

УДК 551.431.1.556.551

О СВЯЗИ РИТМОВ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ПРИВОДНОМ СЛОЕ ВОЗДУХА И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ

© 2004 г. В. М. Домышева, Д. А. Пестунов, М. В. Панченко, О. М. Хохрова, И. Б. Мизандронцев, В. П. Шмаргунов, Т. В. Ходжер, Б. Д. Белан

Представлено академиком М.А. Грачевым 19.05.2004 г.

Поступило 31.05.2004 г.

Неуклонный рост содержания углекислого газа в атмосфере, по оценкам практически всех специалистов, влечет за собой изменение глобально-климата и воздействует на все геосферно-биосферные процессы [1]. К настоящему времени основные представления об источниках и стоках CO_2 в масштабе планеты вполне сформированы и на этой базе созданы прогностические модели [1]. Основное внимание специалистов в настоящее время сосредоточено на изучении процессов регионального масштаба.

В гидросфере исследования по инвентаризации CO_2 , как правило, направлены на изучение газообмена между атмосферой и Мировым океаном. Однако как возможные источники и стоки из рассмотрения упускаются системы озер, что, несомненно, важно для многих географических районов. Байкал в этом аспекте представляет собой уникальный природный объект. Учитывая его огромную площадь и активность биоты, можно ожидать, что Байкал играет существенную роль в процессах генерации и стока углекислого газа, по крайней мере, в регионе.

Начало изучению динамики содержания растворенных в воде Байкала газов было положено в 1925–1929 гг. [2]. Летом 1927 г. на биостанции Биолого-географического института при Иркутском государственном университете (пос. Большие Коты, Южный Байкал) были поставлены наблюдения за суточным ходом гидрологических элементов, концентрации растворенной свободной углекислоты и кислорода [3]. В последующие годы здесь же проводили исследования суточных изменений содержания растворенных газов в воде

литорали и открытого озера в разные сезоны, включая подледный период [4, 5]. К сожалению, этот материал, как правило, представлен разрозненными суточными сериями наблюдений, выполненными в разных участках озера в различные сроки и с разным шагом по времени.

Серия планомерных исследований последних лет химического состава поверхностных вод Байкала в разных районах позволила ответить на многие вопросы о сезонной [6–8] и внутрисуточной изменчивости содержания CO_2 в воде [9–11]. На основании этих измерений были проведены оценки возможного поступления углекислого газа с поверхности озера в атмосферу [6–8].

Но все опубликованные до настоящего времени данные о роли Байкала в газообмене водная поверхность–атмосфера базируются только на данных о химическом составе воды, а прямых измерений содержания CO_2 в атмосфере не проводили. Все это ограничивает возможности использования этих данных для оценки количественной стороны процессов газообмена, протекающих в водах озера. Для решения этой задачи в прибрежной зоне Байкала был начат комплексный эксперимент по детальному исследованию процессов обмена углекислого газа в системе водная поверхность–атмосфера.

В настоящей работе основное внимание сосредоточено на изучении внутрисуточной изменчивости содержания CO_2 в воде и приводном слое атмосферы, поскольку именно жизнедеятельность биоты и является основным процессом, определяющим интенсивность и направление процессов газообмена (см., например, [9]).

Измерения проводили на стационаре Лимнологического института СО РАН в районе пос. Большие Коты в июле, августе и октябре 2003 г. Схема эксперимента представлена на рис. 1.

Для того чтобы снизить влияние адвективных процессов на результаты измерений и последующей оценки потоков CO_2 с поверхности воды, была использована полупогружаемая прозрачная ка-

*Лимнологический институт
Сибирского отделения Российской Академии наук,
Иркутск
Институт оптики атмосферы
Сибирского отделения Российской Академии наук,
Томск*

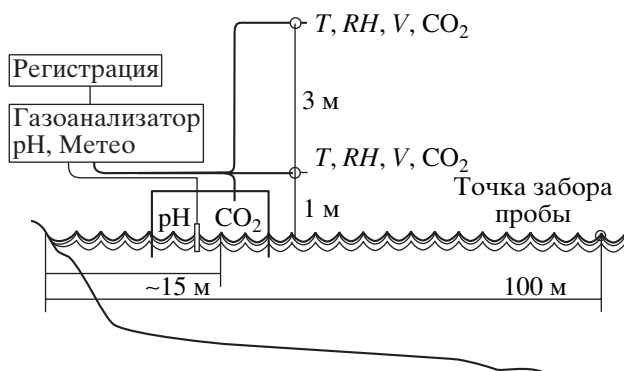


Рис. 1. Схема эксперимента. CO_2 – концентрация углекислого газа, pH – отрицательный десятичный логарифм активности ионов H^+ , T – температура воздуха, RH – относительная влажность воздуха, V – скорость ветра.

мера. Для контроля содержания CO_2 [12] в воде непосредственно в камере размещался плавающий электрод pH-метра “Эксперт-001”, показания которого регистрировались ЭВМ.

На метеомачте, расположенной около камеры, осуществлялась регистрация концентрации углекислого газа, а также температуры, атмосферного давления, относительной влажности и скорости ветра на 1 и 4 м от поверхности воды. Наблюдения проводились в режиме круглосуточного мониторинга.

Газоанализатор, содержащий сенсор CO_2 , насос и воздушные клапаны для выбора места отбора проб (камера, атмосфера 1 и 4 м), управлялся от ЭВМ. В каждом цикле в течение 15 мин измерялась концентрация CO_2 последовательно в камере, на верхнем и нижнем уровне метеомачты. Регистрация метеорологических параметров велась непрерывно.

Параллельно этим измерениям в 100 м от берега круглосуточно (через 3 ч) отбирали пробы воды для лабораторного анализа химического состава. Здесь проводили измерения pH, концентраций растворенного кислорода, гидрокарбонат-иона, нитрат- и фосфат-ионов в верхнем слое воды. Измерения активности ионов H^+ выполнялись pH-метром “Эксперт-001” с точностью 0.02 ед., кислорода – по Винклеру с относительной ошибкой 0.3%, гидрокарбонат-иона – потенциометрическим методом (относительная ошибка 1% [12]). Концентрацию нитрат- и фосфат-ионов определяли фотометрическими методами с относительной ошибкой 4% [13] и 1.5% [12] соответственно. По результатам измерений pH и карбонатной щелочности рассчитывалось содержание CO_2 [12].

Эксперимент был проведен отдельными многосуточными сериями.

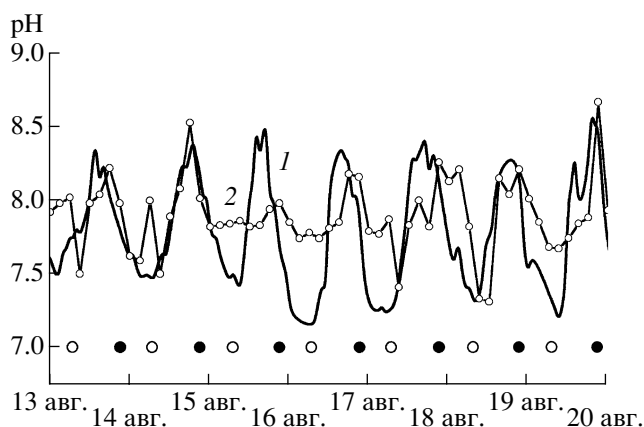


Рис. 2. Сравнение суточного хода pH поверхностной воды в камере (кривая 1) и в точке забора пробы (кривая 2). Здесь \circ – время восхода солнца, \bullet – время захода.

На данные, полученные в июле, оказало влияние большое число лесных пожаров в Прибайкалье, и они здесь не рассматриваются. Эти результаты могут оказаться полезными на этапе изучения процессов газообмена в условиях высокой задымленности атмосферы.

Основное внимание сосредоточим на данных, полученных в августе и октябре.

Для целей этой работы, в которой главной задачей являлось исследовать взаимосвязь ритмов изменения химического состава воды и содержания углекислого газа в приводном слое воздуха, при анализе будем использовать только те характеристики, которые измерялись непосредственно в эксперименте. В нашем случае это концентрация CO_2 в воздухе (ppmV , на всех рисунках и в тексте данные приведены для атмосферного давления $P = 1$ атм) и pH поверхностной воды.

Предварительный анализ данных показал, что относительное постоянство температуры воды (август – $T_{\text{в}} = 6\text{--}9^\circ\text{C}$, октябрь – $T_{\text{в}} = 4.5\text{--}6^\circ\text{C}$) и концентрации гидрокарбонат-иона в каждом из измерительных циклов действительно дает возможность для описания внутрисуточных ритмов изменчивости углекислого газа в воде использовать только один параметр – pH*.

Прежде чем обратиться к детальному анализу данных, полученных в камере, необходимо убедиться в том, что они отражают процессы, которые происходят на границе вода–атмосфера в реальных условиях.

Для этого на рис. 2 проведено сопоставление временного хода параметра pH, измеренного в августовской серии на поверхности воды в каме-

* Согласно [13], логарифм концентрации CO_2 в воде при постоянстве температуры и ее химического состава обратно пропорционален pH воды.

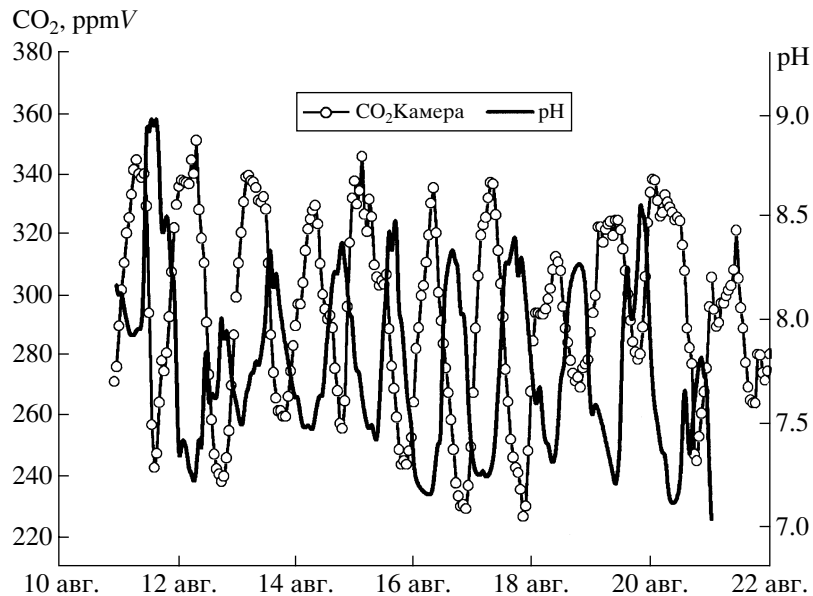


Рис. 3. Данные августовской серии измерений в камере.

ре и контрольной точке забора пробы. Отметим, что измерения в августе проводили в очень неустойчивых погодных условиях. Только первые два дня было солнечно и сухо, а остальной период наблюдений характеризовался быстрой сменой воздушных масс и весьма частыми и обильными осадками. В то же время видим, что в течение всего периода измерений суточный ход проявляется весьма отчетливо и превалирует над остальными процессами. Обратим внимание на то, что снижение содержания CO_2 в воде (в нашем случае рост pH) начинается сразу после восхода солнца и обратный процесс включается незадолго до его захода. И главное, практически все основные черты суточного хода (исключение составляют только амплитуды) в открытой воде и камере соответствуют друг другу. Различие амплитуд (в камере процесс выражен намного ярче) вполне объяснимо следующими причинами: 1) в камере значительно меньше сказываются вертикальные и горизонтальные переносы CO_2 , а следовательно, и процесс газообмена является преобладающим; 2) точка отбора пробы отнесена от берега на расстояние около 100 м и естественно, что интенсивность воздействия биоты здесь может быть более низкой; 3) измерения pH в камере производили плавающим электродом верхнего, очень тонкого слоя воды, а в открытой точке забор пробы осуществлялся с большей толщи поверхностной воды и измерение проводили уже в лабораторных условиях.

Убедившись в том, что измерения в камере действительно отражают те процессы изменения содержания углекислого газа, которые происхо-

дят в прибрежных водах Байкала, сосредоточим основное внимание на этих данных.

На рис. 3 представлены результаты, полученные в августе. Из него видно, что суточный ритм содержания углекислого газа в атмосфере камеры находится в строгой противофазе с pH.

С восходом солнца начинается быстрое увеличение pH воды и синхронное падение концентрации углекислого газа в приводном слое атмосферы. Это свидетельствует о том, что при уменьшении содержания углекислого газа в воде практически одновременно начинается сток CO_2 из атмосферы на водную поверхность. Незадолго до захода солнца процесс меняет знак, и CO_2 из воды начинает поступать в приводный слой атмосферы. В августе максимальный размах внутрисуточной изменчивости содержания углекислого газа в атмосфере камеры от максимума до минимума составил $\Delta\text{CO}_2 = 100 \text{ ppmV}$ и минимальный $\Delta\text{CO}_2 = 45 \text{ ppmV}$. Соответственно величина ΔpH в разные дни испытывала колебания от $\Delta\text{pH} 1.5$ до $\Delta\text{pH} 0.6$.

Схожие данные были получены и в период наблюдений в октябре. На рис. 4 приведен фрагмент из этого ряда измерений, полученный в устойчивую антициклональную погоду, здесь же приведены данные измерения концентрации углекислого газа в открытой надводной атмосфере.

Видим, что и в камере, и в открытой атмосфере изменения содержания углекислого газа, так же как и в случае сравнения pH на рис. 2, синхронны и по тем же причинам различаются только амплитудами.

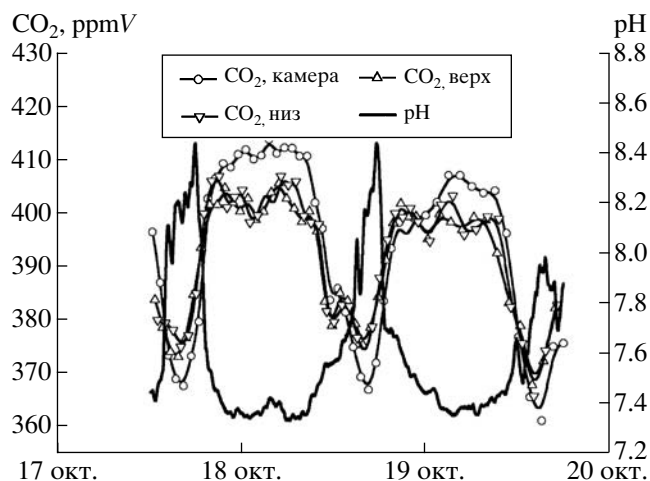


Рис. 4. Фрагмент данных измерений в октябре. CO_2 – концентрация углекислого газа в камере и открытой атмосфере (верх и низ – измерения соответственно на высоте 1 и 4 м над водной поверхностью).

В этот период внутрисуточный ход изменения концентрации CO_2 и pH, четко связанный с продолжительностью инсоляции*, выражен наиболее сильно. Сравнивая же внутрисуточную изменчивость измеряемых характеристик с данными, полученными в августе, отметим, что в этот период размах колебаний заметно меньше. Так, максимальное значение $\delta\text{CO}_2 = 50 \text{ ppmV}$, а $\delta\text{pH} = 1.0$.

Таким образом, суммируя результаты проведенного комплексного исследования, в котором впервые на Байкале проведены синхронные измерения содержания углекислого газа в приводной атмосфере и поверхностном слое воды, можно сделать следующие основные выводы.

В течение летне-осеннего периода года газообмен CO_2 в системе поверхность воды Байкала–атмосфера имеет ярко выраженный суточный ход, амплитуда которого превалирует над всеми другими атмосферными факторами. Очень четкая связь этого хода с продолжительностью инсоляции указывает на главную роль биоты Байкала в регулировании интенсивности газообмена. Оценка межсезонной изменчивости и преимущественного направления потоков выходит далеко за рамки настоящей работы и требует продолжения комплексных исследований. Но даже из этого огра-

*Для этого периода наблюдений характерно быстрое убывание продолжительности светлого времени суток (17 октября восход солнца в 8 : 36 и заход в 18 : 48, а 20 октября соответственно в 8 : 48 и 18 : 36).

ниченного материала можно понять, что воздействие меняющегося климата и продолжающейся антропогенной нагрузки на состояние водной биоты может существенно повлиять на роль Байкала, который может оказаться как источником, так и стоком углекислого газа, по крайней мере в региональном масштабе.

Работа выполнена при поддержке программы Отделения наук о Земле № 3 “Водные ресурсы, динамика и охрана подземных вод и ледников”, проект “Исследование загрязнения атмосферы и поверхностных вод озера Байкал”, а также гранта РФФИ № 04–05–64696 и экспедиционного гранта СО РАН “Байкал-03”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изменение климата, 2001 г.: Обобщенный докл. Вклад рабочих групп 1, 2 и 3 в подготовку III доклада об оценке межправительственной группы экспертов по изменению климата. ВМО, ЮНЕП. Норвегия: Изд-во студии дизайна “ГРИД-Арендаль”, 2003. 219 с.
2. *Верещагин Г.Ю.* В кн.: Тр. Байкал. лимнол. ст. Сиб. отд-ния АН СССР. 1932. Т. 2. С. 107–200.
3. *Гортиков Б.М.* // Изв. БГИ при Иркут. гос. ун-те. 1927. Т. 3. В. 3. С. 25–35.
4. *Бочкарев П.Ф., Власов Н.А., Козьмичев М.П.* В кн.: Тр. Иркут. гос. ун-та. Сер. хим. 1947. Т. 3. В. 1. 28 с.
5. *Вотинцев К.К.* Гидрохимия озера Байкал. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 310 с.
6. *Мизандронцев И.Б., Горбунова Л.А., Домышева В.М. и др.* // География и природ. ресурсы. 1996. № 2. С. 74–84.
7. *Мизандронцев И.Б., Горбунова Л.А., Домышева В.М. и др.* // География и природ. ресурсы. 1998. № 1. С. 61–70.
8. *Мизандронцев И.Б., Домышева В.М., Шимарев М.Н. и др.* // География и природ. ресурсы. 2000. № 3. С. 55–62.
9. *Мизандронцев И.Б., Домышева В.М., Мизандронцева К.Н., Томас К.* // География и природ. ресурсы. 2002. № 1. С. 73–78.
10. *Мизандронцев И.Б., Домышева В.М., Мизандронцева К.Н.* // Вод. ресурсы. 2003. № 30 (3). С. 289–296.
11. *Мизандронцев И.Б., Домышева В.М., Мизандронцева К.Н.* // География и природ. ресурсы. 2003. № 3. С. 78–85.
12. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. А.Д. Семенова. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 542 с.
13. *Строганов Н.С., Бузинова Н.С.* Практическое руководство по гидрохимии. М.: Изд-во МГУ, 1980. 196 с.