

## Секция 7

# ГИДРОГЕОХИМИЯ И ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЯ ЗЕМЛИ. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ГИДРОГЕОЭКОЛОГИИ

### ВОДА – КАК ВАЖНЕЙШИЙ ПРИРОДНЫЙ РЕСУРС И ГЛАВНАЯ СТИХИЯ ОКРУЖАЮЩЕГО МИРА

**С.Л. Шварцев, профессор**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск, Россия*

Общеизвестно, что по выражению академика А.П. Карпинского подземные воды – наиболее ценное полезное ископаемое, без которого ни один регион не может развиваться. Большой вклад в изучение этого важнейшего ресурса внесли многие гидрогеологи. И в этом аспекте достигнуты огромные успехи [1]. Но проблемы остаются. Более того, они усложняются. Уже сегодня от недостатка питьевой воды постоянно страдают 1,5 млрд. человек, а еще два – периодически. Но еще большая катастрофа грозит человечеству в связи с загрязнением пресной воды. Достаточно напомнить, что по оценкам экспертов ООН около 80% населения пьет некачественную воду. Россия не является исключением, хотя и обладает уникальными ресурсами. Дефицит и потребление некачественной воды обеспечивают, не только рост заболеваний, но и приводят к тяжелейшим последствиям [2].

Вот что в этой связи пишет директор Института водных проблем РАН, член-корреспондент РАН В.И. Данилов-Данильян [3] «Недостаток пресной воды и бедность тесно коррелируют, вододефицит нарастает вместе с нищетой и голодом, а, следовательно, вносит вклад в возникновение и усиление угроз локальных войн (со всеми вероятными осложнениями в больших масштабах) и терроризма (в том числе глобального). Не менее серьезными могут быть последствия антисанитарии, неизбежной при остром дефиците воды, инфекционные болезни и эпидемии» (с.631). Необходимо признать, что для прогнозирования последствий употребления некачественной воды, как и простого изменения ее качества теоретическая и научно-методическая база до сих пор не создана. Но и это не все.

Наши мудрые предки, когда еще и науки то не было, каким-то чутьем глубоко осознали, что весь окружающий мир создан взаимодействием четырех важнейших первоначал или стихий, как тогда называли: земли, воды, огня и воздуха.

Среди этих стихий, как оказалось позже, вода занимает совершенно особое положение. Последнее особенно убедительно показал наш великий соотечественник академик В.И. Вернадский [4], который писал: «Вода стоит особняком в истории нашей планеты. Нет природного тела, которое могло бы сравниться с ней по влиянию на ход основных, самых грандиозных геологических процессов» (с.20). Эта мысль им развивается применительно к разным оболочкам Земли: 1) не только земная поверхность, но и глубокие части планеты определяются в самых существенных проявлениях наличием и свойствами воды; 2) вода создает основные механизмы земной коры, вплоть до магматической оболочки, по крайней мере; 3) ею вызывается и отчасти создается электрическое поле планеты и ее атмосферы; 4) свойства воды создают климат и определяют термодинамику атмосферы; 5) вода определяет всю химию земной коры и среду жизни; 6) природная вода охватывает и создает всю жизнь человека, так как едва ли есть какое-нибудь другое природное тело, которое бы до такой степени определяло его общественный уклад, быт, существование; 7) вода определяет и создает всю биосферу.

За каждым из приведенных высказываний глубочайшее научное обобщение многочисленных эмпирических фактов, величайшая, сконцентрированная в емкой фразе мысль, определяющая парадигму всего нашего знания о роли воды в развитии нашей планеты и ее особого положения среди всех других стихий. Особое положение воды по В.И. Вернадскому определяется ее необычными физико-химическими и термодинамическими свойствами, строением, многообразием видов и форм ее проявления на планете, единством всех ее типов, «всюдностью», геологически вечной подвижностью и т.д. Все эти и многие другие особенности, о которых написаны книги, делают воду совершенно уникальным соединением, непохожим ни на одно другое вещество (стихии) земли, которое обеспечило жизнь на нашей планете. Не зря же французский зоолог Рауль Дюбуа определил, что «жизнь – это одухотворенная вода» (l'eau animée), а его соотечественник, знаменитый писатель и путешественник Антуан Сент-Экзюпери подчеркнул, что вода не просто источник жизни, вода – это сама жизнь.

Вода сама по себе уникальный объект для фундаментальных исследований, но еще важнее механизмы ее взаимодействия с другими основными компонентами планеты. В этом плане опять же мы должны обратиться к В.И. Вернадскому, который показал, что взаимодействие воды с горными породами, газами и органическим веществом является главным механизмом формирования земной коры и всего окружающего мира. И что главным компонентом в этой системе опять же выступает вода. Как следует из законов термодинамики, химические элементы активны только в растворенном состоянии, поскольку активность твердых тел и самой воды равна 1, а растворенных соединений меняется в широких пределах. Поэтому состав воды выступает тем алгоритмом, который контролирует растворение и осаждение (образование) всех вторичных минеральных и

органических образований. А весь окружающий нас мир является вторичным, созданным водой из первичного камня.

Нашими исследованиями установлено, что подземная вода всегда находится в неравновесном состоянии с теми или иными минералами глубинного генезиса. Более того, со многими из них она никогда не может достигнуть равновесия, т.к. этому мешают геохимические барьеры и, в частности, вторичные минералы, образующиеся в процессе взаимодействия воды с глубинными минералами [2].

Оказалось, что система вода – горная порода в любой части земной коры является равновесно-неравновесной, т.е. вода всегда растворяет одни минералы и формирует другие, состав которых меняется по мере изменения состава водного раствора.

Из установления этого нового факта следует, что система вода – порода является внутренне противоречивой, способной к самопроизвольному, непрерывному, геологически длительному развитию с образованием принципиально новых минеральных фаз и геохимических типов воды [5]. Равновесно-неравновесное состояние – это не частный случай, а фундаментальное свойство системы вода-порода, которое отражает ее природные особенности, т.е. внутреннюю сущность и не зависит от каких-либо внешних факторов. Чрезвычайно важно при этом, что система развивается независимо ни от каких внешних факторов, только вследствие непрерывного вечного изменения состава воды, которое происходит в результате также постоянного растворения вмещающих горных пород.

Вода, взаимодействуя с эндогенной породой, создает принципиально иной окружающий мир, в корне отличный от существующего ранее. На первых этапах это выражается в образовании иного состава воды и новых минеральных продуктов, непохожих на растворимые водой эндогенные алюмосиликаты. Важно при этом, что вода формирует эти новые образования в согласии с ее составом, структурой, средой. Поэтому смело можно сказать, что окружающий нас мир создается водой в полной гармонии с законами изменения ее внутреннего содержания, внутренней энергии. Именно вода в силу своего необычного строения способна создавать новые более сложные продукты, новые ее геохимические типы, обеспечивая прогрессивную эволюцию в неживой, а позже и живой материи. Механизмы такой всеобъемлющей эволюции в настоящее время вырисовываются достаточно четко.

Чрезвычайно важно, что новый мир создается вдали от равновесия с глубинными (эндогенными) минералами, которое в соответствии с законами синергетики обеспечивает принципиально новые возможности развития с образованием новых самоорганизующихся диссипативных структур в понимании И.Р. Пригожина и Стенгерса [6].

Имеются все основания полагать, что принципиальная неравновесность подземных вод с горными породами является той движущей силой непрерывной эволюции и самоорганизации, которая, начавшись в неживой материи, постепенно усложнялась, обеспечила появление живого вещества и его дальнейшую эволюцию. При этом система вода – порода выработала механизмы аккумуляции необратимых потоков солнечной энергии и вещества горных пород, обеспечивших ее прогрессивно-поступательное развитие.

В последние годы становится совершенно очевидным, что система вода – горная порода является важнейшей, а может и единственной в косной материи, которая способна к самоорганизации и саморазвитию. В то же время ни одна наука не изучает эту единую систему. Горную породу изучают петрология, литология, минералогия и т.д., подземную воду – гидрогеология, гидрогеохимия и др. Связь между ними весьма призрачная: гидрогеология, изучающая подземную гидросферу, практически не интересуется составом вторичных минеральных образований, которые она и создает, науки, изучающие горные породы, в свою очередь, не интересуются составом воды, да и в целом гидрогеологией. Само собой, что эта странная ситуация, безусловно, не способствует прогрессу геологической науки.

Образовался своеобразный вакуум между водой и теми твердыми фазами, которые она создает. Кто его должен заполнить? На наш взгляд, конечно, гидрогеология, поскольку именно вода оказывается тем компонентом, который определяет ход, масштабы и направление развития системы вода-порода и именно гидрогеология подготовлена к этому наилучшим образом.

Изначально Ж.Б. Ламарк рассматривал гидрогеологию как науку о роли воды в становлении окружающего нас геологического мира [7]. К сожалению, развернувшаяся примерно в это время борьба непунистов и плутонистов закончилась поражением первых. Это и привело к тому, что учение о геологической роли воды, как объекта гидрогеологии, было забыто на многие годы. Гидрогеология, вопреки изначально базовому представлению, превратилась в науку только о подземных водах, и долгое время рассматривалась как часть гидрологии, изучающей подземную ветвь климатического круговорота. Так рассматривают гидрогеологию во многих Западных странах и сегодня.

Гидрогеология по своему внутреннему содержанию, как никакая другая из наук о воде (океанология, гидрология, гидрохимия, мерзлотоведение, гляциология, озероведение, учение о минеральных водах и т.д.), подготовлена не только для того, чтобы стать ведущей наукой о геологии воды, но и возглавить учение о природных водах в целом. Обусловлено это тем, что гидрогеология способна изучать не просто подземную воду, а ее взаимодействие с горными породами, газами и органическим веществом (живым и мертвым). Непрерывное же взаимодействие – первый признак систем, способных к прогрессивной эволюции. Тем самым гидрогеология потенциально подготовлена к изучению общих свойств и механизмов эволюционирующих водных систем.

Гидрогеология может и должна закрыть образовавшуюся нишу в изучении воды как важнейшей стихии планеты, в первую очередь подземной воды, которая, находясь постоянно в горных породах и с ними взаимодействуя, обеспечивает непрерывное усложнение состава воды и создает благоприятные условия для последовательных эволюционных преобразований вещества горных пород, формирования новых вторичных

продуктов – косных, биокосных и живых. Гидрогеология, как наука о воде, безусловно, будет трансформироваться в науку об эволюции всего окружающего мира. Мы уверены, что исследование гидрогеологией взаимодействия с горными породами, газами, органическим веществом резко расширит ее границы и выведет в число лидирующих среди всех геологических наук. Надеемся, что это произойдет в ближайшие 20–30 лет.

#### Литература

1. Пиннекер Е.В. (ред.) Основы гидрогеологии. В 6<sup>ти</sup> томах. – Новосибирск: Наука, 1980 – 1984.
2. Шварцев С.Л. Общая гидрогеология // Изд. 2<sup>е</sup>, перер. и доп. – М.: Альянс, 2012. – 601 с.
3. Данилов-Данильян В.И. Дефицит пресной воды и мировой рынок // Водные ресурсы. – 2005, том 32. – №5. – С. 625 – 633.
4. Вернадский В.И. История природных вод. – М.: Наука, 2003. – 751 с.
5. Шварцев С.Л. Внутренняя эволюция геологической системы вода-порода // Вестник РАН, 2012. – №3. – С. 242 – 251.
6. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. Изд. 4<sup>е</sup>, УРСС, 2003. – 312 с.
7. Шварцев С.Л. Двести десять лет гидрогеологии // Геоэкология, 2013. – №3. – С. 272 – 279.

### ХИМИЧЕСКИЕ БАЛАНСЫ ВЕЩЕСТВА РЕЗЕРВУАРОВ ОЗЕРА БАЙКАЛ

О.Ю. Астраханцева

*Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск, Россия*

Открытая система “вещество вод оз. Байкал” связана с веществом потоков окружающей среды определенными коммуникациями, т.е. сетью внешней связей системы. Для установления внешних связей и описания механизмов взаимодействия в системе “вещество вод оз. Байкал – вещество потоков окружающей среды” необходимо исследование вещественного баланса каждого из пяти резервуаров озера. До сих пор химический баланс оз. Байкал рассчитывали как баланс однорезервуарной системы (П.Ф. Бочкарев (1955), К.К. Вотинцев (1961, 1978, 1982), К.К. Вотинцев и др. (1965, 1975), Н.В. Верболова и А.И. Мещерякова (1973), Анохин и др. (1991), Е.Н. Тарасова и А.И. Мещерякова (1992), Collender, Granina (1997), Leermakers et. al. (1996), В.И. Синокович и др. (1998)). При этом в статье “Приход” не учитывали пункты “Аэрозоль”, “Подземные воды”, “Термальные воды”, “Поток компонентов из донных отложений”, “Взвесь речных вод”, а в статье “Расход” пункт “Поток компонентов в донные отложения”.

Использу уравнение  $m = C \cdot v$ , (4) где  $m$  – полная масса элемента,  $C$  – средняя (базовая) концентрация,  $v$  – объем водной массы озера, рассчитано годовое содержание – полная масса каждого из 35 компонентов в 109 г/год в подсистемах (вещество поверхностных, прибрежных, глубинных, придонных вод) каждого полуавтономного резервуара оз. Байкал. Для расчета химического баланса вещества потоков необходимо знать составляющие приходной и расходной частей вещества каждого резервуара. Приходную часть составляют поступления элементов: – с речным стоком; – с подземным стоком (подземные воды, минеральные воды); – с атмосферными осадками; – с эоловым привносом; – с речной взвесью; – с притоком озерных вод из соседних резервуаров озера; – с внутренней нагрузкой – с потоком из донных отложений. Составляющие статью “Расход”: – вынос элемента со стоком озерных вод в соседние резервуары озера или в р. Ангару; – выведение из водной массы с взвешенным материалом, формирующим донные отложения, т.е. с потоком в донные отложения. Рассчитаны полные среднегодовые массы элементов в веществе каждого потока, втекающего и вытекающего из резервуаров оз. Байкал (внешняя нагрузка), а также внутренних потоков.

Кроме поступления элементов с водосборного бассейна (внешняя нагрузка), элементный режим определяют внутриводоемные процессы (внутренняя нагрузка). Элементами внутреннего баланса веществ являются аккумуляция поступивших с водосбора компонентов, седиментация их в составе взвешенного материала, поток из донных отложений в воду и как следствие этих процессов – накопление их на дне. Аккумуляция оценивается по разности внешнего прихода и внешнего расхода (сток в другие резервуары или р. Ангару). Поток компонентов из донных отложений в каждом резервуаре определяли по разности седиментации и аккумуляции. Данные о поставках вещества на дно оз. Байкал (в г/см<sup>2</sup>) получены из работы Ю.А. Богданова [1997]. В нашей работе рассчитано количество вещества, поступающее на дно каждого из пяти резервуаров оз. Байкал за год (табл.).

*Таблица*

*Современные потоки химических веществ из водной толщи в донные осадки резервуаров оз. Байкал, г/год*

Южный резервуар	Селенгинский	Средний	Ушканье-островский	Северный	Оз. Байкал
2.55x10 <sup>12</sup>	1.46x10 <sup>12</sup>	2.58x10 <sup>12</sup>	5.65x10 <sup>11</sup>	5.42x10 <sup>12</sup>	1.24x10 <sup>13</sup>

Известно процентное содержание элементов в донных осадках [1]. Отсюда  $N = C \cdot n / 100$ , (5) где  $N$  – количество компонента (г/год) в потоке химических веществ из водной толщи в донные осадки резервуара;  $n$  – содержание компонента в 100 г сухого вещества донных осадков;  $C$  – абсолютные массы осадочного материала, накапливающиеся в донных осадках за год в каждом резервуаре (г/год). Кроме того, в [Богданов и др., 1997] даны потоки металлов в донные отложения оз. Байкал конкретно для SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe, Ti, Pb, Zn, Cu, Co, Cr, V,