

Сведения о выполненных работах
в период с 27.07.2021 г. по 30.06.2022 г.

по проекту **«Факторы контролирующие биогеохимические процессы и цикл углерода в экосистемах озер меридионального профиля Западной Сибири: построение концептуальной модели»**,
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 21-77-10067

Руководитель: Манасыпов Ринат Мратович, канд. биол. наук

В 2021–2022 годах, на первом этапе проекта, согласно заявленному плану, были проведены экспедиционные работы на выделенных ключевых участках, расположенных на профиле распространения многолетней мерзлоты. В ходе выполнения полевых работ были отобраны образцы донных отложений термокарстовых озер, озерной и поровой воды, выполнена первичная пробоподготовка отобранных образцов. Проведена камеральная пробоподготовка и первичные анализы полевых образцов, разделение истинно-растворенной и коллоидной фракций РОУ, макро- и микроэлементов в озерных и поровых водах озер Западной Сибири с применением методов ультрафильтрационного центрифугирования и постановки *in situ* экспериментов. Рассчитаны плотность донных отложений, концентрации углерода, азота и ртути в донных отложениях, на основании чего получены данные по их запасам и скоростям накопления в донных отложениях изученных термокарстовых озерах с возможностью экстраполяции полученных результатов на большую территорию Западной Сибири. Изучено содержание коллоидной и истинно-растворенной фракции микроэлементов в озерных водах меридионального профиля Западной Сибири. Получены первичные результаты по спектрофотометрическим характеристикам озерных вод (SUVA₂₅₄). Проведена логико-интерпретационная и экспертная обработка полученных материалов.

На первом этапе выполнения проекта в летний период были выполнены экспедиционные работы на ключевых участках, расположенных в различных зонах распространения ММП Западной Сибири. В ходе выполнения полевых работ были получены образцы донных отложений, озерной и поровой воды термокарстовых озер. Лабораторно-аналитические работы включали в себя определение сухой объемной плотности отложений, определение содержания общего органического углерода, определение содержания общего азота, определение содержания общей ртути, расчет соотношения C:N, определение скоростей осадконакопления в донных отложениях (работы планируется продолжить на втором этапе проекта), отбор и анализ озерной и поровой воды донных отложений включающие в себя температурные, потенциометрические, кондуктометрические измерения и определение элементного состава. Представленные в отчете материалы опубликованы или оформлены в виде рукописей в журналы, входящие в международные базы научного цитирования.

Отложения исследованных озер характеризовались чрезвычайно высоким абсолютным содержанием воды. Отмечалось уменьшение абсолютного содержания

воды в кернах донных отложений, отобранных в озерах с юга на север (от 75 % в спорадической до 46 % в зоне сплошной мерзлоты) и, соответственно, увеличение плотности осадков (от 0,33 г см⁻³ в спорадической до 0,8 г см⁻³ в сплошной криолитозоне).

На вертикальных профилях ОС выделяются две части керна: верхняя «органическая» (мощность от 10 до 38 см) и нижняя «минеральная» (мощность данного слоя варьировала от 3 до 20 см в зависимости от экологического контекста). Концентрация ОС, TN и THg в исследованных озерных отложениях варьировала в зависимости от криолитозоны и биомов. Наблюдалось снижение общей концентрации ОС в озерах от северной тайги (спорадическая мерзлота) к тундровой зоне (сплошная мерзлота).

В зоне спорадической криолитозоны концентрация ОС варьировала от 47 ± 8 % в органической части до 10 ± 11 % в минеральной части при средней концентрации ОС 36 ± 19 %. Лесотундровая зона прерывистой многолетней мерзлоты характеризовалась средней концентрацией ОС 29 ± 19 %. Наименьшая концентрация ОС наблюдалась в зоне тундры и составляла 16 ± 9 %. Концентрация общей ртути в донных отложениях увеличивалась от зоны спорадической мерзлоты 167 ± 82 нг/г до зоны прерывистой мерзлоты (лесотундровая зона) 377 ± 131 нг/г затем следовало резкое уменьшение концентрации ртути в донных отложениях озер тундровой зоны до значений 99 ± 40 нг/г. Отмечено снижение концентрации TN в донных отложениях к северу с локальным максимумом в зоне прерывистой многолетней мерзлоты. Соотношение C:N, качественно отражающее степень разложения органического вещества в озерных отложениях, не демонстрировало каких-либо систематических изменений в зависимости от широты и колебалось от 14 до 57 (в среднем 26 ± 9).

В пределах репрезентативной глубины 0–30 см донные отложения озер, расположенных в зоне спорадической мерзлоты, содержали в среднем $16,3 \pm 0,5$ кг С/м². При продвижении на север наблюдается увеличение запасов ОС в озерных отложениях до $20,4 \pm 0,4$ кг С/м² в зоне прерывистой мерзлоты. В зоне сплошной мерзлоты запасы ОС достигали $24,2 \pm 0,8$ кг С/м². Аналогичная пространственная закономерность увеличения запасов в северном направлении наблюдалась для TN в озерных отложениях ($0,6 \pm 0,02$, $0,77 \pm 0,02$ и $1,01 \pm 0,03$ кг N/м² в спорадической, прерывистой и сплошной зонах мерзлоты, соответственно). Запасы общей ртути в донных отложениях показывают тенденцию к увеличению от зоны спорадической мерзлоты ($8,8 \pm 0,17$ мг Hg/м²) до зоны сплошной мерзлоты ($17 \pm 0,4$ мг Hg/м²) с локальным максимумом в зоне лесотундры прерывистой зоны мерзлоты (85 ± 2 мг Hg/м²).

Выявлено увеличение запасов ОС в отложениях термокарстовых озер от зоны спорадической криолитозоны (285 ± 8 Тг С или $16,3 \pm 0,5$ кг С/м² на площадь термокарстового озера) к зоне сплошной криолитозоны (628 ± 20 Тг С или $24,2 \pm 0,8$ кг С/м² на площадь термокарстового озера). Полученные значения площадных запасов ОС в целом выше, чем сообщалось ранее для крупных термокарстовых озер субарктического региона Западной Сибири (14 ± 2 кг С/м²,

Audry et al., 2011), термокарстовых озер арктической Аляски (13,4 кг С/м², Fuchs et al., 2019) и верхних 30 см циркумполярных вечномёрзлых грунтов (13 кг С/м², Mishra et al., 2021). Рассчитанные в нашем исследовании площадные запасы азота сопоставимы с отложениями термокарстовых озер в Арктике Аляски (1,1 кг N/м², Fuchs et al., 2019).

Суммарный запас ОС в термокарстовых озерах криолитозоны Западной Сибири (1,05 млн км²) составил ~ 1,25 Пг С. Это значение согласуется с описанной ранее оценкой запасов ОС в термокарстовых озерах Западной Сибири (0,8–1,6 Пг С, Audry et al., 2011) и в два раза выше, чем в донных отложениях озер Финляндии (площадь акватории 34000 км²), расположенных в зоне распространения торфяников свободных от многолетней мерзлоты (~ 0,6 Пг С, Kortelainen et al., 2004). Недавние оценки общих запасов ОС в почве (0–30 см) в циркумполярной области вечной мерзлоты составляют 217 ± 12 Пг С (Hugelius et al., 2014) и 232 Пг С (Mishra et al., 2021). Таким образом, запасы ОС в отложениях термокарстовых озер Западной Сибири составляют около 0,6 % от общего запаса ОС в торфяниках приполярной криолитозоны.

Суммарная скорость накопления ОС в термокарстовых озерах на севере Западной Сибири, оцененная в данном исследовании (7,8 Тг С/год), представляет собой значительную долю накопления ОС в бореальных озерах (20–40 Тг С/год, Heathcote et al., 2015) и составляет 8,9 % от общего уровня захоронения ОС в озерах мира (90 Тг С/год, Mendonça et al., 2017). С учетом имеющихся данных о выбросах С (СО₂ + СН₄) из термокарстовых озер Западной Сибири (Serikova et al., 2019) отношение выброса С к захоронению в термокарстовых озерах Западной Сибири составляет 2,9, 5,7 и 1,2 для спорадические, прерывистые и сплошные зоны мерзлоты, соответственно. Эти значения согласуются с таковыми для субарктических и арктических озер Швеции (2,4 ± 1,7, Lundin et al., 2015). Учитывая последнее значение эмиссии С из термокарстовых озер Западной Сибири (24 ± 6 Тг С/год, Karlsson et al., 2021), захоронение С в этих озерах представляет собой относительно большую (24–47 %) долю от общих объемов эмиссии углерода с поверхности озер.