

Сведения о выполненных работах в 2021 году

по проекту **«Механизмы формирования гидрохимического стока Оби: регулирующая роль поймы»**, поддержанному Российским научным фондом
Соглашение № 18-17-00237

Руководитель Воробьев Сергей Николаевич, канд. биол. наук

В результате выполнения проекта проведен комплекс работ, которые сочетали в себе полевые мониторинговые исследования, площадное картирование затопленной поймы средней Оби, ряд полевых манипуляционных экспериментов и лабораторных инкубационных опытов. Все исследования проведены с использованием подходов и методов, опробованных ранее на различных водных объектах территории Сибири.

Проведена оценка процессов продукции CO_2 в контрастных по эмиссии CO_2 водных объектах поймы. Для этих целей использовалось отношение CO_2/O_2 . Полученные данные свидетельствуют о разном количестве потоков PCO_2 из водных объектов в период снеготаяния и в период паводка. В период снеготаяния максимальные потоки характерны для дневного времени суток. В этот период температура воды не превышает 8 градусов Цельсия, водная растительность и фитопланктон еще не развиты, процессы фотосинтеза и дыхания растений слабо развиты и динамика PCO_2 контролируется в основном процессами разложения органического вещества. Период, когда потоки PCO_2 связаны с температурой непродолжителен и соответствует периоду таяния снега. В период паводка, при достижении температуры воды в пойме 10 градусов и более, водная растительность, фитопланктон и затопленная наземная растительность в дневное время обогащают воду кислородом за счет фотосинтеза, а в ночное время, в темновую фазу фотосинтеза выделяют CO_2 , что ведет к увеличению PCO_2 в ночной период.

Как показали данные площадного картирования затопленной поймы, отношение CO_2/O_2 меняется в широких пределах. Для затопленных, заболоченных участков: согры, заболоченные кустарники, заболоченные березово-осиновые леса, осоковые и камышовые болота имеют наибольшую величину CO_2/O_2 . Средние значения показателя для этих элементов ландшафта 5214.8, минимальные значения 2961.8, максимальные 7637.0 при стандартном отклонении 2055.0. Для лесов и кустарников прирусловой, не заболоченной части поймы: тополельников, ивняков, осинового леса, а также злаковых и осоково-злаковых лугов, разнотравно-злаковых, злаковых заболоченных лугов, осоково-злаковых и широко распространенных сор характерны низкие показатели CO_2/O_2 . Ср. знач. 205.5, Мин. 22.3, Макс. 675.0. Ст. откл. 147.8076. Чем ниже показатель CO_2/O_2 , тем выше продуктивность водного объекта.

Как показали проведенные нами в 2021 году исследования, на коэффициент CO_2/O_2 , существенное влияние оказывает фитопланктон. Выявлено, что доминирующий комплекс фитопланктона в водах средней Оби представлен *Aphanocapsa holsatica*, *Aphanocapsa incerta*, *Aphanocapsa planctonica*, *Aphanocapsa delicatissima*, *Chroococcus minimus*, *Merismopedia minima*, *Snowella lacustris*,

Aulacoseira granulate, *Cyclotella* sp., *Stephanodiscus hantzshii*, *Pediastrum duplex*, *Nephrochlamys allanthoidea*. Индекс Шеннона, рассчитанный по численности, варьирует в пределах 2,03-3,39, в среднем составляя $2,82 \pm 0,07$, что указывает на среднюю сложность структуры фитопланктоценоза. Индекс доминирования Симпсона имеет невысокие значения, в пределах 0,05-0,36. Установлена взаимосвязь численности фитопланктона с величиной растворенного CO_2 , а также взаимосвязь численности фитопланктона со свойствами поверхностных вод средней Оби.

Для вод среднего течения реки Оби выявлены взаимосвязи содержания растворенного CO_2 с содержанием органического и неорганического углерода, структуры органического вещества, элементного состава вод, а также численностью, биомассой и составом фитопланктона.

Установлены индикационные признаки водоемов поймы, характеризующихся пониженными значениями эмиссионных потоков диоксида углерода. Съёмка с БПЛА в оптическом диапазоне позволила выявить связь потока CO_2 с относительной оптической плотностью полученных изображений, то есть, интенсивность темных тонов на изображении может свидетельствовать о величине эмиссии CO_2 . Полученные с БПЛА результаты тепловизионной съёмки сопоставимы с температурой, измеренной в полевых условиях ($r = 0.83$). Следует отметить, что по данным проведенных нами натурных измерений потока CO_2 связь потока с температурой водного объекта не установлена. Однако по данным тепловизионной съёмки тенденция увеличения потока CO_2 с возрастанием температуры водных объектов прослеживается и может быть перспективной для дальнейших исследований.

В качестве наиболее надежного индикационного признака потока FCO_2 является отношение CO_2/O_2 . Чем больше логарифм отношения CO_2/O_2 , тем больше поток CO_2 из водных объектов в атмосферу ($r = 0.75$). Поток CO_2 в атмосферу описывается уравнением: $\text{PCO}_2 = [\text{Ln}(\text{CO}_2/\text{O}_2) - 4.6546]/2.5512$. Установлены связи водного баланса с динамикой растворенных форм органического вещества и потоками FCO_2 в атмосферу.

По данным спутниковых снимков и гидрологического моделирования поймы создана карта продолжительности затопления, на основании которой определена площадь водного зеркала при характерных уровнях. Выявлено, что наибольшие потоки FCO_2 характерны для водных объектов с наименьшей глубиной. Установлено также, что наибольшее количество растворённого PCO_2 наблюдается в период летней межени, осенью количество растворенного CO_2 минимально.

Установлены связи водного баланса с динамикой растворенных форм органического вещества и потоками FCO_2 в атмосферу, рассчитана продолжительность разных уровней затопления поймы. Максимальная эмиссия FCO_2 характерна для половодья, при уровне воды в р. Обь более 900 см. Такие уровни наблюдаются в среднем многолетнем наблюдении на протяжении 21 дня в году.

На основании натурных манипуляционных экспериментов и лабораторных инкубационных опытов получены новые данные о факторах, определяющих потоки

FCO₂ в пойменных водах. Установлена видоспецифичность скорости выщелачивания органического вещества и потоков FCO₂. Потоки FCO₂ увеличиваются в ряду костёр-мятлик-канареечник-северолоубка-пизма-василистник. В среднем злаки при деструкции растительного опада выделяют меньшее количество CO₂, чем представители крупнотравья. Наиболее высокая эмиссия FCO₂ отмечена в первые дни эксперимента для всех исследуемых растений. Начиная с третьего дня, отмечается резкий спад выделения CO₂. При выщелачивании опада большинства видов растений увеличение температуры приводит к увеличению pCO₂, величина связи “температура воды – pCO₂” возрастает в ряду ива-береза-ежеголовник-вейник-осина. Установлены качественные характеристики растворенного органического вещества в исследованных водных объектах.

Выявлен значительный диапазон вариаций изотопного состава воды в пойменных водоемах и водотоках. По результатам работ установлено, что в атмосферных осадках среднее значение d(18_16) составляет -6.33, минимальное -17.18, максимальное -4.11 при стандартном отклонении 4.89, среднее значение d(D_H) -64.12, минимальное -132.22, максимальное -59.06 при стандартном отклонении 24.36. Следует отметить, что в пойме средней Оби изотопный состав атмосферных осадков более тяжелый, чем на территории водоразделов. Расхождения по $\delta^{18}\text{O}$ ‰ могут достигать 20 ‰. При исследовании динамики изотопного состава осадков выявлено, что наименьшие концентрации дейтерия и кислорода -18 характерны для зимних осадков, а наибольшие – для летних. В грунтовых водах среднее значение d(18_16) составляет -16.15, минимальное -15.33, максимальное -14.98 при стандартном отклонении 0.456, среднее значение d(D_H) -117.27, минимальное -122.21, максимальное -116.32 при стандартном отклонении 1.99. В пойменных озерах среднее значение d(18_16) составляет -13.01, минимальное -18.17, максимальное -9.81 при стандартном отклонении 2.998, среднее значение d(D_H) -99.29, минимальное -125.43, максимальное -80.07 при стандартном отклонении 15.242. Отмечена дифференциация состава воды пойменных вод по сезонам года, воды в зимнюю межень характеризуются более тяжелым изотопным составом, чем в период половодья, в летний период также отмечено утяжеление изотопного состава вод.

В целом, проведенные исследования на территории поймы средней Оби позволили впервые получить уникальные материалы, поясняющие в водных объектах причины несоответствия величин растворенного PCO₂ и потоков FCO₂. Анализ полученных материалов позволяет предположить, что обнаруженные в пойме процессы характерны не только для пойменных экосистем.