

Сведения о выполненных работах и
полученных научных результатах в 2023 году

по проекту **«Роль сезонного и многолетнего промерзания почв
в трансформации потоков углерода и металлов (на примере заболоченных
ландшафтов Западной Сибири)»**,
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 23-17-00281

Руководитель: д-р биол. наук Кулижский Сергей Павлинович

В отчетный период выполнены все запланированные полевые работы. Летние полевые исследования проводились на ключевых участках, расположенных в подзоне северной тайги (торфяные олиготрофные мерзлотные почвы на плоскобугристых болотах) и на юге тундровой зоны Западной Сибири (торфяные олиготрофные остаточо-эутрофные мерзлотные и торфяные олиготрофные мерзлотные почвы полигональных торфяных болот и торфяно-глееземы тундры). В средней тайге образцы отбирали из торфяной олиготрофной почвы топи на верховом болоте (краю низкого рьяма) в пределах Обь-Чайского междуречья. В южной тайге работы проведены в пределах Обь-Томского междуречья на топяном комплексе верхового болота, почва представлена торфяной олиготрофной. Заложен полевой эксперимент по влиянию температурного градиента при замерзании на гидрохимический состав поровой воды торфяных почв, а также завершена часть аналитических работ с отобранными в летний период образцами.

На каждом исследуемом участке проведен комплекс работ, направленный на установление влияния криоаккумуляции подвижных форм углерода и металлов в верхней части многолетней мерзлоты, вблизи нижней границы сезонно-талого слоя. С каждой точки опробования было отобрано по 4-5 повторностей образцов, для разделения по соответствующим видам аналитических работ. В результате были получены образцы для проведения химического анализа, плотности сложения, влажности, выделения жидкой фазы, проведения минералогического анализа, а также для дальнейшей постановки натуральных экспериментов. Поровые воды из талых горизонтов выделяли и фиксировали непосредственно после отбора в условиях экспедиционной мини-лаборатории. Все мерзлые керны сохранялись в морозильной камере и транспортировались в Томск, где уже проводили выделение поровых вод. Все аналитические процедуры проведены согласно плану работ заявки.

К моменту завершения первого этапа проекта получены данные о профилейных распределениях концентраций низкомолекулярных органических кислот. В северной тайге и южной тундре, концентрации этих веществ в многолетнемерзлом торфе кратно превосходят таковые в сезонно-талых горизонтах, а также в нижней части торфяной залежи. Согласованно с этими значениями ведёт себя и показатель SUVA₂₅₄, имеющий максимальные значения на глубине 20-40 см. Несколько ниже границы сезонного оттаивания происходит уменьшение величины этого показателя. С этим параметром имеет корреляцию и индекс флюоресценции (FI). Параллельно с

этими параметрами меняется и концентрация РОУ, достигающая наибольших величин там, где параметр SUVA минимален. Содержание стабильного изотопа углерода в растворенном органическом материале несколько увеличивается в многолетнемерзлом горизонте, по сравнению со средней частью активного слоя. Отношение C/N сужается, а концентрация общего азота (TN) возрастает (Слайд 18). Указанные данные косвенно свидетельствуют о большей роли микробных метаболитов в РОУ, в сравнении с вышележащими горизонтами.

Проведено сравнение торфяных олиготрофных мерзлотных почв полигонального и плоскобугристого болот, на КУ «Газовский» и «Ханымей», соответственно. Принципиальная разница между торфяными залежами двух КУ в возрастных моделях формирования как их торфяных залежей. Торфяная залежь в северной тайге нарастала относительно равномерно на протяжении всего голоцена, с тремя периодами ускорения торфонакопления. Последние 15 см относятся как раз к одному из таких периодов. В южной тундре торфяная залежь характеризуется довольно равномерным нарастанием с начала голоцена и прерыванием торфонакопления 6000–7000 тыс. лет. С этого времени накопилось не более 20 см торфа. Последние сто лет накопление торфа вновь активизировалось. Профили возраста растворенного органического вещества почвы северной тайги отличаются от возраста торфяной залежи. Последние 4000 тысячи лет с большой долей вероятности торфяная олиготрофная мерзлотная почва северной тайги оттаивала до минерального грунта, возможно и не один раз. Поэтому профиль C14-РОВ для керна в северной тайге равномерен из-за перемешивания вплоть до границы с сезонно-талым слоем, в то время как возраст углерода твердой фазы относительно равномерно увеличивающийся. В сезонно-талом слое наблюдается значительное омоложение РОВ. Также заметно легкое искажение, когда самая древняя часть привязана к 80 см, что связано с криогенным подтягиванием вещества, имеющего торфяной генезис, с глубины.

Также различия двух сравниваемых почв связаны с их геохимическим положением в катене. Сейчас это выпуклые участки, но в южной тундре торфонакопление исходно начиналось в котловине хасырея под влиянием натежных вод со склонов, что сложены суглинками. И лишь верхние десятки сантиметров торфа накапливались уже в условиях атмосферного питания (омбротрофная часть залежи). Ботанический состав колонок заметно различается. В Ханымее это более олиготрофная растительность, велика роль лишайников в верхней части залежи, нижняя часть залежи с большой примесью древесного торфа. В Тазовском в основном травяной торф. Это хорошо отразилось в отношении C:N и концентрации углерода. N15 показывает хорошие различия, что связано с большой ролью древесины в сложении торфа в залежи северной тайги. Отношение C:N в РОВ Тазовского также феноменально узкое – до 12 единиц. Возможно, это связано с накоплением аминов в мерзлом торфе, по аналогии с накоплением низкомолекулярных кислот, что подтверждается с характерным резким запахом мерзлых торфов. Эти соединения полярны, заряжены положительно и хорошо сорбируются на стенках торфяных капилляров с отрицательным зарядом.

Подсчитаны значения коэффициентов распределения химических элементов в системе торф-вода, а также концентрации некоторых химических элементов в торфе, что получены путём измерения методом ICP-MS. Химические элементы на рисунке сгруппированы по типу их профильного распределения. Обращает на себя внимание отличный характер распределения некоторых химических элементов в торфе, по сравнению с таковыми в поровых водах. Это сказывается на значениях Красп, которые по профилю более вариабельны. Ряд химических элементов, относительно хорошо растворимые, биогенные, имеют скоррелированные распределения в твердой фазе и почвенных растворах. Это кальций, магний, марганец. Другие же, например алюминий или редкие земли, имеют несвязанные распределения. Основным источником последних – выпадения из атмосферы, особенно в верхней части торфяной залежи, общей мощностью до 370 см. Обращает на себя внимание изменение концентраций почти всех элементов и Красп в диапазоне глубин 25–15 см. Это связано с тем, что на этой глубине находится область перерыва торфонакопления, так характерная для всех болот региона. Верхняя часть торфа накапливалась в условиях торфонакопления по сухоторфянистому типу, без влияния какого-то притока вод. С одной стороны, это привело к резкому уменьшению содержания в торфе, например, кальция и железа, вместе с тем концентрации Zr и Al снизились не так значительно, что указывает на атмосферный источник их накопления. Поскольку надмерзлотные воды являются кислыми ($\text{pH} \leq 4$), твердые аэрозольные частицы могут проявлять высокую реакционную способность в торфяном профиле либо за счет объемного растворения, либо за счет поверхностной десорбции металлов.

Для выбранных природных объектов установлены взаимосвязи между гидрохимическими особенностями, геокриологическими условиями, гидрологическим режимом рассматриваемых болотных массивов. Анализа полученных данных, сравнение с результатами термометрических наблюдений позволяет сделать вывод, что возможной причиной формирования под СТС пиков концентрации химических элементов является механизм «капиллярно-криогенных молекулярных сит» (теория Н.И. Гамаюнова). Температуры от $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ приводят к возгонке к фронту промерзания молекул и коллоидов размерностью менее 20 нм. Температуры эти длительный период времени характерны для торфяной залежи под сезонно-талым слоем. Место локализации этих температур совпадает с положением пика концентраций элементов и биологически активных соединений.