

Д. Д. Жерносеков, А. Н. Василенко
Днепропетровский национальный университет

БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЕНЕЗИСА МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД

Приведені дані щодо генезису мінеральних вод, надано акцент бальнеологічному значенню вод. Запропоновані критерії оцінки біохімічних процесів, що протікають при формуванні складу мінеральних вод. Вказані критерії можуть бути використані для відображення залежності між лікувальними властивостями вод та біохімією процесів їх генезису.

This work directs data about mineral water genesis. The accent on balneological sense is done. We suggest the criteria of biochemical processes estimation which take part in mineral water compounds creation. These criteria can be used for illustration of dependence between waters medical properties and biochemical processes of their genesis.

В последнее время продолжает расширяться спектр бальнеологически значимых минеральных вод. Важное значение отводится вопросам их генезиса, так как интенсивная эксплуатация их месторождений, приемы промышленной стабилизации этого продукта и ряд других факторов не всегда позволяют сохранять лечебные свойства вод. Ключевая роль в формировании бальнеологически значимых показателей часто принадлежит аутохтонной микрофлоре минеральных вод, причем микроорганизмы могут быть как базовым фактором генезиса, так и биоиндикатором, коррелирующим с различными показателями минеральных вод.

На поверхности Земли минеральные воды проявляются в виде источников, а также выводятся из недр буровыми скважинами (глубины могут достигать нескольких километров). Для практического освоения выявляются месторождения подземных минеральных вод со строго определенными эксплуатационными возможностями (эксплуатационными запасами). Эти воды представляют неисчерпаемые ресурсы для дальнейшего развития и санаторно-курортного лечения [7]. Процесс образования минеральных вод весьма сложен и ещё недостаточно изучен. При характеристике генезиса минеральных вод различают происхождение самой подземной воды, присутствующих в ней газов и образование ее ионно-солевого состава. В формировании минеральных вод участвуют процессы инфильтрации поверхностных вод, захоронения морских вод во время осадконакопления, высвобождение конституционной воды при региональном и контактовом метаморфизме горных пород и вулканические процессы. Состав минеральных вод обусловлен историей геологического развития, характером тектонических структур, литологии, геотермических условий и другими особенностями территории. Наиболее мощные факторы, обуславливающие формирование газового состава минеральных вод – метаморфические и вулканические процессы. Выделяющиеся во время этих процессов летучие продукты (CO_2 , HCl и др.) поступают в подземные воды и придают им высокую агрессивность, способствующую выщелачиванию вмещающих пород и формированию химического состава, минерализации и газонасыщенности воды. Ионно-солевой состав минеральных вод формируется при участии процессов растворения соленосных и карбонатных отложений, катионного обмена и других

процессов. Газы, растворённые в минеральных водах, служат показателями геохимических условий, в которых шло формирование данной минеральной воды. В верхней зоне земной коры, где преобладают окислительные процессы, минеральные воды содержат газы воздушного происхождения – азот, кислород, углекислоту (в незначительном объёме). Угледородные газы и сероводород свидетельствуют о восстановительной химической обстановке, свойственной более глубоким недрам Земли; высокая концентрация углекислоты позволяет считать содержащую её воду сформировавшейся в условиях метаморфической обстановки [7]. Экспериментально доказано, что подземные воды населены микрофлорой разных эколого-трофических групп, которая осуществляет сложные биохимические процессы и способна активно изменять pH, Eh, газовый и солевой состав минеральных вод [5]. Геохимические условия, в которых происходит генезис минеральной воды, будут влиять и на химический состав, и на развитие микрофлоры. В связи с этим удобно рассматривать гидробиохимическую зональность подземных вод в свете геохимического значения микроорганизмов (табл. 1).

Таблица 1

Гидробиохимическая зональность подземных вод

Гидробиохимические зоны	Микроорганизмы (примеры)	Акцепторы электронов	Eh, мВ	Зоны генезиса вод (по И.К. Зайцеву)
Аэробная	тионовые нитрифицирующие метаноокисляющие	O ₂	+800 до +100	Свободного водообмена (инфильтрационные слабоминерализованные преимущественно холодные воды)
Смешанная	тионовые нитрифицирующие денитрифицирующие сульфатредуцирующие	O ₂ O ₂ NO ₃ NO ₂ SO ₄	+100 до 200	Переходная от свободного к затрудненному водообмену (преимущественно инфильтрационные пресные и слабосоленые, холодные и термальные воды)
Анаэробная	сульфатредуцирующие денитрифицирующие метанобразующие	SO ₄ NO ₃ NO ₂ CO ₂	-200 до 400 и ниже	Затрудненного водообмена (инфильтрационные и седиментационные воды сильноминерализованные преимущественно термальные)
Отсутствие бактерий		CO ₂		Весьма затрудненного водообмена (седиментогенные высокие температур и минерализации)

Выделенная гидробиохимическая зональность согласуется с геохимической зональностью – об этом свидетельствуют геохимические критерии, характеризующие разные геохимические зоны: окислительную переходную и восстановительную (сероводород, металлы с различной степенью окисления и др.). Особенно большое влияние на развитие микрофлоры подземной гидросферы оказывают гидродинамический и геотермический режимы, обусловленные степенью изоляции водоносных горизонтов и составом пород [2]. Таким образом, специфический состав минеральных вод, используемых для лечения, во многом есть результат биохимических процессов генезиса.

Минеральные воды оказывают на организм человека лечебное действие всем комплексом растворённых в них веществ, а наличие специфических биологически активных компонентов (CO_2 , H_2S , As и др.) и особых свойств определяет часто методы их лечебного использования. В качестве основных критериев оценки лечебных свойств минеральных вод приняты особенности их химического состава и физические свойства, которые одновременно служат важнейшими показателями для их классификации [7]. В настоящее время выделяются следующие главнейшие особенности состава минеральных лечебных вод, которые одновременно являются основой для их оценки, подразделения и обозначения: 1) ионный состав; 2) общая минерализация; 3) содержание биологически активных микрокомпонентов; 4) радиоактивность; 5) кислотность (щелочность) вод [1].

Микробный ценоз, который населяет минеральные воды, большей частью состоит из олиготрофных бактерий (олигокарбофильные и олигонитрофильные гетеротрофы), а также таких эколого-трофических групп микроорганизмов, как сульфатредуцирующие, денитрифицирующие, метанобразующие, углеводород-окисляющие. Биохимические показатели могут отражать весь спектр биогенной части генезиса минеральных вод, так как процессы выпщелачивания, трансформации, генерируемые микрофлорой, часто протекают неспецифически как по отношению к их объектам – на формирование одного компонента в составе воды могут влиять различные группы микроорганизмов; так и к субъектам – одна группа микроорганизмов влияет на формирование нескольких компонентов воды в процессе своей жизнедеятельности. Рассматривая генезис с биохимической точки зрения, объектом изучения можно выделить сам процесс, динамику и направленность которого важно оценить. Хотя в настоящее время ни одна из групп микроорганизмов, которые населяют минеральные воды, не является критерием для отнесения вод к лечебным, но роль микробного ценоза, как неотъемлемой части нативной воды, не может отрицаться [4].

Особое внимание следует уделить водам, в которых основную бальнеологическую группу представляют органические вещества. В этом случае роль микрофлоры в генезисе значительно расширяется. Так, например, содержание органических веществ в воде «Нафтуса», которые, по мнению большинства исследователей, во многом обуславливают лечебный эффект этой уникальной минеральной воды, колеблется от 1,4 до 30,2 мг/л (в зависимости от времени года, метеорологических условий и режима эксплуатации скважин). В «Нафтусе» присутствует разнообразная микрофлора, способная разрушать трудноусваиваемые органические вещества типа битумов, фенолов и гумусов. Это углеводородокисляющие, метанобразующие, маслянокислые, аммонифицирующие, нитрифицирующие, денитрифицирующие, тионовые и десульферирующие микроорганизмы. Предполагают, что микрофлоре принадлежит важная роль в образовании биологически активных веществ этой минеральной воды [7]. Исследования физиологического действия воды «Нафтуса» подтверждают, что при систематическом употреблении она вызывает комплексные изменения обмена веществ, которые в совокупности могут быть интерпретированы как проявления общей адаптационной реакции организма. При этом ультрафильтрация (удаление из воды бактерий) «Нафтуса» несколько ослабляет адаптогенные метаболические

эффекты [3]. В водах такого типа значительная роль в генезисе очевидно будет принадлежать аутохтонной микрофлоре.

Как показано выше, минеральные воды содержат широкий спектр биогенных компонентов. Важно отметить, что генезис минеральных вод следует оценивать, определяя протекание биохимических процессов в динамике как во времени, так и в процессе эксплуатации месторождений. Следует также принимать во внимание факторы, влияющие на лечебные минеральные воды в процессе промышленной обработки. Критериями, оценивающими протекание биохимических процессов генезиса минеральных вод, суммируя вышеизложенные подходы к их классификации, могут служить:

Физические и химические свойства (согласно стандартизированным нормам)

- общая минерализация – основной показатель, определяющий ионную силу и ионный состав раствора, согласно которому питьевые минеральные воды подразделяют на природные столовые и лечебно-столовые;

- содержание органических веществ – определяется перманганатной окисляемостью и содержанием общего органического углерода как биологически активного компонента;

- специфические вещества – биологически активные компоненты, определяющиеся согласно специфике вод. Их содержание в нормируемых концентрациях дает возможность причислять воды к группе лечебно-столовых, даже если общая минерализация не позволяет этого сделать [2].

Для более полной оценки также можно учитывать:

- газовый состав – дает возможность оценить общее направление окислительно-восстановительных процессов, а иногда сделать выводы относительно биологической активности: например азот без примесей аргона свидетельствует о биологическом его происхождении [3];

- окислительно-восстановительные условия (pH-Eh) – могут служить для оценки динамики изменения состава и свойств воды;

- температурный режим источника – оказывает прямое влияние на биологическую активность.

Микробиологические показатели:

- характеристика аллохтонной микрофлоры [2];

- аутохтонную микрофлору можно рассматривать, характеризуя сапробные зоны и учитывая критерии сапробности [6], а также применяя специальные методики.

Принимая во внимание общие условия залегания водного горизонта (глубину, материнские породы, изолированность) можно оценить биохимические процессы формирования бальнеологически значимых показателей в динамике, оценить степень стабильности состава и свойств. Следует отметить, что эти критерии можно подразделять и далее, так как одни из них являются исходными условиями, а другие – результатом биохимических процессов, однако можно утверждать, что отклонение их значений от нормы может привести к утрате лечебных свойств минеральных вод.

Выводы

Как видим, минеральные воды находятся под постоянным воздействием геологических и биохимических процессов. Однако для их использования в бальнеологических целях важно именно постоянство состава и свойств воды, которое обеспечивается корректным протеканием процессов ее генезиса и постоянством окружающей среды. Генезис рассматривается нами как процесс непрерывный, хотя следует отметить, что геологические процессы (осадконакопление, метаморфические и вулканические процессы) представляют собой статический этап генезиса относительно биохимических процессов, которые в свою очередь должны прийти в равновесие для обеспечения стабильности. Протекание биохимических процессов можно оценить по ряду критериев с целью получения информации о бальнеологических свойствах воды.

Библиографические ссылки

1. Готтшалк Г. Метаболизм бактерий. – М., 1982. – С. 310.
2. ДСТУ 878-93. Води мінеральні питні. Технічні умови. – К., 1994.
3. Крамаренко Л. Е. Геохимическое и поисковое значение микроорганизмов подземных вод. – Л., 1983.
4. Кульский Л. А. Основы химии и технологии воды. – К., 1991. – С. 34–37.
5. «Курортные ведомости» (электронная версия журнала). www.kved.ru
6. Попович І. Л. Вплив лікувальної води «Нафтуса» на деякі показники обміну речовин у щурів / І. Л. Попович, Г. Я. Ковальчук, С. В. Івасівка, О. А. Алексєєв, М. Ф. Луців / Укр. біохім. журнал. – 1998. – Т. 70, № 3. – С. 87–90.
7. Украинский государственный центр контроля качества природных и преформированных средств (официальный сайт). www.pntr-ua.org

Надійшла до редколегії 23.02.05