



ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СКОРОСТЬ РАЗЛОЖЕНИЯ РАСТЕНИЙ-ТОРФООБРАЗОВАТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОГО МОДЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

© 2018 Л. Г. Никонова¹, И. Н. Курганова², В. О. Лопес де Гереню², В.А. Жмури², Е.А. Головацкая¹

Адрес: ¹ФГБУН Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, проспект Академический 10/3, г. Томск, 634055, Россия. E-mail: lili112358@mail.ru, golovatskayaea@gmail.com

²Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, ул. Институтская, д. 2 кор.2, г. Пушкино, Московская область, 142290, Россия.

E-mail: ikurg@mail.ru, vlopes@mail.ru, zhmurin.vasya@mail.ru

Цель исследования. Количественная оценка влияния температуры на скорость разложения современных растений-торфообразователей олиготрофных болот южно-таежной подзоны Западной Сибири в условиях длительного модельного эксперимента.

Место и время проведения. Образцы основных растений-торфообразователей (листья кустарничка *Chamaedaphne calyculata* Moench., ветвь травянистого растения *Eriophorum vaginatum* L., очес мха *Sphagnum fuscum* Klinggr.) были отобраны в сентябре 2017 года на территории стационара «Васюганье» (ИМКЭС СО РАН) на олиготрофном болоте «Бакчарское» (Бакчарский район, Томская область, 56° 26' с.ш., 84° 50' в.д.). Лабораторный эксперимент по оценке динамики скорости разложения растительных субстратов проводился с ноября 2017 г. по апрель 2018 г.

Методология. Скорость разложения растительного опада основных растений-торфообразователей ($DecR$, мкг С/г субстрата/час) оценивали в рамках 6-ти месячного лабораторного эксперимента по интенсивности выделения $C(CO_2)$ при 2, 12 и 22°C. Влажность растительных проб соответствовала 90% их водоудерживающей способности. Определение скорости выделения CO_2 проводили 3-5 раз в неделю в течение первого месяца эксперимента и 1 раз в неделю – все последующее время. Влияние температуры на величину $DecR$ оценивали с помощью температурного коэффициента Q_{10} .

Основные результаты. Наибольшая интенсивность выделения $C(CO_2)$ из всех растительных образцов при 22°C фиксировалась в первые 2-3 недели проведения эксперимента, а при 2°C максимальные значения интенсивности выделения $C(CO_2)$ наблюдались только спустя 1-2 недели после начала инкубирования образцов. Самые значительные потери $C(CO_2)$ за 6 месяцев эксперимента демонстрировали *Chamaedaphne calyculata* при 22°C и *Eriophorum vaginatum* при 12°C (21% и 23% соответственно). Самые высокие значения температурного коэффициента Q_{10} выявлены для *Eriophorum vaginatum* в диапазоне температур 2-12°C, а для *Chamaedaphne calyculata* - в интервале 12-22°C.

Заключение. Температура и вид растительного субстрата оказывают значительное влияние на скорость разложения растений-торфообразователей. При влажности, соответствующей 90% водоудерживающей способности, все растительные образцы за исключением *Eriophorum vaginatum* характеризовались наиболее высокими суммарными потерями $C(CO_2)$ (за все время эксперимента) при температуре 22°C. Образцы *Sphagnum fuscum* демонстрировали самую высокую устойчивость к разложению. Величина температурного коэффициента Q_{10} также зависела от вида растительного образца и температурного интервала, для которого выполнялся расчет.

Ключевые слова: торфяные олиготрофные почвы; гистосоли; интенсивность выделения CO_2 ; *Sphagnum fuscum*; *Chamaedaphne calyculata*; *Eriophorum vaginatum*; гидротермические условия; деструкция органического вещества

Цитирование: Никонова Л.Г., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Жмури В.А., Головацкая Е.А. Оценка влияния температуры на скорость разложения растений-торфообразователей в условиях длительного модельного эксперимента // Почвы и окружающая среда. 2018. № 1(4). С.256 – 266.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время изучение процессов трансформации органического вещества торфяных почв приобретает большое значение в связи с изменениями климата, влияющими на углеродный баланс всех типов экосистем, включая болотные. Особенностью болотных экосистем является их способность на долгое время исключать углерод из круговорота веществ за счет активных процессов консервации растительных остатков в условиях постоянного переувлажнения

(Тюремнов, 1976; Inisheva et al., 2016). В торфяных отложениях современных болот России сосредоточенно больше углерода, чем во всех лесах России (Zavarzin, Kudеуarov, 2006).

Основная масса углерода, связанного в органическом веществе торфа, освобождается в виде CO_2 в результате жизнедеятельности гетеротрофных микроорганизмов. Наиболее интенсивно деструкция органического вещества проходит в летнее время года, когда уровень болотных вод понижается, и атмосферный кислород свободно проникает в верхние горизонты торфяной толщин. В зимний период наблюдается ослабление процессов разложения, связанное с понижением активности микроорганизмов (Козловская и др., 1978; Миронычева-Токарева и др., 2013, Никонова и др., 2016, Головацкая и др., 2017). Максимальная потеря в весе наблюдается на первых этапах деструкции растительных остатков, когда микроорганизмы разрушают наиболее доступные компоненты, содержание которых со временем убывает, и, следовательно, уменьшаются потери массы (Боч, 1979; Nikonova et al., 2018).

По стойкости к разложению растительность болот можно разделить на 2 группы: (1) не фиксирующиеся в ботаническом составе органического слоя болотных почв (быстроразлагающаяся фракция) – листья *Chamaedaphne calyculata*, *Menyanthes trifoliata*, разнотравье; (2) постоянно фиксирующиеся в ботаническом составе торфа (стабильная фракция) – все фракции кустарничков, узлы кушения, корни и корневища трав *Carex* (осоки), *Scheuchzeria* (шейхчерия), *Eriophorum* (пушица), все сфагновые мхи (Вишнякова, 2012; Berg, 2018). Выявлено, что в составе торфяной залежи надежно сохраняются остатки только части тех видов, которые выступают в качестве эдификаторов или доминантов в экологических условиях данного болота (Козловская с соавт., 1978). Однако, опад некоторых растений при смешивании их с остатками растений второй группы, способен изменять скорость их разложения (Zhang et al., 2014; Leroy et al., 2018). Такой эффект возникает за счет обмена питательными веществами между остатками растительных образцов и способен ускорять разложение растительных остатков (Vos et al., 2013).

Таким образом, интенсивность разложения растительных остатков в болотных экосистемах зависит как от биотических факторов, таких как химический состав растений-торфообразователей и активность микроорганизмов, так и от абиотических, основными из которых являются температура и влажность (Ozalp et al., 2007). Предполагается, что наблюдаемое на территории Западной Сибири увеличение температуры воздуха и снижение уровня болотных вод может привести к ускорению процесса разложения торфа (Hogg et al., 1992).

Основная цель исследования заключалась в количественной оценке влияния температуры на скорость разложения современных растений-торфообразователей олиготрофных болот южно-таежной подзоны Западной Сибири в условиях длительного модельного эксперимента.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Образцы основных растений-торфообразователей (листья прошлых лет кустарничка *Chamaedaphne calyculata* Moench., ветошь травянистого растения *Eriophorum vaginatum* L, очес мха *Sphagnum fuscum* Klinggr.) были отобраны в сентябре 2017 года на территории стационара «Васюганье» (ИМКЭС СО РАН) на олиготрофном болоте «Бакчарское» (Бакчарский район, Томская область, $56^\circ 26'$ с.ш., $84^\circ 50'$ в.д.). Кроме перечисленных видов растений был также подготовлен смешанный растительный образец, состоящий на 60% из *Sph. fuscum* и на 40% - из *C. Calyculata*, что соответствовало доле каждого вида в растительном опаде наиболее типичного фитоценоза на территории болота «Бакчарское» (Головацкая и др., 2013). Модельный эксперимент проводился на базе Лаборатории почвенных циклов азота и углерода Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (г. Пущино, Московская область) с ноября 2017 г. по апрель 2018 г.

Навески растительного материала (1-3 г воздушно-сухой массы) помещали в стеклянные флаконы (объем 110 мл) и увлажняли до состояния, соответствующего 90% их полной влагоемкости (ПВ, или водоудерживающей способности, соответствующую влажности при которой происходило полное насыщение субстрата водой с последующим оттоком гравитационной влаги). Для увлажнения использовали болотную воду, в которой содержалась естественная микрофлора, характерная для того места, где произрастали растения. Флаконы с увлажненным растительным опадом выдерживали 7 дней при комнатной температуре (прединкубация), чтобы передать всплеска выделения CO_2 , обусловленного реакцией микроорганизмов на увлажнение образцов (Ananyeva et al., 2009). Затем флаконы помещали в термостаты для последующего непрерывного инкубирования в течение 6 месяцев при

температурах: 2, 12 и 22°C. Выбор таких температур основывался на данных, полученных во время полевых исследований в условиях Бакчарского болота (Головацкая и др., 2017), согласно которым средняя температура торфяной залежи ряма на глубине 15 см от поверхности за вегетационный период составляет 12°C, а в среднем за год - около 2°C. В течение самого теплого месяца (июль) температура верхнего 15-см слоя торфа в дневное время может составлять 22°C. Во время эксперимента влажность растительных проб поддерживали на постоянном уровне путем добавления болотной воды, регулярно контролируя вес исходных навесок. Опыт проводился в трехкратной повторности.

Измерение скорости выделения CO₂, или интенсивности разложения (*DecR*) основных растений-торфообразователей проводили 3-5 раз в неделю в течение первого месяца эксперимента и 1 раз в неделю – все последующее время. В день замера, флаконы извлекались из термостатов, проветривались в течение 10 мин в токе воздуха, герметично закрывались резиновыми крышками и снова помещались в термостат. Спустя 3-4 часа проводили определение концентрации CO₂ во флаконе с помощью проточного инфракрасного газоанализатора LiCor-820 (Li-COR Biosciences, США). Для предотвращения изменения исходного значения влажности, между замерами флаконы закрывали полиэтиленовыми пленками, которые пропускали углекислый газ, но сдерживали испарение.

В исходных растительных образцах определяли зольность, величину pH, гигроскопическую влажность и величину полной влагоемкости (ПВ, %), соответствующую влажности при которой происходило полное насыщение субстрата водой с последующим оттоком гравитационной влаги. Также, в растительных образцах определяли содержание углерода (C) и азота (N) на автоматическом CHNS-анализаторе Leco (LECO Corporation, США).

Для расчета *DecR* (мкг C/г субстрата/час) использовали формулу (Kurganova et al., 2012):

$$DecR = \frac{dC \times M(C) \times V_{flask} \times 10}{m \times V_m \times t} \quad (1),$$

где *dC* – показания прибора с учетом нулевого значения, объемные %; *M(C)* – молярная масса углерода, 12 г/моль; *V_{flask}* – объем флакона, мл; *V_m* – молярный объем газа, 22,4 л/моль; *t* – время инкубации, час; *m* – масса абсолютно сухого субстрата, г.

Влияние температуры на величину *DecR* оценивали с помощью температурного коэффициента *Q₁₀*, показывающего как изменяется интенсивность разложения растительных субстратов при изменении температуры на 10°C, в соответствии с формулой (Chen et al., 2013):

$$Q_{10} = \left(\frac{DecR_2}{DecR_1} \right)^{\left[\frac{10}{(T_2 - T_1)} \right]} \quad (2),$$

где *DecR₁* и *DecR₂* – средняя скорость разложения субстратов при температурах *T₁* и *T₂*. Температурный коэффициент *Q₁₀* в нашем эксперименте определяли для двух температурных интервалов: 2–12°C (низкотемпературный) и 12–22°C (высокотемпературный).

Статистическая обработка данных выполнялась в программе Microsoft Excel. На графиках показаны стандартные ошибки для средних скоростей разложения для каждого срока и разных типов растительных субстратов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ основных физико-химических свойств растительных образцов показал, что наиболее благоприятными свойствами для жизнедеятельности микроорганизмов-деструкторов, осуществляющих разложение органического вещества, обладали листья *S. Calyculata*, содержащие самые высокие количества C и N и характеризующиеся самыми узким значением C/N. Более низкие содержания C и N при из широком соотношении, низкие значения pH и зольности, выявленные для *S. fuscum*, предположительно должны замедлять деструкционные процессы как в чистых образцах сфагнового мха, так и в смешанном образце. По многим анализируемым параметрам *E. vaginatum*, так же как и смешанный образец, занимала промежуточное положение между *S. fuscum* и *S. calyculata* (табл. 1).

Физико-химические свойства исследуемых растений-торфообразователей

Показатель \ Растение	C, %	N, %	Зольность, %	pH
<i>S. fuscum</i>	44,0	0,37	0,74	3,4
<i>E. vaginatum</i>	45,4	0,93	2,25	4,8
<i>C. calyculata</i>	51,8	1,15	2,23	4,9
Смешанный образец	46,2	0,66	1,53	3,0

Динамика скорости разложения растительных образцов при различных значениях температуры заметно отличалась. Наиболее интенсивное выделение $C(CO_2)$ из всех видов растительных субстратов при 22°C фиксировалось в первые 2-3 недели проведения эксперимента, в то время как при 2°C – только спустя 1-2 недели после начала инкубирования образцов (рис. 1). При этом снижение скорости разложения растений во время эксперимента при 2°C происходило намного медленнее, чем при 22°C. Так, например, у *E. vaginatum* при 22°C максимальные значения *DecR* были зафиксированы через сутки, а при 2°C – только на 7 сутки после начала эксперимента. При этом для всех образцов самая низкая активность разложения наблюдались при 2°C, начиная с 3-го месяца эксперимента. Динамика разложения смешанного образца из *Sph. fuscum* и *C. calyculata* примечательна тем, что максимальная величина *DecR* при температурах 2 и 12°C превышала соответствующие значения его отдельных компонентов (рис 1).

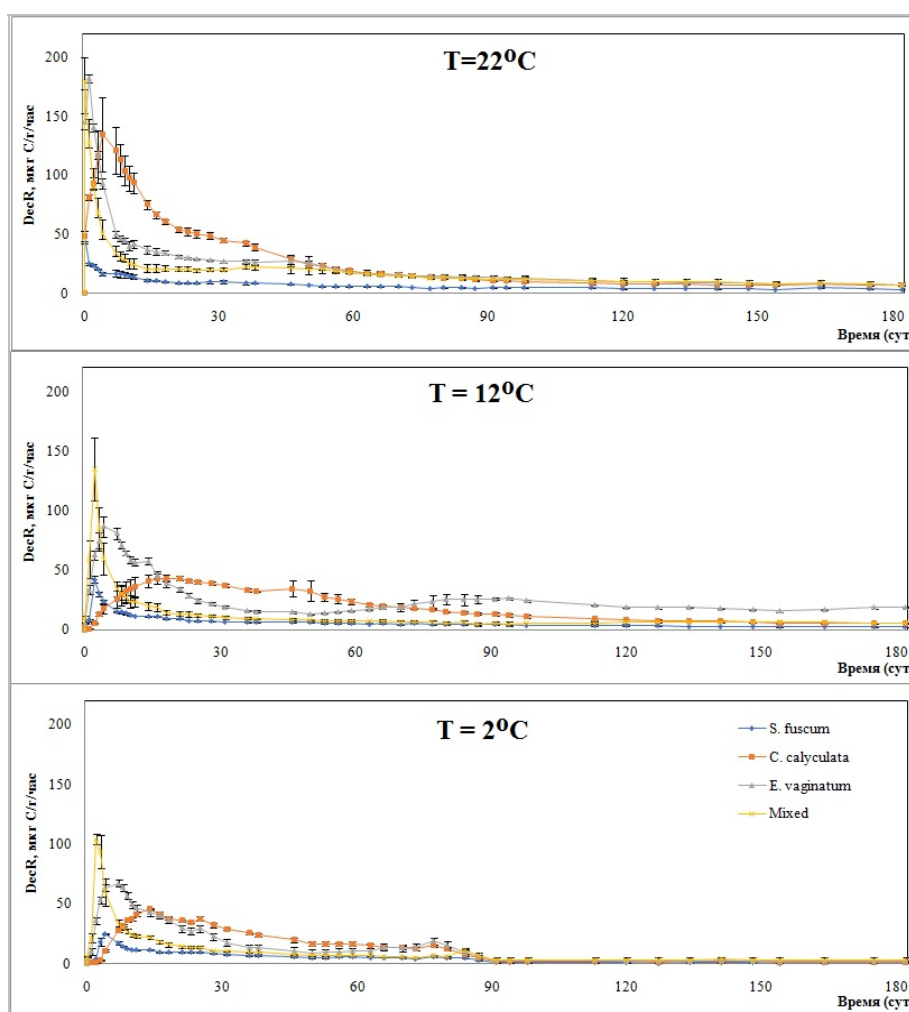


Рисунок 1. Динамика скорости выделения $C(CO_2)$ из различных видов растительного опада при температурах (Т) 22, 12 и 2° С и влажности, соответствующей 90% их полной влагоемкости

Снижение температуры инкубирования вызывало уменьшение общих потерь $C(CO_2)$ за 6 месяцев эксперимента (C_{cum}) у всех образцов кроме *E. vaginatum*, для которых наибольшие потери углерода были характерны при 12°C (рис. 2 А). Самым высоким суммарное выделение $C(CO_2)$ за 6 месяцев эксперимента было у *C. calyculata* (107 мг С/г), при температуре 22°C и уменьшалось в 2 раза (до 53 мг С/г) при температуре 2°C. Образцы *Sph. fuscum* демонстрировали самую высокую устойчивость к разложению и суммарные потери $C(CO_2)$ в зависимости от температуры варьировали от 18 до 29 мг С/г. Величина C_{cum} для смешанного образца принимала промежуточное значение между потерями $C(CO_2)$, полученными для его отдельных компонентов (рис. 2 А).

Количество выделившегося $C(CO_2)$ было оценено также в % по отношению к исходному количеству С в растительных образцах (рис 2 Б). За 6 месяцев эксперимента образцы *Sph. fuscum* в зависимости от температуры потеряли незначительную долю исходного количества С – всего 4-6%. Наибольшие потери углерода характерны для *E. vaginatum* при 12°C и составили 23% от первоначального содержания С в образце.

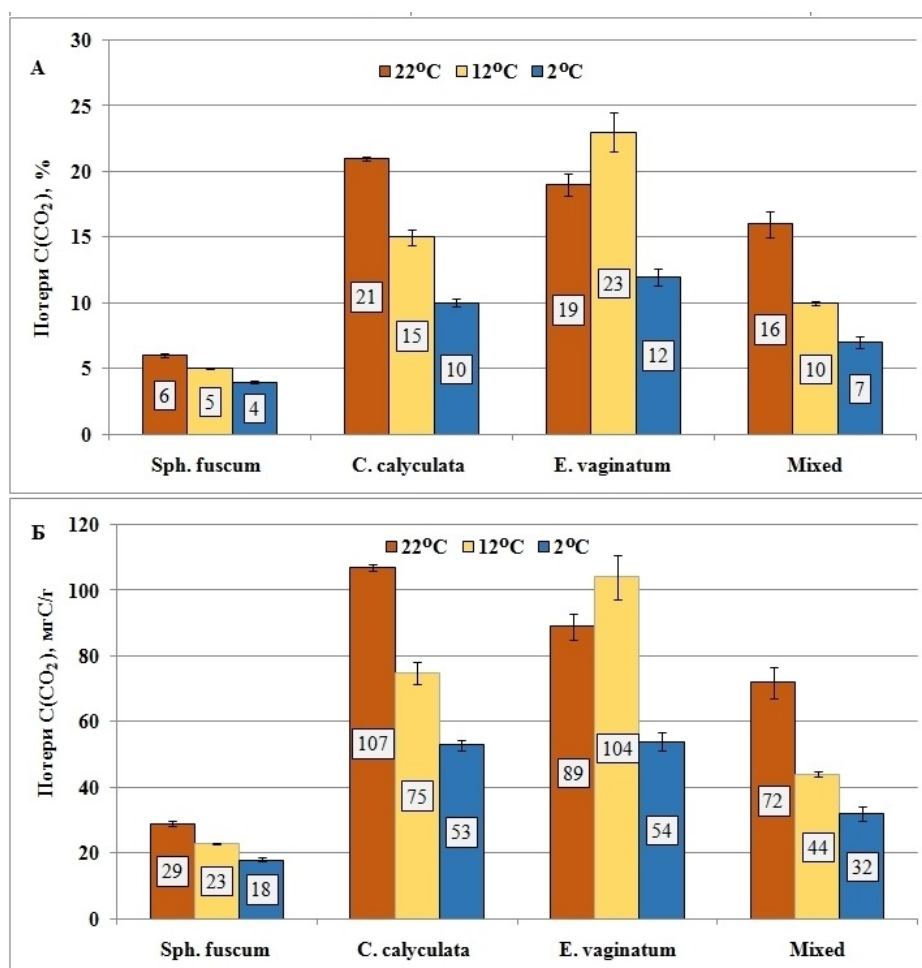


Рисунок 2. Суммарные потери $C(CO_2)$ из различных видов растительного опада при температурах 2, 12 и 22°C: А - мг С/г растительного опада; Б - % от исходного количества С в образце

Температурный коэффициент Q_{10} в зависимости от вида растительного образца в низкотемпературном диапазоне 2-12°C варьировал от 1,13 до 1,55, а в температурном интервале 12-22°C составлял 1,12-1,94 (рис. 3), что чуть ниже типичных величин константы Вант-Гоффа, характерных для химических реакций ($Q_{10}=2-3$). Самые высокие значения Q_{10} в низкотемпературном интервале температур (2-12°C) были характерны для *E. vaginatum*, а в высокотемпературном интервале (12-22°C) – для *C. calyculata*.

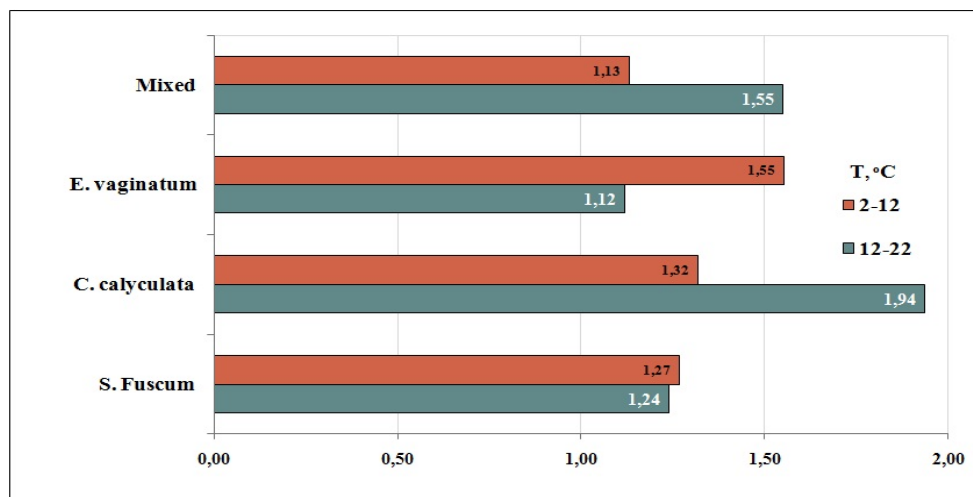


Рисунок 3. Температурный коэффициент Q_{10} для средней скорости разложения различных видов растительного опада в температурных интервалах 2 – 12 и 12 – 22°C

ОБСУЖДЕНИЕ

При всех температурах в первые 2-3 недели эксперимента происходил всплеск выделения $C(CO_2)$ из исследуемых растительных субстратов, который с понижением температуры становился менее отчетливым (см. рис 1). Продолжительность и время наступления периода максимального выделения $C(CO_2)$ из растительных проб в значительной степени зависели как от вида растительного субстрата, так и от температуры проведения эксперимента. Так, опад *C. calyculata* характеризовался наиболее поздним проявлением периода с высокими значениями *DecR* при всех температурах. Высокие скорости разложения растительных образцов на начальном этапе эксперимента объясняются, по-видимому, тем, что в свежем растительном опаде содержится много водорастворимых и легкогидролизуемых веществ, которые потребляются микроорганизмами-деструкторами в первую очередь (Бамбалов, 1990). В ходе последующего разложения, содержание легкодоступных компонентов углеводного и полипептидного комплексов убывает, и соответственно, уменьшаются потери органического вещества (Hajek, 2009). Таким образом, в динамике разложения растений-торфообразователей ключевую роль играет их состав, который определяет как характер разложения, так и величину максимальных значений *DecR*.

Суммарное выделение $C(CO_2)$ за 6 месяцев эксперимента дает представление о том, какое количество углерода в растительных образцах было потеряно в их процессе деструкции. Наименьшие потери углерода характерны для *Sph. fuscum*, а наибольшие – *C. calyculata*, что хорошо согласуется с данными, полученными для тех же растений-торфообразователей в естественных условиях (Головацкая и др., 2013; Косых и др., 2009) и может быть объяснено особенностями химического состава исходных растительных образцов. Так, *Sph. fuscum* характеризовался невысоким содержанием С и N и при широким соотношении C/N и низкими значениями pH, что могло тормозить процессы его активного разложения. Качественный состав *C. calyculata* и *E. vaginatum* был более благоприятным для протекания деструкционных процессов, и как следствие, потери $C(CO_2)$ из этих растений за время эксперимента были самые значительные.

Величина Q_{10} для скорости разложения органического вещества почвы и некоторых растительных субстратов, как правило, уменьшается с ростом температуры и возрастает при разложении устойчивых органических соединений (Fierer et al., 2005; Larionova et al., 2017). В нашем эксперименте уменьшение величины Q_{10} с ростом температуры прослеживалось только для *E. vaginatum*. Для *C. calyculata* и смешанного образца коэффициент Q_{10} , рассчитанный в интервале 12–22°C, напротив, был выше, чем в низкотемпературном диапазоне 2–12°C, что, по-видимому, можно объяснить различиями в составе исследуемых органических субстратов. Температурная чувствительность органических материалов в процессе длительной инкубации, как правило, не является одинаковой и уменьшается, демонстрируя самые высокие значения величины Q_{10} в первый месяц эксперимента (Kurganova et al., 2018; Larionova et al., 2017). По-видимому, на поздних стадиях разложения, в связи с возникновением адаптации сообщества микроорганизмов-деструкторов к гидротермическим условиям в ходе длительной инкубации, температурная чувствительность скорости разложения ослабевает.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Значительное влияние на скорость трансформации растений-торфообразователей оказывали вид субстратов и температура. Максимальное выделение $C(CO_2)$ из растительных образцов наблюдалось на первых стадиях разложения. Сначала самые высокие значения $DecR$ фиксировалось при 22°C и только спустя 1-2 недели – при 2°C. При этом угасание активности разложения растений при 2°C происходило намного медленнее, чем при 22°C. Для всех образцов, кроме *E. vaginatum*, выявлено уменьшение общих потерь C за 6 месяцев эксперимента при понижении температуры. Максимальные потери $C(CO_2)$ наблюдались при разложении *S. calyculata* и *E. vaginatum* и в зависимости от температуры они составляли 10-23% от исходного количества C в образцах. Самые высокие значения температурного коэффициента Q_{10} выявлены для *E. vaginatum* в диапазоне температур 2-12°C, а для *S. calyculata* в интервале 12-22°C.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России № 0369-2016-0002 при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (Грант №17-34-50041 мол_нр) и Программы Президиума РАН № 51 «Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования».

ЛИТЕРАТУРА

1. Вишнякова Е.К., Миронычева-Токарева Н.П., Косых Н.П. Динамика разложения растений на болотах Васюганья // *Вестник Томского государственного педагогического университета*. 2012. № 7. С. 87-93.
2. Бамбалов Н.Н. Превращение отмерших растений в болотных биогеоценозах // *Эксперимент и математическое моделирование в изучении биогеоценозов лесов и болот*. М.: Наука, 1990. С. 53-63.
3. Боч М.С. Экосистемы болот СССР. Л.: Наука, 1979. 188 с.
4. Головацкая Е.А., Никонова Л.Г. Разложение растительных остатков в торфяных почвах олиготрофных болот // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2013. № 3 (23). С. 137-151.
5. Головацкая Е.А., Никонова Л.Г. Влияние уровня болотных вод на процессы трансформации сфагновых мхов в торфяной почве олиготрофных болот // *Почвоведение*. 2017. №5. С. 606-613. doi: 10.7868/80032180X17030030
6. Козловская Л.С., Медведева В.М., Пьявченко Н.И. Динамика органического вещества в процессе торфообразования. Л.: Наука ЛО, 1978. 172 с.
7. Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Паршина Е.К. Фитомасса, продукция и разложение растительных остатков в олиготрофных болотах средней тайги Западной Сибири // *Вестник Томского государственного педагогического университета*. 2009. № 3. С. 63-68.
8. Мишутин Е.Н. Микроорганизмы и продуктивность земледелия. М.: Наука, 1972. 245 с.
9. Миронычева-Токарева Н.П., Косых Н.П., Вишнякова Е.К. Продукционно-деструкционные процессы в болотных экосистемах Васюганья // *Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата*. 2013. Т. 4. № 1. С. 1-9.
10. Никонова Л.Г., Головацкая Е.А., Терещенко Н.Н. Влияние уровня болотных вод на процессы трансформации растений-торфообразователей в торфяной почве олиготрофных болот // *III Ковалевские молодежные чтения: тезисы докл. Всерос. конф (Новосибирск, 26-30 сентября 2016 г.)*. Новосибирск, 2016. С. 165-170.
11. Тюрелнов С.Н. Торфяные месторождения. М.: Недра, 1976. 487с.
12. Ananyeva N.D., Susyan E.A., Ryzhova I.M., Bocharnikova E.O., Stolnikova E.V. Microbial biomass carbon and the microbial carbon dioxide production by soddy-podzolic soils in postagrogenic biogeocenoses and in native spruce forests of the southern taiga (Kostroma oblast) // *Eurasian Soil Science*. 2009. № 42(9). P. 1029-1037.
13. Berg B. Decomposing litter; limit values; humus accumulation, locally and regionally // *Applied Soil Ecology*. 2018. V. 123. P. 494-508. doi: 10.1016/j.apsoil.2017.06.026
14. Chen H, Dong S, Liu L, Ma C, Zhang T, Zhu X, Mo J. Effects of experimental nitrogen and phosphorus addition on litter decomposition in an old-growth tropical forest // *PLoS One*. 2013 №8(12). Article № e84101. P. 84-101. doi: 10.1371/journal.pone.0084101
15. Fierer N., Craine J.M., McLauchlan K., Schimel J.P. Litter quality and the temperature sensitivity of decomposition // *Ecology*. 2005. V. 86. Iss.2. P. 320-326. doi: 10.1890/04-1254
16. Hajek T. Habitat and species controls on Sphagnum production and decomposition in a mountain bog // *Boreal environmental research*. 2009. № 14. p. 947-958.
17. Hogg E. H., Lieffers V. J., Wein R. W. Potential Carbon losses from peat profiles: effects of temperature, drought cycles, and fire // *Ecological Applications*. 1992. V. 2. №3. p. 298-306. doi: 10.2307/1941863
18. Inisheva L. I., Szajdak L., Sergeeva M. A. Dynamics of Biochemical Processes and Redox Conditions in Geochemically Linked Landscapes of Oligotrophic Bogs // *Eurasian Soil Science*. 2016. V. 49. №4. p. 466-474. doi: 10.1134/S1064229316040050

19. Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Gallardo Lancho J.F., Oehm C.T. Evaluation of the rates of soil organic matter mineralization in forest ecosystems of temperate continental, Mediterranean, and tropical monsoon climates // *Eurasian Soil Science*. 2012. №1. P. 68–79. doi: [10.1134/S1064229312010085](https://doi.org/10.1134/S1064229312010085)
20. Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Galibina N., Kapitsa E., Shorohova E. Coupled effect of temperature and mineral additions facilitates decay of aspen bark // *Geoderma*. 2018. № 316 p. 27–37. doi: [10.1016/j.geoderma.2017.12.014](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.12.014)
21. Larionova A.A., Maltseva A.N., Lopes de Gerenyu V.O., Kvitkina A.K., Bykhovets S.S., Zolotareva B.N., Kudiyarov V.N. Effect of temperature and moisture on the mineralization and humification of leaf litter in a model incubation experiment // *Eurasian Soil Science*. 2017. № 4. P. 422-431. doi: [10.1134/S1064229317020089](https://doi.org/10.1134/S1064229317020089)
22. Leroy F., Gogo S., Buttler A., Bragazza L., Laggoun-Défarge F. Litter decomposition in peatlands is promoted by mixed plants // *Journal of Soils and Sediments*. 2018. №18(3). P.739-749. doi: [10.1007/s11368-017-1820-3](https://doi.org/10.1007/s11368-017-1820-3)
23. Nikonova L.G., Golovatskaya E.A., Terechshenko N.N. Decomposition rate of peat-forming plants in the oligotrophic peatland at the first stages of destruction // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing. 2018. V. 138. №. 1. P. 012013. doi: [10.1088/1755-1315/138/1/012013](https://doi.org/10.1088/1755-1315/138/1/012013)
24. Ozalp M., Conner W. H., Lockaby B. G. Above-ground productivity and litter decomposition in a tidal freshwater forested wetland on Bull Island, SC, USA // *Forest Ecology and Management*. 2007. V. 245. №. 1-3. P. 31-43. doi: [10.1016/j.foreco.2007.03.063](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.03.063)
25. Vos V., Van Ruijven J., Berg M., Peeters E., Berendse F. Leaf litter quality drives litter mixing effects through complementary resource use among detritivores // *Oecologia*. 2013. V.173. Iss.1. p. 269-280. doi: [10.1007/s00442-012-2588-1](https://doi.org/10.1007/s00442-012-2588-1)
26. Zavarzin G. A., Kudiyarov V. N. Soil as the key source of carbonic acid and reservoir of organic carbon on the territory of Russia // *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2006. V. 76. №1. P.12-26. doi: [10.1134/S1019331606010035](https://doi.org/10.1134/S1019331606010035)
27. Zhang L., Wang H., Zou J., Rogers W., Siemann E. Non-native plant litter enhances soil carbon dioxide emissions in an invaded annual grassland. // *PLoS one*. 2014. V.9. №3. Article No e9230. doi: [10.1371/journal.pone.0092301](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092301)

Поступила в редакцию 05.11.2018; принята 24.12.2018; опубликована 26.12.2018

Сведения об авторах:

Никонова Лилия Гарифулловна – аспирант, ведущий инженер лаборатории физики климатических систем ФГБУН Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (Томск, Россия); lili112358@mail.ru

Курганова Ирина Николаевна – доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории почвенных циклов азота и углерода Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН - обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Пушинский научный центр биологических исследований Российской академии наук» (Пушино, Московская область, Россия); ikurg@mail.ru

Лопес де Гереню Валентин Овидиович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории почвенных циклов азота и углерода Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН - обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Пушинский научный центр биологических исследований Российской академии наук» (Пушино, Московская область, Россия); vlopes@mail.ru

Жмурин Василий Анатольевич – аспирант, младший научный сотрудник лаборатории почвенных циклов азота и углерода Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН - обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Пушинский научный центр биологических исследований Российской академии наук» (Пушино, Московская область, Россия); zhmurin.vasya@mail.ru

Головацкая Евгения Александровна – профессор РАН, доктор биологических наук, врио директора ФГБУН Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (Томск, Россия); golovatskayaea@gmail.com

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

ESTIMATE OF TEMPERATURE EFFECT ON THE DECOMPOSITION RATE OF PEAT-FORMING PLANTS IN A LONG-TERM LABORATORY EXPERIMENT

© 2018 L.G. Nikonova¹, I.N. Kurganova², V.O. Lopes de Gerenyu², V.A. Zhmurin², E.A. Golovatskaya¹Address: ¹Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia. E-mail: lili112358@mail.ru, golovatskayaea@gmail.com²Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science of the Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia. E-mail: ikurg@mail.ru, vlopes@mail.ru, zhmurin.vasya@mail.ru

The aim of the study. To quantify the effect of the temperature on the decay rate of the modern peat-forming plants of oligotrophic bogs in the southern taiga subzone of Western Siberia in a long-term laboratory experiment.

The study location and time. Samples of the prevalent peat-forming plants (*Chamaedaphne calyculata* Moench., *Eriophorum vaginatum* L., and *Sphagnum fuscum* Klinggr.) were collected on the oligotrophic bog "Bakcharskoye" (Bakcharsky district, Tomsk region, 56°26' N, 84°50' E) in September 2017. To assess the dynamics of the decomposition rate of plant substrates, a laboratory experiment was conducted from November 2017 to April 2018.

Methodology. The rate of decomposition (DecR, $\mu\text{g C} / \text{g of substrate} / \text{hour}$) of plant substrates of the main peat-forming plants was estimated in the 6-month laboratory experiment by the control of the CO_2 emission rate at 2, 12 and 22 °C. Humidity of plant samples corresponded to 90% of their water-holding capacity. Measurements of DecR were carried out 3-5 times per week during the 1-st month of the experiment and 1 times per week for the next 5 months. The effect of temperature on the DecR value was estimated using the temperature coefficient Q_{10} .

Main results. The highest CO_2 emission rate from all plant samples was recorded at 22 °C in the first 2-3 weeks of the experiment, whereas the maximum values of the CO_2 emission at 2 °C rate were observed only 1-2 weeks after the start of incubation of samples. *C. calyculata* demonstrated the most significant $\text{C}(\text{CO}_2)$ losses for the 6 months of the experiment at 22 °C whereas *E. vaginatum* - at 12 °C (21% and 23% of initial C content, respectively). The maximum values of the temperature coefficient Q_{10} were found for *E. vaginatum* in the temperature range of 2–12 °C, and for *C. calyculata* - in the range of 12–22 °C.

Conclusion. Temperature and type of plant material had a pronounced effect on the dynamics of DecR of prevalent peat-forming plants during the incubation experiment. Excepting *E. vaginatum*, all plant samples at a moisture of 90% of their water holding capacity were characterized by the highest total losses of C (CO_2) during the whole experiment at a temperature of 22 °C. *Sphagnum fuscum* showed the highest resistance to decomposition. The temperature coefficient Q_{10} also depended on the type of plant sample and the temperature range for which the measurement was performed.

Key words: oligotrophic peat soils; histosols; CO_2 emission rate; *Sphagnum fuscum*; *Chamaedaphne calyculata*; *Eriophorum vaginatum*; hydrothermal conditions; decomposition of organic matter

How to cite: Nikonova L.G., Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Zhmurin V.A., Golovatskaya E.A. Estimate of temperature effect on the decomposition rate of peat-forming plants in a long-term laboratory experiment // *The Journal of Soils and Environment*. 2018. 1(4): 256-266 (in Russian with English abstract).

REFERENCES

1. Vishnyakova E.K., Mironycheva-Tokareva N.P., Kosykh N.P. Decomposition dynamics of plants of bogs (data: Vasyugan bog), *Tomsk State Pedagogical University Bulletin*, 2012, No 7, p. 87-93. (in Russian)
2. Bambalov N.N. Transformation of dead plants in wetland biogeocenoses. In book: *Experiment and mathematical modeling in the study of biogeocenoses of forests and wetlands*. Moscow: Nauka Pbs., 1990, p. 53-63. (in Russian)
3. Boch M.S. Ecosystems of bogs of the USSR. Leningrad: Nauka Pbs., 1979, 188 p. (in Russian)
4. Golovatskaya E.A., Nikonova L.G. Decomposition of plant residues in peat soils of oligotrophic peatlands, *Tomsk State University Journal: Biology*, 2013, No3 (23), p. 137-151. (in Russian)
5. Golovatskaya E.A., Nikonova L.G. The influence of the bog water level on the transformation of sphagnum mosses in peat soils of oligotrophic bogs, *Eurasian Soil Science*, 2017, No 5, p. 580-588. doi: [10.1134/S1064229317030036](https://doi.org/10.1134/S1064229317030036)
6. Kozlovskaya L.S., Medvedeva V.M., Piavchenko N.I. Dynamics of organic matter in the process of peat formation. Leningrad: Nauka LO Publ., 1978. (in Russian)
7. Kosykh N.P., Mironycheva-Tokareva N.P., Parshina E.K. Phytomass, production and decomposition of plant residues in oligotrophic bogs of the middle taiga of Western Siberia, *Tomsk State Pedagogical University Bulletin*, 2009, No3, p. 63-68. (in Russian)
8. Mishutin E.N. Microorganisms and productivity of agriculture, Moscow, Nauka Pbs., 1972, 245 p. (in Russian)

9. *Mironycheva-Tokareva N.P., Kosykh N.P., Vishnyakova E.K.* Production and destruction processes in peatland ecosystems of Vasyugan region, *Dinamika okruzhayushchey sredy i global'nye izmeneniya klimata (Environmental dynamics and global climate change)*, 2013, V. 4, No 1, p.1-9. (in Russian)
10. *Nikonova L.G., Golovatskaya E.A., Tereshhenko N.N.* The influence of bog waterlevels on the processes of transformation peat forming plants in peat soils of oligotrophic bogs. In book: *III Kovalev Youth Readings: Abstracts of the Russian Conference (Novosibirsk, September 26-30, 2016)*, Novosibirsk, 2016, p. 165-170. (in Russian)
11. *Tyuremnov S.N.* Peat deposits, Moscow, Nedra Pbs., 1976, 487p. (in Russian)
12. *Ananyeva N.D., Susyan E.A., Ryzhova I.M., Bocharnikova E.O., Stolnikova E.V.* Microbial biomass carbon and the microbial carbon dioxide production by soddy-podzolic soils in postagrogenic biogeocenoses and in native spruce forests of the southern taiga (Kostroma oblast), *Eurasian Soil Science*, 2009, No 42(9), p. 1029-1037.
13. *Berg B.* Decomposing litter; limit values; humus accumulation, locally and regionally, *Applied Soil Ecology*, 2018, V. 123, p. 494-508. doi: [10.1016/j.apsoil.2017.06.026](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.06.026)
14. *Chen H, Dong S, Liu L, Ma C, Zhang T, Zhu X, Mo J.* Effects of experimental nitrogen and phosphorus addition on litter decomposition in an old-growth tropical forest, *PLoS One*, 2013, No8(12), Article № e84101, p. 84-101. doi: [10.1371/journal.pone.0084101](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084101)
15. *Fierer N., Craine J.M., McLauchlan K., Schimel J.P.* Litter quality and the temperature sensitivity of decomposition, *Ecology*, 2005, V. 86, Iss.2, p. 320–326. doi: [10.1890/04-1254](https://doi.org/10.1890/04-1254)
16. *Hajek T.* Habitat and species controls on Sphagnum production and decomposition in a mountain bog, *Boreal environmental research*, 2009, No 14, p. 947–958.
17. *Hogg E. H., Lieffers V. J., Wein R. W.* Potential Carbon losses from peat profiles: effects of temperature, drought cycles, and fire, *Ecological Applications*, 1992, V. 2, №3, p. 298-306. doi: [10.2307/1941863](https://doi.org/10.2307/1941863)
18. *Inisheva L.I., Szajdak L., Sergeeva M.A.* Dynamics of Biochemical Processes and Redox Conditions in Geochemically Linked Landscapes of Oligotrophic Bogs, *Eurasian Soil Science*, 2016, V. 49, No. 4, p. 466–474. doi: [10.1134/S1064229316040050](https://doi.org/10.1134/S1064229316040050)
19. *Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Gallardo Lancho J.F., Oehm C.T.* Evaluation of the rates of soil organic matter mineralization in forest ecosystems of temperate continental, Mediterranean, and tropical monsoon climates, *Eurasian Soil Science*, 2012, V. 45, No1, p. 68–79. doi: [10.1134/S1064229312010085](https://doi.org/10.1134/S1064229312010085)
20. *Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Natalia Galibina N., Kapitsa E., Shorohova E.* Coupled effect of temperature and mineral additions facilitates decay of aspen bark, *Geoderma*, 2018, No 316, p. 27–37. doi: [10.1016/j.geoderma.2017.12.014](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.12.014)
21. *Larionova A.A., Maltseva A.N., Lopes de Gerenyu V.O., Kvitkina A.K., Bykhovets S.S., Zolotareva B.N., Kudayarov V.N.* Effect of temperature and moisture on the mineralization and humification of leaf litter in a model incubation experiment, *Eurasian Soil Science*, 2017, V.50, No4, p. 422-431. doi: [10.1134/S1064229317020089](https://doi.org/10.1134/S1064229317020089)
22. *Leroy F., Gogo S., Buttler A., Bragazza L., Laggoun-Défarge F.* Litter decomposition in peatlands is promoted by mixed plants, *Journal of Soils and Sediments*, 2018, No18(3), p.739-749. doi: [10.1007/s11368-017-1820-3](https://doi.org/10.1007/s11368-017-1820-3)
23. *Nikonova L.G., Golovatskaya E.A., Terechshenko N.N.* Decomposition rate of peat-forming plants in the oligotrophic peatland at the first stages of destruction, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2018, V. 138, No. 1, p. 012013. doi: [10.1088/1755-1315/138/1/012013](https://doi.org/10.1088/1755-1315/138/1/012013)
24. *Ozalp M., Conner W. H., Lockaby B. G.* Above-ground productivity and litter decomposition in a tidal freshwater forested wetland on Bull Island, SC, USA, *Forest Ecology and Management*, 2007, V. 245, No. 1-3, p. 31-43. doi: [10.1016/j.foreco.2007.03.063](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.03.063)
25. *Vos V, Van Ruijven J, Berg M, Peeters E, Berendse F* Leaf litter quality drives litter mixing effects through complementary resource use among detritivores, *Oecologia*, 2013, V.173, Iss.1, p. 269-280. doi: [10.1007/s00442-012-2588-1](https://doi.org/10.1007/s00442-012-2588-1)
26. *Zavarzin G. A., Kudayarov V. N.* Soil as the key source of carbonic acid and reservoir of organic carbon on the territory of Russia, *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2006, V. 76, No 1, p.12-26. doi: [10.1134/S1019331606010035](https://doi.org/10.1134/S1019331606010035)
27. *Zhang L, Wang H., Zou J., Rogers W., Siemann E.* Non-native plant litter enhances soil carbon dioxide emissions in an invaded annual grassland, *PLoS one*, 2014, V.9, No3, Article No e9230. doi: [10.1371/journal.pone.0092301](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092301)

Received 05 November 2018; Accepted 24 December 2018;

Published 26 December 2018

About the authors:

Nikonova Liliya G. – Ph.D student, leading engineer in the Laboratory of Physics of Climatic Systems, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia); lili112358@mail.ru

Kurganova Irina N. – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Leading Researcher in the Laboratory of soil cycles of nitrogen and carbon, Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science, Russian Academy of Sciences (Pushchino town, Moscow region Russia); ikurg@mail.ru

Lopes de Gerenyu Valentin O. – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher in the Laboratory of soil cycles of nitrogen and carbon, Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science, Russian Academy of Sciences (Pushchino town, Moscow region Russia); vlopes@mail.ru

Zhmurin Vasily A. – Ph.D student, junior researcher in the Laboratory of soil cycles of nitrogen and carbon, Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science, Russian Academy of Sciences (Pushchino town, Moscow region Russia); zhmurin.vasya@mail.ru

Golovatskaya Eugenia A. – Doctor of Biological Sciences, Professor, RAS, Deputy Director of the Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia); golovatskayaea@gmail.com

The authors read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)