

## Сведения о ходе выполнения проекта

### **«Поведение органического углерода и ассоциированных с ним микроэлементов в природных средах озер зон многолетней мерзлоты»**

Руководитель проекта д-р биол. наук Кирпотин С.Н.

В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии от 20 декабря 2016 г. № 14.584.21.0036 с Минобрнауки России в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» на этапе № 1 в период с 11.01.2017 г. по 31.12.2017 г. выполнены следующие работы:

1. Выполнен аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей научно-техническую проблему, исследуемую в рамках исследований (всего проанализирован 161 источник), в том числе обзор научных информационных источников: статьи в ведущих зарубежных и (или) российских научных журналах, монографии и (или) патенты) - 77 научно-информационных источников за период 2010-2016 гг.

2. Обоснован выбор ключевых участков для исследования термокарстовых озер в природных зонах Западной Сибири. Сведения о типичных ключевых участках в разных природных зонах Западной Сибири получены на основе имеющихся у коллектива фондовых материалов, анализа литературных данных, картографического материала, дешифрирования космических снимков различного разрешения. В результате многолетних многодисциплинарных исследований Сибири и с учетом глобального значения этого региона, Томский государственный университет разработал концепцию Западной Сибири как уникального природного мега-объекта, обладающего исключительным глобальным значением, привлекательным для мирового научного сообщества и способного стать исследовательской площадкой для организации крупных сетевых проектов и исследовательских консорциумов. Были выбраны репрезентативные ключевые площадки на основе структуры мега-трансекта, в основу которого легла сеть исследовательских станций Томского государственного университета: Актру, Кайбасово, Ханымей.

3. Проведены рекогносцировочные исследования на ключевых участках Западной Сибири с определением ландшафтных характеристик: южная тайга Западной Сибири, зона сезонной мерзлоты (Кайбасово, Красный Яр, Колпашевский), средняя тайга Западной Сибири, зона сезонной мерзлоты (Лангепас), северная тайга Западной Сибири, зона сезонной мерзлоты (Сургутское полесье), северная тайга Западной Сибири, зона островной мерзлоты (Ханымей, Северо-Комсомольское), лесотундра, зона прерывистой мерзлоты (Новоуренгойский), южная тундра, зона сплошной мерзлоты (Салехард, Тазовский). Территории ключевых участков в многолетнемерзлых зонах выбраны на бугристых торфяниках, большинство участков в зонах

сезонной мерзлоты – на олиготрофных торфяниках – для адекватного сравнения в широтном градиенте.

4. Радиолокационные исследования ландшафтов ключевых участков. При помощи георадара выделены слои почв как вне многолетнемерзлых пород так и в ее присутствии. Проведенные исследования показали, что применяемая методика междисциплинарных mesocosm experiments позволяет значительно ускорить получение достоверных данных о глубинах залегания многолетнемерзлого слоя. В случае мониторинга выделенных областей этот метод обеспечит информацией о динамике мощности активного слоя почв. Результаты исследования показывают, что главным фактором, определяющим отражение электромагнитного сигнала на рабочей частоте георадара является влажность. Для адекватной обработки радарограмм требуется проводить экспресс-анализ диэлектрической проницаемости почвы, желательно на рабочей частоте георадара. Для адекватной обработки радарограмм необходимо проводить измерения диэлектрической проницаемости слоев или, как минимум, влажности. Информация может быть получена в режиме реального времени, если измерения диэлектрической проницаемости проводить на месте экспресс-методом на рабочей частоте георадара.

5. Выполнены физико-химические измерения (окислительно-восстановительный потенциал, водородный показатель, электропроводность, температура) в почвенных растворах и поверхностных водах в полевых условиях и аналитическое определение форм азота на 12 озерах в разных природных зонах.

6. Проведены лабораторные эксперименты по обогащению воды химическими соединениями: наземное органическое вещество и микроэлементы. В результате проведенных экспериментов установлено, что различные виды субстрата при одинаковых условиях выщелачиваются с разной скоростью. Выщелачивание охеса происходит значительно медленнее, чем выщелачивание кустарничкового торфа и сфагнового торфа. Различные культуры бактерий по-разному проявили свое действие на различных органических субстратах. Изученные микроэлементы статистически значимо не влияют на выщелачивание органических субстратов.

7. Отобраны пробы торфов, почв, вод, выполнен анализ гидробионтов, микрофлоры в зонах сезонной, островной и сплошной мерзлоты Западной Сибири. Выполнена подготовка проб для проведения анализов.

8. Проведены патентные исследования. Для определения динамики патентования по годам массив охраняемых документов (патентов и заявок) систематизирован по основным блокам. Общее количество отобранных документов по РФ за выбранный период составляет 88. Также был проведен сопоставительный анализ по количеству получаемых патентов в различные годы путем разделения на два временных интервала. Количественные данные показали, что, наибольший пик активности приходится на период 2003-2017 гг. Среди патентообладателей юридических лиц на первом месте лидируют

институты, на втором месте – коммерческие предприятия. Анализ технических решений, изобретений и научно-технической документации, выявленных при проведении патентных исследований, показал, что предлагаемые технические решения соответствуют тенденции развития техники данного назначения. Это подтверждает правильность выбранных для выполнения поставленной задачи технических решений. Со стороны иностранных разработчиков (всего 131 патент) фиксируется активность в попытках освоения рынка России, т.к. были обнаружены международные заявки и патенты, полученные в РФ иностранными заявителями по исследуемой тематике. Основными лидерами на рынке являются компании и фирмы Китая, США, ВОИС.

Иностранцами партнерами в ходе исследований:

9. Получены сведения о гидрометрических характеристиках исследованных озер, в ходе рекогносцировочных исследований установлены площадь и средняя глубина 18 озер, расположенных в широтном градиенте криолитозоны Западной Сибири в бассейнах рек Обь, Таз и Пур от умеренной до субарктической и арктической широт Западной Сибири.

10. Проведен счет бактериальных клеток и определение деятельности аэробных гетеротрофных бактерий прямым микроскопическим методом в пойменном озере Инино и озере Щучье (зона сезонной мерзлоты), в почвенных растворах и поверхностных водах (мочажина, термокарстовые просадки) участка «Новоуренгойский» (зона островной мерзлоты) в почвенных растворах и поверхностных водах участка «Тазовский» (зона сплошной мерзлоты). Выявлено, что численность микроорганизмов в природных водах участка "Тазовский" в среднем ниже, чем на участке Новоуренгойском. Максимальная численность микроорганизмов установлена для почвенных растворов бугров и полигонов, минимальная – для мочажин.

11. Проведены многофакторные модельные лабораторные эксперименты с обогащением вод химическими соединениями, которые показали значительное влияние антибиотиков (гентамицин или антимицин), питательных солей (фосфат, нитрат, аммоний, железо, кремний) на физико-химические свойства поверхностных вод.

12. Получены результаты лабораторных экспериментов сравнения субстратов, полученных путем выщелачивания торфа, листьев растений, мхов и лишайников для роста гетеротрофных бактерий. В ходе работ изучали взаимодействие двух модельных культур гетеротрофных бактерий, почвенных, выщелачивая торф и сфагновый мох из зоны вечной мерзлоты в контролируемых лабораторных условиях в среде, не содержащей питательных веществ. Выщелоченный мох был лучшим субстратом для выживания бактерий. В восьмидневных экспериментах мы проанализировали органический углерод и основные и микроэлементы при росте гетеротрофных бактерий. Общее чистое снижение концентрации растворенного органического углерода (DOC) было одинаковым для обеих бактерий. Несмотря на значительные изменения pH, DOC, растворенного неорганического углерода

(DIC) и количества клеток, большинство микро (Mg, K и Ca) и макроэлементов оставались почти постоянными. Только Fe, Al, P, Zn, Mn, Co и Ba и в гораздо меньшей степени Cd, Pb, редкоземельные элементы (REE), U, Ti и Zr были зависимы ( $p < 0,05$ ) от наличия бактерий по сравнению с контролем, и в течение эксперимента демонстрировали небольшое и умеренное снижение.

Так же был проведен эксперимент сравнения субстратов, полученных путем выщелачивания торфа, листьев растений, мхов и лишайников для роста гетеротрофных бактерий с использованием следующих культур микроорганизмов of *Pseudomonas jessenii* WK1, *Microbacterium phyllosphere* WK4, *Kocuria palustris* WK6, и накопительной торфяной культурой.

13. Изучена ароматичность органических веществ в природных водах. Специфическая УФ-поглощающая способность (SUVA<sub>280</sub>, L мг<sup>-1</sup> м<sup>-1</sup>) используется в качестве показателя ароматического углерода, молекулярной массы и источника растворенного органического вещества (DOM). Характер растворенного органического материала оставался постоянным по широтному / мерзлотному градиенту, поскольку SUVA<sub>280</sub> варьировался от 2,4 до 3,5 л мг<sup>-1</sup> м<sup>-1</sup> во всех местах, независимо от микрорельефа, со слабым увеличением на север.

14. Получены значения концентрации макро- и микроэлементов твердой фазы 10 образцов торфяных донных отложений термокарстовых озер, определенные методом ICP-MS. Установлено, что в торфяных донных отложениях преобладают такие элементы как Fe (от 1060,5 до 13648,2 ppm), Mg (от 212,831 до 1858,3 ppm), Ti (от 187,1 до 1258,6 ppm), Ba (от 50,886 до 297,23 ppm), Mn (от 24,583 до 612,5373 ppm). Высокие значения свойственны так же для таких элементов как Mn, Zr, Zn, Rb, Sr, Cr, Cu, V, Pb.

Новаторский характер этого проекта заключается в получении первых данных о влиянии климата (прошлого и настоящего) на аккумуляцию и деградацию органического углерода и связанных с ним микроэлементов в донных отложениях термокарстовых озер вдоль широтного профиля протяженностью свыше 1000 км. В ходе выполнения проекта впервые будет дана количественная оценка запасов органического углерода в озерных отложениях в широтном градиенте зон многолетней мерзлоты; на сегодняшний день подобная оценка имеется только для бореальной внемерзлотной зоны. Предложенные в этом проекте исследования позволят определить параметры мобилизации и трансформации органического углерода в донных отложениях термокарстовых озер, связанные с таянием вечной мерзлоты и развитием термокарстовых озер.

Работы, предусмотренные техническим заданием и планом-графиком, в отчетном периоде выполнены в полном объеме.