МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»
(СВФУ им. М.К. Аммосова)

УДК

УТВЕРЖДАЮ
Начальник управления -
проректор по науке и инновациям
_____К.К. Кривошапкин
_____201___ г.

ОТЧЕТ
по научно-исследовательскому проекту

«Особенности биогеохимического круговорота веществ в криолитозоне, как один из механизмов определяющих глобальное изменение климата»
(годовой)

Соглашение № б-11

Международный научно-образовательный центр
по биогеохимии и климатологии BEST
при Институте естественных наук СВФУ,
д-р.биол.наук, директор _____ 20.08.2018 Т.Х. Максимов
(подпись, дата)

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы (0,5 ст.) д-р биол. наук	30.08.2018 подпись, дата	Т.Х. Максимов (введение, раздел 1-3, заключение)
Отв. исполнители темы Вед. науч. сотр. (0,5 ст.) канд. геогр. наук	30.08.2018 подпись, дата	А.Н. Федоров (раздел 2)
Ст. науч. сотр. канд. соц. наук	30.08.2018 подпись, дата	Ю.И. Жегусов (раздел 3)
Науч. сотр.	30.08.2018 подпись, дата	С.В. Карсанаев (раздел 3)
Исполнители темы Вед. науч. сотр. (0,5 ст.) канд. биол. наук	30.08.2018 подпись, дата	А.В. Кононов (раздел 1)
Вед. инженер	31.08.18 подпись, дата	М.Т. Максимов
Инженер (0,5 ст.)	30.08.2018 подпись, дата	Е.В. Старостин

РЕФЕРАТ

Отчет 57 стр., 14 рис., 5 табл., 7 источников, 2 прил.

КРИОЛИТОЗОНА, КЛИМАТ, БОРЕАЛЬНЫЙ ЛЕС, ЦИКЛ УГЛЕРОДА, ФОТОСИНТЕЗ

В промежуточном отчете представлены результаты исследований 2017 года по изучению биогеохимического цикла углерода в лиственничном лесу в якутском секторе криолитозоны. Произведен анализ ретроспективного и современного состояния климата, выявлены особенности процесса фотосинтеза средне-продуктивных лесных экосистем Центральной Якутии, оценены углеродные и азотные пулы почв Центральной Якутии.

На основании сравнительного анализа составляющих углеродного газообмена мерзлотных экосистем прослежена суточная и сезонная вариабельность процесса фотосинтеза у доминантных видов растительности разных ярусов в типичном лиственничном лесу Центральной Якутии.

Суммарные запасы органического углерода и азота исследованных в мерзлотных почвах Центральной Якутии на глубине 250 см оцениваются в 38,7 и 2,13 кг/м^2 соответственно. Значительная часть запасов сосредоточено в деятельном слое почвы (53% углерода и 58% азота). В защитном слое депонировано 31% и 25%.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5
1 Обзор современных изменений климата и природной среды в Центральной Якутии 8
1.1 Влияние климата на экосистемы Центральной Якутии 13
1.2 Общественное восприятие изменения климата в Республике Саха (Якутия) 15
2 Материал и методика исследования……...17
3 Запасы углерода в лиственничных лесах Центральной Якутии 23
4 Сравнительная характеристика круговорота углерода в мерзлотных экосистемах на Северо-Востоке России и их связь с климатическими изменениями 31
4.1 Лесная научная станция «Спасская падь», Центральная Якутия. 31
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....34
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....37
Перечень целевых показателей НИП…….41
Список публикаций сотрудников за 2012-18 гг……48

ВВЕДЕНИЕ

Наземные экосистемы высоких широт составляют примерно четверть поверхности Земли, занятой растительностью. За вторую половину XX века в районах высоких широт произошло существенное потепление климата, которое влияет на структуру и функционирование наземных экосистем данного региона.

Почти 65% сибирских лесов и 23 % арктической тундровой растительности произрастают в зоне многолетней мерзлоты. По нашим оценкам, углеродные запасы в почвах лесных и тундровых экосистем в Якутии (3,1 млн. кв. км) оцениваются в 17 млрд. тонн (всего 125,5 млн. га леса и 37 млн. га тундры), что составляет около 25% всего запаса углерода в лесных почвах Российской Федерации.

Территория Северо-Восточной Сибири, занимающей значительную часть пространства Севера, играет важную роль в климатической системе планеты и является свободным резервом биосферы в пределах Единого циркумполярного экологического пространства. Предполагается, что при глобальном потеплении климата именно в этом регионе рост температуры будет наибольшим, и ответное воздействие криосферы на атмосферу может быть более значительным, чем где-либо. Здесь представлены все основные биотические и абиотические компоненты Севера, дающие отклик на изменения климата: Северный Ледовитый океан, многолетняя мерзлота, северная граница лесов, северные и арктические популяции растений и животных.

С конца XIX века зимние температуры воздуха в Северо-Восточной Сибири повысились на 10ºС, а средние годовые – на 2,0–3,5ºС [1]. Направленное потепление наиболее заметно проявилось здесь во второй половине XX в., особенно с 70–80-х гг. За последние 50 лет в Якутии средняя температура воздуха в январе возросла на 7º С, т.е. в 1,5–2,0 раза интенсивнее, чем в первой половине столетия. Средняя годовая температура воздуха повысилась на 1,0–2ºС.

При возможном потеплении климата сумма активных температур в таежной зоне Северо-Восточной Сибири увеличится от 400 до 600°С, а в тундровой – и более того [2], что окажет существенное влияние на составляющие водного баланса. В связи с этим обсуждаются два сценария развития событий: первый – потепление не будет сопровождаться увеличением количества осадков и приведет к аридизации территорий; второй – произойдет компенсационное увеличение количества осадков: в Центральной Якутии незначительное – на 30 мм в год; в северных тундровых районах – на 60 мм [2]. В последнем случае скорость продвижения лиственницы в тундру может приблизиться к 80 м/год [3-5]. Для некоторых пород деревьев скорость перемещения может составить 200–

300 м, а для пионерных – 500 м и более в год [6]. В связи с потеплением климата бурно дискутируется проблема изменчивости биоразнообразия и скорости адаптации растений к новым условиям произрастания. Наряду с возможным сокращением ареала отдельных видов растений, ожидается продвижение к Северу тропических видов с С4-типом фиксации углерода со специфическими морфологическими, физиологическими и биохимическими признаками.

Повышение средней годовой температуры воздуха в области развития криолитозоны способно вызвать активизацию биогеохимических процессов, ускорить высвобождение законсервированных в вечной мерзлоте парниковых газов. Вместе с тем, вклад мерзлотных экосистем в глобальный и континентальный баланс воды, углерода и азота до сих пор остается малоизученным. В связи с принятием Восточно-сибирских Мега-проектов, связанных со строительством железной дороги, нефте- и газопроводов, ГЭС и разработкой Программы социально-экономического развития Арктической зоны Российской Федерации до 2020 года прогнозируется широкомасштабная нарушение мерзлотных экосистем в Якутии, которая может привести к деградации громадного ледового комплекса.

Оценка величины поглощения углерода мерзлотными экосистемами имеет прямой экономический выход в рамках ратификации Российской климатической доктрины, Киотского и Парижского Протоколов ООН по смягчению последствий изменения климата и адаптации глобальному изменению климата - удержание прироста глобальной средней температуры к концу XXI века в пределах «намного ниже» 2°C сверх доиндустриальных показателей (конец XIX — начало XX века) и стремление добиться ограничения роста температуры на уровне 1,5°C. Поглощение углерода экосистемами может использоваться для подсчета индустриального выброса отдельно взятой страны. Любая добавочная верифицированная поглотительная емкость может быть продана в рамках торговли эмиссией. В конечном счете, легкоранимые мерзлотные экосистемы Восточной Сибири должны быть выведены в устойчивое русло развития в соответствии с функционированием социальной, экономической и экологической систем.

Для количественного прогноза изменения баланса воды, тепла и углерода в мерзлотных экосистемах Северо-Восточной Сибири при глобальном изменении климата необходимы многолетние измерения аккумулирующей способности экосистем криолитозоны на международных научных станциях, а также разработка адекватных моделей регионального и глобального баланса тепла, воды и углерода в растительных сообществах.

Уникальным элементом данного проекта является то, что исследования проводятся на двух репрезентативных научных станциях SakhaFlux ИБПК СО РАН и ИЕН СВФУ: лесная научная станция «Спасская падь», Центральная Якутия, 62° с.ш., и лесотундровая научная станция «Кодак», Северо-Восточная Якутия, 69° с.ш.. совместно с российскими и зарубежными учеными.

Учитывая значительное уменьшение аккумулирования углекислоты в засушливые годы и повышенную частоту лесных пожаров в такие периоды, можно с большой уверенностью говорить о существенном изменении баланса в круговороте углерода и воды в мерзлотных экосистемах при прогнозируемом потеплении климата [7].

Цель исследования - исследование круговорота биогеохимических веществ в репрезентативных мерзлотных лесных и лесотундровых экосистемах Северо-Восточной Сибири. Были поставлены следующие задачи:

1. Исследование сезонных вариаций в циклах энергии, воды, углерода и азота, и их внутригодовая изменчивость;

2. Оценка региональных и континентальных потоков энергии, воды, азота, углерода (CO_2 и метан), и взаимосвязь между наземными процессами и атмосферными условиями.

Исследования проводятся в разных биоклиматических зонах Восточной Сибири в лесотундровой и равнинной тайге:

- средне-продуктивные лесные экосистемы, научная станция Спасская падь, левый берег р. Лена, Центральная Якутия, 62 °с.ш., 129° в.д. (в 40-км севернее г. Якутска);

- лесотундровые экосистемы, научная станция Кодак, правый берег р. Индигирка, Северо-восточная Якутия, 69°с.ш., 150° в.д. (в 20 км восточнее п. Чокурдах).

1 Обзор современных изменений климата и природной среды в Центральной Якутии

Для анализа современной изменчивости климата Центральной Якутии воспользуемся данными основных климатических элементов (температура воздуха, осадки - по данным метеостанции Якутск за период 1966-2017 гг.). С 1966 г. Гидрометеослужба проводит наблюдения по единой методике и одинаковыми приборами (восемь сроков, поправки к измеренным осадкам), что совпадает с началом наблюдаемого в мире потепления климата. Данные метеостанции Якутск имеют высокий степень корреляции с данными других метеостанций Центральной Якутии (95-98 %). Таким образом, ряд наблюдений 1966-2017 гг. можно считать климатологически однородным, что дает общее представление и оценку современного изменения климата в Центральной Якутии.

Температура воздуха. Глобальное потепление климата, начавшееся во второй половине 60-х годов на большей части северного полушария, затронуло и территорию Якутии. В период с 1966 по 1989 гг. потепление в этом регионе проходило относительно плавно и характеризовалось практически зональным распределением приращения температуры воздуха. Наибольшие величины этого прироста (1°С и более) отмечены в Центральной и Южной Якутии. К северу наблюдается уменьшение приращения температуры. На побережье моря Лаптевых, островных станциях и северо-западе Якутии в этот период тренды температуры воздуха имеют отрицательное значение.

В начале 90-х годах процесс потепления климата проявился более резко. Повышение температуры воздуха отмечается на всей территории Якутии, причем оно пространственно неоднородно: южнее 64^{o} с.ш. приращение температуры воздуха составило 1,5 – 2 °С и более, а на северо-западе и северо-востоке Якутии – 0,5 – 1 °С. Необходимо отметить, что подавляющий вклад в повышении среднегодовой температуры воздуха принадлежит зимам. Они стали теплее и особенно существенно – в Центральной и Южной Якутии. Летнее потепление пока не столь заметно.

Анализ поля тренда за 1966-2009 гг. показал, что на всей территории Якутии отмечается тенденция к потеплению, также неоднородное в пространстве. Скорость тренда по Центральной Якутии изменяется до 0,68°С / 10 лет (Якутск). Максимальная скорость изменения температуры отмечена в Центральной Якутии, минимальная – в районах севернее широты 69^{o}.

На значительной территории Центральной Якутии колебания температуры за исследуемый период наблюдений происходили достаточно синхронно, но с разной

амплитудой. Тому свидетельство Рисунок 1, где представлены временные ряды среднегодовой температуры воздуха по станциям, расположенным относительно далеко друг от друга. Более наглядное представление о характере потепления климата в Якутии за последние десятилетия, демонстрирует нам Рисунок 2, на котором даны приращения температуры воздуха по 45 пунктам Якутии, вычисленные на основе линейных трендов за рассматриваемый период 1966-2010 гг. (Обзор современных изменений климата…, 2010)

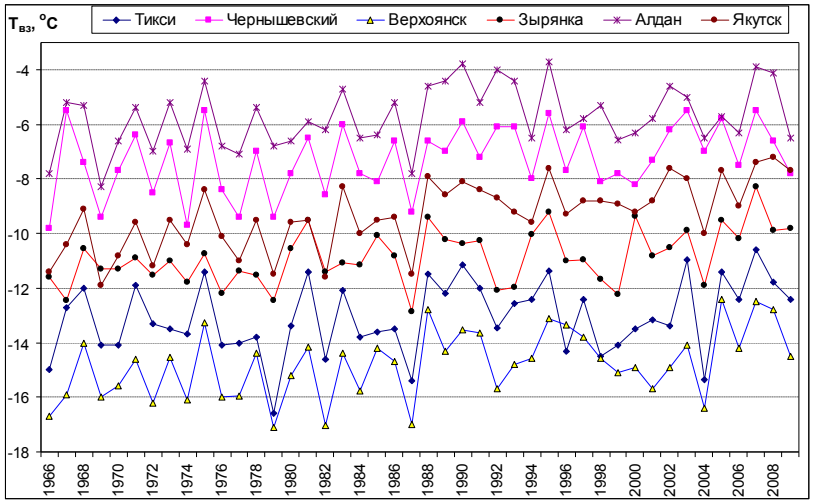

Рисунок 1 – Изменчивость среднегодовой температуры воздуха в Якутии за 1966-2010 гг. (по Обзор современных изменений…, 2010)

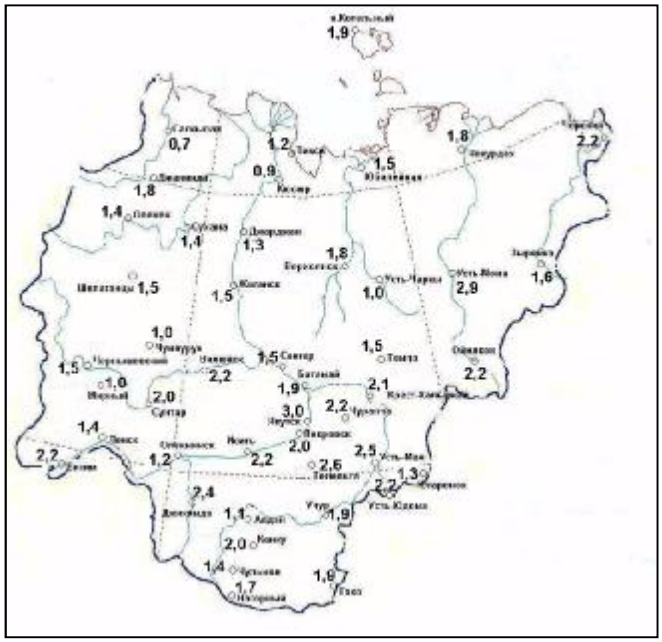

Рисунок 2 – Повышение среднегодовой температуры воздуха в Якутии за период 1966-2010 гг., °С

Необходимо отметить, что в последнее два десятилетия темпы потепления в Центральной Якутии несколько снизились. Для лучшего представления масштаба

современного потепления климата обратимся к данным метеостанции г. Якутска, имеющей самый длинный ряд наблюдений в Якутии (Рисунок 3).

Изменение термического режима приземного слоя воздуха аналогично глобальным изменениям. Потепление 30-х годов, похолодание 50-х годов, современное потепление – отчетливо прослеживаются во временном ряду изменений среднегодовой температуры воздуха в Якутске.

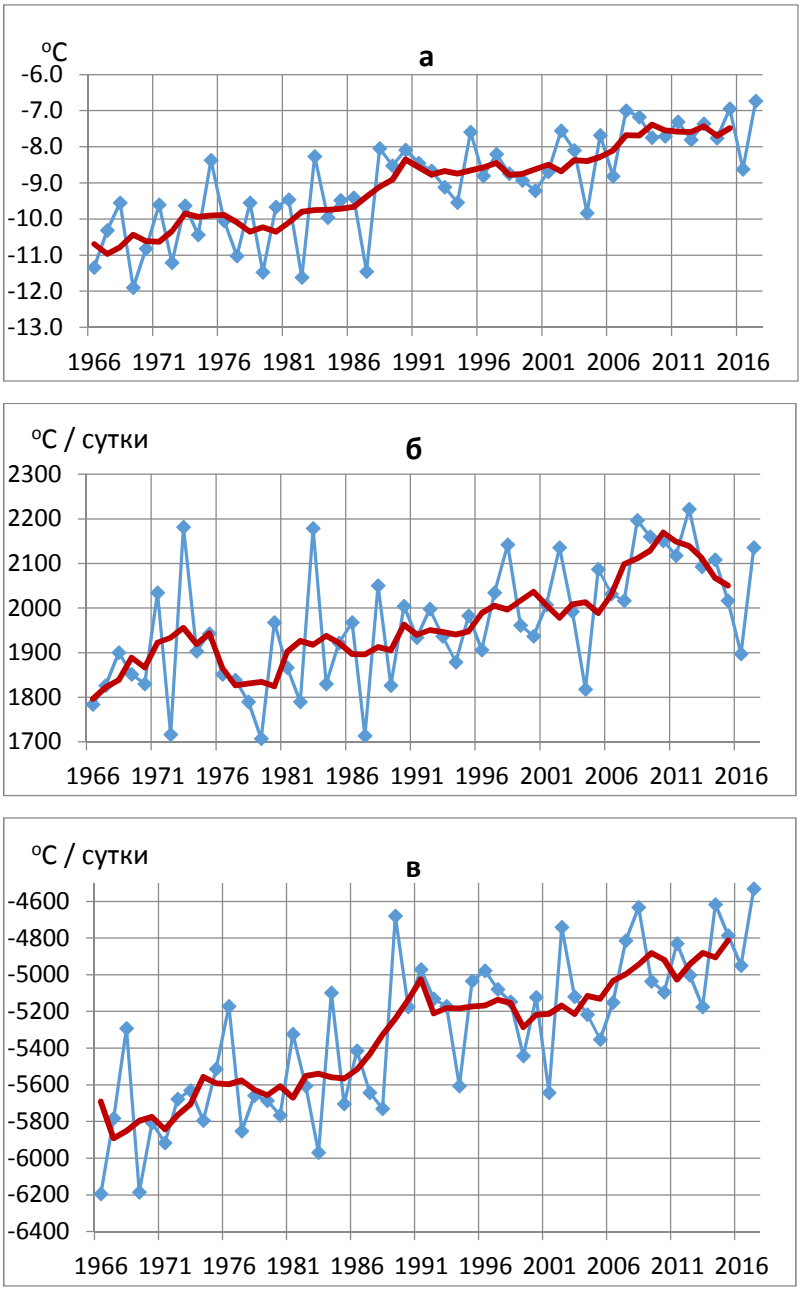

Рисунок 3 – Многолетняя изменчивость среднегодовой (а), положительных (б) и отрицательных (в) температур воздуха в г. Якутске за 1966-2009 гг. Коричневая жирная линия – скользящая пятилетняя средняя.

Осадки. Общеизвестен тот факт, что осадки – очень изменчивый элемент климата, как в пространстве, так и во времени. Межгодовые колебания годовых сумм осадков гораздо более значительны, нежели температуры воздуха.

В качестве примера современной изменчивости атмосферных осадков можно привести данные метеостанции г. Якутска (Рисунок 4).

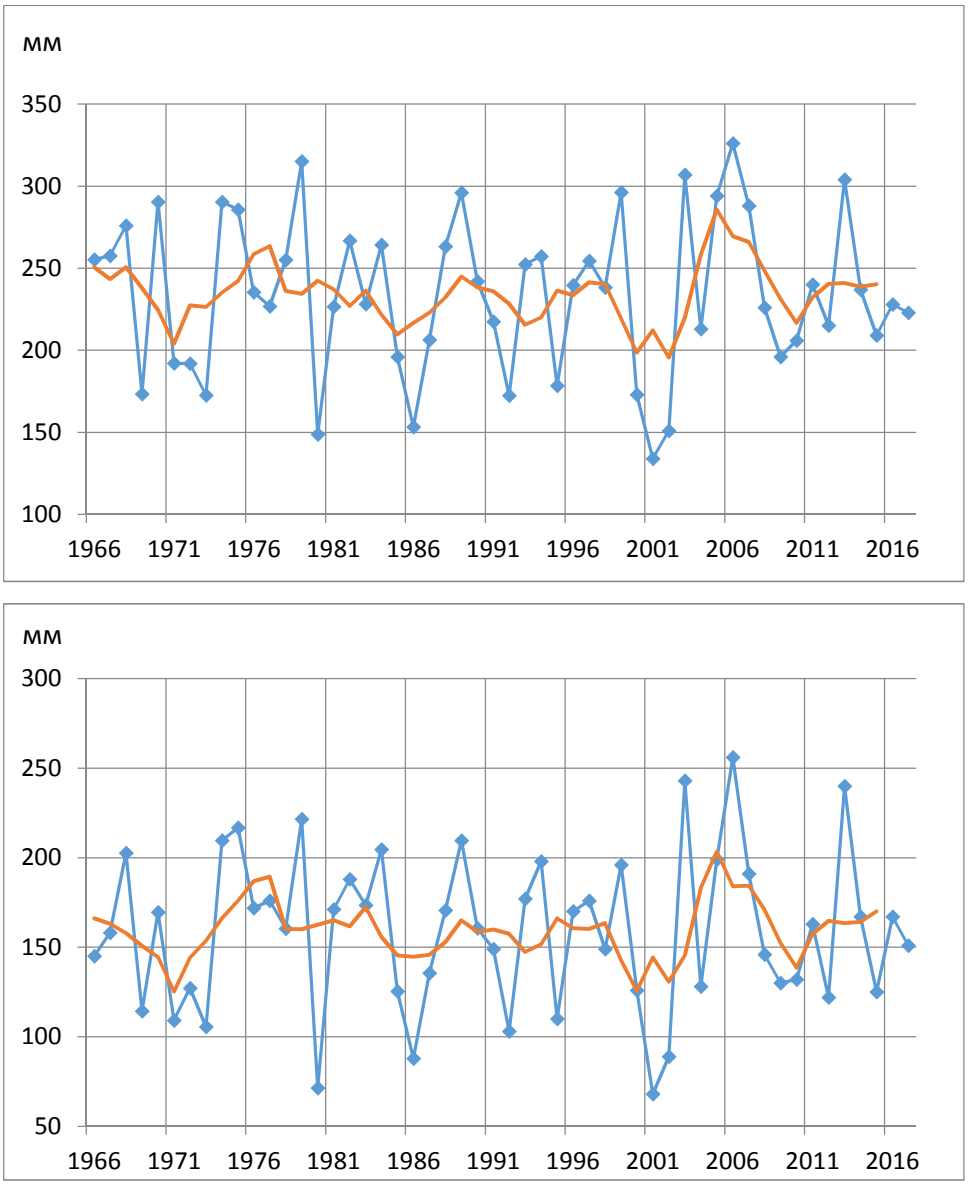

Рисунок 4 – Изменчивость сумм осадков за год (а) и теплый (б) период в г. Якутске. Коричневая линия – скользящая пятилетняя средняя.

Параметры снежного покрова. Ввиду преобладания зимнего антициклонального типа погоды количество выпадающих осадков на большей части Якутии невелико, вследствие чего высота снежного покрова мала. Среднее из наибольших декадных высот снежного покрова за зиму варьирует по анализируемым пунктам от 27 до 67 см. Максимальное снегонакопление в регионе отмечается обычно в марте-апреле.

Анализ изменчивости максимальной среднедекадной высоты снежного покрова ($h_{сн}$). Якутии за период 1966-2009 гг. свидетельствует о том, что на большей части территории нет явно выраженного тренда $h_{сн}$. Неоднородное пространственное

распределение трендов показывает, что нет никакой широтной или меридиональной закономерности в изменчивости $h_{сн}$.

Сроки образования устойчивого снежного покрова из года в год сильно колеблются в зависимости от характера погоды, определяемой особенностями атмосферной циркуляции предзимнего периода. В Центральной Якутии разница в датах образования устойчивого снежного покрова в любом пункте может достигать 30-45 дней. Анализ многолетней изменчивости даты образования устойчивого снежного покрова показывает, что в 12 пунктах из 20 снег стал устанавливаться раньше на 4-10 дней. Однако тренды везде статистически не значимы.

Разрушение устойчивого снежного покрова в Центральной Якутии происходит в более сжатые сроки, чем его образование. Колебание дат разрушения устойчивого снежного покрова из года в год довольно велико, но меньше, чем в период образования. Число дней со снежным покровом в Якутии колеблется от 200 до 250. За анализируемый период статистически значимое увеличение продолжительности залегания снежного покрова не нами отмечено.

В последние годы отмечается большая межгодовая изменчивость характеристик снежного покрова. Например, за последние 40 лет наблюдений в Якутске в 2003 г. отмечался абсолютный минимум $h_{сн}$, равный 20 см, а в 2005 г. – абсолютный максимум $h_{сн}$ – 50.

В 2000 г. число дней со снегом составило 220 (абсолютный максимум), а в 2003 г. всего 172 (входит в тройку лет с наименьшим показателем). То есть, разница между максимальной и минимальной продолжительностью залегания снега составило 48 дней. Самое раннее образование устойчивого снежного покрова происходило в 1999 г. (25 сентября), а самое позднее в 2002 г. (1 ноября).

Таким образом, в Якутии в последние десятилетия отмечается заметное потепление климата. Наибольшее повышение температуры воздуха в регионе произошло в 1980-е годы. С середины 1990-х годов потепление климата в некоторых районах Центральной Якутии явно приостановилось, но среднегодовые температуры воздуха остаются на прежнем высоком уровне. Тренды в целом за период 1966-2009 гг. заметно уменьшились по сравнению с периодом 1966-1995 гг. Отмечено уменьшение континентальности в Центральной Якутии за последние десятилетия. В таких пунктах, как Якутск— это уменьшение статистически значимо.

По атмосферным осадкам на данном этапе исследования можно сделать вывод, что и последние десятилетия не изменили общей картины, которая наблюдалась за последние

100 лет. Отмечается большая изменчивость, как в годовых, так и в летних суммах осадков от года к году, но четкой тенденции к их понижению или повышению не отмечается.

Характеристики снежного покрова в Центральной Якутии в период 1966-2009 гг. в целом оставались на уровне многолетних средних. Нет явной тенденции увеличения или уменьшения высоты и продолжительности залегания снежного покрова. Сроки образования и разрушения устойчивого снежного покрова находятся в пределах естественной изменчивости. В тоже время в некоторых пунктах в последние годы усилилась межгодовая изменчивость отдельных характеристик снежного покрова.

1.1 Влияние климата на экосистемы Центральной Якутии

Временной ряд средних годовых температур грунтов в Центральной Якутии имеет циклический и наступательный характер динамики (рисунок 5). Средняя продолжительность циклов 9,6 лет. При этом максимальная продолжительность цикла составляет 12 лет, а минимальная – 8 лет. Относительно высокие температуры – положительные фазы циклов отмечались в середине 30-х, начало 40-х, конце 40-х – начале 50-х, конце 50-х – начале 60-х, конце 60-х – начале 70-х, начале 80-х – середине 80-х, начале 90-х и конце 90-х – начале 2000-х годов. Из них две положительные фазы – начало 40-х и конец 50-х – начало 60-х не столь выражены, как остальные. Для температурного ряда характерно повышение значений, как для положительной, так и отрицательной фаз.

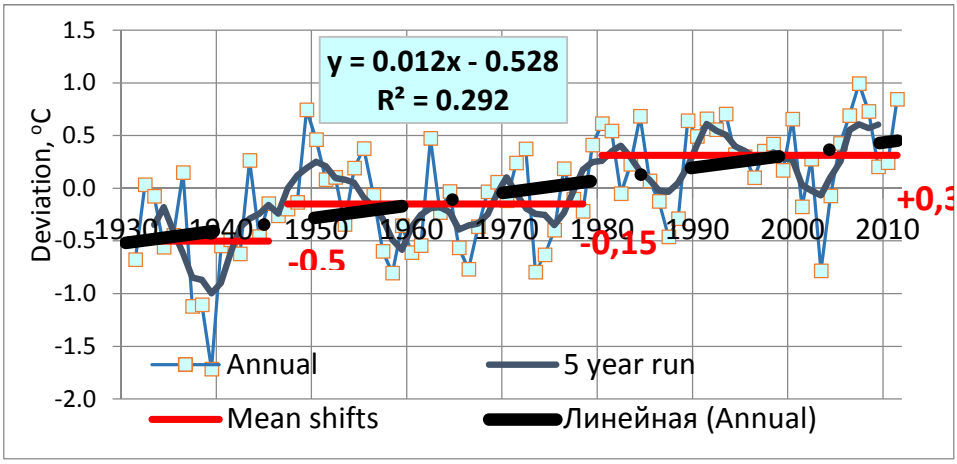

Рисунок 5 – Изменчивость температуры грунтов на метеостанции Покровск на глубине 3,2 м в 1931-2011 гг.

Повышение температуры грунтов в первой половине 1980-х и в начале 1990-х годов вызвало существенные изменения антропогенных мерзлотных ландшафтов, в первую очередь в открытых местностях. Активизировались криогенные процессы,

особенно в ранее сформированных термокарстовых понижениях (Рисунок 6). Местами развитие термокарста стало необратимым. Обводнение термокарстовых озер вызвало подтопление окружающего межаласья (рисунок 7) и расширение озера.

На мониторинговом полигоне «Юкэчи» с 1993 по 2008 гг. объем воды в молодых термокарстовых образованиях увеличился с 33,7 м^3 до 3503 м^3 (рисунок 8). В периоды маловодья (1993-2003 гг.) от таяния подземного льда приходная составляющая водного баланса увеличилась на 40-45 %.

В температурном режиме естественных лесных ландшафтов изменения произошли, но не достигли критических значений и не вызвали активизацию криогенных процессов. Защитный слой, сформированный после голоценового оптимума, сохраняет свою функцию предохранения от деградации мерзлых пород.

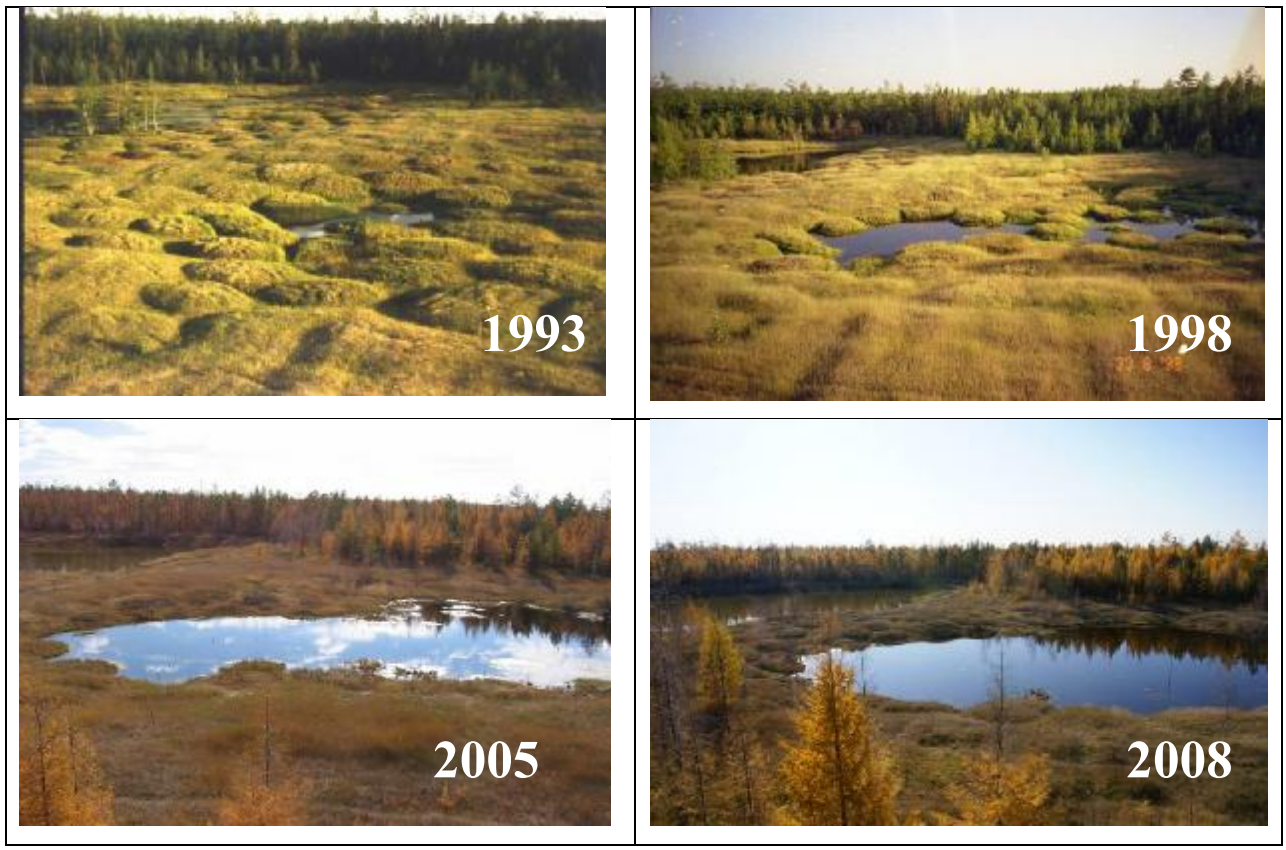

Рисунок 6 – Динамика термокарстовых образований на полигоне Юкэчи (площадка 2)

Рисунок 7 – Подтопление термокарстовым озером окружающих ландшафтов

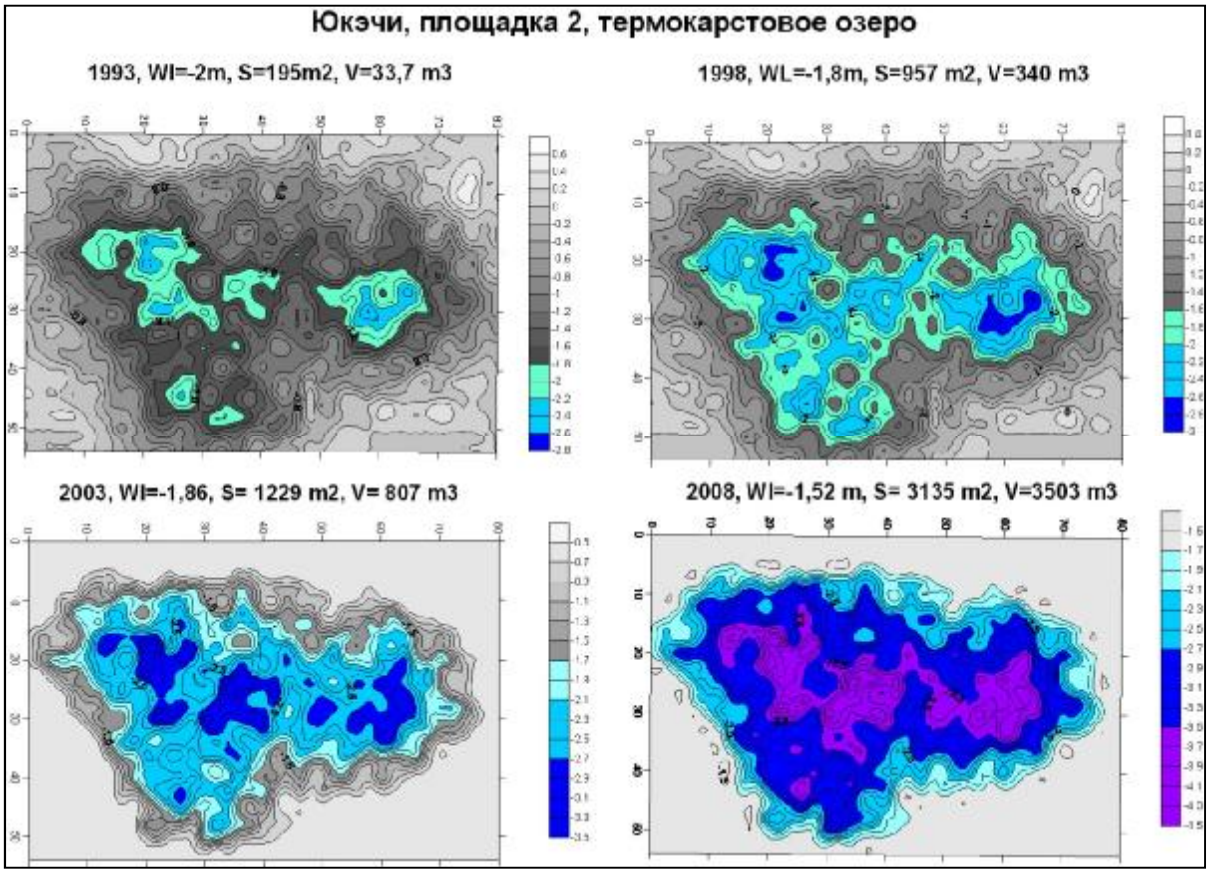

Рисунок 8 – Динамика молодых термокарстовых озер на мониторинговом полигоне «Юкэчи» в 50 км к востоку от г. Якутска за последние 15 лет. WL – уровень воды; S – площадь зеркала воды; V – объем воды

1.2 Общественное восприятие изменения климата в Республике Саха (Якутия)

В исследовании были объединены методы климатических и социологических исследований и проведен анализ, при котором сравнили данные метеонаблюдений, а

также измерений и модельных расчётов различных объективных индикаторов изменения климата и окружающей среды холодных регионов с результатами анкетирования населения по этим вопросам. Всего анкетным опросом на основе квотной пропорциональной выборки было охвачено 2000 респондентов в г. Якутске, Нерюнгри, Алдане, Усть-Майском, Анабарском и Чурапчинском улусах, что обеспечило достаточную репрезентативность результатов исследования. Также в исследовании были применены качественные методы – глубинные интервью и фокус-группа.

Проведенный опрос показал, что изменение температуры наиболее заметны в зимний период, на это указали 70% респондентов. В свою очередь, около половины опрошенных отмечают похолодание лета (см. таблица 1). Респонденты считают, что зимы в Якутии стали ощутимо теплее, если раньше экстремально низкие температуры (-50 °С и ниже) держались продолжительное время в декабре-январе, то сейчас они неустойчивы, сменяются резкими потеплениями. Летом отмечается уменьшение продолжительности жаркого периода из-за частых дождей и облачных дней.

Таблица 1 – Восприятие изменений температур зимнего и летнего периодов, в %

	оценки			н/о	всего
	холоднее	не изменилась	теплее		
Зима стала	16,3	11,3	70,0	2,4	100,0
Лето стало	47,8	24,0	26,7	1,5	100,0

Исследования показали, что происходящие изменения климата и окружающей среды в Якутии фиксируются общественным сознанием и уже оказывают воздействие на многие традиционные виды деятельности, условия труда и отдыха населения. Респонденты отмечают потепление зимы и похолодание лета. Происходящие изменения влияют на повседневную жизнь и часто не лучшим образом. Исследование позволило установить высокий уровень тревожности относительно возникновения чрезвычайных ситуаций, обусловленных изменением климата и окружающей среды, причём подавляющее большинство жителей Якутии к ним не готовы. Так, в среднем респонденты оценвиают как «возможно уже сейчас» такие угрозы как «повреждения зданий и дорого в результате таяния вечной мерзлоты», «выход из строя отопительной системы города во время сильных морозов, аномальных холодов» и «возникновение массовых эпидемий, новых заболеваний, плохо поддающихся лечению».

2 МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Территория, в котором проводились измерения, расположен в 40 км северо-восточнее Якутска. Исследования проведены на лесном научном стационаре "Спасская Падь" (Центральная Якутия, 62º15’с.ш., 129º37’в.д., 30 км севернее г. Якутска). Института биологических проблем криолитозоны СО РАН в зрелом 180-летнем лиственничном лесу. Высота над уровнем моря 220 м. Средняя высота древостоя 18 м, плотность 840 деревьев га$^{-1}$. Средний возраст древостоя 170 лет. Детальное описание исследуемого участка в представлено в таблице 2.

Таблица 2 - Характеристика опытного участка *Larix cajanderi*

Параметр	Значение
Возраст, год	170-180
Максимальная высота дерева, м	27,7
Средняя высота деревьев, м	16,75
Листовой индекс лиственницы, м^2 / м^2	Не более 2,3
Листовой индекс экосистемы	3,3
Число стволов на 1 га, шт	876
Средний диаметр деревьев, см	18,5
Площадь проекции крон, м^2	8,5
Площадь сечения, м^2 / га	27,12
Биомасса кроны, кг сырой массы / дерево	32,13
Доминирующие виды лесной подстилки	*Vaccinium vitis idaea* L. *Arctous erythrocarpa*
Доминирующие кустарники	*Betula platyphylla*

Стоит отметить, что благодаря противопожарным мероприятиям на исследуемом участке пожаров за последние 80 лет не было.

На территории стационара преобладают разновидности мерзлотных палевых осолоделых почв, занимающих ровные участки и пологие склоны. Они сочетаются со слабооподзоленными песчаными и супесчаными почвами.

Под лиственничниками формируются мерзлотные палевые осолоделые, а под сосняками- песчаные и супесчаные слабооподзоленные почвы. Под березняками развиты

переходные от палевых осолоделых к черноземно-луговым почвам. Древостой в основном представлен лиственницей. Соотношение площадей с преобладанием этой породы, сосны и березы на опытном участке близко к тому, которое наблюдается по Центральной Якутии. Так, на территории участка лиственница занимает 89%, сосна- 2 и береза 9% площади. Соответствующие цифры для группы левобережных районов будут 90, 8 и 2 % и для правобережных- 95, 3 и 2%. Таким образом, по типологическому составу и ряду таксационных признаков, определяющих влияние леса на микроклиматический режим местности и гидрологию почв, территория лесной станции типична для равнинных лесов Центральной Якутии.

Типы леса представлены здесь брусничными лиственничниками (*Laricetum vacciniosum),* толокнянковыми сосняками (*Pinetum arctostaphylosum*) и разнотравными березняками (*Betuletum mixtoherbosum*). Особенностью возрастной структуры лесных экосистем экспериментального участка является преобладание спелых и перестойных древостоев, на долю которых приходится 65%, что характерно для левобережных (67%) и правобережных (59%) районов.

Ранее в данном стационаре под руководством Л.К.Позднякова из Института леса и древесины РАН были проведены лесоводческие (типы леса, ход роста, биологическая продуктивность, круговорот веществ, возобновление, рубки, микробиоценоз, микромицеты и биологическая активность почв, деревообразующие грибы), гидроклиматические (температура, относительная влажность воздуха, мерзлотный режим, гидрологическая роль), зоологические (насекомые, грызуны, орнитофауна, почвенная фауна), ресурсоведческие (съедобные грибы, лесные ягоды, лекарственные растения, механизм заготовки лекарственных растений, физико-химические свойства древесных пород, дубильные и пектиновые вещества в коре, комплексная оценка лесных растительных ресурсов) исследования.

В настоящее время ИБПК СО РАН совместно с СВФУ в рамках 37 международных проектов по изменению климата создана комплексная система SakhaFluxNet для изучения регионального, континентального и глобального циклов энергии, воды и углерода (С-углекислый газ,CO_2 и метан, CH_4), включающая серии 30-метровых наблюдательных вышек TOWER FLUX NETWORK в Центральной Якутии (рисунок 9). Лесная станция "Спасская падь" является единственной станцией в России, объединяющей проекты Азии (AsiaFlux) и Европы (CarboEurope).

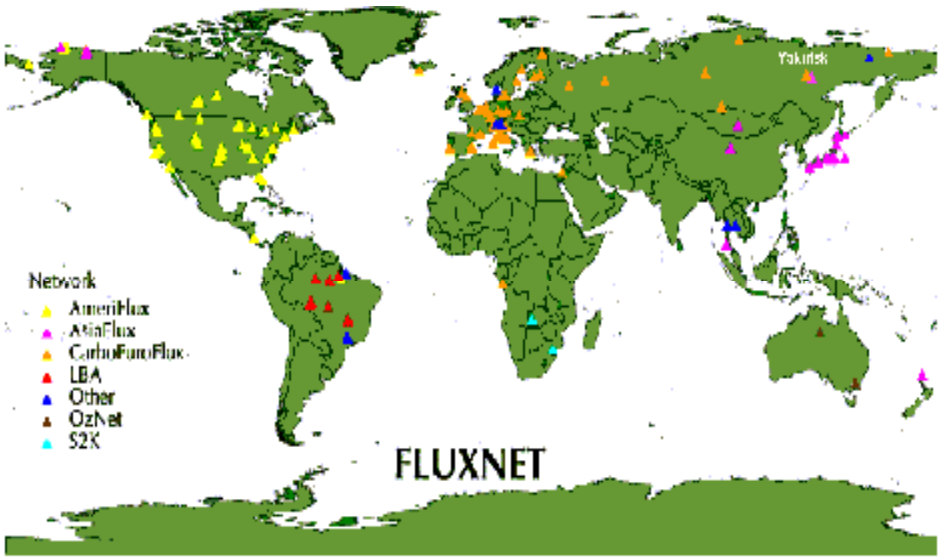

Рисунок 9 - Глобальные, континентальные и региональные сети исследований циркуляционных потоков тепла, влаги и углекислого газа

Были использованы также многолетние данные Якутской гидрометеорологической обсерватории по количеству атмосферных осадков и температуре воздуха по станции Якутск. Среднее многолетнее количество атмосферных осадков в районе исследований составляет 205 мм в год (1936-2017 гг.) при средней годовой температуре воздуха, равной минус 11,8^{o}C (1829-2017 гг.).

Для общего анализа чистого углекислотного газообмена экосистем (NEE) нами использованы методы эдди-ковариации открытого типа установленные на 34-метровой высоте (рисунок 10). Частота измерений 10 Гц (10 измерений за 1 сек). Система едди-корреляции включает инфракрасный газоанализатор LICOR (USA), ультразвуковой анемометр Gill (USA), блок контроля и записи данных Data logger Campbel (USA).

На микрометеорологической вышке на высоте 34 м была установлена система эдди-корреляции, состоящая из инфракрасного газоанализатора LICOR, трехмерного ультразвукового анемометра Gill Solent и криптонного гигрометра на телескопической мачте. Эта система измеряла чистый углеродный газообмен экосистемы (NEE), скрытый поток тепла (испарение), явный поток тепла (турбулентный) и импульсообмен (Aubinet *et al.,* 1998). Первичные данные и ковариации хранились и обрабатывались при помощи программы, корректирующей нецентрированность сенсора, потери частоты, разделение сенсоров и т.д. (Aubinet *et al.,* 2000, Dolman *et al*., 2002). Мы также включили коррекцию угла потока, предложенную авторами (Gash and Dolman, 2003; van der Molen *et al.,* 2004).

Рисунок 10 - Две системы едди-ковариации закрытого (слева) и открытого (справа) типов для измерения потоков энергии, влаги и углекислого газа (вышка, 34 м), Спасская падь

Измерения чистого газообмена экосистемы (NEE) проводили в течение шестнадцати лет, с 2000 по 2016 гг. На рисунке 11 показана степень замыкания баланса энергии для суточных данных.

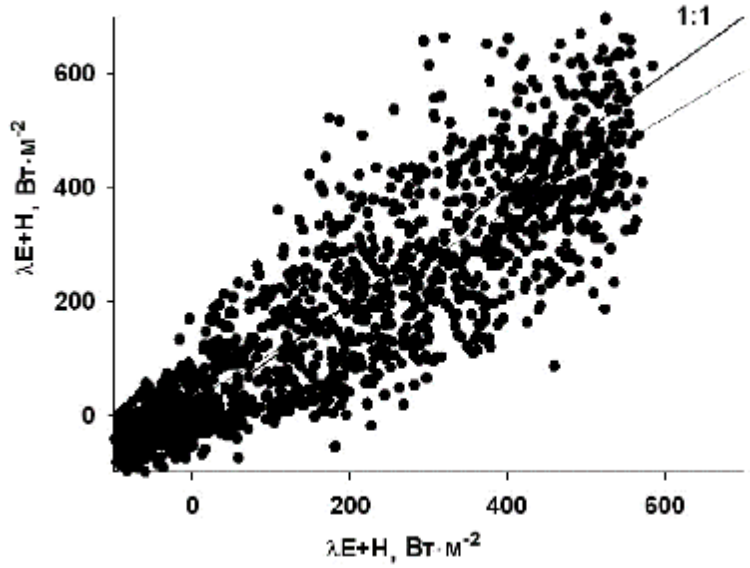

Рисунок 11- Степень замыкания баланса энергии

Линия регрессии дает наклон 0,88 с отсекаемым отрезком 26 и R^2 0,79 (форсированная регрессия по оригиналу дает наклон 0,92). Добавление коррекции по углу потока улучшает замыкание баланса энергии на 13% (van der Molen *et al.,* 2004). Такая степень замыкания показывает хорошую достоверность наших измерений. Однако мы

полагаем, что вследствие несовпадения площадей, покрываемых радиационными сенсорами и эдди-корреляционным инструментарием, остается неучтенная энергия. Спектры хорошо соответствуют классическим формам Каймала (Kaimal and Finnigan, 1994).

С октября почва начинает промерзать сверху, и одновременно происходит медленное промерзание СТС (сезонно-талого слоя) снизу. При полном промерзании сезонноталого слоя CO_2 высвобождается через трещины в мерзлой почве. Наблюдения за концентраций CO_2 в приповерхностном слое воздуха в декабре показывают ее повышение (Ivanov et al., 1995).

Мы может оценить количество выделяющегося из почвы CO_2, считая промерзание почвогрунтов линейным процессом в течение, например, 75 дней. Это можно выразить так:

$$F_{nee} = 2F_{resp}\int z(t)dt = 2F_{resp}\int_{day=0}^{day=75} 0.75t - 0.005dt$$

где F_{nee} – общий поток CO_2, теряемой в результате дыхания, F_{resp} – средняя скорость дыхания при нулевых температурах, выраженная в М (моль) $м^{-1}$ $день^{-1}$. Анализ ночного дыхания против температуры воздуха выводит на скорость в 0,5 мкМ $м^{-2}$ $с^{-1}$ или же 0,0288 М $м^{-1}$ $день^{-1}$. Общее теряемое дыхание, таким образом, оценивается в 1,62 М $м^{-2}$ или 19,44 г $м^{-2}$ С.

Энергетический баланс над лесным пологом может быть выражен, как следует ниже:

$$Rn = H + lE + G + J \qquad (1),$$

где Rn есть всеволновой радиационный баланс, H является потоком явного тепла, lE - поток скрытой теплоты, G - поток грунтовой теплоты и J является изменением в аккумулировании тепла в ярусе полога. J должно браться в расчет анализов почасовой серии данных; так как данная работа рассматривает суточный энергетический баланс, J игнорируется, так как аккумулирование тепла в течение дня сводится на нет энергией, выделенной ночью.

Явный поток тепла (турбулентный) вычисляется при помощи метода турбулентной корреляции из данных, полученных пространственным ультразвуковым анемометром. Как было отмечено в предыдущем разделе, анемометр временами не действовал вследствие проблем с электричеством. В такие периоды был использован метод объема для получения активной теплоты, он выражается следующим образом:

$$H = p * cp * Cu * (Ts - Ta) \quad (2),$$

где p - плотность воздуха (кг м-1), cp - удельная теплота воздуха при постоянном давлении (Вт К-1), Cu является коэффициентом объема, Ts - температура лесного полога, полученная при помощи инфракрасного термометра, а Ta есть температура воздуха (ºС). В этих исследованиях скрытый поток теплота (испарение) вычислялся при помощи уравнения (1). Скрытый поток тепла также непосредственно измерялся при помощи газоанализатора закрытого типа. Оба значения скрытого потока тепла были аналогичными.

Первичная обработка данных проводилась с помощью программного пакета MatLab версии 6.0.0.88 Release 12. Данные обрабатывались в среде электронной таблицы Microsoft Excel 2002 из пакета Microsoft Office с использованием макроса-дополнения XLSTAT-Pro. Статистическая поверка данных велась в пакете StatSoft Statistica 6.0. Использовались таблицы критериев Фишера и критических значений R^2 по В.Р. Бараз (Бараз, 2005). Использованы материалы с порталов http://www.statistica.ru и http://www.statsoft.ru.

Все программные продукты приобретены в рамках и при поддержке международных проектов PIN-Matra (Нидерланды), TCOS-Siberia (ЕвроСоюз-10) и CREST (Япония).

3 Запасы углерода в лиственничных лесах Центральной Якутии

Обобщенная оценка запасов $C_{орг}$ и $N_{орг}$ на территории северного полушария представлена в таблице 3. Усредненные запасы $C_{орг}$ в верхнем метровом слое в зависимости от приуроченности к ландшафту можно расположить в следующий ряд (кг/м^2): бореальные леса – 22,8; лесотундра и тундра – 23,6. В региональной последовательности большими запасами углерода обладают зоны Аляски и Канады – до 70,0 кг $C_{орг}$/м^2, за ними следуют Центральная Сибирь (35,6 кг/м^2), север Европейской части России (24,5 кг/м^2) и Северо-Восточная Сибирь (22 кг/м^2). Якутия, являясь в географическом понимании крупным регионом России обладает гетерогенностью почвенного покрова и разнообразными природными ландшафтами, что подразумевает широкий диапазон изменения запасов углерода от 7,9 до 35 кг/м^2 в верхнем метровом слое.

Для нас наибольший интерес представляли слои глубже 1 метра, находящиеся в многолетнемерзлом состоянии долгое время, поскольку аккумуляция органического вещества осуществлялась не только в деятельном слое, но и в многолетнемерзлых толщах, которые могут содержать значительные количества Сорг и Nорг. Следует принять во внимание, что при современном состоянии климата возможно оттаивание сверху многолетнемерзлых пород в результате повышения температуры, а это усилит минерализацию органического вещества почвы в виде CO2. Наши расчеты показали (см.

Таблица 3 показано, что депонированный $C_{орг}$ в верхней 3-хметровой толще составляет 15,5–29,0% от общих запасов углерода в почве. В 2-х метрах заключено 30,0–40,5% углерода, а в первом метре 34,2–55,0%. Как видно, наибольшими запасами $C_{орг}$ располагает верхний метровый слой почвы за счет наличия в нем полуразложившихся и разложившихся древесных и растительных остатков, в том числе наличия корней. Присутствие запасов в нижних слоях объясняется тем, что в условиях пониженных температур $C_{орг}$ содержится в устойчивых соединениях и его накопление во втором, и в третьем метре почвы не связано напрямую с обогащением их органическим веществом. В результате гравитационных и криогенных миграций подвижные гумусовые вещества проникают вглубь по почвенной толщи к многолетнемерзлым породам. Следовательно, гумусовые вещества при замедленной скорости разложения в условиях низких температур постепенно накапливаются вниз по профилю.

Таблица 3 – Сравнительная оценка запасов органического углерода и общего азота в различных регионах северного полушария

Регион	Зона	Почвы	Слой почвы, см	Запасы $C_{орг}$, кг/м^2	Запасы $N_{общ}$, кг/м^2	Литературные источники
Аляска	Бореальные леса	Торфяники	0-100	16,0 – 23,9	Не оценивались	G. Grosse et al., 2011 [5]
	Тундра			9,0 – >50		
	Бореальные леса	Камбисоли		13,5		C.L. Ping et al., 2010 [6]
		Подзолы		16,8		
		Глейсоли		26,2		
		Криоземы		43,3		
	Тундра, оз. Хили	Гелисоли		50,0		C.E. Hicks Pries et al., 2012 [7]
	Тундра, арктическая прибрежная равнина	Гелисоли		69,9		J.G. Bockheim, 2007 [4]
		Гелисоли		16,9		
	р. Иткиллик	Ледовый комплекс	0-100 100-1350 1350-3130 0-3130	32,5 29,4 79,9 141,8	Не оценивались	M. Kanevskiy et al., 2011 [8]
Северная Америка (Аляска и Канада)	Не указана	Гелисоли	0-100 100-200 200-300 0-300	70,0 50,0 40,0 160,0	6,9	J.W. Harden et al., 2012 [9]
		Гелисоли	0-100 100-200 200-300 0-300	45,0 33,0 32,0 110,0	7,5	
		Гелисоли	0-100 100-200 200-300 0-300	39,0 21,0 11,0 71,0	4,6	
Канада	Бореальные леса	Турбик криосоли	0-100	6,0 – >50	Не оценивались	G. Grosse et al., 2011 [5]
	Тундра	Гелисоли		6,0 – >50		
Северо-Восточная Европейская часть России (Республика Коми)	Еловый лес	Гистосоли/Альбелювисоли	0-100	16,0	Не оценивались	P. Kuhry et al., 2002 [10]
	Лесотундра	Гистосоли	0-100	24,5		G. Hugelius et al., 2011 [11]
Центральная Сибирь (Красноярский край)	Горная лесотундра, плато Путорана	Глееземы	0-100	35,6	1,46	Y. Matsuura et al., 1997 [12]
Среднее по Восточной Сибири	Земли покрытые лесом	Не указано	0-100	16,5	1,43	О.В. Честных и др., 2004 [13]
	Земле не покрытые лесом	Не указано		16,1	1,25	

Продолжение таблицы 3

Регион	Зона	Почвы	Слой почвы, см	Запасы $C_{орг}$, кг/м^2	Запасы $N_{общ}$, кг/м^2	Литературные источники
Среднее (Центральная и Восточная Сибирь, Центральная Аляска)	Не указана	Гелисоли	0-100 0-300	8,8 18,4	Не оценивались	P. Kuhry et al., 2013 [14]
		Гелисоли	0-100 100-200 0-300	21,2 20,7 58,1	Не оценивались	
		Гелисоли	0-100 0-300	5,1 5,3	Не оценивались	
Северо-Восточная Сибирь (Якутия)	Колымская низменность	Криоземы типичные	0-100	14,9	Не оценивались	Н.С. Мергелов, В.О. Таргульян, 2011 [15]
		Криоземы грубогумусированные		12,1		
		Аллювиальные дерновые		35,0		
		Торфяно-глееземные		30,5		
		Криоземы перегнойные		14,0		
		Криоземы глееватые		11,4		
		Торфяно-криоземные глеевые		14,8		
		Глееземы		10,0		
	Дуванный яр, р. Колыма	Палеокриопочвы	0-100	31 - 63		J. Strauss et al., 2012 [16]
Северо-Восточная Сибирь (Якутия), Оймякон	Горная лесотундра	Арктические пустынные	0-100	21,6	1,15	Y. Matsuura et al., 1997 [12]
Северная Якутия	Горная тундра	Не указано	0-100	7,9	Не оценивались	О.В. Честных и др., 1999 [13]
	Арктическая тундра	Не указано		9,2		
	Типичная тундра	Не указано		10,4		
	Южная тундра	Не указано		12,1		
	Лесотундра	Не указано		14,5		
	Не указано	Среднее по всем типам почв	0-300	50-100	Не оценивались	E.A.G. Schuur et al., 2015 [17]
Северо-Восточная Сибирь (Якутия)	Лесотундра, редкостойная и северная тайга	Криоземы, палевые	0-100	22,0	Не оценивались	Д.Г. Щепащенко и др., 2013 [4]
	Средняя тайга	Мерзлотно-таёжные		15,9		
Центральная Якутия (правый берег р. Лена), полигон Юкэчи	Бореальные леса	Палевые	0-100 100-200 200-250 0-250	17,1 15,3 6,3 38,7	1,03 0,75 0,35 2,13	Настоящая работа

Продолжение таблицы 3

Регион	Зона	Почвы	Слой почвы, см	Запасы $C_{орг}$, кг/м^2	Запасы $N_{общ}$, кг/м^2	Литературные источники
Северо-Восточная Европейская часть России. Северо-Восточная Сибирь. Казахстан. Монголия. Северная Америка (Аляска и Канада). Скандинавия, Гренландия, Исландия	Средние данные по циркумполярной мерзлотной зоне	Гелисоли	0-100 100-200 200-300 0-300	67,2 62,0 41,5 170,7	Не оценивались	C. Tarnocai et al., 2009 [18]
		Гелисоли	0-100 100-200 200-300 0-300	61,0 53,1 45,1 159,2		
		Гелисоли	0-100 100-200 200-300 0-300	142,6 142,5 67,0 352,1		
		Гелисоли	0-100 100-200 200-300 0-300	49,3 43,6 24,8 117,7	Не оценивались	G. Hugelius et al., 2014 [11]

Другой причиной, нахождения запасов углерода в нижележащих слоях является то, что в верхних частях многолетнемерзлой толщи находится законсервированный $C_{орг}$. По определению радиоуглеродной лаборатории Института мерзлотоведения СО РАН аналогичные отложения ледового комплекса зоны сочленения Тюнгюлюнской террасы р. Лены с Абалахской равниной на Лено-Амгинском междуречье имеют абсолютный возраст от 13700±530 до 22300±1200 лет, то есть ледовый комплекс в этом районе образовался в позднем плейстоцене.

Общие запасы $N_{орг}$ в почвах изменяются в очень широких пределах в зависимости от биоклиматических условий. В составе гумуса почв азота содержится малое количество 5–10%, но его общее содержание, например, для условий суб-бореального пояса в почвах тем выше, чем они богаче углеродом. Этого нельзя сказать об экосистемах умеренно-холодного климата, к которым принадлежат бореальные леса и мерзлотные почвы. Процессы деструкции и минерализации органического вещества в них происходят в основном в верхнем ежегодно оттаивающем слое, а микробиологическая активность почвы имеет низкие показатели, поэтому значительное количество азота находится в составе трудноразлагаемого органического вещества. Вследствие этого наблюдаются незначительные запасы общего азота по всем изученным слоям почвы (рисунки 12 и 13).

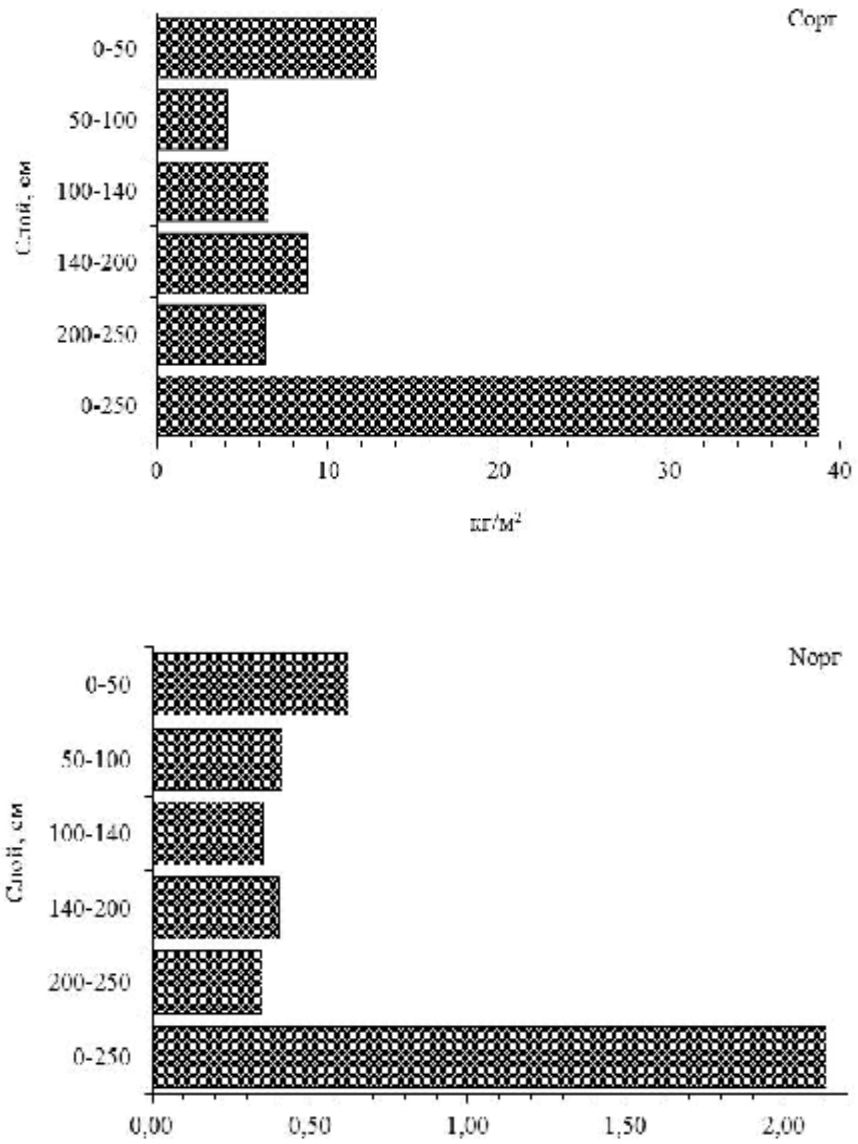

Рисунок 12 – Изменение запасов $C_{орг}$ и $N_{орг}$ по слоям почвы, кг/м^2

Так, при наших исследованиях в Мегино-Кангаласском районе Центральной Якутии запасы $N_{орг}$ в слое почвы 0–250 см составляли 2,13 кг/м^2, тогда как в Аляске и Канаде средние запасы $N_{орг}$ находятся в пределах 6,33 кг/м^2, то есть почти в 3 раза больше. В лесотундре Восточной Сибири в одном метре сосредоточено порядка 1,46 кг $N_{орг}$/м^2, на Северо-Востоке Сибири (Центральная Якутия) – 1,03 кг $N_{орг}$/м^2.

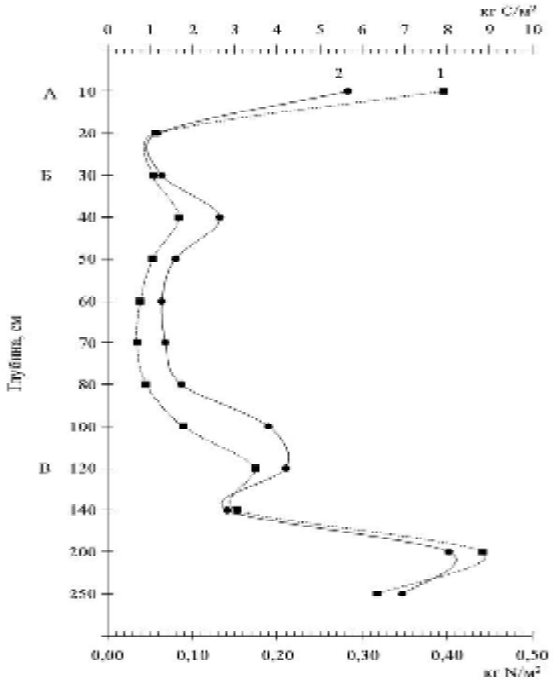

Рисунок 13 – Профильное распределение запасов $C_{орг}$ и $N_{орг}$ в толще мерзлотной палевой почвы на ледовом комплексе: 1 – $C_{орг}$; 2 – $N_{орг}$. Горизонт: А – органогенный (0–10 см); Б – органоминеральный (10–30 см); В – минеральный (30–120 см)

В таблице 4 приведены средние величины запасов $C_{орг}$ и $N_{орг}$ в мерзлотной палевой оподзоленной почве на ледовом комплексе. Значения средних запасов углерода и азота, в результате дифференциации элементарных слоев принятой в мерзлотоведении, значительно отличаются между собой. Так, максимальными запасами обладает деятельный слой, в котором сосредоточено 20,5% $C_{орг}$ и 1,24% $N_{орг}$ от общих запасов в почве. В защитном (переходном) слое – 11,9% и 0,54% соответственно. Минимальные запасы $C_{орг}$ и $N_{орг}$ приурочены к многолетнемерзлой толще (6,3% и 0,35% соответственно). Полученные нами величины находятся в пределах варьирования литературных оценок.

Таблица 4 – Распределение запасов и среднее содержание углерода и азота органического вещества почвы в ледовом комплексе

Слой, см	Запасы, кг/м^2		Содержание, %		C/N
	$C_{орг}$	$N_{орг}$	$C_{орг}$	$N_{орг}$	
Деятельный (0–120)	20,5	1,24	3,0	0,14	21
Защитный (120–200)	11,9	0,54	1,2	0,06	20
Многолетнемерзлый (200–250)	6,3	0,35	1,0	0,05	20

Помимо приведенных общих запасов $C_{орг}$ и $N_{орг}$ в почве, мы посчитали, что целесообразно показать средние запасы для минеральных горизонтов без учета органогенного и органоминерального. Следовательно, за начальный отсчет был взят первый минеральный горизонт, залегающий непосредственно под органоминеральным (рисунок 13). При совокупности минеральных горизонтов, относящихся к деятельному слою (от 30 до 120 см) средние запасы $C_{орг}$ и $N_{орг}$ составили – 1,4 и 0,12 кг/м^2 соответственно. По мере «углубления» к многолетнемерзлым породам (защитному слою, от 120 до 200 см) средние запасы $C_{орг}$ увеличивались в 4 раза (5,9 кг/м^2), а для $N_{орг}$ в 2,5 раза (0,27 кг/м^2). В верхней части многолетнемерзлой толщи (от 200 до 250 см), такого значительного и резкого перехода не наблюдалось, как это было между деятельным и защитным слоями. Средние запасы $C_{орг}$ составляли 6,3 кг/м^2, $N_{орг}$ – 0,35 кг/м^2.

Отношение C/N служащее показателем обогащенности гумуса азотом, составляет в деятельном слое 21, но с глубиной, оно немного снижается. Это свидетельствует о том, что почва в целом обеднена азотом и косвенно указывает на низкую минерализацию органического вещества в мерзлотных почвах. Высокое содержание углерода и низкое азота в почве, способствует слабому разложению микроорганизмами поступающего и законсервированного органического материала. Обусловлено это, снижением процесса аммонификации на бедных азотом средах. В условиях же умеренно-холодного климата, минерализационные процессы органического вещества почвы протекают в замедленном ритме. За короткий летний период, лишь малая часть органического вещества разлагается до углекислого газа, воды и минеральных солей. В результате этого на поверхности почвы накапливается слой слаборазложившихся растительных и животных остатков в виде органогенного горизонта, что и наблюдалось в наших исследованиях.

Определение коэффициентов корреляции между запасами $C_{орг}$ и $N_{орг}$ с плотностью почв свидетельствуют о наличии тесной зависимости изучаемых показателей (таблица 5).

Таблица 5 – Коэффициенты корреляции запасов органического углерода и азота с плотностью почв

Показатель	Содержание $C_{орг}$ и $N_{орг}$, кг/м^2			Плотность, г/см^3	r	$S\overline{x}$	+05
	сред.	макс.	мин.				
Запасы $C_{орг}$ с плотностью	3,3	9,8	0,7	1,22 ± 0,04	1,0	0,5	4,3
Запасы $N_{орг}$ с плотностью	0,17	0,41	0,06		0,94	0,02	0,21

Примечание. r – коэффициент корреляции; $S\overline{x}$ и ± – стандартная ошибка среднего; +05 – доверительный интервал для уровня вероятности 95%.

Таким образом, суммарные запасы органического углерода и азота исследованных в мерзлотных почвах Центральной Якутии на глубине 250 см оцениваются в 38,7 и 2,13 кг/м^2 соответственно. Значительная часть запасов сосредоточено в деятельном слое почвы (53% углерода и 58% азота). В защитном слое депонировано 31% и 25%. Меньше всего запасов $C_{орг}$ и $N_{орг}$ содержится в верхней многолетнемерзлой толще – 16% для каждого показателя. Высокое отношение C/N – 21 указывает на замедленную минерализацию органического вещества в условиях бореального пояса и на низкое содержание азота в мерзлотных почвах.

Ценность изучения органического вещества в мерзлотных почвах и его запасов в толще деятельного слоя, и нижележащих многолетнемерзлых породах представляет особый научный интерес. При этом важно учитывать разнородность ландшафтов и их обширный ареал для оперативной оценки состояния и потоков органического вещества почв в условиях меняющегося климата. Безусловно, что необходима постановка дальнейших исследований органического вещества в мерзлотных почвах на глубинах ниже одного метра.

4 Сравнительная характеристика круговорота углерода в мерзлотных экосистемах на Северо-Востоке России и их связь с климатическими изменениями

4.1 Лесная научная станция «Спасская падь», Центральная Якутия

Фотосинтетическая деятельность лесных растений. В опытном лиственничном лесу на станции ИБПК СО РАН «Спасская Падь» (62°15' с.ш., 129°37' в.д.) измерялась ассимиляция CO_2 подростами типичных доминантных видов растительности (*Larix cajanderi*, *Betula platyphylla*, *Salix spp*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Acrtous erythrocarpa*) в целях сравнения полученных величин и паттернов с данными эдди-ковариационного потока CO_2 над лесом.

Наибольший и разнообразный по величине темп поглощения CO_2 наблюдался в первом активном месяце сезона роста – июне, в среднем до 8-12 мкмоль $м^{-2}$ $с^{-1}$ для плосколистных пород (береза, ива) и до 6-8 мкмоль $м^{-2}$ $с^{-1}$ для хвойной (лиственница). Указанные пертурбации в поглощении CO_2, по всей вероятности, связаны с активным ростом и развитием растительности в начале сезона вегетации. В дальнейшем, в июле-августе, CO_2-ассимиляция приобретает относительно небольшой и равномерный ход для всех растений, не превышающий 5-6 мкмоль $м^{-2}$ $с^{-1}$.

По сравнению с многолетними данными по лиственнице, полученные величины находятся в среднем диапазоне значений для этого вида. Плосколистные породы в течение всего сезона незначительно, но стабильно преобладали над хвойной лиственницей, а растительность нижнего яруса находилась в нижней зоне величин (до 3-4 мкмоль $м^{-2}$ $с^{-1}$).

В части суточной вариации, каких-либо отличий от обычной динамики нет – максимум CO_2-ассимиляции в утренние часы от 7 до 10, после чего идет равномерный спад поглощения до дыхания в вечерние часы.

В начале сезона (начало-середина июня) корреляция поглощения CO_2 с солнечной радиацией в течение дня не столь существенна (линейный коэффициент Пирсона r=0,5-0,7), определяющую роль играет устьичная проводимость. В середине сезона (конец июня-июль) влияние *ФАР* повышается, а в конце сезона (август) практически все значимые параметры ((фотосинтез, ФАР, углекислотный пул, температура листа) в высокой степени взаимокоррелируют.

Потоки метана и углекислого газа в лиственничном лесу. Эдди-ковариационные результаты по потоку CO_2 над лесом находятся в процессе обработки, после получения которых можно будет провести сравнительный анализ данных. Данная часть работ

затруднена тем, что по техническим причинам большая часть эдди-ковариационных данных может отсутствовать в связи с демонтажем научного оборудования из-за поломки части фундамента микрометеорологической вышки в середине сезона.

По результатам наших исследований, величины потоков, измеренных новым методом вихревой ковариации над пологом леса, были весьма изменчивы, а усредненные величины потоков были слегка положительными. Кроме того, в частности, летом 2017 года мы наблюдали сильно выраженные суточные изменения потоков метана, показывающие максимальную эмиссию метана в дневное время.

Несмотря на обнаруженную четкую суточную вариацию нескорректированных потоков метана, с отрицательными величинами в дневное время (отражающих поглощение метана лесной экосистемой), после применения WPL-коррекции (Webb–Pearman–Leuning correction; компенсирующей влияние изменений температуры и давления водяных паров на флуктуации концентрации метана, и проведённой в соответствии с Webb et al., 1980), величина потока метана изменилась до практически нулевого значения (рисунок 14).

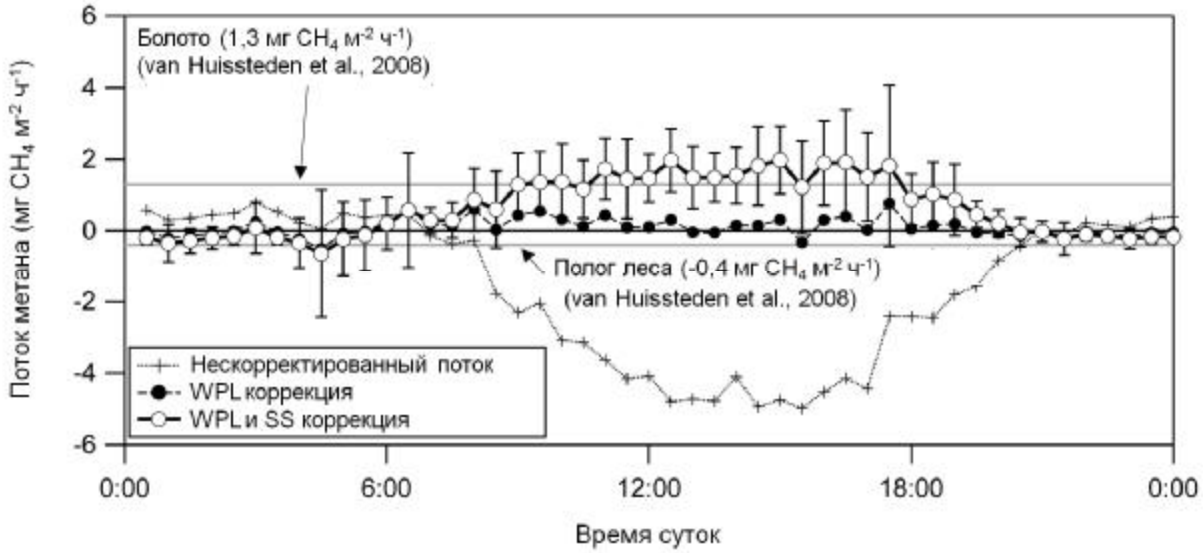

Рисунок 14 – Суточная вариация усредненного потока метана (CH_4) над лиственничным лесом на лесной научной станции Спасская Падь, Якутск
(1-12 июня 2017 г.)

Изменения температуры и давления газа также вызывают изменения формы линий поглощения и распределения спектров и требуют специальной спектроскопической коррекции. В случае расчетов величин, полученных с помощью новых газоанализаторов открытого типа, таких, как использованный нами прибор LI-7700 (производства Li-Cor Biosciences, США), подобную коррекцию необходимо проводить как для мольной

концентрации, так и для плотности газа. После применения спектроскопической коррекции (SS-correction), разработанной Rella и др. (2010) и McDermitt и др. (2011), величина потока метана стала положительной (отражая эмиссию метана из лесной экосистемы).

Вышесказанное означает, что примененные нами поправки могут изменить наблюдаемый баланс поток метана от поглощения к эмиссии, с максимальным значением, эквивалентным эмиссии метана из мезо-олиготрофных болот (van Huissteden et al., 2008).

Для уточнения характеристик баланса метана в этом лесу, необходимо дальнейшее продолжение исследований.

Было проведено сравнительное исследование величины потоков CO_2, полученные тремя методами "снизу вверх" (инструментальные измерения с помощью системы едди-ковариации (ЕС), биогеохимическая модель (БМ) и управляемая данными модель (УМ), а также методом "сверху-вниз" (модель атмосферные инверсии, ИНВ) за 2004-2017 годы. Лиственничные экосистемы в Центральной Якутии при использовании всех методов показывают чистое поглощение CO_2. Разумеется, потоки углекислого газа, измеренные различными методами в значительной степени варьируют как в глобальном, так и в региональном масштабах. Лиственничные экосистемы в Центральной Якутии при использовании всех методов показывают чистое поглощение CO_2. Средняя величина за 2004-2007 гг. составляла 10,9 г $C \cdot м^2 \cdot мес^{-1}$ при использовании ЕС, 4,28 г $C \cdot м^2 \cdot мес^{-1}$ по БМ, 5,62 г $C \cdot м^2 \cdot мес^{-1}$ и 0,863 г $C \cdot м^2 \cdot мес^{-1}$ по УМ на двух разных масштабах, и 4,89 г $C \cdot м^2 \cdot мес^{-1}$ по ИНВ. Поглощение в летний период (июнь-август) было меньше при использовании трех методов «снизу-вверх» (в диапазоне от 88,1 до 191,8 г $C \cdot м^{2} \cdot мес^{-1}$), чем при использовании метода «сверху-вниз» (223,6 г $C \cdot м^2 \cdot мес^{-1}$). Таким образом, пиковые амплитуды сезонных циклов больше для инверсионных моделей, чем для методов «снизу вверх». Среднемесячные значения сезонных циклов нивелированы во всех четырех методах в диапазоне межмодельных вариаций.

Межгодовая изменчивость, оцененная при помощи совокупности инверсионных моделей и моделей на основе данных в масштабе изученных участков (диапазон max-min составил 35,8 г $C \cdot м^2 \cdot мес^{-1}$ и 34,2 г $C \cdot м^2 \cdot мес^{-1}$) более похожа на данные, полученные при помощи наблюдательных вышек (42,4 г $C \cdot м^2 \cdot мес^{-1}$), чем биогеохимических моделей и моделей на основе данных в больших масштабах (9,5 г $C \cdot м^2 \cdot мес^{-1}$ и 1,45 г $C \cdot м^2 \cdot мес^{-1}$). Инверсионные модели (ИНВ) и методы едди-ковариации (ЕС) показывают сокращение поглощения CO_2 из-за аномального заболачивания после 2008 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В промежуточном отчете представлены результаты исследований 2017 года по изучению биогеохимического цикла углерода в лиственничном лесу в якутском секторе криолитозоны. Произведен анализ ретроспективного и современного состояния климата, выявлены биогеохимические особенности средне-продуктивных лесных экосистем Центральной Якутии, оценены углеродные и азотные пулы почв Центральной Якутии.

За последние десятилетия в Якутии отмечается заметное потепление климата. Наибольшее повышение температуры воздуха в регионе произошло в 1980-е годы. С середины 1990-х годов потепление климата в некоторых районах Центральной Якутии явно приостановилось, но среднегодовые температуры воздуха остаются на прежнем высоком уровне. Тренды в целом за период 1966-2009 гг. заметно уменьшились по сравнению с периодом 1966-1995 гг. Отмечено уменьшение континентальности в Центральной Якутии за последние десятилетия. В таких пунктах, как Якутск— это уменьшение статистически значимо.

Атмосферные осадки на данном этапе исследования не изменили общую картину, которая наблюдалась за последние 100 лет. Отмечается большая изменчивость, как в годовых, так и в летних суммах осадков от года к году, но четкой тенденции к их понижению или повышению не отмечается. Характеристики снежного покрова в Центральной Якутии в период 1966-2009 гг. в целом оставались на уровне многолетних средних. Нет явной тенденции увеличения или уменьшения высоты и продолжительности залегания снежного покрова. Сроки образования и разрушения устойчивого снежного покрова находятся в пределах естественной изменчивости. В тоже время в некоторых пунктах в последние годы усилилась межгодовая изменчивость отдельных характеристик снежного покрова.

Повышение температуры грунтов в первой половине 1980-х и в начале 1990-х годов вызвало существенные изменения антропогенных мерзлотных ландшафтов, в первую очередь в открытых местностях. Активизировались криогенные процессы, особенно в ранее сформированных термокарстовых понижениях. Местами развитие термокарста стало необратимым. Обводнение термокарстовых озер вызвало подтопление окружающего межаласья и расширение озера.

В температурном режиме естественных лесных ландшафтов изменения произошли, но не достигли критических значений и не вызвали активизацию криогенных процессов. Защитный слой, сформированный после голоценового оптимума, сохраняет свою функцию предохранения от деградации мерзлых пород.

Происходящие изменения климата и окружающей среды в Якутии фиксируются общественным сознанием и уже оказывают воздействие на многие традиционные виды деятельности, условия труда и отдыха населения. Респонденты отмечают потепление зимы и похолодание лета. Происходящие изменения влияют на повседневную жизнь и часто не лучшим образом. Исследование позволило установить высокий уровень тревожности относительно возникновения чрезвычайных ситуаций, обусловленных изменением климата и окружающей среды, причём подавляющее большинство жителей Якутии к ним не готовы.

Суммарные запасы органического углерода и азота исследованных в мерзлотных почвах Центральной Якутии на глубине 250 см оцениваются в 38,7 и 2,13 кг/м^2 соответственно. Значительная часть запасов сосредоточено в деятельном слое почвы (53% углерода и 58% азота). В защитном слое депонировано 31% и 25%. Меньше всего запасов $C_{орг}$ и $N_{орг}$ содержится в верхней многолетнемерзлой толще – 16% для каждого показателя. Высокое отношение C/N – 21 указывает на замедленную минерализацию органического вещества в условиях бореального пояса и на низкое содержание азота в мерзлотных почвах.

Ценность изучения органического вещества в мерзлотных почвах и его запасов в толще деятельного слоя, и нижележащих многолетнемерзлых породах представляет особый научный интерес. При этом важно учитывать разнородность ландшафтов и их обширный ареал для оперативной оценки состояния и потоков органического вещества почв в условиях меняющегося климата. Безусловно, что необходима постановка дальнейших исследований органического вещества в мерзлотных почвах на глубинах ниже одного метра.

Прослежена вариабельность суточной и сезонной CO_2-ассимиляции доминантных видов растительности разных ярусов в типичном лиственничнике Центральной Якутии.

Показано, что поглощение CO_2 происходит наиболее активно (до 8-12 мкмоль м$^{-2}$ с$^{-1}$ в целом) в первом месяце сезона вегетации (июнь), после чего стабилизируется на среднем уровне около 5-6 мкмоль м$^{-2}$ с$^{-1}$. При этом, плосколистные породы незначительно, но стабильно преобладают над лиственницей в течение всего сезона, а растительность подстилки показывает наименьшие темпы CO_2-ассимиляции.

Максимум суточного усвоения CO_2 происходит в утренние часы от 7 до 10 ч, после чего идет равномерный спад поглощения углекислоты до дыхания в вечерние часы.

На основании сравнительного анализа сезонных паттернов физиолого-биохимических параметров и исследований составляющих углеродного газообмена мерзлотных экосистем обоснованы адаптивные механизмы, лежащие в основе

продукционного процесса растений криолитозоны. В начале сезона (начало-середина июня) корреляция поглощения CO_2 с солнечной радиацией в течение дня не столь существенна (линейный коэффициент Пирсона r=0,5-0,7), определяющую роль играет устьичная проводимость. В середине сезона (конец июня-июль) влияние ФАР повышается, а в конце сезона (август) практически все значимые параметры (фотосинтез, ФАР, углекислотный пул, температура листа) в высокой степени взаимокоррелируют.

Изменения температуры и давления газа также вызывают изменения формы линий поглощения и распределения спектров и требуют специальной спектроскопической коррекции. В случае расчетов величин, полученных с помощью новых газоанализаторов открытого типа, таких, как использованный нами прибор LI-7700 (производства Li-Cor Biosciences, США), подобную коррекцию необходимо проводить как для мольной концентрации, так и для плотности газа. После применения спектроскопической коррекции (SS-correction), разработанной Rella и др. (2010) и McDermitt и др. (2011), величина потока метана стала положительной (отражая эмиссию метана из лесной экосистемы).

Было проведено сравнительное исследование величины потоков CO_2, полученные тремя методами "снизу вверх" (инструментальные измерения с помощью системы едди-ковариации (ЕС), биогеохимическая модель (БМ) и управляемая данными модель (УМ), а также методом "сверху-вниз" (модель атмосферные инверсии, ИНВ) за 2004-2017 годы. Лиственничные экосистемы в Центральной Якутии при использовании всех методов показывают чистое поглощение CO_2. Разумеется, потоки углекислого газа (CO_2), измеренные различными методами в значительной степени варьируют как в глобальном, так и в региональном масштабах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 Гаврилова, М.К. Изменения современного климата области "вечной мерзлоты" в Азии / М.К. Гаврилова // Обзор состояния и тенденций изменения климата Якутии. препринт. – Якутск, 2003. – С. 7-17;

2 Завельская А.А., Зукерт Н.В., Полякова Е.Ю., Пряжников А.А. Прогноз влияния изменений климата на бореальные леса России // Лесоведение. – 1993. – №3. – С.16-24.

3 Hustich I. On the recent expansion of the Scotch Pine in northern Europe // Fennia. – 1958. – V.82. – P. 3-23;

4 Keuk G. Zuwachsuntersuchungen in Zusammen hang mit den gegenwartigen Waldschaden in Baben Wurtemberg // Air Pollut and Forest Decline. – Birmensdorf. – 1989. – P. 263-269;

5 Величко А.А., Гричук В.П., Зеликсон Э.М., Борисова О.К. К оценке динамики бореальных лесов при антропогенном потеплении климата // Международный Симпозиум «Северные леса: состояние, динамика, антропогенное воздействие". – Москва: Госкомлес СССР. – 1990. – С. 19-29;

6 Парниковый эффект, изменение климата и экосистемы. – Л.: Гидрометеоиздат. – С. 1989-555;

7 Максимов Т.Х. Круговорот углерода в лиственничных лесах Якутского сектора криолитозоны // Автореферат докторской диссертации. Красноярск. – 2007. – С. 46.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Перечень статей, опубликованных по тематике проекта в 2017-18 гг.

Публикация статьи в зарубежном рецензируемом журнале, входящим в список WoS и/или Scopus:

1. Peng Wang, Juul Limpens, Ake Nauta, Corine van Huissteden, Sophie Quirina van Rijssel, Liesje Mommer, Hans de Kroon, Trofim C. Maximov, Monique M.P.D. Heijmans / Depth-based differentiation in nitrogen uptake between graminoids and shrubs in an Arctic tundra plant community // Journal Of Vegetation Science. – Том: 29. – Выпуск: 1. – Стр. 34-41. ИФ: 2.658;
2. Tei C., Sugimoto A., Yonenobu H., Matsuura Y., Osawa A., Sato H., Fujinuma J., Maximov T. / Tree-ring analysis and modeling approaches yield contrary response of circumboreal forest productivity to climate change // Glob Change Biol. – 2017. – V. 23. – PP. 5179–5188. – DOI: 10.1111/gcb.13780. ИФ: 8,502;
3. Tei, S., Sugimoto, A., Liang, M., Yonenobu, H., Matsuura, Y., Osawa, A., Maximov, T. / Radial growth and physiological response of coniferous trees to Arctic amplification // Journal of Geophysical Research: Biogeosciences. – 122. – DOI: 10.1002/2016JG003745. ИФ: 3,395;
4. Li B., Heijmans M.M. P. D., Blok D., Wang P., Karsanaev S.V., Maximov T.C., van Huissteden J., Berendse F. / Thaw pond development and initial vegetation succession in experimental plots at a Siberian lowland tundra site // Plant And Soil. – 2017. – PP. 1–16. – DOI: 10.1007/s11104-017-3369-8. ИФ: 3,052;
5. Wang P., Heijmans M., Maksimov A., Maximov T., van Ruijven J., Berendse F., Mommer L. / Short-term root and leaf decomposition of two dominant plant species in a Siberian tundra // Pedobiologia - Journal Of Soil Ecology. – 2017. – V.65. – pp.58–67. – DOI: 10.1016/j.pedobi.2017.08.002. ИФ: 2,000;
6. Maitane Iturrate-Garcia, Monique M.P.D. Heijmans, Fritz H. Schweingruber, Trofim C. Maximov, Pascal A. Niklaus, Gabriela Schaepman-Strub / Shrub growth rate and bark responses to soil warming and nutrient addition – A dendroecological approach in a field experiment // Dendrochronologia. – Volume 45. – 2017. – Pages 12-22. ИФ: 2,363;
7. Ulrich M., Wetterich S., Rudaya N., Frolova L., Schmidt J., Siegert C., Fedorov A., Zielhofer C. / Rapid thermokarst evolution during the mid-Holocene in Central Yakutia // Holocene. – 2017. – V. 27. – I. 12. – P. 1899-1913. ИФ: 2,419.

Публикация статьи в отечественном рецензируемом журнале, входящим в базу РИНЦ:

1. Гаврильева Т.Н., Максимов Т.Х., Ноговицын А.В. / Корпоративные леса и модель углеродного регулирования в России // Новосибирск. – ЭКО. – 2017. – № 12 (522). – С. 113-126. ИФ: 0,692.

Научные статьи, доклады, тезисы докладов, изданные в сборниках материалов научных мероприятий:

1. Максимов Т.Х., Максимов А.П., Кононов А.В., Петров Р.Е., Терентьева М.П. / Пространственно-временные вариации основных составляющих углеродного цикла мерзлотных экосистем Северо-востока России // "Экспериментальная биология растений: фундаментальные и прикладные аспекты": сб. материалов докл. годичного собрания Общества физиологов растений России и науч. конф. Крым, г. Судак, 18-24 сентября 2017 г. – М., 2017. – С. 269.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Важнейший результат МНОЦ BEST в 2017-18 гг.

На основании сравнительного анализа составляющих углеродного газообмена мерзлотных экосистем обоснованы адаптивные механизмы, лежащие в основе продукционного процесса растений криолитозоны. Прослежена суточная и сезонная вариабельность процесса фотосинтеза у доминантных видов растительности разных ярусов в типичном лиственничном лесу Центральной Якутии.

Показано, что нетто-поглощение CO_2 происходит наиболее активно (до 8-12 мкмоль $м^{-2}$ $с^{-1}$ в целом) в начале вегетационного периода растений (июнь), после чего стабилизируется на среднем уровне около 5-6 мкмоль $м^{-2}$ $с^{-1}$. При этом, плосколистные породы деревьев, береза и ива, незначительно, но стабильно преобладают над лиственницей в течение всего сезона, а растительность подстилки показывает наименьшие темпы CO_2-ассимиляции.

Максимум фотосинтетической деятельности всего древостоя лиственницы наблюдается в утренние часы от 7 до 10 ч, после чего идет равномерный спад поглощения углекислоты до дыхания в вечерние часы.

Перечень целевых показателей НИП

1	Публикация научной статьи без дублирования с обязательным указанием СВФУ (делится на число авторов):
	а) в изданиях, индексируемых в БД Web of Science: 1. Peng Wang, Juul Limpens, Ake Nauta, Corine van Huissteden, Sophie Quirina van Rijssel, Liesje Mommer, Hans de Kroon, Trofim C. Maximov, Monique M.P.D. Heijmans / Depth-based differentiation in nitrogen uptake between graminoids and shrubs in an Arctic tundra plant community // Journal Of Vegetation Science. – Том: 29. – Выпуск: 1. – Стр. 34-41 Опубликовано: январь 2018 г. ИФ: 2.658. 2. Tei C., Sugimoto A., Yonenobu H., Matsuura Y., Osawa A., Sato H., Fujinuma J., Maximov T. / Tree-ring analysis and modeling approaches yield contrary response of circumboreal forest productivity to climate change // Glob Change Biol. – 2017. – V. 23. – PP. 5179–5188. – DOI: 10.1111/gcb.13780. ИФ: 8,502. 3. Tei, S., Sugimoto, A., Liang, M., Yonenobu, H., Matsuura, Y., Osawa, A., Maximov, T. / Radial growth and physiological response of coniferous trees to Arctic amplification // Journal of Geophysical Research: Biogeosciences. – 122. – DOI: 10.1002/2016JG003745. ИФ: 3,395. 4. Li B., Heijmans M.M. P. D., Blok D., Wang P., Karsanaev S.V., Maximov T.C., van Huissteden J., Berendse F. / Thaw pond development and initial vegetation succession in experimental plots at a Siberian lowland tundra site // Plant And Soil. – 2017. – PP. 1–16. – DOI: 10.1007/s11104-017-3369-8. ИФ: 3,052. 5. Wang P., Heijmans M., Maksimov A., Maximov T., van Ruijven J., Berendse F., Mommer L. / Short-term root and leaf decomposition of two dominant plant species in a Siberian tundra // Pedobiologia - Journal Of Soil Ecology. – 2017. – V.65. – pp.58–67. – DOI: 10.1016/j.pedobi.2017.08.002. ИФ: 2,000. 6. Maitane Iturrate-Garcia, Monique M.P.D. Heijmans, Fritz H. Schweingruber, Trofim C. Maximov, Pascal A. Niklaus, Gabriela Schaepman-Strub / Shrub growth rate and bark responses to soil warming and nutrient addition – A dendroecological approach in a field experiment // Dendrochronologia. – Volume 45. – 2017. – Pages 12-22. ИФ: 2,363. 7. Hirst C., Andersson P.S., Shaw S., Burke I.T., Kutscher L., Murphy M.J., Maximov T., Pokrovsky O.S., Mörth C-M., Porcelli D. / Characterisation of Fe-bearing particles and colloids in the Lena River basin, NE Russia // Geochimica Et Cosmochimica Acta. – 2017. – V. 213. – PP. 553-573. – DOI: 10.1016/j.gca.2017.07.012. ИФ: 4,609. 8. Ulrich M., Wetterich S., Rudaya N., Frolova L., Schmidt J., Siegert C., Fedorov A.N., Zielhofer C. 2017. Rapid thermokarst evolution during the mid-Holocene in Central Yakutia, Russia. Holocene, 27 (12), 1899-1913. DOI: 10.1177/0959683617708454. ИФ: 2.595. 9. Gorokhov, A.N., Fedorov, A.N. 2018. Current thernds in Climate Change in Yakutia. Geography and Natural Resources, 39, 2, 153-161. ИФ:0.776.
	б) в изданиях, индексируемых в БД Scopus с обязательным указанием СВФУ как организации: **11** 1. Peng Wang, Juul Limpens, Ake Nauta, Corine van Huissteden, Sophie Quirina van Rijssel, Liesje Mommer, Hans de Kroon, Trofim C. Maximov, Monique M.P.D. Heijmans / Depth-based differentiation in nitrogen uptake between graminoids and shrubs in an Arctic tundra plant community // Journal Of Vegetation Science. – Том: 29. – Выпуск: 1. – Стр. 34-41 Опубликовано: январь 2018 г. ИФ: 2.658.

2. Tei C., Sugimoto A., Yonenobu H., Matsuura Y., Osawa A., Sato H., Fujinuma J., Maximov T. / Tree-ring analysis and modeling approaches yield contrary response of circumboreal forest productivity to climate change // Glob Change Biol. – 2017. – V. 23. – PP. 5179–5188. – DOI: 10.1111/gcb.13780. ИФ: 8,502.
3. Tei, S., Sugimoto, A., Liang, M., Yonenobu, H., Matsuura, Y., Osawa, A., Maximov, T. / Radial growth and physiological response of coniferous trees to Arctic amplification // Journal of Geophysical Research: Biogeosciences. – 122. – DOI: 10.1002/2016JG003745. ИФ: 3,395.
4. Li B., Heijmans M.M. P. D., Blok D., Wang P., Karsanaev S.V., Maximov T.C., van Huissteden J., Berendse F. / Thaw pond development and initial vegetation succession in experimental plots at a Siberian lowland tundra site // Plant And Soil. – 2017. – PP. 1–16. – DOI: 10.1007/s11104-017-3369-8. ИФ: 3,052.
5. Wang P., Heijmans M., Maksimov A., Maximov T., van Ruijven J., Berendse F., Mommer L. / Short-term root and leaf decomposition of two dominant plant species in a Siberian tundra // Pedobiologia - Journal Of Soil Ecology. – 2017. – V.65. – pp.58–67. – DOI: 10.1016/j.pedobi.2017.08.002. ИФ: 2,000.
6. Maitane Iturrate-Garcia, Monique M.P.D. Heijmans, Fritz H. Schweingruber, Trofim C. Maximov, Pascal A. Niklaus, Gabriela Schaepman-Strub / Shrub growth rate and bark responses to soil warming and nutrient addition – A dendroecological approach in a field experiment // Dendrochronologia. – Volume 45. – 2017. – Pages 12-22. ИФ: 2,363.
7. Hirst C., Andersson P.S., Shaw S., Burke I.T., Kutscher L., Murphy M.J., Maximov T., Pokrovsky O.S., Mörth C-M., Porcelli D. / Characterisation of Fe-bearing particles and colloids in the Lena River basin, NE Russia // Geochimica Et Cosmochimica Acta. – 2017. – V. 213. – PP. 553-573. – DOI: 10.1016/j.gca.2017.07.012. ИФ: 4,609.
8. Анисимов О.А., Жильцова Е.Л., Жегусов Ю.И. Восприятие изменения климата в холодных регионах России: пример Якутии // Лед и снег. 2017. Т. 57. № 4. С. 565-574.
9. Ulrich M., Wetterich S., Rudaya N., Frolova L., Schmidt J., Siegert C., Fedorov A.N., Zielhofer C. 2017. Rapid thermokarst evolution during the mid-Holocene in Central Yakutia, Russia. Holocene, 27 (12), 1899-1913. DOI: 10.1177/0959683617708454 (последний номер 2017 г., не был учтен в прошлом году). ИФ: 2.595.
10. Gorokhov, A.N., Fedorov, A.N. 2018. Current thernds in Climate Change in Yakutia. Geography and Natural Resources, 39, 2, 153-161. ИФ:0.776
11. Shepelev, A., Fedorov, A., Cherepanova, A. 2018. Quantitative and qualitative composition of soil organic matter in samples of ice complex from Central Yakutia, Eastern Siberia. Applied and Environmental Soil Science. 9302743. https://doi.org/10.1155/2018/9302743

в) в изданиях, рецензируемых ВАК: **4**

1. Гаврильева Т.Н., Максимов Т.Х., Ноговицын А.В. / Корпоративные леса и модель углеродного регулирования в России // Новосибирск. – ЭКО. – 2017. – № 12 (522). – С. 113-126.
2. Жегусов Ю.И., Винокурова У.А., Местникова А.Е., Алексеева Г.Г. Индекс профессионального счастья студентов и преподавателей спортивного вуза: результаты социологического исследования // Журнал научных статей Здоровье и образование в XXI веке. 2017. Т. 19. № 12. С. 358-362. (ВАК)
3. Алексеева Г.Г., Винокурова У.А., Жегусов Ю.И., Местникова А.Е. Природно-культовые памятники Якутии как объект экологического волонтерства // Теории и проблемы политических исследований. 2017. Т.

	6. № 5А. С. 111-117. 4. Горохов А.Н., Федоров А.Н. Современные тенденции изменения климата в Якутии. География и природные ресурсы. 2018, №2, 111-119.
	г) в электронных сериях научного журнала «Вестник СВФУ» нет
	д) в изданиях, входящих в БД РИНЦ: **3** 1. Гаврильева Т.Н., Максимов Т.Х., Ноговицын А.В. / Корпоративные леса и модель углеродного регулирования в России // Новосибирск. – ЭКО. – 2017. – № 12 (522). – С. 113-126. ИФ: 0,692. 2. Жегусов Ю.И., Лыткин М.И. Трезвые села Якутии: Первые успехи. Антиалкогольная политика Российской Федерации как средство обеспечения национальной безопасности // Материалы I Всероссийской научно-практической конференции. Якутск, 2018. С. 183-187. 3. Жегусов Ю.И., Корякина З.И. Аналитическая справка изучения общественного мнения о Законе Республики Саха (Якутия) “Об ответственном родительстве”. Ответственное родительство: социальные и правовые аспекты Сборник материалов круглого стола. сост. А.А. Павлова, З.И. Корякина. Казань, 2018. С. 22-30.
2	Количество цитирования статей автора за предыдущий календарный год:
	а) в БД Web of Science и /или Scopus **- 238 / 251** в т.ч. Максимов Т.Х. – 144/ 152, Федоров А.Н – 94 / 99
	б) в БД РИНЦ **- 15** в т.ч. Максимов Т.Х. – 6, Федоров А.Н. – 4, Жегусов Ю.И. – 5
3	Подготовка и издание научной монографии (не за счет университета), утвержденной НТС СВФУ:
	а) авторская монография, включенная в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) и размещенная в Научной электронной библиотеке **нет**
	б) монография, размещённая в международных базах данных Web of Science и Scopus – **1** 1. Water-Carbon Dynamics in Eastern Siberia. Springer, 2018. Editors: Prof. Dr. Takeshi Ohta, Prof. Dr. Tetsuya Hiyama, Dr. Yoshihiro Iijima, Dr. Ayumi Kotani, Dr. Trofim C Maximov.
4	Защита диссертации аспирантом или соискателем (по факту защиты):
	– кандидатская **Нет**
	– докторская **нет**
5	Научное руководство аспирантом / докторантом (или соискателем) (для аспирантов и соискателей не более 3 (очной формы), 4 (заочной формы) лет, для докторантов не более 5 лет):
	– кандидатская **Нет**
	– докторская **Нет**
6	Подготовка отзыва ведущей организации:
	а) на кандидатскую диссертацию **нет**
	б) на докторскую диссертацию **нет**

7	Оппонирование диссертации на соискание:
	а) ученой степени кандидата наук - **2** 1. Тимохина А.В. «Динамика концентрации атмосферного диоксида углерода над среднетаежными экосистемами Приенисейской Сибири (по данным измерений на обсерватории “ZOTTO”)». Красноярск, СФУ и ФИЦ КНЦ СО РАН (03.02.08 – Экология) – д.б.н. Максимов Т.Х., официальный оппонент. 2. Кириллина К.С. «Разработка региональной климатической программы для Республики Саха (Якутия)». СПб: РГГУ, 2018. (25.00.30 – Метеорология, климатология, агрометеорология) – к.г.н. Федоров А.Н., официальный оппонент.
	б) ученой степени доктора наук – **нет**
8	Результаты интеллектуальной деятельности, имеющие государственную регистрацию и (или) правовую охрану:
	а) патенты на изобретения, полезные модели, промышленные образцы **нет**
	б) свидетельство о государственной регистрации программного обеспечения, баз данных ЭОР **нет**
	в) регистрация секретов производства (ноу-хау) в режиме коммерческой тайны на базе вуза **нет**
9	Участие в научных грантах, хоздоговорных работах (согласно представлению руководителя делится на число исполнителей):
	а) на личный грант – **2** 1. 18-05-60005 Арктика. Экосистемы и природопользование в арктических регионах России в контексте стратегий адаптации к изменению климата и устойчивого развития. – д.б.н. Максимов Т.Х. 2. РФФИ 18-45-140046 р_а: Создание ГИС-моделей эволюции мерзлотных ландшафтов Республики Саха (Якутия) – к.г.н. Федоров А.Н.
	б) на гранты РНФ, конкурсы ФЦП и МОиН РФ **нет**
	в) на другие гранты **нет**
	Участие в реализации НИР (на исполнителей по решению руководителя проекта)
	г) в грантах и х/д до 100 тыс. рублей **нет**
	д) в грантах и х/д от 100 тыс. до 1 млн. рублей **нет**
	е) в грантах и х/д от 1 до 3 млн. рублей – **1** 1. Разработка рекомендаций по глубине прокладки волоконно-оптического кабеля (ВОК) в грунт в Амгинском, Мегино-Кангаласском, Усть-Алданском, Хангаласском, Чурапчинском, Таттинском, Олёкминском районах РС(Я) и определение механических характеристик ВОК, удовлетворяющих прокладке кабеля по территориям распространения вечной мерзлоты РС(Я) (с РОСТЕЛЕКОМ)- к.г.н. Федоров А.Н.
	ж) в грантах и х/д от 3 до 5 млн. рублей – **нет**
	з) в грантах и х/д от 5 до 8 млн. рублей **нет**

	и) в грантах и х/д свыше 8 млн. рублей - **1** 1. Оценка и прогноз динамики геокриологической обстановки, разработка рекомендаций по предупреждению или минимизации воздействия опасных криогенных и инженерно-геокриологических процессов на линейные сооружения в полосе отвода магистрального газопровода «Сила Сибири» в условиях меняющегося климата (ИФТПС СО РАН - ООО «Газпром трансгаз Томск») - к.г.н. Федоров А.Н..
10	Руководство НИРС:
	а) руководство научной публикацией студента/привлечение студента в качестве соавтора (делится на количество авторов-преподавателей, одна статья считается только один раз):
	- в изданиях, индексируемых Web of Science/Scopus в соавторстве со студентом; **Нет**
	- в изданиях, рецензируемых ВАК в соавторстве со студентом; **Нет**
	- в изданиях БД РИНЦ с импакт-фактором >0,1 (с обязательным указанием научного руководителя) **Нет**
	- в электронных сериях научного журнала «Вестник СВФУ» **Нет**
	б) руководство научными кружками, конструкторскими бюро (СНК, действующие по приказу СВФУ) **нет**
	в) привлечение в финансируемые НИР по договорам ГПХ (баллы умножаются на количестве чел.): - студентов, магистрантов, ординаторов **Нет**
	- аспирантов **Нет**
11	Научное сотрудничество:
	- координация работы по научному сотрудничеству (действующий договор/ соглашение) (делится на число координаторов) **Нет**
	- заключение нового договора/соглашения о научном сотрудничестве в текущем году **Нет**
12	Участие в научных конференциях, симпозиумах, выставках, фестивалях, форумах: -международные – **7** 1. Совещание менеджеров станций INTERACT. Свалбард. Норвегия, 19-26 октября 2017 г. – д.б.н. Максимов Т.Х. 2. VII International Conference on Cryopedology «Cryosols in perspective: a view from the permafrost heartland». August 21-28, 2017. Yakutsk, Sakha (Yakutia) Republic, Russia 3. II Международный семинар Сети SecNet по изучению изменений окружающей среды Сибири «Сибирь в глобальном контексте. Зимняя погода и климатические экстремумы: взаимодействие в предсказании и адаптации». Салехард. 1-4 ноября 2017 – д.б.н. Максимов Т.Х. 4. Рабочее совещание проекта COPERA. Якутск. 28-29 ноября – д.б.н.

	Максимов Т.Х., к.г.н. Кононов А.В. к.с.н. Жегусов Ю.И. 5. V Международный симпозиум ISAR-5. Токио. 19-21 января 2018 г.. – д.б.н. Максимов Т.Х. 6. Международная зимняя школа «Окружающая среда и инновация на Севере». 23 февраля-4 марта, 2018 г. – д.б.н. Максимов Т.Х. 7. Совещание менеджеров станций INTERACT. Варн. Италия, 19-23 марта 2018 г. – д.б.н. Максимов Т.Х. -всероссийские - **5** 1. Годичное собрание общества физиологов растений, Судак, Крым. 18-25 сентября 2017 г. - д.б.н. Максимов Т.Х. 2. Видео-семинар по изменению климата между Якутском и СанктПетербургом с участием депутатов ГорДумы СПб и Ил Тумэнэ. 2 ноября 2017 г. д.б.н. Максимов Т.Х. 3. Годичное собрание общества физиологов растений, Иркутск. 10-15 июля, 2018 г. - д.б.н. Максимов Т.Х. 4. Всероссийская научно-практическая конференция «Прикладная экология севера: опыт исследований, перспективы развития», посвященная 25-летию со дня образования Научно-исследовательского Института прикладной экологии Севера СВФУ. Якутск, 14-15 июня 2018 г. – к.г.н. Федоров А.Н. 5. V всероссийский научный молодежный геокриологический форум с международным участием, «Реакция криолитозоны на изменение климата», посвященный 90-летию профессора М.К. Гавриловой. г. Якутск, 4 – 20 июня, 2018 г. - к.г.н. Федоров А.Н.
13	Организация и проведение научных конференций, форумов, выставок, фестивалей:
	- республиканского уровня (председателю/члену оргкомитета) **Нет**
	- всероссийского уровня - **2** (председателю/члену оргкомитета) 1. Годичное собрание общества физиологов растений, Судак, Крым. 18-25 сентября 2017 г. – д.б.н. Максимов Т.Х., член оргкомитета 2. Годичное собрание общества физиологов растений, Иркутск. 10-15 июля, 2018 г. – д.б.н. Максимов Т.Х. член оргкомитета
	- международного уровня (председателю/члену оргкомитета) - **3** 1. Международная зимняя школа «Окружающая среда и инновация на Севере». 23 февраля-4 марта, 2018 г. – д.б.н. Максимов Т.Х. 2. VII International Conference on Cryopedology «Cryosols in perspective: a view from the permafrost heartland». August 21-28, 2017. Yakutsk, Sakha (Yakutia) Republic, Russia - д.б.н. Максимов Т.Х. 3. Десятая международная летняя школа «Таёжная экосистема в криолитозоне: роль вечной мерзлоты в глобальном изменении климата». 9-17 августа 2018 года, г. Якутск, Россия - д.б.н. Максимов Т.Х.
14	Организация выпуска научных журналов Работа в редакционной коллегии научного журнала входящего в WoS/Scopus:
	В должности главного редактора журнала.
	за должность редактора журнала **- 1** 1. Geosciences. Special Issue: Permafrost Landscapes: Classification and Mapping. Импакт фактор-2.57 – к.г.н. Федоров А.Н.

	за должность рецензента журнала - **2** в редакционной коллегии 1) Журнал «Физиология растений - Russian Journal of Plant Physiology». Импакт- фактор – 1.23.– д.б.н. Максимов Т.Х. 2) Science of the Total Environment (STOTEN). Импакт- фактор – 1.23.– к.г.н. Федоров А.Н.
15	Внедрение результатов НИР/НИОКР в производство **Нет**
16	Количество проведенных экспертиз с выдачей соответствующих экспертных заключений - **1** 1. ГАУ «Центр стратегических исследований Республики Саха (Якутия»), от 2.03.2018.- к.г.н. Федоров А.Н.

Список публикаций сотрудников за 2012-18 гг.

2012 год

Монографии

1. Каталог растений Якутского ботанического сада /Данилова Н.С., Коробкова Т.С., Егорова П.С. и др.: Новосибирск: Наука, 2012. Т.1. 163 с.

2. Данилова Н.С., Борисова С.З., Иванова Н.С. Декоративные растения Якутии: Атлас-определитель. Москва: Изд. «Фитон+», 2012. 248с.

3. Данилова Н.С., Борисова С.З., Иванова Н.С., Афанасьева Е.А. Редкие растения окрестностей города Якутска. Новосибирск: Наука, 2012. 103 с.

Учебные пособия

1. Мерзлотное растениеводство. Якутск, Изд-во Сфера. 2012. 460 с. (ред. Максимов Т.Х.)

2. Слепцова М.В. Учебно-методическое пособие «Практикум по промышленной экологии»

Сборники научных трудов и журналы

1. Maximov T.C. The main results of 20-year-old joint studies between Russia and Japan on a changing climate and permafrost in North-East Siberia, Russia // Proc. of 1st International Conference on “Global Warming and the Human-Nature Dimension in Siberia: Social Adaptation to the Changes of the Terrestrial Ecosystem, with an Emphasis on Water Environments”. 7-9 Mar 2012, Kyoto, Japan. P. 7-11.

2013 год

Статьи

1. Fedorov A.N., Gavriliev P.P., Konstantinov P.Y., Hiyama T., Iijima Y. and Iwahana G. 2013. Estimating the water balance of a thermokarst lake in the middle of the Lena River basin, eastern Siberia. – Ecohydrology. – DOI: 10.1002/eco.1378. ИФ JCR = 2.775.

2. Popova A., Tokuchi N., Ohte N., Ueda U. M., Osaka K., Maximov T., Sugimoto A. 2013. Nitrogen availability in the taiga forest ecosystem of northeastern Siberia. Soil science and plant nutrition. – DOI: 10.1080/00380768.2013.772495. ИФ JCR = 0.889.

Сборники научных трудов и журналы

1. Maximov T., Dolman H., Huissteden J., Ohta T., Sugimoto A., Kononov A., Maksimov A., Petrov R., Terentyeva M. 2013. Long term variability of carbon in permafrost-dominated ecosystems // Third International Symposium on the Arctic Research (ISAR-3) - Detecting the change in the Arctic system and searching the global influence. January 14-17, 2013. – Tokyo, Japan. – P. 24.

2. Petrov R.E., Kononov A.V., Maximov T.C. 2013. Investigation of energy balance above a larch forest in Central Yakutia // Third International Symposium on the Arctic Research (ISAR-3) - Detecting the change in the Arctic system and searching the global influence. – January 14-17, 2013. – Tokyo, Japan. – P. 173.

3. Kononov A.V., Maksimov A. P., Petrov R.E., Maximov T.C. 2013. Features of soil co2 efflux in taiga larch forests of Central and South-Eastern Yakutia // Third International Symposium on the Arctic Research (ISAR-3) - Detecting the change in the Arctic system and searching the global influence. – January 14-17, 2013. – Tokyo, Japan. – P. 177.

4. Popova A., Tokuchi N., Ohte N., Maximov T., Sugimoto A. 2013. Dynamics and larch uptake of nitrogen in the North Eastern Siberia taiga forest // Third International Symposium on the Arctic Research (ISAR-3) - Detecting the change in the Arctic system and searching the global influence. – January 14-17, 2013. – Tokyo, Japan. – P. 181.

5. Shingubara R., Sugimoto A., Maximov T.C. 2013. CH4 emission from a taiga-tundra ecotone of Eastern Siberia: process study by stable isotopes // Third International Symposium on the Arctic Research (ISAR-3) - Detecting the change in the Arctic system and searching the global influence. – January 14-17, 2013. – Tokyo, Japan. – P. 184.

6. Maximov T.C. 2013. The permafrost-dominated ecosystems in a changing climate // The 19th Intern. Symp.on Polar Sciences “Toward better understanding of climate change in the Arctic”. – October 16-18, 2013. – Incheon. Republic of Korea. – P.57.

7. Федоров А.Н., Ивахана Г., Константинов П.Я., Мачимура Т., Аргунов Р.Н., Ефремов П.В., Лопез Л.М., Такакай Ф., Петров М.И. 2013. Изменчивость мерзлотно-ландшафтных условий после сплошной вырубки в Центральной Якутии // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – №8. – Стр. 89-91.

8. Beer C., Fedorov A.N., and Torgovkin Y. 2013. Permafrost temperature and active-layer thickness of Yakutia with 0.5-degree spatial resolution for model evaluation // Earth Syst. Sci. Data. – V.5. – P. 305–310.

9. Попова А.С., Сугимото А., Максимов Т.Х. Сезонная динамика азота в лиственнице Гмелина в Центральной Якутии // Тез. докл. Всероссийской научн. конф. с

международным участием «Инновационные направления современной физиологии растений». – Москва, Россия. 2-6 июня 2013 г. – М., 2013. – С.322-323.

2014 год

Статьи:

1. Budishchev, A.; Mi, Y.; van Huissteden, J.; Belelli-Marchesini, L.; Schaepman-Strub, G.; Parmentier, F. J.; Fratini, G.; Gallagher, A.; Maximov, T. C.; Dolman A. J. Evaluation of a plot-scale methane emission model on the ecosystem-scale using eddy covariance observations and footprint modeling // Biogeosciences. – 2014. doi:10.5194/bg-11-4651-201411, 4651-4664, 2014. ИФ JCR (2013): 3,753.

2. Fedorov, A.N.; Gavriliev, P.P.; Konstantinov, P.Y.; Hiyama, T.; Iijima, Y.; Iwahana, G. Estimating the water balance of a thermokarst lake in the middle of the Lena River basin, eastern Siberia // ECOHYDROLOGY. – 2014. – V.7. – Iss. 2. – P. 188-196. DOI: 10.1002/eco.1378. ИФ JCR=2.634;

3. Fedorov, A.N.; Ivanova, R.N.; Park, H.; Hiyama, T.; Iijima, Y. Recent air temperature changes in the permafrost landscapes of northeastern Eurasia // POLAR SCIENCE. – 2014. – V.8. – Special Issue 2. – P. 114-128. – DOI: 10.1016/j.polar.2014.02.001. ИЦ SNIP (2013): 0.707, ИЦ SJR (2013): 0.540;

4. Iwahana, G.; Takano, S.; Petrov, R.E.; Tei, S.; Shingubara, R.; Maximov, T.C.; Fedorov, A.N.; Desyatkin, A.R.; Nikolaev, A.N.; Desyatkin, R.V.; Sugimoto, A. Geocryological characteristics of the upper permafrost in a tundra-forest transition of the Indigirka River Valley, Russia // POLAR SCIENCE. – 2014. – V.8. – Special Issue 2. – P. 96-113. – DOI: 10.1016/j.polar.2014.01.005. ИЦ SNIP (2013): 0.707, ИЦ SJR (2013): 0.540;

5. Liang, M.; Sugimoto, A.; Tei, S.; Bragin, I.V.; Takano, S.; Morozumi, T.; Shingubara, R.; Maximov, T.C.; Kiyashko, S.I.; Velivetskaya, T.A.; Ignatiev, A.V. Importance of soil moisture and N availability to larch growth and distribution in the Arctic taiga-tundra boundary ecosystem, northeastern Siberia // Polar Science. – 2014. – V.8. – Iss.4. – P.327-341. – DOI: 10.1016/j.polar.2014.07.008. ИЦ SJR (2013): 0.540; ИЦ SNIP (2013): 0.707.

6. Nauta, A.L.; Heijmans, M. M. P. D.; Blok, D.; Limpens, J.; Elberling, B.; Gallagher, A.; Li, B.; Petrov, R.E.; Maximov, T.C.; van Huissteden, J.; Berendse F. Permafrost collapse after shrub removal shifts tundra ecosystem into methane source // Nature Climate change. – 2014. – DOI:10.1038.NCLIMATE 2446. ИФ JCR (2013): 15,295.

7. Park, H.; Sherstiukov, A.B.; Fedorov, A.N.; Polyakov, I.V.; Walsh, J.E. An observation-based assessment of the influences of air temperature and snow depth on soil temperature in

Russia // ENVIRONMENTAL RESEARCH LETTERS. – 2014. – V.9. – No.6. – 064026 (7 pp). – doi:10.1088/1748-9326/9/6/064026. ИФ JCR (2013): 4.090.

8. Park, H., Fedorov, A.N., Zheleznyak, M.N., Konstantinov, P.Y., Walsh, J.E. Effect of snow cover on pan-Arctic permafrost thermal regimes // Climate Dynamics. – 2014. – DOI 10.1007/s00382-014-2356-5. ИФ JCR (2013): 4.619.

9. Tei, S.; Sugimoto, A.; Yonenobu, H.; Ohta, T.; Maximov, T.C. Growth and physiological responses of larch trees to climate changes deduced from tree-ring widths and delta C-13 at two forest sites in eastern Siberia // POLAR SCIENCE. –2014. – V.8. – Special Issue 2. – P. 183-195. – DOI: 10.1016/j.polar.2013.12.002. ИФ SNIP (2013): 0.707, ИФ SJR (2013): 0.540;

10. Ueta, A.; Sugimoto, A.; Iijima, Y.; Yabuki, H.; Maximov, T.C. Contribution of transpiration to the atmospheric moisture in eastern Siberia estimated with isotopic composition of water vapour // ECOHYDROLOGY. – 2014. – V.7. – I.2. – P. 197-208. – DOI: 10.1002/eco.1403. ИФ JCR (2013): 2.634.

2015 год

Статьи

1. Matthias B. Siewert, Jessica Hanisch, Niels Weiss, Peter Kuhry, Trofim C. Maximov, and Gustaf Hugelius. Comparing carbon storage of Siberian tundra and taiga permafrost ecosystems at very high spatial resolution // J. Geophys. Res. Biogeosci. – 2015. – V. 120. – doi:10.1002/2015JG002999. Импакт-фактор JCR (2014): 3.426;

2. Séjourné, A., Costard, F., Fedorov, A., Gargani, J., Skorve, J., Massé, M., Mège, D. (2015) Evolution of the banks of thermokarst lakes in Central Yakutia (Central Siberia) due to retrogressive thaw slump activity controlled by insolation/ Geomorphology, 241, pp. 31-40. - DOI: 10.1016/j.geomorph.2015.03.033 . Импакт-фактор JCR (2014): 2.785;

3. Tei, S., Yonenobu, H., Sugimoto, A., Ohta, T., Maximov, T.C. (2015) Reconstructed summer Palmer Drought Severity Index since 1850 AD based on δ13C of larch tree rings in eastern Siberia / Journal of Hydrology, 529 (P2), pp. 442-448. - DOI: 10.1016/j.jhydrol.2015.01.085. Индекс цитирования SJR (2014): 1,466.

4. Nakazawa, F., Uchida, M., Kondo, M., Kadota, T., Shirakawa, T., Enomoto, H., Fedorov, A.N., Fujisawa, Y., Konstantinov, P.Y., Kusaka, R., Miyairi, M., Ohata, T., Yabuki, H. (2015) Radiocarbon ages of insects and plants frozen in the No. 31 Glacier, Suntar-Khayata Range, eastern Siberia / Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 361, pp. 574-579. - DOI: 10.1016/j.nimb.2015.04.008 . Импакт-фактор JCR (2014): 1.124;

5. Desyatkin R.V., Fedorov A.N., Desyatkin A.R., Konstantinov P.Ya. Air temperature changes and their impact on permafrost ecosystems in Eastern Siberia // Thermal Science. - 2015. - Doi: 10.2298/TSCI150320102D. Импакт-фактор JCR (2014): 1.222.

6. Жегусов Ю.И., Корякина З.И. (2015) Влияние семьи на употребление студентами свфу табака, алкоголя и наркотиков / Молодой ученый. № 16. С. 376-378. Импакт-фактор РИНЦ (2013) - 0,105;

7. Жегусов Ю.И., Корякина З.И. (2015) Взаимосвязь потребления табака, алкоголя и наркотиков в молодежной среде/ Молодой ученый. № 4 (84). С. 681-684. Импакт-фактор РИНЦ (2013) - 0,105.

Брошюра

1. Угаров И.С, Федоров А.Н. Ученые мерзлотоведы. Васильев Иван Семенович. – Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН, 2015. – 58 с.

Сборники научных трудов и журналы

1. Куприянов А.Н., Буко Т.Е., Роднова Т.В., Пшеничкина Ю.А., Прокопьев А.С., Астафурова Т.П., Данилова Н.С., Коробкова Т.С., Ванюшина Е.Н., Гордеева Г.Н., Ачимова А.А., Борисова С.З. Интродукция растений природной флоры Сибири: итоги и перспективы // Бюллетень Главного ботан сада. – 2015. – №1. – Стр. 9-15.

2. Николаева О.А., Данилова Н.С., Семенова В.В. Разнообразие бобовых в природных сообществах Якутского ботанического сада // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – №07(111). С. 1074 – 1085. – IDA [article ID]: 1111507064. – Режим доступа: http://ej.kubagro.ru/2015/07/pdf/64.pdf.

3. Данилова Н.С., Афанасьева Е.А. Ирисовые в Центральной Якутии // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – №07(111). С. 1333 – 1347. – IDA [article ID]: 1111507083. – Режим доступа: http://ej.kubagro.ru/2015/07/pdf/83.pdf.

4. Афанасьева Е.А., Данилова Н.С., Рогожина Т.Ю Интродукция семейств Liliaceae и Iridaceae в ботаническом саду СВФУ// Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: сборник научных статей по материалам XIV международной научно-практической конференции (25–29 мая 2015 г., Барнаул). – Барнаул: Изд-во АлтГУ. – 2015. – С. 492-495.

2016 год

Монографии:

1. Данилов Ю.Г., Федоров А.Н., Дегтева Ж.Ф., Горохов А.Н., Варламов С.П., Мурзин Ю.А. Ландшафты Якутии / Отв. ред. Данилов Ю.Г. – Якутск: Издательский дом СВФУ, 2016. – 76 с.

2. Соловьев Ф.П., Соловьев Т.П. Экология Арктики Якутии. Изд-во Лаб Ламберт. – 2016. Германия. - 65 с.

Статьи

1. Iijima Y., Park H., Konstantinov P.Ya., Pudov G.G., Fedorov A.N. Active-Layer Thickness Measurements Using a Handheld Penetrometer at Boreal and Tundra Sites in Eastern Siberia. Permafrost and Periglac. Process. DOI: 10.1002/ (2016) ppp.1908.

2. Fedorov A.N., Iwahana G., Konstantinov P.Y., Machimura T., Argunov R., Efremov P.V., Lopez L.M.C., Takakai F. 2016. Variability of Permafrost and Landscape Conditions Following Clear Cutting of Larch Forest in Central Yakutia. Permafrost and Periglac. Process. DOI: 10.1002/ppp.1897. Импакт-фактор JCR (2015).

3. Iijima Y., Nakamura T., Park H., Tachibana Y., Fedorov A.N. 2016. Enhancement of Arctic storm activity in relation to permafrost degradation in eastern Siberia. Int. J. Climatol. DOI: 10.1002/joc.4629.

4. Wang P., Heijmans M.M.P.D., Mommer L., van Ruijven J., Maximov T.C. and Berendse F.. Belowground plant biomass allocation in tundra ecosystems and its relationship with temperature // Environ. Res. Lett. 11 (2016) 055003 doi:10.1088/1748-9326/11/5/055003.

5. Cuss C.W., Gue´guen C., Andersson P., Porcelli D., Maximov T. and Kutscher L.. Advanced Residuals Analysis for Determining the Number of PARAFAC Components in Dissolved Organic Matter.// Applied Spectroscopy (2016). doi: 10.1177/0003702815620546.

6. Wang P., Limpens J., Mommer L., van Ruijven J., Nauta A.L., Berendse F., Schaepman-Strub G., Blok D., Maximov T.C., Heijmans M.M.H.D. Above and belowground responses of four tundra plant functional types to deep soil heating and surface soil fertilization // Journal of Ecology (2016). DOI: 10.1111/1365-2745.12718.

7. Шепелев А.Г., Старостин Е.В., Федоров А.Н., Максимов Т.Х. Предварительный анализ запасов органического углерода и азота в породах ледового комплекса Центральной Якутии. Наука и образование, 2016, №2, 35-42.

Публикации в сборниках научных трудов и материалах

1. Maximov T. Chr., Ohta T., Hiyama T., Sugimoto A., Zheleznyak M., Fedorov A., Kononov A.V., Maksimov A. 25 years of joint studies between Russia and Japan on climate change // Proceedings of 9th Annual International Symposium on "C/H2O/Energy balance and climate over boreal and arctic regions with special emphasis on eastern Eurasia", dedicated to the 25th anniversary of the joint Russian-Japanese research on climate change in the cryolithozone, 1-4 November 2016, Yakutsk, Russia. – Nagoya University Publishing House, Japan. – 2016.– PP. 33-37.

2. Schaepman-Strub G., Iturrate-Garcia M., Juszak I., Ksenofontov S., Reisser M., Gerber F., Erb A., Simeon R., Tjin S., Khitun O., Niklaus P., Schaepman M., Kononov A., Petrov R., Maximov T. Global change and biodiversity in the tundra ecosystem – a synthesis of ecosystem status and functioning aspects, and global change feedback mechanisms through the energy cycle // Proceedings of 9th Annual International Symposium on "C/H2O/Energy balance and climate over boreal and arctic regions with special emphasis on eastern Eurasia", dedicated to the 25th anniversary of the joint Russian-Japanese research on climate change in the cryolithozone, 1-4 November 2016, Yakutsk, Russia. – Nagoya University Publishing House, Japan. – 2016.– P. 60.

3. Kononov A.V., Maximov T.Chr., Sugimoto A. Russian-Japanese scientific-educational activities on biogeochemistry and climatology in Russia // Proceedings of 9th Annual International Symposium on "C/H2O/Energy balance and climate over boreal and arctic regions with special emphasis on eastern Eurasia", dedicated to the 25th anniversary of the joint Russian-Japanese research on climate change in the cryolithozone, 1-4 November 2016, Yakutsk, Russia. – Nagoya University Publishing House, Japan. – 2016.– PP. 62-65.

4. M. Nakatsubo, Kotani A., Ohta T., Iijima Y., Maximov T. Chr., Kononov A.V. Comparison of larch tree transpiration in two forests in Eastern Siberia with different active layer conditions // Proceedings of 9th Annual International Symposium on "C/H2O/Energy balance and climate over boreal and arctic regions with special emphasis on eastern Eurasia", dedicated to the 25th anniversary of the joint Russian-Japanese research on climate change in the cryolithozone, 1-4 November 2016, Yakutsk, Russia. – Nagoya University Publishing House, Japan. – 2016.– PP. 112-114.

5. Maksimov A.P., Terentyeva M.P., Kononov A.V., Maximov T.Ch., Voronin P.Yu., Atkin O.K., Holst T. The current state of larch gas-exchange investigation in the ecosystems of Yakutia // Proceedings of 9th Annual International Symposium on "C/H2O/Energy balance and climate over boreal and arctic regions with special emphasis on eastern Eurasia", dedicated to the 25th anniversary of the joint Russian-Japanese research on climate change in the cryolithozone,

1-4 November 2016, Yakutsk, Russia. – Nagoya University Publishing House, Japan. – 2016.– PP. 168-173.

6. Старостин Е.В., Попова А.С., Сугимото А., Максимов Т.Х. Особенности азотного питания лиственницы в таежной и лесотундровой зоне Восточной Сибири // Proceedings of 9th Annual International Symposium on "C/H2O/Energy balance and climate over boreal and arctic regions with special emphasis on eastern Eurasia", dedicated to the 25th anniversary of the joint Russian-Japanese research on climate change in the cryolithozone, 1-4 November 2016, Yakutsk, Russia. – Nagoya University Publishing House, Japan. – 2016.– PP. 185-188.

7. Терентьева М.П., Максимов А.П., Максимов Т.Х., Кононов А.В. Эколого-физиологические параметры тундровой растительности // Proceedings of 9th Annual International Symposium on "C/H2O/Energy balance and climate over boreal and arctic regions with special emphasis on eastern Eurasia", dedicated to the 25th anniversary of the joint Russian-Japanese research on climate change in the cryolithozone, 1-4 November 2016, Yakutsk, Russia. – Nagoya University Publishing House, Japan. – 2016.– PP. 323-326.

8. Iijima Y., Park H., Saito H., Konstantinov P., Basharin N., Fedorov A.N. 2016. Thermokarst sunsidence detected by satellite and field survey in central Yakutia// Ibid. – Pp.52-55.

9. Fedorov A.N., Konstantinov P.Y., Basharin N.I., Desyatkin R.V., Desyatkin A.R., Iijima Y., Park H., Ulrich M., Sejourne A., Costard F., Grenier C., Hiyama T., Iwahana G. 2016. Recent Thermokarst Activity in Central Yakutia and Its Social Response // Ibid. – Pp.77-78.

10. Konstantinov P.Ya., Fedorov A.N., Argunov R.N., Efremov P.V., Kadota T., Shirakawa T., Ohata T. Glacier and rock temperature changes in the Suntar-Khayata Range (northeastern Russia) over the last 50 years // Ibid. – P.101.

11. Iwahana G., Takano S., Petrov R.E., Tei S., Shingubara R., Maximov T.Chr., Fedorov A.N., Desyatkin A.R., Nikolaev A.N., Desyatkin R.V., Sugimoto A. 2016. Geocryological characteristics of the upper permafrost in a tundra-forest transition of the Indigirka River Valley, Russia // Ibid. – Pp.115-116.

12. Самсонова В.В., Федоров А.Н. Анализ мерзлотно-климатической динамики криогенных геосистем Центральной Якутии в голоцене средствами численного геокриологического прогноза // Ibid. – С.232-235.

13. Константинов П.Я., Федоров А.Н., Аргунов Р.Н., Ефремов П.В., Кадота Ц., Ширакава Т., Охата Т. Изменения за последние 50 лет температуры ледников и скальных грунтов горного хребта Сунтар-Хаята (северо-восточная Россия) // Ibid. – С.255-256

14. Жегусов Ю.И. Влияние изменений климата на традиционные виды хозяйствования в заречных улусах Республики Саха (Якутия) // Молодой ученый (в печати), 2016.

2017 год

Статьи

1. Peng Wang, Juul Limpens, Ake Nauta, Corine van Huissteden, Sophie Quirina van Rijssel, Liesje Mommer, Hans de Kroon, Trofim C. Maximov, Monique M.P.D. Heijmans / Depth-based differentiation in nitrogen uptake between graminoids and shrubs in an Arctic tundra plant community // Journal Of Vegetation Science. – Том: 29. – Выпуск: 1. – Стр. 34-41 Опубликовано: январь 2018 г. ИФ: 2.658.

2. Tei C., Sugimoto A., Yonenobu H., Matsuura Y., Osawa A., Sato H., Fujinuma J., Maximov T. / Tree-ring analysis and modeling approaches yield contrary response of circumboreal forest productivity to climate change // Glob Change Biol. – 2017. – V. 23. – PP. 5179–5188. – DOI: 10.1111/gcb.13780. ИФ: 8,502.

3. Tei, S., Sugimoto, A., Liang, M., Yonenobu, H., Matsuura, Y., Osawa, A., Maximov, T. / Radial growth and physiological response of coniferous trees to Arctic amplification // Journal of Geophysical Research: Biogeosciences. – 122. – DOI: 10.1002/2016JG003745. ИФ: 3,395.

4. Li B., Heijmans M.M. P. D., Blok D., Wang P., Karsanaev S.V., Maximov T.C., van Huissteden J., Berendse F. / Thaw pond development and initial vegetation succession in experimental plots at a Siberian lowland tundra site // Plant And Soil. – 2017. – PP. 1–16. – DOI: 10.1007/s11104-017-3369-8. ИФ: 3,052.

5. Wang P., Heijmans M., Maksimov A., Maximov T., van Ruijven J., Berendse F., Mommer L. / Short-term root and leaf decomposition of two dominant plant species in a Siberian tundra // Pedobiologia - Journal Of Soil Ecology. – 2017. – V.65. – pp.58–67. – DOI: 10.1016/j.pedobi.2017.08.002. ИФ: 2,000.

6. Maitane Iturrate-Garcia, Monique M.P.D. Heijmans, Fritz H. Schweingruber, Trofim C. Maximov, Pascal A. Niklaus, Gabriela Schaepman-Strub / Shrub growth rate and bark responses to soil warming and nutrient addition – A dendroecological approach in a field experiment // Dendrochronologia. – Volume 45. – 2017. – Pages 12-22. ИФ: 2,363.

7. Hirst C., Andersson P.S., Shaw S., Burke I.T., Kutscher L., Murphy M.J., Maximov T., Pokrovsky O.S., Mörth C-M., Porcelli D. / Characterisation of Fe-bearing particles and colloids in the Lena River basin, NE Russia // Geochimica Et Cosmochimica Acta. – 2017. – V. 213. – PP. 553-573. – DOI: 10.1016/j.gca.2017.07.012. ИФ: 4,609.

8. Анисимов О.А., Жильцова Е.Л., Жегусов Ю.И. Восприятие изменения климата в холодных регионах России: пример Якутии // Лед и снег. 2017. Т. 57. № 4. С. 565-574.

9. Ulrich M., Wetterich S., Rudaya N., Frolova L., Schmidt J., Siegert C., Fedorov A.N., Zielhofer C. 2017. Rapid thermokarst evolution during the mid-Holocene in Central Yakutia, Russia. Holocene, 27 (12), 1899-1913. DOI: 10.1177/0959683617708454 (последний номер 2017 г., не был учтен в прошлом году). ИФ: 2.595.

2018 год

Статьи

1. Gorokhov, A.N., Fedorov, A.N. 2018. Current thernds in Climate Change in Yakutia. Geography and Natural Resources, 39, 2, 153-161. ИФ:0.776

2. Shepelev, A., Fedorov, A., Cherepanova, A. 2018. Quantitative and qualitative composition of soil organic matter in samples of ice complex from Central Yakutia, Eastern Siberia. Applied and Environmental Soil Science. 9302743. https://doi.org/10.1155/2018/9302743

3. Peng Wang, Juul Limpens, Ake Nauta, Corine van Huissteden, Sophie Quirina van Rijssel, Liesje Mommer, Hans de Kroon, Trofim C. Maximov, Monique M.P.D. Heijmans / Depth-based differentiation in nitrogen uptake between graminoids and shrubs in an Arctic tundra plant community // Journal Of Vegetation Science. – No: 29. – V.1. – 2018-. P. 34-41 ИФ: 2.658.

4. Maitane Iturrate-Garcia, Monique M.P.D. Heijmans, Fritz H. Schweingruber, Trofim C. Maximov, Pascal A. Niklaus, Gabriela Schaepman-Strub / Shrub growth rate and bark responses to soil warming and nutrient addition – A dendroecological approach in a field experiment // Dendrochronologia. – Volume 45. – 2017. – Pages 12-22. ИФ: 2,363.