

Сведения о выполненных работах
в период с 27.07.2022 г. по 30.06.2023 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

На втором этапе проекта, были проведены полевые экспедиционные работы на выделенных ключевых участках, расположенных на профиле распространения многолетней мерзлоты для проведения дополнительного отбора образцов. При проведении биогеохимических анализов полученных образцов донных отложений, озерной и поровой воды. В результате работ по определению содержания коллоидной и истинно-растворенной фракции микроэлементов в поровых и озерных водах при моделировании с помощью программы Visual MINTEQ и базы данных vMinteq. Проведен анализ спектрофотометрических характеристик растворенного органического вещества озерных и поровых вод донных отложений, выявлены особенности пространственного изменения хромофорного органического вещества в поровых водах термокарстовых озер. При изучении вертикальных профилей стабильных изотопов углерода в донных отложениях выявлены особенности процессов разложения органического вещества в озерах различных стадий развития.

При моделировании форм химических элементов озерных вод модель предсказала снижение степени комплексообразования РОВ некоторых двухвалентных металлов (Mg, Ca, Sr, Ba, Ni, Zn, Mn) в северных термокарстовых озерах по сравнению с южными районами распространения ММП (зона спорадического распространения многолетней мерзлоты) при увеличении рН и снижением концентрации РОУ в данных озерах. Независимо от размерной фракции наблюдалась достаточно высокая ассоциация всех элементов с РОВ (75–100 %), кроме Rb, Cs, Na, K, Mg, Ca, Sr, Ba (в озерах тундровой зоны, сплошного распространения ММП). В поровых водах модель выявила высокий уровень комплексообразования химических элементов с органическим веществом и незначительное снижение степени комплексообразования РОВ некоторых двухвалентных металлов в поровых водах термокарстовых озер имеющих большую площадь водного зеркала по сравнению малым озером имеющим площадь в 400 м².

При изучении оптических свойств были рассчитаны показатели, непосредственно характеризующие РОВ (WAMW, SUVA₂₅₄, SR, E₂:E₃, E₂:E₄, E₄:E₆), которые дают представление о различных характеристиках РОВ, таких как молекулярная масса, состав и содержание ароматических соединений, используемые для изучения природных вод различных географических регионов. Значения SUVA₂₅₄ имели локальные максимумы в пределах вертикальных профилей, что может говорить о привносе в донные отложения свежего материала богатого

ароматическим углеродом в процессе криотурбации или волнового перемешивания. Значения SUVA₂₅₄ в поровой воде варьируют в следующих пределах: 1,9–3,3 л мгС⁻¹ м⁻¹, 3,1–4,5 л мгС⁻¹ м⁻¹, 4,1–4,7 л мгС⁻¹ м⁻¹ и 2,6–3,4 л мгС⁻¹ м⁻¹ в изолированной, спорадической, прерывистой и сплошной зонах распространения ММП. На вертикальных профилях средневзвешенного индекса молекулярной массы (WAMW) наблюдаются локальные максимумы значений в поровых водах озер всех зон распространения ММП в пределах 300–400 Да. Значения WAMW в поровой воде варьируют в следующих пределах: 1572±333 Да, 2019±311 Да, 2157±208 Да и 1630±372 Да в изолированной, спорадической, прерывистой и сплошной зонах распространения ММП. Таким образом, средневзвешенная молекулярная масса органического вещества увеличивается в пределах зон мерзлоты, которые имеют большую толщу торфяной залежь и, соответственно, активное поступление ароматического органического вещества от мерзлых торфяников.

Для анализа стабильных изотопов кислорода, водорода и δ¹³C-DOC поровых вод и ¹³C и ¹⁵N донных отложений, нами были изучены три термокарстовых озера разной стадии развития (разной площади). В проанализированных пробах значения δ¹⁸O и δ²H находятся в диапазоне от –10,8 до –11,8 ‰ и от –76,4 до –88,3 ‰, соответственно. Наблюдается различия в обогащении тяжелыми изотопами между озерами разной площади, так наиболее легкий изотопный состав водорода обнаружен для большого озера площадью более 0,5 км² и составил –88,3±3,4 ‰, что более чем на 8 ‰ отличается от более тяжелого состава характерного для малого и среднего озер (–76,4±3,9 и –72,7±6,5 ‰, соответственно). Значения избытка дейтерия, отражающего отклонение значений изотопов от Глобальной линии метеорных вод (GMWL), показало заметное различие между озерами разной площади, что может говорить о разных процессах кинетического фракционирования изотопного состава, таких как испарение. Различия в изотопном составе кислорода и водорода в поровых водах донных отложений изученных термокарстовых озер, вероятно, являются результатом комбинации нескольких факторов, включающих криофракционирование при замораживании донных отложений в зимний период, поступление летних и зимних атмосферных осадков, а также процессы таяния многолетней мерзлоты.

Данные о распределении δ¹³C-DOC в поровых водах имеют динамику аналогичную с δ¹³C в донных отложениях и выявили интересную динамику зависимости изотопного состава от стадии развития термокарстового озера. Наиболее тяжелый состав изотопов углерода был обнаружен в малом озере с площадью 400 м² (–25,7±0,5 ‰), в среднем и большом наблюдаются более легкие изотопные соотношения (–26,8±0,3 и –26,8±0,5 ‰, соответственно). Важным подтверждением зависимости биогеохимических процессов от стадии развития термокарстовых озер явилось распределение изотопов углерода (δ¹³C) и азота (δ¹⁵N) в толще донных отложений. Наиболее тяжелый изотопный состав углерода донных отложений обнаружен в малом озере (–25,6±0,8 ‰), а наиболее легкий состав в среднем и большом озерах (–27,6±0,3 ‰ и –28,4±0,5 ‰, соответственно). Обратная динамика наблюдается для изотопов азота, значения δ¹⁵N для малого, среднего и большого озер составили –1,2±0,6 ‰, –0,5±0,6 ‰ и 0,8±0,4 ‰, соответственно.

Наименьшее содержание ацетата обнаружено в большом (0,5 км²) озере, средняя концентрация составила 58,6 мкг л⁻¹. В озере средней площади водного зеркала (9000 м²) среднее значение концентрации составило 436,6 мкг л⁻¹, в малом 525,8 мкг л⁻¹. Важно отметить, что результаты подтверждают полученные значения продукции СО₂ при инкубации донных отложений. Можно сделать первоначальный вывод, что ферментация ацетата, происходящая в изученных отложениях, богатых органическим углеродом, активнее протекает малых и средних озерах, а в больших озерах данные процессы уже значительно уменьшили источник для метаногенеза.