляющее большинство элементов и той, и другой групп имеют разработанные медико-биологические нормы предельно-допустимых концентраций (ПДК), которые за редким исключением представлены в стандартах различных стран близкими величинами, что свидетельствует о сходстве методических принципов лимитирования концентраций токсичных элементов. К числу первых относятся: алюминий, азот, бериллий, железо, марганец, медь, молибден, мышьяк, свинец, селен, сера, стронций, фтор, хлор, цинк. Вторую группу составляют: барий, бор, бром, вана-

дий, висмут, вольфрам, кадмий, кобальт, кремний, литий, ниобий, никель, ртуть, серебро; сурьма, таллий, теллур, титан, хром (табл. 1.).

Важной стороной этой проблемы является правомерность и достаточность применяемого принципа нормирования элементов и соединений в питьевых водах. Практика действующего во всем мире нормирования предельно-допустимых концентраций (ПДК) основана на системе жесткого медико-биологического лимитирования содержаний. Согласно этому документу верхние пределы концентраций нормированных элементов представлены значениями, отрицательно воздействующими на человеческий организм, причем, независимо от того, в какой конкретной эколого-геохимической среде обитает этот «усредненный» человек. Именно по этому принципу построены в большинстве стран нормирующие документы, регулирующие питьевые параметры вод (табл. 2.).

Таблица 1

Предельно-допустимые концентрации элементов, принятые в СССР
для вод хозяйственно-питьевого назначения

Элемент	ПДК мг/л	Класс опасности*	Элемент	ПДК мг/л	Класс опасности
Алюминий Al (остат.)	0.5	2	Никель Ni	0.1	3
Барий Ba	0.1	2	Ниобий Nb	0.01	2
Бериллий Be	0.0002	1	Олово Sn	0.05	2
Бор B	0.5	2	Ртуть Hg	0.0005	1
Бром Br	0.2	2	Свинец Pb	0.03	2
Ванадий V	0.1	3	Селен Se	0.001	2
Висмут Bi	0.1	3	Сера (в пересчете на SO ₄ ²⁻)	500.0	2
Вольфрам W	0.05	2	Стронций Sr	7.0	2
Железо Fe	0.3	3	Сурьма Sb	0.05	2
Кадмий Cd	0.001	2	Таллий Tl	0.0001	1
Кобальт Co	0.1	2	Теллур Te	0.01	2
Кремний Si	10.0	2	Титан Ti	0.1	3
Литий Li	0.03	2	Фосфор P (элементар.)	0.0001	1
Марганец Mn	0.1	3	Фтор F	1.5	2
Медь Cu	1.0	3	Хром (Cr VI)	0.1	3
Молибден Mo	0.25	2	Хром (Cr III)	0.5	3
Мышьяк As	0.05	2	Цинк Zn	5.0	3
Натрий Na	200.0	2			

*) Классы опасности: 1—чрезвычайно опасные; 2—высокоопасные; 3—опасные.

Как иллюстрирует таблица, набор и верхние пределы лимитированных компонентов в стандартах разных стран примерно одинаковы. Существующие же различия концентраций некоторых ингредиентов обусловлены отнюдь не эколого-геохимическими соображениями, учитывающими природные особенности, а скорее некоторыми различиями в медико-биологическом толковании этих величин. В противном случае величина каждого конкретного элемента оговаривалась бы примечаниями.

При рассмотрении таблицы отмечается интересная особенность стандартизации питьевых вод, принятая в Швейцарии. На территории этой страны действуют два уровня стандартов—«общего пользования» и вод «высшего класса». Нормирование первых в основном соответствует стандартам ВОЗ, ЕЭС и др., нормирование же вторых существенно отличается от них ужесточением лимитированных концентраций. При сравнении вод высшего класса с подавляющим большинством подземных питьевых вод, циркулирующих на территории Арме-

нии, отмечается, при небольших отклонениях, совпадение показателей почти всех ингредиентов. (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительная таблица норм предельно допустимых концентраций (мг/л) некоторых неорганических элементов и соединений, действующих в ряде стран, и интервалы концентраций этих элементов в питьевых водах территории Армении

Элементы и соединения	Россия	США	ВОЗ	ЕЭС	Швейцария		Армения Интервалы содержания
					Общие	Высшего класса	
Алюминий ост. (Al)	0.5	—	0.2	0.2	0.2	0.05	н/обн.—0.03
Бериллий (Be)	0,0002	—	—	—	—	—	н/обн.—0,0002
Молибден (Mo)	0.25	—	0.07	—	—	—	0,003—0.012
Мышьяк (As)	0.05	0.01	0.01	0.05	0.05	0,002	н/обн.—0.01
Нитраты (NO ₃ ⁻)	45	45	50	50	40	25	0.4—14.0
Свинец (Pb)	0.03	0.05	0.01	0.05	0.05	0.001	0.0006—0.001
Селен (Se)	0.001	0.01	0.01	0.01	0.01	0.001	0.0003—0.002
Стронций (Sr)	7.0	—	—	—	—	—	0.01—0.5
Фтор (F)	—	—	—	—	—	—	—
I зона	1.5	—	1.5	1.5	1.5	0.7	0.2—0.6
II зона	1.2	—	—	—	—	—	—
III зона	0.7	—	—	—	—	—	—
Железо (Fe)	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.05	н/обн.—0.04
Марганец (Mn)	0.1	0.05	0.5	0.05	0.005	0.002	н/обн.—0.01
Медь (Cu)	1.0	1.0	2.0	3.0	1.5	0.05	н/обн.—0.03
Полифосфаты (PO ₄ ³⁻)	3.5	—	—	—	—	—	н/обн.—0.08
Сульфаты (SO ₄ ²⁻)	500	250	400	250	200	10—50	5—25
Хлориды (Cl ⁻)	350	250	250	—	200	20	3—20
Цинк (Zn)	5.0	5.0	5.0	50	5.0	0.1	н/обн.—0.16
Жесткость общая, мг экв	7.0	—	—	1.5	—	1.5—2.0	1.5—3.0
Водородный показ., рН	5.0—9.0	6.5—8.5	6.5—8.5	6.5—8.5	9.2	7.0—8.0	6.8—7.8
Сухой остаток	1000	500	1000	1500	1500	100—500	70—470
Ртуть (Hg)	—	—	0.001	0.001	0.001	0.001	—
Хром (Cr)	—	0.05	0.05	0.05	0.02	0.001	н/обн.—0.005
Кадмий (Cd)	—	—	0.003	0.005	0.005	0.0005	н/обн.—0.0005
Барий (Ba)	—	1.0	0.7	—	—	—	—
Бор (B)	—	—	0.3	—	—	—	н/обн.—0.3
Никель (Ni)	—	—	0.02	0.05	—	—	н/обн.—0.005
Сурьма (Sb)	—	—	0.005	0.01	—	—	—
Нитриты (NO ₂ ⁻)	—	—	3.0	0.1	0.1	0.01	н/обн.—0.005
Кремний (SiO ₂)	—	—	—	—	5.0	—	0.5—2.0

Примечание: н/обн.—величина ниже предела чувствительности метода определения данного элемента согласно ГОСТ 2874—82 от 1984 г.

Существенным недостатком принятой системы нормирования элементов в питьевых водах является следующее положение: жестко лимитируя верхний предел содержания, отмеченный документ абсолютно не учитывает другой, не менее важный порог содержания элементов—минимально—необходимую концентрацию, обозначаемую нами аббревиатурой—МНК. Ведь придерживаясь существующего принципа лимитирования только верхних пределов, получается, что наилучшим вариантом питьевых вод является дистиллированная вода, что, конечно же, ошибочно. По ряду элементов и соединений (кальций, йод, фтор) последствия дефицита хорошо известны, однако, по большинству элементов такого рода медико-биологических данных нет.

По нашему убеждению, наличие показателей МНК, наряду с нормами ПДК в документах государственных стандартов необходимы.

Не должно вызывать сомнений то, что нормальная жизнедеятельность человеческого организма протекает в интервале значений элементов, ограниченных и сверху (ПДК) и снизу (МНК) определенными концентрациями. При этом, находясь в различных эколого-геохимических условиях, человеческий организм предусматривает, по-видимому, усвоение довольно широкого спектра необходимых концентраций, выражающихся, вероятно, интервалом в два порядка величин. О величине разброса этого предполагаемого интервала свидетельствует диапазон числа атомов этих элементов в средней клетке человеческого организма [8], равный также двум порядкам величин.

Таблица 3

Распределение химических элементов в человеческом организме*)

Число атомов химических элементов в средней клетке человеческого организма (от—до)	Химические элементы	Количество химических элементов
10^{14}	H, O	2
$10^{12}—10^{14}$	C, N	2
$10^{10}—10^{12}$	Si, P, Na, K, Mg, Ca, Cl	7
$10^8—10^{10}$	Zn, Li, Cu, Mn, Al, Fe, Br	8
$10^6—10^8$	Sr, Ti, Mo, Co, Pb, J, Ag, B, Sr, Ni, V, Sc, Cd, Cr,	15
$10^4—10^6$	U, Hg, Be	3
$10^2—10^4$	As, Au, Ba, Bi, Cs, F, Hg, In, Ir, Ga, Ge, Y, Nb, Pd, Po, Pt, Re, S, Sb, Ta, Te, Tl, Zr, W, TR	40

*) Таблица заимствована из статьи В. З. Рубейкина и др. «Геохимия питьевых вод в условиях техногенеза» (сборник научных трудов ВСЕГИНГЕО. Москва, 1991).

Руководствуясь данными, приведенными в табл. 3, можно, по-видимому, с достаточной степенью вероятности говорить и о диапазоне необходимых концентраций элементов в организме. Однако, естественно, что приведенные суждения нуждаются в биохимическом экспериментальном подтверждении. Если изложенные соображения будут соответствовать действительности, то наиболее вероятные содержания элементов, нормированные ГОСТом, будут представлены интервалами. В этом случае по целому ряду нормированных элементов надо будет повысить чувствительность методов определения минимальных концентраций. В нижеприведенных нами интервалах, верхний предел соответствует установленному ПДК, а нижний—вероятные МНК, соответствующие питьевым водам территории республики. По целому ряду элементов этот интервал токсикологических и органолептических показателей, по-видимому, будет иметь следующий вид (мг/л): алюминий—0,01—0,5, молибден—0,00л—0,25, мышьяк—0,005—0,05, свинец—0,00л—0,03, стронций—0,1—7,0, фтор—0,03—1,2, железо—0,01—0,3, марганец—0,01—0,1, медь—0,00л—1,0, цинк—0,00л—5,0.

Таким образом, приведенная аргументация укрепляет нас во мнении, что принятие жесткого медико-биологического нормирования в качестве единственного критерия оценки концентрации элемента, а затем и общей оценки пригодности питьевых вод для всей территории республики, характеризующейся к тому же большим разнообразием природных факторов, по крайней мере, ошибочно.

Однако, игнорировать разработанный для человеческого орга-

низма верхний предел допустимых концентраций и руководствоваться в каждом конкретном случае лишь только частным эколого-геохимическим принципом лимитирования содержаний, применимым к конкретному региону, не позволит создать единую нормативную систему и приведет к юридическому хаосу. Поэтому отношение жесткой медико-биологической величины концентрации элемента к конкретному содержанию этого элемента, находящегося в конкретной эколого-геохимической обстановке, по-видимому, охарактеризует степень пригодности вод для питьевых целей в регионе. В конечном итоге соотношение этих величин будет обуславливать, по-видимому, фоновую концентрацию элементов в питьевых водах различных регионов республики.

Другим возможным вариантом лимитирования концентраций микрокомпонентов питьевых вод может служить отношение предельно-допустимой концентрации элемента (ПДК) к величине общей минерализации вод, используемых в питьевых целях в данном регионе. Это соотношение, разумеется, должно носить эмпирический характер и выводиться для каждого региона индивидуально. Вероятно, именно эти величины могут служить основой нормирования концентраций элементов для различных регионов территории республики.

Если же не пользоваться различными соотношениями и руководствоваться лишь установленными ПДК, то можно предположить весьма нежелательные последствия, вызванные нарастающим техногенном. Рассмотрим изложенное на следующих конкретных примерах: величина минерализации питьевых вод Центрального вулканического нагорья Армении равна примерно 200 мг/л, а концентрация цинка в этих водах колеблется в интервале значений—0,003—0,008 мг/л при среднем содержании 0,005 мг/л. Таким образом, процентное содержание цинка в этих водах в пересчете на общую минерализацию составит примерно $4 \cdot 10^{-3}\%$. Увеличение же концентрации этого металла в водах до величины 0,1 мг/л (а эта величина еще в 50 раз ниже ПДК, которая равна 5 мг/л) изменит это соотношение до $5 \cdot 10^{-2}\%$, что для питьевых вод данного региона представит, по-видимому, определенную опасность.

Еще более разительным примером могут служить питьевые воды г. Каджарана. Используемая здесь в питьевых целях вода имеет величину общей минерализации 69—70 мг/л. И если допустить в этой воде концентрацию меди, равную 0,5 мг/л (что опять-таки вдвое ниже ПДК меди), то в пересчете на минерализацию процентное содержание меди составит 0,7%!

В этой связи небезынтесен существующий принцип нормирования концентраций фтора: в зависимости от различных биоклиматических условий установлены градации предельно-допустимых концентраций этого элемента, с весьма значительным разбросом содержаний, (1,5 мг/л—для влажных регионов и 0,7 мг/л—для сухостепных). По существу, применение этого интервала значений до некоторой степени является эколого-геохимическим подходом к лимитированию содержаний нормируемых элементов.

Весьма существенной особенностью нормирования концентраций токсичных элементов является установление форм их нахождения (миграции) в подземных питьевых водах. Эта категория состояний ингредиента во многом определяет влияние того или иного элемента (соединения) на организм человека.

Все химические элементы, присутствующие в природных водах, условно можно разделить на следующие три группы: катионогенные элементы, элементы-комплексобразователи, анионогенные элементы.

Это свидетельствует о том, что формы нахождения элементов и соединений в подземных водах весьма разнообразны и наряду с диссоциированными ионами, как правило, бывают представлены и формами сложных ассоциированных соединений, что часто не находит отражения в формах выражения химического состава. Интересующая нас группа металлов (медь, свинец, цинк, кадмий, молибден, железо, марганец и др.), как правило, обычно представлена комплексными соединениями, где отмеченные элементы выполняют функцию центрального иона, а роль аддендов (лигандов) в основном играют анионы серы, хлора, карбоната, гидрокарбоната и др. В результате, при химическом (в основном, колориметрическом или полярографическом) анализе вод, принимая во внимание лишь только данные по ионной составляющей элемента, мы полностью игнорируем комплексные формы, что может существенно исказить его валовую концентрацию. Практика такого подхода существует при определении бальнеологических «аналогов» различных минеральных вод по их физико-химическим показателям. Ионную составляющую элемента часто рассматривают как единственную форму его нахождения в подземных водах, хотя на самом деле эти концентрации не превышают часто 60—65% валовых содержаний. Кстати, такие соотношения ионных форм и валовой концентрации, по свидетельству В. М. Швеца [3], бывают в присутствии фульво- и гуминовых кислот. И отсюда, чем ближе к поверхности гидродинамический этаж, тем сильнее воздействие органики.

Далеко не последнюю роль играет определение форм нахождения и при изучении воздействия той или иной формы на организм. Весьма убедительным примером служит исследование С. Р. Крайновым [4] фтористых соединений. Проведенные работы показали, что при заболевании флюорозом далеко не одинаково воздействие на организм фтористого кальция и фтористого железа. Агрессивность последнего, даже при небольших концентрациях фтора, приводила к заболеванию. И, напротив, даже существенные содержания фтористого кальция к такой эндемии не приводят.

Другой, не менее важной стороной рассматриваемой проблемы нормирования является техногенез. Развитие промышленности, интенсификация сельского хозяйства, процессы урбанизации приводят к нарастанию техногенной составляющей в круговороте веществ, в том числе и водной среде. Изменение в подземных водах концентраций существующих, появление новых элементов и соединений, не свойственных данной природной обстановке, приводят к нарушению природного баланса ряда компонентов, которые в конечном итоге начинают определять общее эколого-геохимическое состояние подземных пресных питьевых вод на данной территории.

Одним из наиболее существенных элементов регионального изучения химического состава подземных вод (в том числе и питьевых) является разработка принципа гидрогеологического и гидрогеохимического районирования территории.

В основу деления территории Армении нами положена схема, предложенная В. А. Аветисяном и В. Т. Вегуни [1], в которой на базе рельефно-морфологических и геолого-структурных условий выделяются следующие области: 1) северные и северо-восточные складчатые и складчато-глыбовые хребты; 2) центральное вулканическое нагорье; 3) южные и юго-восточные складчатые хребты; 4) межгорные котловины. Последние в значительной степени азональны и располагаются в пределах трех выделенных областей.

Вышеотмеченные области подразделяются на гидрогеологические районы, ограниченные в каждом конкретном случае региональными базами эрозии. В условиях резко расчлененных горных сооружений существует четко выраженная вертикальная гидродинамическая зональность, обуславливающая характер движения вод в пределах каждого из выделяемых гидродинамических этажей, а таковыми являются: первый от поверхности гидродинамический этаж—зона местного (или как иначе называют—родникового) стока; ниже—второй гидродинамический этаж—зона регионального стока и третий гидродинамический этаж—зона вод глубокой циркуляции.

Отмеченные зоны стоков оконтуриваются как на глубину, так и в горизонтальном направлении исключительно (эрозионными) врезами разных порядков и в пределах выделенных гидрогеологических районов характеризуются каждый раз собственным балансом, режимом и химическим составом, т. е. выделенные районы являются автономными областями формирования, транзита и разгрузки в пределах зоны регионального стока. Этот принцип деления наиболее полно отражает вертикальную гидродинамическую зональность. Согласно этому принципу, разработанному Б. Л. Личковым [5], в вертикальном разрезе сверху вниз отмечается переход доминирующего морфологического фактора к структурному или иначе, если гидродинамика зоны местного стока обусловлена исключительно разнонаправленным гравитационным движением, а циркуляция вод зоны регионального стока более упорядочена и наряду с рельефно-морфологическим фактором (т. е. гравитационным движением вод) претерпевает влияние и структурных особенностей (движение вод по плоскостям напластования, зонам региональных нарушений), то движение вод зоны глубокой циркуляции (включая и гидродинамику вод в условиях межгорных котловин) подчинено лишь только структурному фактору.

Гидрохимическая зональность формирующихся подземных вод построена на основе вышеприведенной гидродинамической зональности выделенных районов и зон стоков.

В результате, в пределах гидрогеохимических областей выделяются гидрогеохимические районы с автономно-сформировавшимся химическим составом и набором микрокомпонентов. Вместе с тем, воды разных зон стоков (местного, регионального и глубокой циркуляции) могут обладать различиями химического состава и в пределах одного гидрогеохимического района. В одних случаях это различие будет выражено только величиной минерализации, в других—проходить по составу анионов и, наконец, возможны случаи полного несоответствия химического состава вод разных гидродинамических этажей одного и того же района.

В настоящей статье мы не задавались целью указать и описать все гидрогеологические районы—это работа ближайшего будущего. Отметим лишь, что в пределах четырех вышеназванных областей выделяются 18 районов. Принцип проводимого нами гидрогеологического районирования отличен от принципа выделения гидрогеохимических провинций, предложенного С. Р. Крайновым. В предлагаемой нами схеме, при выделении гидрогеохимических районов мы руководствовались принципами формирования общего химического состава подземных вод.

Все вышеизложенное позволяет приступить к рассмотрению одного из ключевых вопросов стандартизации компонентов питьевых вод—определению принадлежности элемента или соединения в условиях территории Армении к одной из нижеприведенных генетиче-

ских групп. Как нормированные, так и подлежащие нормированию компоненты по генетическим признакам можно подразделить на следующие группы: петрогенные элементы, рудогенные элементы, техногенные элементы (табл. 4). При этом отнесение элементов к той или иной группе носит региональный характер, т. е. в пределах других регионов отмеченные элементы могут находиться в других генетических группах.

И еще одна особенность предложенной классификации—одни и те же элементы могут быть представлены в питьевых водах территории республики в двух, а иногда и в трех группах. Так, к примеру: кобальт и никель для подавляющего большинства природных геохимических ландшафтов Армении имеют петрогенный генезис. В пределах же северо-восточного побережья оз. Севан—рудогенный, а в условиях городских аггломераций—техногенный, связанный с промышленностью и транспортом. При этом в различных природных объектах зоны гипергенеза, в том числе и природных водах, концентрация этих элементов будет различна.

Наибольшую опасность, по-видимому, должна представить группа петрогенных элементов. Формирование химического состава подземных вод происходит, в первую очередь, за счет циркуляции вод в породах, слагающих целые массивы, что практически делает невозможным локализовать влияние токсичных элементов. Наиболее показательным примером может служить концентрация бериллия в щелочных породах Тежсарского массива и части Мегринского плутона. Основной минеральной формой нахождения бериллия в породах Тежсарского массива согласно Б. М. Меликсетяну [6] является, по-видимому, бертрандит— $Be_4Si_2O_7(OH)_2$. Содержание бериллия в минеральных формах составляет, однако, всего 0,1—0,3%. Элемент сильно рассеян и поэтому минеральные формы весьма редки. Отмечается парагенетическая связь бериллия и фтора. Максимальные концентрации рассеянного бериллия, по данным Б. М. Меликсетяна [6], содержат нефелины— $8 \cdot 10^{-4}\%$. Средние содержания по массиву— $4 \cdot 10^{-4}\%$. ПДК бериллия для подземных питьевых вод в ГОСТах бывшего СССР—0,0002 мг/л. Основная форма миграции элемента в условиях подземных вод Тежсарского массива (помимо диссоциированной формы— Be^{2+}) соединение с фтором, где бериллий выступает в роли комплексообразователя.

Локализовать участки, характеризующиеся повышенными концентрациями этого элемента, не представляется возможным. Поэтому для подобных регионов следует рекомендовать разбавление концентраций бериллия путем смешения бериллийсодержащих вод в бассейнах суточного регулирования с водами фоновыми, не содержащими этот элемент, т. е. «управлять качеством подземных вод и регулировать их химический состав при эксплуатационном водоотборе» [4].

С этих позиций подлежит тщательному изучению распределение ряда элементов в осадочных, вулканогенно-осадочных, интрузивных и метаморфических породах, составляющих литолого-петрографическую основу территории республики.

К этой группе элементов следует отнести: алюминий, бериллий, марганец, железо, фтор, бром, йод, бор, стронций, кремний и некоторые лантаноиды. К этой же группе элементов следует отнести и ряд щелочных и щелочно-земельных элементов (натрий, калий, литий, рубидий, цезий, кальций, магний), составляющих основу макрокомпонентов питьевых вод.

Довольно существенными ингредиентами подземных питьевых вод являются элементы рудогенного генезиса. Как отмечалось, ме-

таллогеническая специализация территории республики характеризуется наличием промышленных скоплений полиметаллов, медно-молибденовых, медноколчеданных, хромитовых руд, а также весьма ощутимыми концентрациями алюминийсодержащих, золоторудных, свинцово-сурьмяных и других типов руд.

В результате, в природных водах, циркулирующих в пределах отмеченных рудных районов, наблюдаются повышенные концентрации: меди, молибдена, свинца, цинка, серебра, селена, теллура, сурьмы, хрома и др. При этом большое значение для концентраций этой генетической группы элементов имеет степень разработанности месторождений. Как правило, на месторождениях, подвергнутых эксплуатационной разведке и добыче, содержание рудных компонентов в подземных питьевых водах резко возрастает, превышая зачастую предельно-допустимые концентрации (Каджаран, Кафан, Алаверди). Напротив, месторождения или рудопроявления, еще не претерпевшие водяно-воздушное окисление, характеризуются относительно невысокими значениями, не превышающими лимитированных норм токсичных элементов в подземных водах. Помимо элементов, нормированных существующими ГОСТами, количество токсичных ингредиентов в питьевых водах территории республики значительно шире, что, безусловно, должно найти отражение во вновь разрабатываемых стандартах. Так, к существующим нормированным элементам (алюминий, бериллий, молибден, мышьяк, свинец, селен, стронций, фтор, железо, марганец, цинк) следует также добавить: сурьму, хром, серебро, кадмий и др., концентрация которых в питьевых водах некоторых рудных районов республики довольно высокая и подлежит лимитированию.

Наконец, третью группу токсичных элементов и соединений составляют техногенные компоненты. Это—обширная группа элементов и соединений представлена: промышленными, сельскохозяйственными и бытовыми загрязнителями.

Однако прежде, чем перейти к рассмотрению наиболее распространенных компонентов антропогенного (техногенного) происхождения в природных водах, формирующихся и циркулирующих на территории республики, отметим некоторые общие положения, связанные с их природой.

С. Р. Крайнов [4] приводит следующий перечень наиболее распространенных ингредиентов сточных вод основных отраслей промышленности: Cl^- , SO_4^{2-} , H_2S , CO_3^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , H_4SiO_4 , NH_3 , NH_4^+ , F^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Co^{2+} , Hg^{2+} , Pb^{2+} , As^{3+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Mn^{2+} , Mn^{4+} , Mo^{6+} , Ti^{4+} , Cd^{2+} , H_3BO_3 , сульфиды, пиридины, анилины, фенолы, бензолы, амины, формальдегиды, цианиды, дитиофосфаты, нефтепродукты, ароматические углеводороды, органические соединения. К числу сельскохозяйственных загрязнителей этим автором отнесены формы азота (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^-) Cl^- , H_3BO_3 , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} , K^+ , пестициды и, как наиболее опасные, — группа ХОП (хлорорганические пестициды), гербициды.

Наиболее распространенными бытовыми загрязнителями являются: бактериальные и органические вещества и среди последних: ПАВ (поверхностно-активные вещества), СПАВ (синтетические поверхностно-активные вещества).

Общее же количество органических загрязнителей питьевой (и не только питьевой) воды в настоящее время превышает более ста наименований. Концентрация некоторых из этих соединений (нефте-

продукты, пестициды, а также хлор-органические пестициды—ДДТ, ДДЕ, в десятки, а местами и в сотни раз превосходят предельно-допустимые концентрации.

Из приведенного перечня наибольшим распространением токсичных концентраций в подземных питьевых водах, формирующихся и циркулирующих на территории республики, характеризуются нижеприведенные элементы и соединения, объединенные в отмеченные генетические группы.

Таблица 4

Генетические группы токсичных элементов в питьевых водах территории Армении

Петрогенные элементы	Рудогенные элементы	Техногенные элементы		
		Промышленное загрязнение	Сельскохозяйственное загрязнение	Бытовое загрязнение
Al, Be, Mn, Fe, Co, Ni, F, Sr, Cl, Ca, Mg, Na, Li, Rb, Cs, SiO ₂	Pb, Zn, Cu, Cd, Mo, A, Sb, S, Te, Cr, B, Fe, Mn, частично, Ni, Co, Ag, Hg	SO ₄ ²⁻ , H ₂ S, CO ₃ ²⁻ , NO ₂ ⁻ , H ₄ SiO ₄ , NH ₄ ⁺ , F, Cl, Ni, Cr, Fe, Mn, Cu, Pb, Zn, Ag, Mo, Sb, Al, цианиды, ароматические углеводороды, органические соединения, в частности хлорпрен, фенолы	NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , Cl ⁻ , Mg ²⁺ , PO ₄ ³⁻ , пестициды, гербициды, группа ХОП	NO ₂ , СПАВ, ПАВ и др. органические и бактериальные вещества фекалии, нефтепродукты, бензолы, фенолы

Приведенным набором перечень возможных токсичных элементов и соединений в подземных питьевых водах территории Армении не ограничивается—данные эти весьма динамичны. Вероятность появления новых токсичных ингредиентов и увеличение концентраций существующих в приведенной таблице возрастает слева направо, т. е. наиболее стабильной во времени и пространстве является группа петрогенных элементов. Возможность увеличения концентраций рудогенных токсичных компонентов связана с освоением новых месторождений и типов руд. И, наконец, наиболее динамичной является группа техногенных загрязнителей, в ряду которых сегодня трудно прогнозировать—которая из подгрупп будет в ближайшее время наиболее опасной.

Тройственной природой в питьевых водах обладают преимущественно элементы сидерофильной группы (железо, марганец, кобальт, никель и, возможно, хром). К числу ингредиентов с двойственной природой можно отнести довольно обширную группу элементов и соединений, фтор, хлор, цинк, свинец, медь, молибден, серебро, ртуть, сурьма, алюминий, кремний, сульфаты. При этом компоненты рудогенной и техногенной групп элементов часто трудно бывает отделить, т. к. на ряде крупных месторождений (Каджаран, Капан, Алаверди и др.), где идет добыча полезного ископаемого, рудогенные и техногенные ореолы с повышенными концентрациями элементов накладываются друг на друга. Аналогичное наблюдается и в самой группе техногенных загрязнителей. Токсичные концентрации ряда элементов и соединений (формы азота, фосфор, органические соединения и др.) характерны как для одной, так и для нескольких подгрупп.

Поэтому защита подземных питьевых вод от техногенного (и не только техногенного) загрязнения является сегодня одной из наиболее насущных проблем водопользования. В связи с этим одним из основ-

ных условий применения подземных вод в качестве питьевых должны быть сведения о степени защищенности этих вод от загрязнения. Существовавшие в СССР нормативы для зон санитарной охраны в условиях Армении носили и носят чисто формальный характер. Особенно это относится ко второй и третьей зонам. Заселенность территории республики зачастую не позволяет обеспечить в плане соблюдение нормативно установленных площадей этих зон. С другой стороны, установленные зоны лимитируют лишь только их контуры в плане, не учитывая при этом степень защищенности этих вод в вертикальном разрезе.

Наиболее крупные месторождения пресных подземных вод, используемые на территории республики в качестве питьевых, приурочены к межгорным котловинам, в пределах которых в вертикальном разрезе выделяется несколько напорных горизонтов. При этом наиболее защищенными являются нижние горизонты, т. е. наиболее отстоящие от поверхности.

Несколько иную картину мы наблюдаем при рассмотрении концентрированных выходов вод зоны регионального стока вышеописанных областей. Зарегулированность стока в многолетнем разрезе должна, по-видимому, свидетельствовать и о большей степени защищенности вод от поверхностного загрязнения.

Таким образом, в основу классификации месторождений пресных подземных вод по степени защищенности должен быть положен принцип типизации геолого-гидрогеологической обстановки выделенных гидрогеохимических районов. Кстати, более детальное рассмотрение этого вопроса требует дальнейших разработок.

Одним из наиболее распространенных техногенных компонентов подземных питьевых вод является нитрат-ион, причем основная часть концентрации этого компонента связана с сельским хозяйством. Поэтому установление контроля за этим соединением в пределах всех выделенных гидрогеохимических зон дает возможность проследить во времени степень увеличения техногенной нагрузки.

Резюмируя все вышеизложенное, мы приходим к выводу, что при рекомендации подземных вод для использования их в питьевых целях обязательными должны быть следующие сведения:

1. Принадлежность рекомендуемой питьевой воды к определенному гидрогеохимическому району.
2. Концентрация токсичных элементов и соединений (включая фоновые величины и возможные аномальные содержания) в подземных питьевых водах данного гидрогеохимического района.
3. Сведения о степени защищенности рекомендуемых вод от загрязнения.
4. Генетическая принадлежность токсичных элементов и соединений к выделенным группам.
5. Наиболее вероятные формы нахождения (миграции) элементов и соединений в рекомендуемой питьевой воде.
6. Медико-биологическое воздействие токсичных концентраций элементов и соединений, обнаруженных в рекомендуемой воде, на организм человека с указанием последствий избытка (выше ПДК) или дефицита (ниже МНК).

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ՏԱՐԱԾՔԻ ԽՄԵԼՈՒ ՔԱՂՑՐԱՀԱՄ
ՍՏՈՐԵՐԿՐՅԱ ՋՐԵՐԻ ՉԱՓԱԿԱՐԳՄԱՆ ՍԿՉՔՈՒՆՔՆԵՐԸ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հանրապետության տարածքի խմելու քաղցրահամ ջրերի ակնկալվող շափակարգման հետ կապված, ներկայացվող հողվածում փորձ է արվում սահմանել նրանց որակի գնահատման հիմնական շափանիշները:

Տոքսիկ քանակություններով տարրերի անջատման ժամանակ, շատ երկրներում գործող բժշկա-կենսաբանական խիստ շափակարգման հետ միաժամանակ առաջարկվում է հաշվի առնել նաև տարածքի էկոլոգո-երկրաբիմիական պայմանները:

Ստորերկրյա քաղցրահամ ջրերը խմելու նպատակով երաշխավորելիս պարտադիր պետք է լինեն հետևյալ տեղեկությունները.

1. Երաշխավորվող խմելու ջրի պատկանելիությունը որոշակի հիդրոբիմիական շրջանին:
2. Տվյալ երկրաբիմիական շրջանի ստորերկրյա ջրերում տարրերի և միացությունների տոքսիկ կոնցենտրացիան (ներառյալ նաև ֆոնային մեծությունները և հնարավոր անոմալ պարունակությունները):
3. Տեղեկություններ երաշխավորվող ջրերի աղտոտումից պաշտպանվածության աստիճանի մասին:
4. Տարրերի և միացությունների ծագումնաբանական պատկանելությունը անջատված խմբերին:
5. Երաշխավորվող խմելու ջրերում տարրերի և միացությունների գտնվելու (միգրացիայի) առավել հավանական ձևերը:
6. Երաշխավորվող ջրերում հայտնաբերված տարրերի և միացությունների տոքսիկ քանակությունների բժշկա-կենսաբանական ներգործությունը մարդու օրգանիզմի վրա՝ նրանց հավելյալ (բարձր թույլատրելի արժեքները սահմանից—ՔԱՄ) և անբավարար (ցածր նվազագույն անհրաժեշտ քանակներից—ՆԱՔ) քանակների ազդեցության հետևանքների նկարագրությամբ:

P. M. KAPLANIAN

PRINCIPLES FOR RATING OF ELEMENT CONCENTRATIONS
IN DRINKING WATERS IN THE REPUBLIC'S TERRITORY

Abstract

In the connection with the forthcoming standardization of underground sweet drinking water in the republic's territory the present paper attempts to set up the basic criteria for their quality evaluation. The legitimacy and sufficiency of requirements imposed on drinking water quality in the territory as a whole, as well as on presence and quantitative composition of various ingredients limited (or subjected to rating) by maximum permissible concentrations, are considered within the framework of this problem. It is proposed to take account of, together with rigorous medical-and-biological rating which exists in many countries, ecological and geological conditions in the territory, when distinguishing elements with toxic concentrations.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аветисян В. А., Вегуни В. Т. Принципы гидрогеологического районирования территории Армянской ССР. Геология Армянской ССР, т. VIII. «Гидрогеология». Ереван: Изд. АН АрмССР, 1974, с. 77—90.
2. Государственные стандарты СССР. Вода питьевая. М.: 1984. 237 с.
3. Крайнов С. Р., Швец В. М. Основы геохимии подземных вод. М.: Недра, 1980 с. 34—46.
4. Крайнов С. Р., Швец В. М. Геохимия подземных вод хозяйственно-питьевого назначения. М.: Недра, 1982. с. 146—159.
5. Личков Б. Л. К вопросу о значении местных базисов эрозии в гидрогеологии. Тр. ЛГГИ АН СССР, т. III. с. 19—27.
6. Меликсетян Б. М. Минералогия, геохимия и петрологические особенности Тежсарского щелочного комплекса.—В гн.: Петрология интрузивных комплексов важнейших рудных районов АрмССР. Ереван: Изд. АН АрмССР, 1971. 220 с.
7. Обзорные материалы по современным отечественным и зарубежным требованиям к качеству питьевой воды. М.: 1993. 35 с.
8. Рубейкин В. З., Колотов Б. А., Киселева Е. А. (ВСЕГИНГЕО), Капляян П. М. (ИГН АН Армении). Геохимия питьевых вод в условиях техногенеза.—В кн.: Сборник научных трудов ВСЕГИНГЕО «Гидрогеологические аспекты в экологии», М.: 1991, с. 22—40.

Известия НАН РА, Науки о Земле, 1995, XLVIII, № 2—3, с. 89—93

В. Р. БОЙНАГРЯН

ДЕЛЮВИАЛЬНЫЙ СМЫВ В ГОРАХ АРМЯНСКОГО НАГОРЬЯ И ЕГО ВОЗДЕЙСТВИЕ НА РАЗВИТИЕ ИХ СКЛОНОВ

Рассматриваются факторы, воздействующие на развитие и интенсивность делювиального смыва в горах Армянского нагорья приводятся, данные по интенсивности смыва. Делается вывод, что делювия в горах Армянского нагорья в целом мало. Он не накапливается у подножия склонов, т. к. при сильных ливнях формирует твердую составляющую селевых потоков и удаляется от склонов. Это способствует параллельному отступанию склонов и образованию у их подножий педимента.

Известно, что смыв талыми и дождевыми водами почвенного покрова или материала выветривания горных пород со склонов и его переотложение у подножия представляет собой делювиальный процесс, а сами отложения этих вод называются делювием.

Следует отметить, что в горах Армянского нагорья (как, по-видимому, и во всех горных областях) делювия, как понимал его А. П. Павлов [9, 10], практически нет. Правильнее говорить о горном варианте делювия, в котором много крупного каменного материала, смещенного к подножию склона не плоскостным смывом, а в результате потери им устойчивости на крутых склонах из-за обмыва грунта вокруг отдельных обломков [4]. Возможность такого смещения была доказана экспериментально [8].

Делювиальный смыв рыхлообломочного материала предопределяет небольшую в целом мощность и неразвитость склонового чехла на склонах Армянского нагорья и оказывает существенное воздействие на их развитие на незадернованных обнаженных участках или участках с нарушенным растительным покровом.

На интенсивность делювиального смыва влияют крутизна и форма склона, его микрорельеф, характер растительного покрова и его плотность, гранулометрический состав склонового рыхлообломочно-