

Сведения о выполненных работах
в период с 01.07.2019 г. по 30.06.2020 г.

по проекту **«Экспериментальное моделирование механизмов формирования элементного состава воды термокарстовых озер Западной Сибири: роль растительного компонента»**,
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 19-77-00073

Руководитель: канд. биол. наук Манасыпов Ринат Мратович

В 2019–2020 годах, на первом этапе выполнения работ по проекту, согласно заявленному плану, проведен синтез предыдущих результатов, опубликованных в рамках многолетних лимнологических исследований термокарстовых озер севера Западной Сибири. Выбраны ключевые экосистемы термокарстовых озер, проведены детальные исследования выбранных модельных экосистем, а также выполнены натурные эксперименты по постановке мезокосмов с различными субстратами (лишайник и сфагнум). Проведены работы по изучению элементного состава озер ключевого участка, что позволило в дополнение к полученным ранее результатам оценить данные объекты как пулы растворенного углерода и химических элементов. В модельных термокарстовых озерах ключевого участка проведены работы по постановке натурального эксперимента и изучена суточная динамика растворенных элементов и парниковых газов.

Всего в результате выполнения первого этапа работ по проекту проанализировано более 300 образцов озерных вод для определения элементного состава и концентрации растворенных парниковых газов (CO₂ и CH₄), полученных в результате постановки натурального эксперимента и непрерывных измерений на модельных термокарстовых озерах.

1. Выбор и описание ключевого участка.

Ключевой участок «Ханымей» (63.78° с.ш.; 75.61° в.д.) расположен в окрестностях поселка Ханымей в Пуровском районе Ямало-Ненецкого автономного округа Российской Федерации. В непосредственной близости от ключевого участка базируется Исследовательская станция Томского государственного университета. Ключевой участок находится в зоне прерывистого распространения многолетнемерзлых пород. На данном участке были выбраны два модельных термокарстовых озера для проведения работ по оценке суточной динамики растворенных элементов и парниковых газов и постановке натурального эксперимента с использованием озерной воды модельных объектов.

2. Суточная динамика растворенных элементов и парниковых газов.

Измерения проводились на двух модельных термокарстовых озерах ключевого участка. Измерение физико-химических показателей и отбор проб проводился с промежутком в 2 часа в течение 2 суток. Были измерены: растворенный кислород, удельная электропроводность, рН, температура воды, элементный состав озерных вод

и содержания растворенных CO_2 и CH_4 . При выполнении работ обнаружены стабильные показатели pH, POУ, SUVA254, CH_4 , биогенов, большинства макро- и микроэлементов в водах модельных термокарстовых озер. Концентрация CO_2 демонстрировала устойчивую суточную динамику с максимумом после восхода солнца (минимальная температура поверхностных вод) и минимумом в дневное время в конце дня (максимальная температура поверхностных вод). Баланс между бентическим дыханием растворенного и взвешенного органического вещества, и первичной продуктивностью перифитона, водных макрофитов и затопленных мхов был ответственен за усиление выброса CO_2 в течение ночи и уменьшение CO_2 в течение дня. Недостаточная изученность поведения CO_2 в ночное время, особенно в крупных термокарстовых озерах, не позволяет оценить глобальную эмиссию углерода в регионе. Это требует изучения суточных вариаций выбросов C в крупных (10–500 га) термокарстовых озерах, поскольку в основном именно они вносят вклад в общую внутреннюю водную поверхность региона. Эти измерения должны быть сосредоточены на поздних летних и осенних периодах, когда гетеротрофное дыхание может доминировать над первичной продуктивностью, а суточные циклы наиболее выраженные.

3. Термокарстовые озера Западной Сибири как пулы растворенного углерода и химических элементов.

Проведение работ по определению элементного состава термокарстовых озер ключевого участка послужило необходимым дополнением к полученным ранее результатам, что позволило впервые описать термокарстовые озера Западной Сибири как важнейшие пулы растворенного углерода и химических элементов в сезонном и пространственном аспектах. Выявлено систематическое увеличение влияния летнего периода на накопление POУ, PНУ и многих микроэлементов (Li, B, Na, Mg, Al, Si, Ti, Cr, Ni, Sr, Ba, Se, Zr, Sb, PЗЭ, Th и U) в озерах при продвижении на север. Общее увеличение составило от 200 до 400%. Важно отметить, что в зоне изолированного распространения ММП большинство растворенных элементов показывают довольно низкие значения Рлето/весна. Это подтверждает то, что основным источником этих элементов может выступать их латеральный перенос в озера в результате разложения растительного опада во время активного таяния снега и незначительного их притока летом. В целом, изменение Рлето/весна для POУ, PНУ, Li, B, Na, Mg, Al, Si, P (Ptot), Ti, Cr, Ni, Cu, As, Se, Sr, Zr, Sb, Ba, PЗЭ, Th и U отражают влияние сезонно-талого слоя, климата и биоты на сочетание процессов, ответственных за доставку элементов от водосбора к озерам. Увеличение Рлето/весна к северу для PНУ, Li, B, Na, Si, Mg, Sr, Ba, Sb и U может отражать постепенное оттаивание торфяной залежи с вовлечением нижележащих минеральных горизонтов.

4. Проведение натуральных экспериментов по постановке мезокосмов.

При постановке эксперимента была использована низкоминерализованная вода модельного термокарстового озера с электропроводностью $9 \mu\text{S}\cdot\text{см}^{-1}$ и pH = 5.09, содержанием POУ (8.1 мг/л). В качестве субстратов были использованы виды-доминанты лишайника (*Cladonia* sp.) и мха (*Sphagnum* sp.) в трех концентрациях:

1 г сухого веса/литр озерной воды, 10 г/л и 30 г/л. Субстратами для проведения эксперимента были выбраны апикальные (живые) части лишайника и мха.

Важным результатом экспериментов по постановке мезокосмов является то, что лишайники способны изменять химический состав талой воды сильнее, чем мхи. Увеличение концентрации РОУ в воде озера при контакте с погруженным лишайником показывает быстрое увеличение концентрации РОУ (2–3 недели) при высокой концентрации субстрата. Увеличение электропроводности, РОУ и SUVA и концентраций CO₂ и CH₄ в озерной воде в присутствии мха и лишайника в первую неделю эксперимента находятся в пределах диапазона значений характерного для естественных термокарстовых просадок и озер. Затем в процессе эксперимента наблюдаются достаточно экстремальные значения данных показателей. Увеличение концентрации растворенного CO₂ в мезокосмах с добавлением лишайника происходил очень быстро, в течение 1–2 дней взаимодействия. Это согласуется с повышенным уровнем CO₂, измеренным при проседании многолетней мерзлоты с погруженными лишайниками, особенно заметными в весенний период. Таким образом, можно предположить, что погруженный лишайник способен производить чистый поток CO₂ в атмосферу.

За наблюдаемое повышение содержания CO₂ могут отвечать два процесса: 1) дыхание живых грибов или водорослей лишайника и 2) гетеротрофная деградация биомассы лишайника. Учитывая довольно быструю реакцию увеличения CO₂ на добавление лишайников (1–2 дня) по сравнению с более «консервативным» увеличением РОУ (≥ 5 дней), мы можем предложить подчиненную роль выщелачивания и деградации биомассы лишайников по сравнению с фотосинтезом. Данные процессы особенно актуальны для исследований роли весеннего периода снеготаяния и активных дождей на образование и эмиссию парниковых газов при затоплении лишайникового покрова водораздельных территорий. Согласно спутниковым наблюдениям в Западной Сибири, площадь, подверженная весеннему паводку составляет 55–65% от площади плоскобугристых мерзлых болот в летний период.

Таким образом, проведенные натурные эксперименты по постановке мезокосмов с добавлением доминирующей растительности плоскобугристых мерзлых болот (мхи и лишайники) могут служить экспериментальными моделями формирования элементного состава и образования растворенных парниковых газов в термокарстовых просадках при разложении растительного покрова в весенний период, когда большая площадь впадин наполнена талой и дождевой водой.

В результате выполнения первого этапа проекта опубликованы 1 тезисы международной конференции, подготовлено 3 рукописи статей, в том числе 2 научные статьи поданы в журналы Q1 и будут опубликованы в 2020 году.