

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

по проекту **«Биогеохимическое изучение феномена высокой биологической продуктивности растительности в условиях Субарктики как основа для создания технологий природообустройства в Арктической зоне Российской Федерации»**,

поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 18-77-10045

Руководитель: канд. биол. наук Лойко Сергей Васильевич

Все полевые работы, запланированные на летний сезон 2019 года, были выполнены в полном объёме. Полевые исследования проводились в Ямало-Ненецком автономном округе силами двух экспедиционных отрядов, из числа членов научного коллектива, а также студентов и аспирантов Томского государственного университета. Первый отряд из 4-х человек провёл трехнедельные исследования в подзоне типичной тундры на полуострове Ямал. Шесть членов второго экспедиционного отряда выполнили двухнедельные полевые работы в северной тайге на ключевом участке Ханымей.

В качестве ключевого участка для работ были выбраны окрестности посёлка Сё-Яха на восточном побережье Ямала, что связано с его относительно хорошей доступностью. Поиск экосистем с повышенной продуктивностью предварительно осуществлялся путём анализа космических снимков и был дополнен в поле маршрутными исследованиями. Были изучены котловины дренированных термокарстовых озёр, байджерахи, гидрохимия озёр, поймы рек, мерзлые пойменные и балочные болота, луга на побережье Обской губы, а также иные объекты гидрологического континуума (ручья, ложбины, реки). Всего в ходе экспедиции были проведены различные виды работ на более чем 120 природных объектах. Отобрано 130 проб почвы, 118 проб воды. Собрано 46 укосов растительности. На 46 точках собран гербарий. В более чем 40 точках измерены потоки газов. Отобраны пробы из 10 диализных мембран. Отобрано 14 проб на радиоуглеродный анализ. Работами были охвачены хасыреи различного возраста и степени осушения. В них провели исследования различной степени детальности: от базового отбора проб поверхностных и почвенных вод с измерением мощности сезонно-талого слоя (СТС), до полного набора исследований (гидрохимические, почвенные, геоботанические). Проводили бурение пойменных полигональных болот для отбора образцов мерзлого торфа и озерных отложений, для дальнейшего получения талой воды, а также элементного анализа твердой фазы. Были обследованы «water track» (ложбины) типичной тундры, на предмет оценки продуктивности и увеличения фертильности почв, в них отобраны поверхностные и почвенные воды.

Вторая экспедиционная группа проводила исследования в северной тайге, в пределах КУ «Ханымей». Были выполнены комплексные биогеохимические исследования в травяных экосистемах пойм рек. Для сравнения пойм с иными

экосистемами исследования провели методом трансекта, который пересекал разные поймы и распространенные между ними плоскобугристые болота. Благодаря пересечению двух ручьёв всего было изучено четыре катены от травяных (вейниковых) экосистем на аллювиальных торфяных почвах к плоскобугристым болотам с преобладанием эрикоидных кустарничков. Кроме исследований на трансекте для увеличения выборки были дополнительно изучены поймы ещё двух ближайших ручьёв. В каждом почвенном разрезе приручьевой, центральной и приболотной пойм были заложены почвенные керамические лизиметры в количестве двух штук на профиль. Первый лизиметр закладывали на глубину –5/10 см, второй на глубину –25 см. Температуру воды, содержание O<sub>2</sub> и пробу на CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> отбирали рядом из прикопок глубиной 30 см. В пределах болотных сообществ закладывали один керамический лизиметр в каждой точке на глубину около –15 см, но так, чтобы они смогли накачать воду. В ряде точек на буграх набирали воду из прикопок. Отобранные образцы непосредственно в полевых условиях пропускали через шприц-насадки Minisart (Sartorius, ацетатцеллюлозный фильтр), имеющие диаметр 25 мм и размер пор 0,45 мкм, для отделения взвешенных и коллоидных частиц и консервации пробы с целью последующего лабораторно-аналитического исследования.

На всех исследовательских точках двух ключевых участков, кроме водных объектов, закладывали почвенные разрезы, отбор проб производился по генетическим горизонтам. Если разрез быстро затапливался, то извлекалась проба почвы на лопате, зачищалась и фотографировалась. На каждой точке делали фотографии почв, их описания, измеряли глубину сезонно-талого слоя. При описании растительности отмечали распределение видов по ярусам, оценивали их обилие. Сделаны укосы мохового, кустарничкового и травяного ярусов. В пойме на Ханымее делали это в местах наименее подверженных затенению со стороны деревьев. В укос входили и зеленые части мхов, собираемые в отдельный пакет. Все укосы сделаны в 2-х повторностях. Укосы необходимы для анализа элементного состава фитомассы, а также для определения годовой продуктивности сообщества.

В каждой отобранном образце проведены температурные, потенциометрические, кондуктометрические измерения (приборы WTW Multi 3430, Mettler Toledo SG2-FK), измерено содержание растворенного кислорода. В пробах вод измерялись растворенные CH<sub>4</sub> и CO<sub>2</sub>, спектральные характеристики, DIC, DOC, Cl, SO<sub>4</sub>, содержание химических элементов (Li, B, Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cd, Sb, Te, Cs, Ba, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Tl, Pb, Th, U). Определение содержания основных макро- и микроэлементов в воде выполняли на квадрупольном ICP-MS (7500ce, Agilent Technologies) в GET лаборатории обсерватории Миди-Пиринейз (Тулуза, Франция). К настоящему времени пробы прошли подготовку, разбавлены и ожидают анализа.

Для отобранных в пределах двух ключевых участков образцов почв определяли следующие показатели: зольность, обменные основания, гидролитическую кислотность, pH водный, pH солевой, Р водный, окраску в системе CIE l\*a\*b и Манселла, валовые углерод и азот, нитратный азот, подвижный калий и подвижный

фосфор, обменный аммоний. Все анализы выполняются по стандартным методикам. Анализы азота и углерода в почве выполнены на приборе Thermo Flash 2000 NS Soils. Окраска почвенных образцов измерена на приборе X-Rite VS450. Лабильная фракция фосфора (P-PO<sub>4</sub>) извлекалась из образцов почвы 0,2 М HCl. Извлеченный фосфор определялся с помощью голубого фосфорно-молибденового комплекса на спектрофотометре UNICO 2100 (Россия). В том же экстракте определялся калий с помощью атомно-абсорбционного спектрометра с пламенной атомизацией «Квант-2АТ» (Россия). Аммоний (N-NH<sub>4</sub>) и нитраты (N-NO<sub>3</sub>) извлечены из образцов с использованием деионизированной воды Milli-Q, затем определены с помощью спектрофотометра UNICO 2100 (Россия). N-NH<sub>4</sub> измерен с использованием йодида аммония ртути, а N-NO<sub>3</sub> проанализирован с помощью фенолдисульфоновой кислоты.

На 2 этапе проведены полевые исследования на ключевом участке «Сё-Яха» (типичная тундра). Полученные экспедиционные материалы находятся в стадии камеральной и аналитической обработки, часть результатов приводится ниже. Главной целью полевых работ был поиск экосистем, биопродуктивность и видовой состав которых сильно бы контрастировали с фоновой тундрой. В подходящих сообществах проводили исследования почв, почвенных надмерзлотных вод, а также собирали гербарий, скашивали надземную фитомассу лугов. Все выявленные экосистемы с повышенной продуктивностью являются травяными, лугами первичной сукцессии, либо рудеральными сообществами. Они встречаются как в автономных, так и в гетерономных ландшафтно-геохимических позициях.

Установлено, что умеренные механические нарушения фоновых экосистем в автономных позициях приводят к увеличению участия злаков и разнотравья в сообществах за счёт уменьшения проективного покрытия мохово-лишайникового яруса и ерника, сокращения мощности подстилки. Среди автономных экосистем наибольшую встречаемость имеют луга на буграх – байджерахах. Они чаще всего формируются в местах, длительно использовавшихся оленеводами в качестве временных стоянок, а также постоянных летних дач. Наиболее развитый байджераховый рельеф обнаружен в местах с наиболее сильно вытаявшими жилами на месте мелких, кратковременно использовавшихся песчаных карьеров, а также заброшенной военной части. Все байджерахи приурочены к бровкам второй и третьей террас. На начальных этапах деградации ледяных жил между самими буграми и понижениями ещё нет значительных различий, однако со временем вытаивание жил может приводить к формированию микроводоёмов и разрушению склона. В пределах байджерахов встречены дождевые черви *Eisenia nordenskioldi pallida*, благодаря чему локально формируются даже горизонты АУ с копролитовой структурой. На участках не столь длительных летних стоянок оленеводов формируются луговины, часто повторяющие контуры мест установки чумов, тропинок Автономные рудеральные луга распространены по периферии свалки посёлка Сё-Яха. Злаковые сообщества развиваются на местах отсыпанного грунта в посёлке, а также на увалах, испытавших антропогенные нарушения. Удаление мохово-лишайникового яруса и, особенно, подстилок приводит к увеличению мощности сезонно-талого слоя на несколько десятков см.

Гетерономные экосистемы в целом разнообразнее. Доминантами в них являются осоки, пушицы, дюпонтия, арктофила и, намного реже, хвощ. Самые большие площади травянистых экосистем приурочены к котловинам дренированных термокарстовых озёр. Начиная с 1980-х гг. произошло осушение серии озерных котловин вблизи посёлка. Исходно под этими озёрами отсутствуют талики, поэтому после осушения нет условий для формирования вторичного пучинного микрорельефа. В связи с этим в пределах дренированных озёрных котловин не возникают бугры пучения, а все луга формируются в условиях переувлажнения и частичного затопления. Ежедневное влияние на пойменные хасыреи оказывают и приливно-отливные явления. Этим изученные хасыреи сильно отличаются от ранее исследованных. В самых низких участках котловин формируются остаточные водоёмы. На отмелях Обской губы развиваются монодоминантные сообщества из *Arctophila fulva*. Продуктивные луга формируются и вдоль ручьев на дне балок, особенно если есть подпитка более минерализованными водами, просачивающимися из вытаивающих жил. Одни из наиболее продуктивных гетерономных лугов обнаружены в байджерахово-западинно-микроозерковых ландшафтах, сформировавшихся на месте песчаных карьеров. Сильное нарушение поверхности при добыче песка привело к активному вытаиванию ледяных жил, обогащению понижений и микроводоёмов элементами минерального питания растений. Верховодки и потоки, стекающие с байджераховых ландшафтов по ложбинам и вогнутым склонам, имеют повышенную электропроводность. Высокопродуктивные гетерономные луга встречены и в посёлке Сё-Яха, где приурочены к термопросадкам вокруг жилых домов, к поймам внутриселковых водотоков, а также к вездеходным дорогам. Максимальные значения фитомассы приурочены к молодым хасыреям, в то время как в среднем продуктивнее оказываются луга байджерахов.

Получены первые оценки зональных различий в особенностях протекания биогеохимических процессов в интразональных высокопродуктивных экосистемах (поймы и хасыреи). Получены данные о механизмах и особенностях дренажа термокарстовых озёр в различных геоморфологических условиях. Выполнена оценка скоростей олиготрофизации высокопродуктивных экосистем в зависимости от широты, ландшафтных условий, стартовых характеристик субстратов на момент начала первичной сукцессии. Драйвером первичной сукцессии экосистем хасыреев является накопление торфа в котловинах, приводящее к снижению проективного покрытия травостоя и отрыву корневых систем от плодородного седимента. По накопившемуся торфу происходит внедрение сфагнумов. Наиболее быстро этот процесс протекает в типичной тундре, начинаясь уже в первое десятилетие с наиболее сухих и плоских участков. В северной тайге и южной тундре процесс более растянут, начинается с уплощенных мест без весеннего затопления, но при условии приповерхностного залегания верховодки. Как в северной тайге, так и в южной тундре в пределах одной котловины могут сочетаться экосистемы средних и поздних сукцессионных этапов более столетия. В типичной же тундре зафиксированы случаи полной олиготрофизации котловины за 15-20 лет. Для каждого ключевого участка была обнаружена и локальная специфика первичной сукцессии: (1) в типичной тундре из-за низких абсолютных высот часть хасыреев, после прорыва озёр,

испытывает влияние приливно-отливных явлений, отчего в месте их влияния сукцессия тормозится на травяном этапе; (2) в южной тундре зафиксирован контрастный растительный покров, что связано со сложным микрорельефом, вызванным благоприятными условиями для формирования бугров пучения; (3) в северной тайге обнаружено активное нарастание сплавины, нетипичное для недренированных озёр, пусковым механизмом чего служит частичный дренаж.