МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ ИМЕНИ ПАТРИСА ЛУМУМБЫ»

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Сборник трудов XXVII Международной научно-практической конференции

В двух томах

ТОМ 2

Москва, 23–25 апреля 2026 г.

Москва
2026

УДК 574:502/504:59(063)
ББК 20.1+28.08
А43

Утверждено
РИС Ученого совета
Российского университета
дружбы народов

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Ответственный редактор –
кандидат физико-математических наук, доцент *Т.Н. Ледащева*

Члены редколлегии:
доктор экономических наук, профессор *М.М. Редина;*
доктор биологических наук, профессор *А.А. Киричук*;
кандидат технических наук, доцент *С.Н. Никулина*

А43 **Актуальные проблемы экологии и природопользования** : сборник научных трудов XXVII Международной научно-практической конференции : в 2 томах. Москва, 23–25 апреля 2026 г. – Москва : РУДН, 2026.
ISBN 978-5-209-12962-2
Том 2. – 532 с. : ил.
ISBN 978-5-209-12964-6 (т. 2)

Сборник содержит материалы научных докладов двадцать шестой международной конференции «Актуальные проблемы экологии и природопользования», в институте экологии Российского университета дружбы народов им. Патриса Лумумбы. Во второй том сборника вошли материалы докладов, представленных в секциях «Технологии экологической безопасности и ресурсосбережения», «Продовольственная безопасность и экологизация сельскохозяйственного производства», «Управление экологической безопасностью», «Экология человека», «Экология, философия, образование», а также избранные материалы Экологической конференции школьников.

ISBN 978-5-209-12964-6 (т. 2)
ISBN 978-5-209-12962-2

© Коллектив авторов, 2026
© Оформление. Российский университет дружбы народов, 2026

Никитин О.В.[1], Кузьмин Р.С.[1], Потапов К.О.[2], Шевчук К.А.[2], Латыпова В.З.[2]

АВТОНОМНАЯ БУЙКОВАЯ СТАНЦИЯ МОНИТОРИНГА ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ НА КАРБОНОВОМ ПОЛИГОНЕ: АРХИТЕКТУРА И ИНТЕГРАЦИЯ С НАБЛЮДЕНИЯМИ ЗА ПОТОКАМИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

[1]ООО «Экоаудит»
[2]Казанский (Приволжский) федеральный университет
olnova@mail.ru

Представлен опыт развертывания автономной буйковой станции на карбоновом полигоне «Карбон – Поволжье» (Республика Татарстан, Россия). Особенность – интеграция гидрофизических и гидрохимических сенсоров (EXO2s) с датчиками растворенных парниковых газов (CH_4, CO_2). Описана архитектура ПО: TCP-сервер, PostgreSQL с TimescaleDB, Grafana. Рассмотрена синхронизация данных для сопряжения с eddy covariance. Архитектура может служить прототипом для интегрированных систем мониторинга на карбоновых полигонах.

Современные подходы к мониторингу качества вод и потоков парниковых газов (ПГ) требуют высокочастотных синхронизированных данных по широкому спектру гидрофизических, гидрохимических и газовых параметров [1, 2, 3]. Для этих целей на карбоновом полигоне «Карбон – Поволжье» (Куйбышевское водохранилище, 55°16′09.7″ с.ш., 49°16′48.7″ в.д.) в 2025 г. введена в эксплуатацию автономная буйковая станция (АБС) на базе платформы Daowan (рис. 1). Особенность системы – интеграция на одной платформе трех типов сенсоров: многопараметрического зонда YSI EXO2s (температура, электропроводность, растворенный кислород, pH, Eh, хлорофилл-*a*, фикоцианин, мутность), сенсора метана METS (Franatech) и сенсора углекислого газа AMT (Analysenmesstechnik). Такое сочетание прямых измерений растворенных ПГ с широким набором гидрофизических и гидрохимических параметров – редкая практика для

буйковых комплексов, позволяющая синхронно регистрировать концентрации газов и факторы, контролирующие их эмиссию. За период с июля по октябрь 2025 г. в круглосуточном режиме было собрано ~35 тыс. строк данных.



Рис. 1. Комплекс оборудования на водном участке полигона «Карбон – Поволжье»: 1 – система eddy covariance на стационарно заякоренном понтоне [4]; 2 – АБС; 3 – плавучие камеры [5]; 4 – беспилотный комплекс Apache 4 Pro [6]

Конструкция. Буй выполнен в разборной конструкции, что обеспечивает удобство транспортировки, монтажа и обслуживания силами 2–3 специалистов, без привлечения спецтехники. Пластиковый корпус обеспечивает плавучесть и снижает массу, подводная часть (батарейный отсек), защитный кожух сенсоров, верхняя панель и несущие элементы выполнены из нержавеющей стали. Станция энергонезависима: солнечные панели, аккумулятор (40 А·ч), контроллер защиты от разряда и перегрузки. Передача данных – каждые 5 минут по 4G на сервер. Интервал опроса выбран как баланс энергопотребления и разрешения, достаточный для регистрации суточных циклов и кратковременных событий (прохождение атмосферных фронтов, дегазация). Глубина установки датчиков (~0,5 м) соответствует верхнему оптически активному слою, репрезентативному для спутникового зондирования. В зимний период платформа демонтируется до начала навигации.

Измерительный комплекс. Зонд EXO2s оснащен центральной вращающейся щеткой для защиты датчиков от обрастания. Сенсор CH_4 METS – высокочувствительный полупроводниковый датчик (1 нмоль/л – 10 мкмоль/л), работающий на принципе диффузии через силиконовую мембрану с детектированием на металлооксидном (SnO_2) элементе. Для стабилизации диффузионного потока сенсор эксплуатируется в проточном режиме с насосом SBE 5M (Sea-Bird Electronics). Сенсор CO_2 AMT (0–5 мг/л) – оптический, основан на NDIR с двухволновой схемой. Первичные данные преобразуются в концентрацию с учетом температуры воды по закону Генри.

Программно-аппаратная архитектура. Для приема и обработки данных разработано серверное приложение на Python (многопоточный TCP-сервер, контроль CRC16). Парсинг включает распаковку заголовка, извлечение идентификатора, GPS-координат, напряжения батареи и преобразование массива 32-битных целых чисел в 25 значений с плавающей точкой (гидрофизические и гидрохимические параметры). Данные сохраняются в CSV (ежедневная ротация) и импортируются в PostgreSQL с TimescaleDB. Визуализация – Grafana (интерактивные панели, оповещение в мессенджеры и email, экспорт данных).

Интеграция с другими методами наблюдений. Рядом с АБС на стационарно заякоренном понтоне размещена система eddy covariance (рис. 1) для измерения турбулентных потоков ПГ [4]. Комплекс включает газоанализаторы LI-7700 (CH_4) и LI-7200RS (CO_2/H_2O), анемометр uSonic-3 Cage MP. Частота измерений – 10 Гц, обработка в EddyPro и REddyProc (30-минутные потоки). Синхронизация данных АБС и eddy covariance позволит выявлять корреляции между концентрациями газов в воде и их потоками в атмосферу, оценивать временные задержки и верифицировать модели газообмена. Для верификации сенсоров и калибровки спутниковых алгоритмов проводятся экспедиционные

исследования: измерения потоков ПГ плавучими камерами [5] (в т.ч. синхронно с АБС), отбор гидрохимических и гидробиологических проб. Комплексная система (АБС + eddy covariance + камеры + дискретные пробы) обеспечивает данные высокого временного разрешения с метрологической прослеживаемостью и создает основу для количественного анализа газообмена на границе «вода–атмосфера».

Разработанная архитектура, сочетающая прямые измерения растворенных ПГ с широким набором гидрофизических параметров и интегрированная с другими методами наблюдений, может служить прототипом для интегрированных систем мониторинга на карбоновых полигонах и водных объектах.

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности, проект № FZSM-2024-0004.

Литература

1. *Nazarious M.I., Zorzano M.-P., Martin-Torres J.* Sub-liquid and atmospheric measurement instrument to autonomously monitor the biochemistry of natural aquatic ecosystems // ACS ES&T Water. 2023. V. 3(8). P. 2338–2354. DOI: 10.1021/acsestwater.3c00082.

2. *Rogora M., Cancellario T., Caroni R., Kamburska L., Manca D., Musazzi S., Tiberti R., Lami A.* High-frequency monitoring through in-situ fluorometric sensors: a supporting tool to long-term ecological research on lakes // Frontiers in Environmental Science. 2023. V. 10. Art. 1058515. DOI: 10.3389/fenvs.2022.1058515.

3. *Dalvai Ragnoli M., Singer G.* The River Runner: a low-cost sensor prototype for continuous dissolved greenhouse gas measurements // Journal of Sensors and Sensor Systems. 2024. V. 13(1). P. 41–61. DOI: 10.5194/jsss-13-41-2024.

4. N*ikitin O.V., Stepanova N.Yu., Aukhadeev T.R., Latypova V.Z.* Greenhouse gas fluxes (CH_4, CO_2) from the Kuibyshev Reservoir: an eddy covariance study // Limnology and Freshwater Biology. 2025. No.

4. P. 995–1012. DOI: 10.31951/2658-3518-2025-a-4-995.

5. *Nikitin O.V., Stepanova N.Y., Novikova L.V., Gordeev A.S., Kuzmin R.S., Latypova V.Z.* Methane emissions from the shallow water zone of the Kuibyshev Reservoir: a floating chamber study // Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management. 2026. No. 1. P. 76–93. DOI: 10.35567/1999-4508-2026-1-76-93.

6. *Хомяков П.В., Усманов Б.М.* Современные батиметрические исследования мелководий Куйбышевского водохранилища // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: труды X Всеросс. науч.-практ. конф. с межд. участием. Пермь: ПГНИУ, 2025. С. 229–233.

O.V. Nikitin[1], R.S. Kuzmin[1], K.O. Potapov[2], K.A. Shevchuk[2], V.Z. Latypova[2]

AUTONOMOUS BUOY STATION FOR AQUATIC ECOSYSTEM MONITORING AT A CARBON POLYGON: ARCHITECTURE AND INTEGRATION WITH GREENHOUSE GAS FLUX OBSERVATIONS

[1]Ekoaudit LLC
[2]Kazan Federal University

The paper presents the experience of deploying an autonomous buoy station at the Volga Carbon Polygon (Republic of Tatarstan, Russia). Its key feature is the integration of water quality sensors (EXO2s) with dissolved greenhouse gas sensors (CH_4, CO_2). The software architecture is described: a TCP server, PostgreSQL with TimescaleDB, and Grafana. Data synchronization for coupling with eddy covariance measurements is considered. The architecture can serve as a prototype for integrated monitoring systems at carbon polygons (carbon measurement supersites).