

ние спутниковых снимков изучаемой территории из открытых интернет-источников, которые позволяют получить актуальные данные о границах изучаемых зон.

На основе полученной информации и ее анализа создается цифровой тематический слой, отображающий распределение различных зон (лес, пашня, луг, населенные пункты). Тематический слой совмещается с цифровой топографической основой изучаемой территории. Карта сопровождается легендой с описанием цветовых заливок используемых на ней. На завершающем этапе проводится допечатная подготовка макета карты в графическом редакторе Corel Draw.

Моно- и полиэлементные геохимические карты строятся на основе карты фактического материала и базы данных по геохимическому составу отложений. На основе полученной информации и ее анализа создается цифровой тематический слой, отображающий пространственное распределение содержаний химических элементов. Изолинии соединяют точки с одинаковыми значениями содержаний элементов. Первичное построение изолиний производится методом обратных взвешенных расстояний. Далее проводится уточнение проведения линий с учетом геологических, литологических, геоморфологических, почвенных, растительных, гидрологических особенностей территории. Карта сопровождается цветовой шкалой градаций содержаний микроэлементов. На полиэлементной карте цифровой тематический слой отображает пространственное распределение значений мультипликативных показателей типоморфных элементов, ассоциаций элементов или сумму кларков концентраций элементов, выделенных с использованием корреляционного, факторного анализов и иных алгоритмов. Карта сопровождается цветовой шкалой градаций по сумме кларков концентраций микроэлементов.

При построении ландшафтно-геохимической карты использовались материалы карт фактического материала, функционального зонирования территории, ландшафтной карты, эколого-геохимической и базы данных по содержанию химических элементов. Ландшафтно-геохимическая карта характеризует взаимосвязь и закономерности распределения и условия миграции в ландшафтах. С учетом рельефа местности в пределах природных ландшафтов выделены элементарные ландшафты с наложением на них путей миграции вещества. Каждый из элементарных ландшафтов на карте отражен условным знаком с определенной штриховкой. Показаны границы и индексы природных ландшафтов. Цветом отображена степень устойчивости ландшафтов к химическому загрязнению.

Дополнительно к вышеназванным условным обозначениям на самой карте к ней прилагается экспликация в виде таблицы. В шапку таблицы включены название элементарного ландшафта, индексы природных ландшафтов, литологический состав почвообразующих пород и почв, условия миграции химических элементов, оценка геохимических условий среды, ряды накапливающихся элементов, показатели СПК ( $Z_c$ ), характер освоенности территории, и суммирующий показатель – степень устойчивости ландшафтов к химическому загрязнению.

### Список литературы

1. Буренков Э.К., Головин А.А., Филатов Е.И. Комплексное геохимическое картирование: основы технологии // Прикладная геохимия. Вып. 1. Геохимическое картирование. – М.: ИМГРЭ, 2000. – С. 28–46.
2. Головин А.А., Ачкасов А.И., Волочкович К.Л. и др. Многоцелевое геохимическое картирование – новые решения проблем металлогенического прогнозирования // Разведка и охрана недр. № 8. – М.: 2002. – С. 2–9.
3. Требования к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования масштаба 1:200 000. Приложения. – М.: ИМГРЭ, 2002. – 177 с.

## ОСОБЕННОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКОВ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА С ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

А.И. Павловский<sup>1</sup>, А.М. Павлюченко<sup>2</sup>, В.Н. Кузьмин<sup>3</sup>, С.И. Зуй<sup>2</sup>

<sup>1</sup>УО «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»,

г. Гомель, Беларусь, e-mail: aipavlovsky@mail.ru;

<sup>2</sup>ГНПО НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам,

г. Минск, Беларусь, e-mail: rabo4mail@gmail.com;

<sup>3</sup>Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

*Рассмотрен измерительный комплекс, который можно рекомендовать для локального мониторинга потоков диоксида углерода с водной поверхности с целью изучения углеродного баланса озер и водохранилищ.*

**Ключевые слова:** диоксид углерода; озерные экосистемы.

## THE PARTICULARITIES OF CARBON DIOXIDE INSTRUMENTAL MEASUREMENTS FROM WATER SURFACE

A.I. Pavlovsky<sup>1</sup>, A.M. Pavljuchenko<sup>2</sup>, V.N. Kuzmin<sup>3</sup>, S.I. Zui<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gomel State University NAMED AFTER Francysk Skoryna, Gomel, Belarus;

<sup>2</sup>SSPA The Scientific Practical Center for Bioresources, Minsk, Belarus

<sup>3</sup>Belarus State University, Minsk, Belarus

*A measuring complex is considered, which can be recommended for local monitoring of carbon dioxide fluxes from a water surface in order to study the carbon balance of lakes and reservoirs.*

**Keywords:** carbon dioxide; lake ecosystems.

Возрастание концентрации парниковых газов в атмосфере Земли принято считать основной причиной глобального изменением климата. Диоксид углерода (CO<sub>2</sub>) ответственен более чем за половину общего вклада в антропогенный парниковый эффект. Особенную актуальность проблема изучения углеродного цикла приобрела в последние годы. Это связано с анализом многочисленных данных о существенных изменениях в составе атмосферы Земли и влиянием на эти процессы парниковых газов, основным из которых является диоксид углерода. При этом основное внимание было сконцентрировано на углеродном цикле мирового океана, занимающего 70 % поверхности Земли [4]. Исследований, посвященных озерным экосистемам, занимающих около 2 %, значительно меньше. Однако в отдельных регионах, где озера могут составлять 10–20 % от общей площади, озерный углеродный обмен является важнейшим фактором углеродного цикла. В качестве примера можно привести регион Национального парка «Нарочанский», где озера занимают 19 % территории и являются структурообразующими элементами экосистемы региона. Цель настоящего исследования – предложить подходящий метод измерений потоков диоксида углерода с водной поверхности и создать необходимую для этого конфигурацию оборудования.

На сегодняшний день основным методом измерения потоков газа – метод вихревой ковариации и его подвиды (микрометеорологические методы). Он используются на многочисленных станциях в рамках программ глобального мониторинга углеродного цикла [1]. Преимущество микрометеорологического подхода заключается в том, что интервал осреднения в нем предполагает значительные по величине площади. Подобный подход эффективен при оценке углеродного обмена для значительных по пространственному охвату тропических или бореальных лесов. Однако с помощью него практически невозможно выделить вклад отдельных ключевых участников углеродного обмена, что является важным фактором при изучении газообмена на площадках, расположенных в непосредственной близости друг от друга [2]. К недостаткам микрометеорологических методов можно также отнести значительные

затраты на их оборудование и обслуживание и жесткие требования к чувствительности и быстродействию измерительной аппаратуры.

Локализовать отдельный объект газообмена от других источников и потребителей атмосферного углерода позволяют камерные методы измерения, которые обеспечивают измерения прироста или убыли газа в изолированном объеме. В последнее время эти методы получили достаточно широкое распространение ввиду их точности, простоты и доступности. Таким образом, во многих случаях более эффективным и целесообразным способом представляется способ измерений методом закрытых эмиссионных камер [3].

Измерительный комплекс на основе метода закрытых эмиссионных камер состоит из собственно камеры, которая служит накопителем выделяемых газов, и отдельного контрольно-измерительного блока. В рабочем состоянии камера и блок связаны друг с другом питающим электрокабелем и шлангами для откачки и возвращения газовых проб. В режиме накопления разъемы камеры герметично перекрыты.

Камера представляет собой изготовленный из ПВХ герметичный параллелепипед, одно из оснований которого отсутствует, т. е. открыто для газообмена. В нашем случае отсутствующим (открытым) основанием камера устанавливается на плавающую по водной поверхности герметизирующую рамку, образуя замкнутую среду и отделяя определенный объем воздуха от атмосферы. Поступающий из воды углекислый газ накапливается в камере и по скорости изменения его концентрации оценивается поток  $\text{CO}_2$  с изучаемого участка. Камеры имеют форму в виде параллелепипеда ( $70 \times 70 \times 51$  см), в основании которого лежит квадрат. Объем  $V$  камеры составляет  $0,269 \text{ м}^3$ , а площадь  $S$  покрываемого открытым основанием участка  $0,49 \text{ м}^2$ .

Подключением электрокабеля обеспечивается работа двух вентиляторов со скоростью перемешивания 1 л/мин и температурных датчиков, закрепленных внутри и снаружи камеры. Рост концентрации газа в камере означает, что идет выделение газа с водной поверхности, а спад – о поглощении. Зная площадь контакта камеры с водной поверхностью  $S$  и ее внутренний воздушный объем  $V$ , по скорости изменения концентрации газа  $\Delta C/\Delta t$  в этом объеме, можно вычислить поток  $F$ , поступающий в камеру:

$$F = \frac{\Delta C}{\Delta t} \times \frac{V}{S}$$

Установившееся равновесное давление  $\text{CO}_2$  между водой и воздухом в закрытой камере останавливает процесс газообмена, искажая оценку потока. Для устранения этого недостатка в процесс измерения была введена процедура проветривания камеры, с периодичностью, зависящей от величины потока. Таким образом, время экспозиции одного измерения зависело от скорости потока (изменение концентрации в пределах 20 ppm) и температуры внутри камеры (изменение в пределах  $3 \text{ }^\circ\text{C}$ ), но не превышало одного часа.

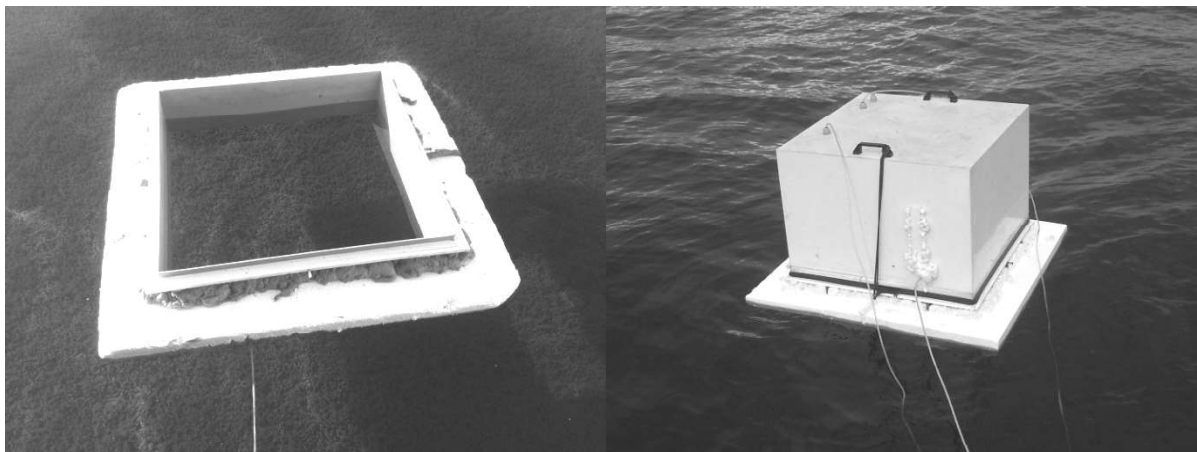


Рисунок 1. Плавающая герметичная рамка с установленной на нее камерой

Для измерений потока  $\text{CO}_2$  с водной поверхности используется портативный инфракрасный газоанализатор LI-820 (LI-COR Biosciences) расположенный в измерительном блоке. Данный газоанализатор предназначен для долговременного мониторинга уровня содержания углекислого газа и паров воды в атмосфере (таблица 1). Газоанализатор LI-820 характеризуется следующими конструкционными особенностями: широким диапазоном измеряемых концентраций, широким диапазоном рабочих температур, компактностью, малым весом, низким энергопотреблением (менее 4 Вт), низким уровнем шума (менее 1 ppm), возможностью коррекции показаний в реальном времени (с помощью встроенного сенсора температуры и давления в ячейке); возможностью проведения сервисного обслуживания оптики непосредственно оператором, отсутствием необходимости перекалибровки на базе производителя.

Для подачи воздушного потока в рабочую зону газоанализатора, расположенного вне камеры, используется непрерывно работающий насос, соединенный с воздушными шлангами из камеры. Чтобы обеспечить защиту газоанализатора от водяных капель, предусмотрен специальный фильтр.

Таблица 1

Технические характеристики газоанализатора LI-820

Диапазон измеряемых значений	0–20,000 ppm
Принцип измерения	ИК детекция
Максимальный поток газа	1 литр в минуту
Требования к электропитанию	постоянный ток напряжением 12 В
Диапазон рабочих значений температуры	-20 °C ... 45 °C
Диапазон рабочих значений относительной влажности	0–95 % (без конденсации)
Размеры	22,2 × 15,2 × 7,6 см

Концентрация  $\text{CO}_2$  в объеме камеры измеряется с интервалом в 5 секунд. Полученная информация о концентрации поступает в контроллер измерительного блока и записывается в его внутреннюю память. Одновременно на контроллер поступают данные с датчиков температуры, которые расположены как внутри, так и снаружи камеры.

Для измерения и фиксации интенсивности фотосинтетически активной части солнечного излучения (ФАР) в конструкции предусмотрен специальный датчик. Все активные элементы питаются от трех сухозаряженных аккумуляторов.



Рисунок 2. Прибор для измерения потоков  $\text{CO}_2$

В результате выполненных работ был создан измерительный комплекс для определения потоков диоксида углерода с водной поверхности. В ходе его апробации на оз. Нарочь определена оптимальная конфигурация технических и программных средств для эффективного сбора всей необходимой информации. В ходе тестирования комплекс показал надежную работу без значительных трудностей и неполадок. Данный измерительный комплекс можно рекомендовать для локального мониторинга потоков оксида углерода с водной поверхности с целью изучения углеродного баланса озер и водохранилищ.

#### Список литературы

1. Дмитриев, В.В. Диагностика и моделирование водных экосистем / В.В. Дмитриев. – СПб., 1995. – 215 с.
2. Dillon, F. J. A simple method of predicting the capacity of a lake for development based on lake trophic status / F. J. Dillon, F.H. Rigler. – J. Fish. Res. Board Canada, 1975, v. 32, N9. – P. 1519–1531.
3. Livingston, G.P. Enclosure-based measurement of trace gas exchange: Applications and sources of error / G.P. Livingston, G.L. Hutchinson // Biogenic trace gases: Measuring emissions from soil and water. – Oxford: Blackwell Science Ltd, 1995. – P. 14–51.
4. Parparov, A. Water quality quantification: basics and implementation / A. Parparov, K.D. Hambright, L. Hakanson, A. Ostapenia // Hydrobiologia, 2006. – Vol. 560. – P. 227–237.