

**В. М. Конькова<sup>1</sup>, А. В. Бурло<sup>2</sup>, И. П. Наркевич<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова  
Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Государственное научно-производственное объединение  
«Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам»,  
г. Минск, Республика Беларусь

## **ЭМИССИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ С ТОРФЯНЫХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ БРЕСТСКОЙ И МИНСКОЙ ОБЛАСТЕЙ**

*В статье представлены результаты годового мониторинга потоков углекислого газа, закиси азота и метана с нарушенных торфяных почв. В рамках исследования была установлена зависимость парниковых газов от влажности почвы, уровня стояния грунтовых вод, глубины торфяной залежи, температуры воздуха и почвы, вида возделываемых культур.*

➤ **Ключевые слова:** парниковые газы, эмиссия парниковых газов, потоки углекислого газа, потоки метана, потоки закиси азота, нарушенные торфяники, уровень грунтовых вод, дыхание экосистемы, валовая первичная продукция, нетто-экосистемный обмен.

### **Введение**

В настоящее время крупномасштабные глобальные изменения природной среды становятся все более очевидными, прослеживаются на различных уровнях во всех геосферах Земли и оказывают все возрастающее влияние на развитие человеческого общества [1].

Главным фактором глобальных изменений в XX в. и в настоящее время является прогрессирующее потепление климата, которое, судя по данным метеослужбы, продолжается уже свыше 100 лет [1]. Наиболее распространенным предположением о причине возникновения глобального потепления является накопление в атмосфере в результате техногенных выбросов различными отраслями промышленности таких газов, как диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ), метан ( $\text{CH}_4$ ), закись азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ) и др., молекулы которых задерживают длинноволновую часть излучаемой земной поверхностью радиации и создают парниковый эффект, содействуя саморазогреву атмосферы [1].

$\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$  являются одними из наиболее важных в отношении климата газовыми смесями, которые влияют на излучающее воздействие атмосферы и способствуют «парниковому эффекту». С середины XVIII в. атмосферные концентрации этих газов существенно увеличились. К настоящему времени в атмосфере концентрация диоксида углерода увеличилась с 280 до 388 ppm, концентрация атмосферного метана – с 715 до 1800 ppb, и закиси азота – с 270 до 323 ppb. [2]. Быстрое повышение атмосферной концентрации вызвало поглощение теплового излучения от поверхности Земли и, по всей вероятности, внесло значительный вклад в повышение средней мировой температуры на 0,6 °С. Увеличение атмосферной концентрации парниковых газов является основной причиной антропогенного изменения климата. Вклад  $\text{CO}_2$  в антропогенный парниковый эффект составляет 63 %,  $\text{CH}_4$  – 18 %, а  $\text{N}_2\text{O}$  – 6 %. Климатический эффект последних двух газов преимущественнее из-за их намного более высокого потенциала глобального потепления (ПГП) по сравнению с  $\text{CO}_2$  [2]. За период в 100 лет метан обладает 21-кратным парниковым потенциалом углекислого газа, а закись азота – 301-кратным [3].

Климат является наиболее важным фактором, определяющим местоположение и биоразнообразие на торфяниках по всему миру. Прошлые изменения климата привели к их расширению или сокращению. Тесная взаимосвязь между климатом и распределением торфяников наводит на мысль, что изменения климата в будущем будет оказывать сильное влияние на торфяники [2].

Торфяники, в свою очередь, влияют на климат через ряд механизмов обратной связи, включая поглощение и выделение углекислого газа и метана, изменения отражательной способности поверхности земли и изменения микро- и мезоклимата [2].

Целью данной работы является количественная оценка эмиссии углекислого газа, метана и закиси азота с торфяных почв (на примере болот Копыш и Червень-2).

### Объекты и методы исследования

В октябре 2013 г. сотрудниками ГНПО «Научно практического центра Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам» для проведения мониторинга потоков парниковых газов были выбраны и оборудованы пилотные площадки на указанных в техническом задании биотопах нарушенных торфяников.

Площадка Т1 располагалась на осушенном сельскохозяйственном торфянике возле д. Мостыки Березовского р-на Брестской обл. (координаты площадки 52°23.319' с.ш.; 25°09.933' в.д.). Данный торфяник до осушения являлся низинным осоковым болотом. Осушен в 1975 г с целью использования в сельском хозяйстве в качестве пашни и сенокосных угодий. Мощность торфяной залежи составляет 49 см.

Для проведения измерений потоков парниковых газов были выбраны три квадратных участка торфяника (70×70 см), на каждом из которых устанавливалась специальная пластиковая рамка.

На местности три участка расположены на расстоянии около 0,5 м вдоль прямой линии с востока на север. Такое расположение позволит минимизировать погрешности, вызванные влиянием закрытых эмиссионных камер на измеряемые потоки парниковых газов с участков. Также с северной стороны вдоль участков была установлена деревянная платформа, которая необходима для того, чтобы избежать искусственного (неестественного) выделения CO<sub>2</sub> и N<sub>2</sub>O из почвенных пор, вызванного давлением массы оператора камеры при подходе к участку.

Возле площадки было установлено два пластиковых колодца для мониторинга динамики уровня грунтовых вод на участке. Один из колодцев оборудован автоматическим сенсором и самописцем, которые измеряют каждый час значение уровня грунтовых вод и температуры грунтовых вод. Второй колодец используется для периодических ручных измерений.

Мониторинг парниковых газов на площадке Т1 проводился на протяжении одного календарного года в период с ноября 2013 г. по ноябрь 2014 г. Высевание луговых трав (*Phleum pratense*) было проведено в апреле 2014 г. В связи с тем, что исследуемая площадка Т1 представляла собой переходную стадию от сельскохозяйственного биотопа на основе выращивания пропашных культур к установлению биотопов с многолетними луговыми травами, период мониторинга в один календарный год является достаточным. Суммарная эмиссия ПГ с площадки за период мониторинга, может использоваться, как годовой баланс ПГ для указанного биотопа в рамках существующих методов измерения, отчетности и проверки балансов парниковых газов торфяников.

В начале ноября 2013 г. года на болоте Червень-2 (Минская область) были установлены две площадки для измерения потоков парниковых газов: площадка Р1 (координаты площадки: 53° 47.511' с.ш., 28° 25.327' в.д.) представляет собой участок верхового болота с нарушенным гидрологическим режимом с доминированием *Calluna vulgris* и площадка Р2 (координаты площадки: 53° 47.513' с.ш., 28° 25.331' в.д.) представляет собой участок верхового болота с нарушенным гидрологическим режимом с доминированием *Polytrichum commune*. На каждой из площадок были выбраны три квадратных участка (70×70 см), на которых были установлены пластиковые рамки. Рамки служат для обозначения участков, а также в качестве платформы, на которую устанавливаются закрытые эмиссионные камеры при проведении измерений потоков парниковых газов.

Возле каждой из площадок было установлено по два пластиковых колодца для мониторинга уровня грунтовых вод. Один из колодцев оборудован автоматической системой измерения (Mini-Drive, Schlumberger Water service). Второй колодец использовался для ручных измерений.

Площадки Р1 и Р2 расположены на расстоянии порядка 20 м друг от друга. Выбранные для измерения участки расположены вдоль прямой линии, направленной с востока на запад. Такое расположение поможет сократить временные и физические затраты на проведение измерительных кампаний, а также минимизирует погрешности при измерении потоков парниковых газов, связанные с использованием метода закрытых камер. В декабре 2013 г. с северной стороны вдоль каждой из площадок были установлены деревянные платформы.

На площадках Р1 и Р2 полевые измерения потоков ПГ проводились с ноября 2013 г. по январь 2015 г., и были продолжены до декабря 2015 г. Таким образом, мониторинг потоков ПГ на площадках Р1 и Р2 продлится в течении двух лет, что позволит использовать полученные значения потоков ПГ для адаптации и операционализации существующих методов измерения, отчетности и проверки балансов парниковых газов с торфяников.

За истекший период на площадке Т1 было проведено 14 измерительных кампаний потоков двуокиси углерода (CO<sub>2</sub>) и 18 измерительных кампаний потоков метана (CH<sub>4</sub>) и закиси азота (N<sub>2</sub>O). На площадках на площадках Р1 и Р2 было проведено 19 измерительных кампаний потоков CO<sub>2</sub> и 19 измерительных кампаний CH<sub>4</sub> и N<sub>2</sub>O. Периодичность проведения измерений составляла 3–4 недели для потоков CO<sub>2</sub> и 2–3 недели для CH<sub>4</sub> и N<sub>2</sub>O (в зависимости от сезона года).

**Измерения потоков ПГ** проводились с помощью метода закрытых статических камер. Используемая камера была изготовлена из ПВХ и имела форму правильной четырехгранной усеченной пирамиды (нижнее основание – 72,5 см, высота – 51 см, объем камеры – 0,234 м<sup>3</sup>), нижнее основание которой отсутствовало (в остальном камера герметична). Камера устанавливалась на изучаемый участок открытым нижним основанием. Поток CH<sub>4</sub> и N<sub>2</sub>O из почвы определялись по скорости изменения концентрации этих газов внутри камеры. Для этого из внутреннего пространства камеры через равные промежутки времени отбирались пробы воздуха (60 мл). За одно измерение отбиралось от 4 до 5 проб с интервалом 7–15 минут. Концентрация метана в отборных пробах воздуха анализировалась на газовом хроматографе «Хроматек Кристалл 5000.2».

На основе полученных значений для каждой из исследуемых площадок были рассчитаны модели потоков CO<sub>2</sub>. Модель включает расчет основных элементов углеродного цикла экосистемы: валовой первичной продукции – количество CO<sub>2</sub> поглощенное исследуемым биотопом; дыхания экосистемы – количество CO<sub>2</sub> выделенное в атмосферу в результате минерализации торфа, дыхания растений и микроорганизмов; и нетто-экосистемного обмена – баланс между поглощенным и выделенным CO<sub>2</sub> исследуемой экосистемой (биотопом) [4]. Моделирование потоков CO<sub>2</sub> проводилось в программной среде R<sup>®</sup> с использованием пакетов «Flux» и пакета для автоматического моделирования потоков CO<sub>2</sub>. В данной модели атмосфера бралась за точку отсчета, поток CO<sub>2</sub> из экосистемы в атмосферу принимался положительным, а поглощение CO<sub>2</sub> экосистемой определялось как отрицательный поток. Таким образом, экосистема являлась источником углекислого газа, если суммарное значение нетто-экосистемного обмена за сезон наблюдения определялось как положительное число. Модель годовой динамики потоков CH<sub>4</sub> и N<sub>2</sub>O рассчитывалась на основе линейной интерполяции между измерительными кампаниями.

### Результаты и их обсуждения

С целью мониторинга погодных и климатических факторов вблизи изучаемых площадок в ноябре 2013 г. были установлены две автономных метеорологических станции и колодцы для измерения уровня грунтовых вод (УГВ). В течение 2014 г. проводились работы по поддержанию работоспособности метеостанций, а также сбор и анализ данных мониторинга климатических и водно-физических условий на изучаемых биотопах.

УГВ измерялся двумя способами: автоматически, с помощью измерительной системы (Schlumberger Mini-Diver WL [5]) и вручную, измеряя расстояние от поверхности торфа до уровня воды в колодце во время измерительных кампаний парниковых газов. На данном этапе использовались лишь результаты дискретных ручных измерений. Среднегодовой уровень грунтовых вод на площадке T1 составил –49 см от поверхности почвы, на площадке P1, как и на расположенной рядом площадке P2, среднегодовой УГВ составил –19,3 см от поверхности почвы. Годовая динамика УГВ на площадках P1, P2 и T1 приведены на рис. 1.

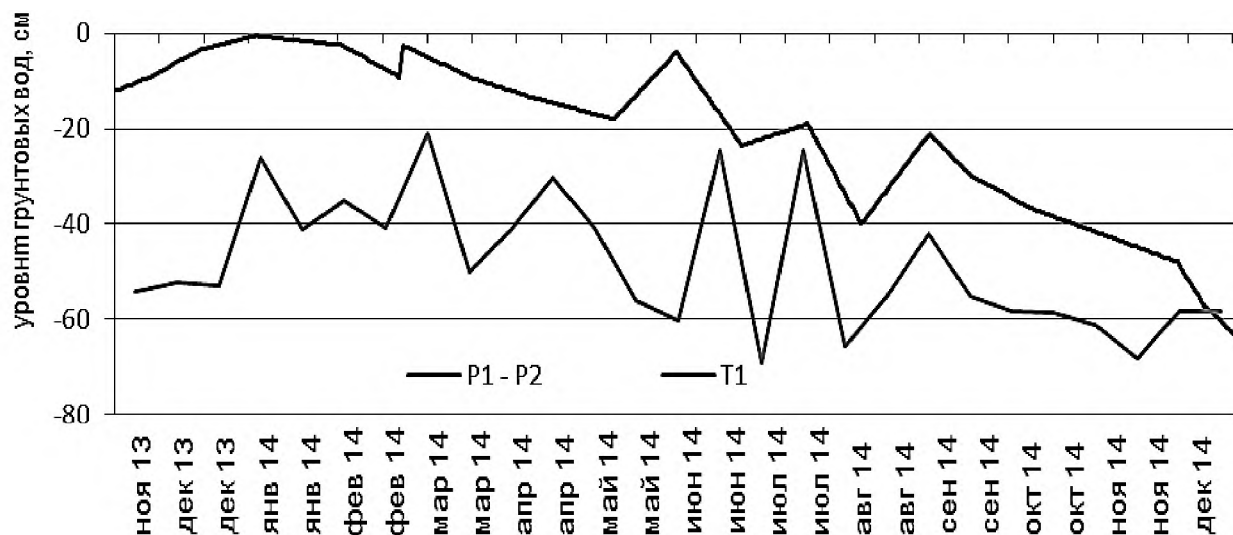


Рисунок 1 – Изменение уровня грунтовых вод на площадках P1 и P2 с ноября 2013 г. по декабрь 2014 г.

Одним из наблюдаемых параметров на исследуемых площадках являлась интенсивность фотосинтетической активной радиации (ФАР) солнечного излучения, которая измерялась с помощью дат-

чика SKP-215 (Skye Instruments Ltd, UK) на протяжении всего периода исследований. Годовая динамика ФАР в дальнейшем использовалась для моделирования потоков валовой первичной продукции (поглощения  $\text{CO}_2$  экосистемой). Динамика интенсивности ФАР солнечного излучения для всех трех площадок была очень схожей, и соответствует естественному годовому циклу солнечной радиации. Максимальная среднесуточная интенсивность ФАР солнечного излучения наблюдалась в летний период, достигая  $690\text{--}680 \mu\text{моль м}^{-2}\text{с}^{-1}$  в июне на площадках P1-P2 и  $670\text{--}680 \mu\text{моль м}^{-2}\text{с}^{-1}$  на площадке T1 (рис. 2, 3). Минимальные значения ФАР наблюдались в период с ноября по декабрь.

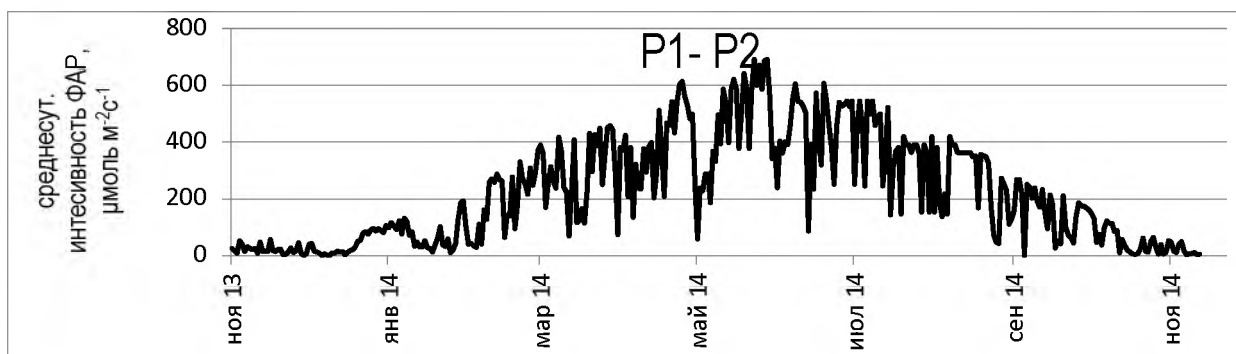


Рисунок 2 – Годовая динамика интенсивности фотосинтетической активной радиации (ФАР) солнечного излучения (площадки P1–P2)

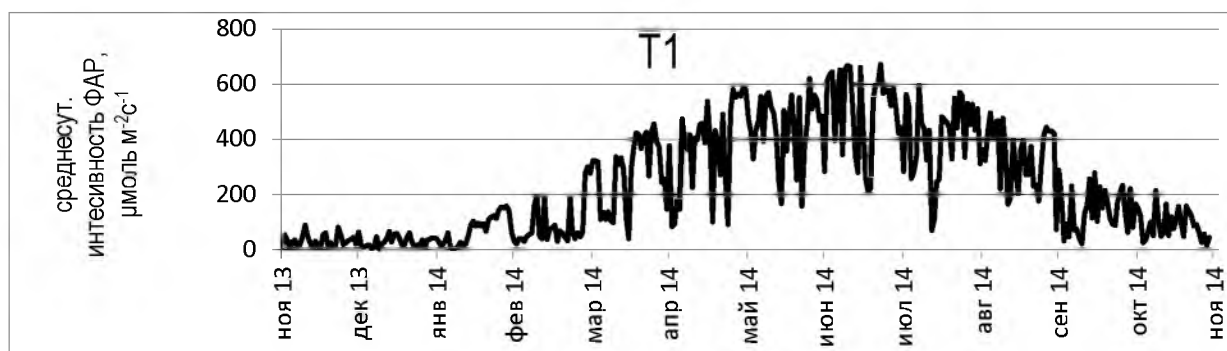


Рисунок 3 – Годовая динамика интенсивности фотосинтетической активной радиации (ФАР) солнечного излучения (площадка T1)

Одним из наиболее важных климатических параметров, который измерялся метеорологическими станциями, являлась температура воздуха и почвы. Суточная и сезонная динамика почвы и воздуха является фактором, который определяет интенсивность выделения  $\text{CO}_2$  экосистемой (Reco), в результате дыхания растений, почвенных микроорганизмов и минерализации сухой торфяной залежи [6]. Измерения температуры воздуха (на высоте 20 см от поверхности почвы) и температуры почвы (на глубинах 2 см, 5 см и 10 см) проводились автоматически каждые 30 минут. Результаты мониторинга температуры воздуха и почвы представлены на рис. 4–5.

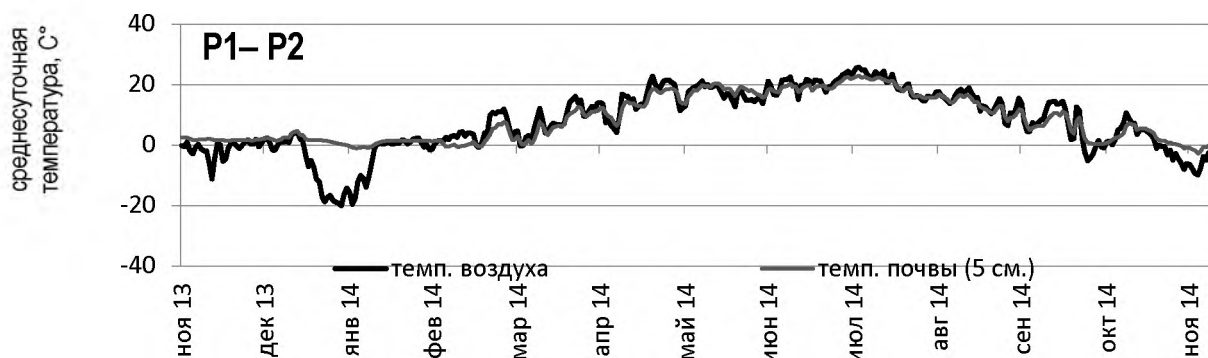


Рисунок 4 – Годовая динамика температуры воздуха и почвы (глубина 5 см) на площадках P1–P2

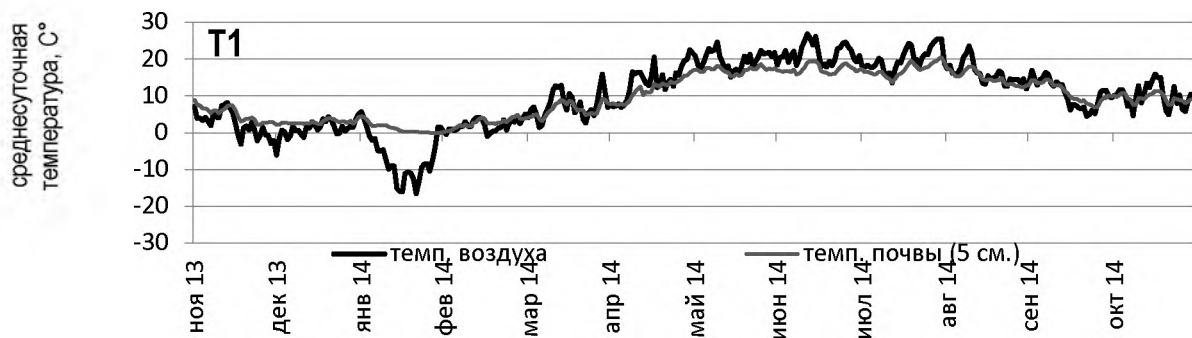


Рисунок 5 – Годовая динамика температуры воздуха и почвы (глубина 5 см) на площадке T1

Результаты мониторинга ПГ на площадке P1 показали, что исследуемый биотоп являлся чистым источником CO<sub>2</sub>. Динамика потоков CO<sub>2</sub> представлена на рис. 6 показывает изменения суточных потоков ДЭ, ВПП и НЭО в течение периода измерений с ноября 2013 г. по декабрь 2014 г.



Рисунок 6 – Модель динамики потоков CO<sub>2</sub> для площадки P1 в течение периода мониторинга с ноября 2013 г. по декабрь 2014 г.

Как видно из рис. 6, быстрый рост ДЭ продолжался с апреля по август 2014 г., причинами этого служит увеличение среднесуточной температуры воздуха и почвы, что способствовало ускорению минерализации торфа, а также падение уровня грунтовых вод, что увеличивало зону аэрации торфяной залежи. Максимальное значение ДЭ в 3,48 г (CO<sub>2</sub>-C)/м<sup>2</sup>/день наблюдалось в августе 2014 г., когда оба основных фактора (температура и УГВ) способствовали максимально возможной минерализации торфа. Поглощение углерода растительностью (линия ВПП ниже нуля) наблюдалось лишь в период, когда исследуемые площадки (P1) были свободны от снежного покрова, с марта по ноябрь 2014 г. Максимальное суточное поглощение CO<sub>2</sub> составило -1,52 г (CO<sub>2</sub>-C)/м<sup>2</sup>/день в июне 2014, после чего ВПП начало снижаться до ноября 2014 г. Увеличение ВПП в начале вегетативного сезона было связано с развитием роста растительности и увеличением интенсивности ФАР солнечного излучения, дальнейшее сокращение ВПП после июня объясняется падением УГВ, что оказало угнетающее воздействие на растительный покров и, следовательно, сокращение поглощения CO<sub>2</sub>. В результате вышеописанных условий, общий суточный баланс CO<sub>2</sub> (линия НЭО) почти весь период измерений, за исключением нескольких дней в апреле 2014 г., находился в положительной области. Максимальное суточное значение НЭО в 2,97 г (CO<sub>2</sub>-C)/м<sup>2</sup>/день наблюдалось в августе 2014, после чего эмиссия CO<sub>2</sub> постепенно снижалась к концу года.

Поглощение CO<sub>2</sub> растительным покровом (*Polytrichum commune*) на данном биотопе за период с ноября 2013 г. по ноябрь 2014 г. составило -150,09±6,84 г (CO<sub>2</sub>-C)/м<sup>2</sup>/год. За тот же период, выделения CO<sub>2</sub> в результате дыхания экосистемы составило 529,53±23,25 г (CO<sub>2</sub>-C)/м<sup>2</sup>/год, что значительно превышает количество поглощённого CO<sub>2</sub> экосистемой. Общий баланс потоков CO<sub>2</sub> для площадки P1 равен 379,46±23,75 г (CO<sub>2</sub>-C)/м<sup>2</sup>/год или 13,91±0,87 т/га<sup>2</sup>/год, что указывает на то что данный биотоп являлся чистым источником CO<sub>2</sub> для атмосферы.

Как уже указывалась выше, ДЭ формируется двумя потоками выделения CO<sub>2</sub> – это дыхание растительности и дыхание микроорганизмов, которые участвуют в деструкции торфяной залежи. Многие исследования указывают, что дыхание растительности составляет от 50 % до 100 % от коли-

чества углерода, поглощенного растительным покровом (ВПП). На основе этого соотношения можно оценить вклад дыхания растительности в общее ДЭ для данного биотопа в примерно 75–150 г (CO<sub>2</sub>-C)/м<sup>2</sup>/год. Таким образом, вычитая это значение из ДЭ можно примерно оценить выделение CO<sub>2</sub> от дыхания микроорганизмов, то есть от минерализации торфяной залежи, которые составляет 379–454 г (CO<sub>2</sub>-C)/м<sup>2</sup>/год.

На рис. 7 представлена динамика кумулятивного НЭО CO<sub>2</sub> для площадки P1. С помощью этого графика можно оценить баланс CO<sub>2</sub> за любой временной отрезок в течение проведения измерений потоков CO<sub>2</sub> начиная с ноября 2013 г.

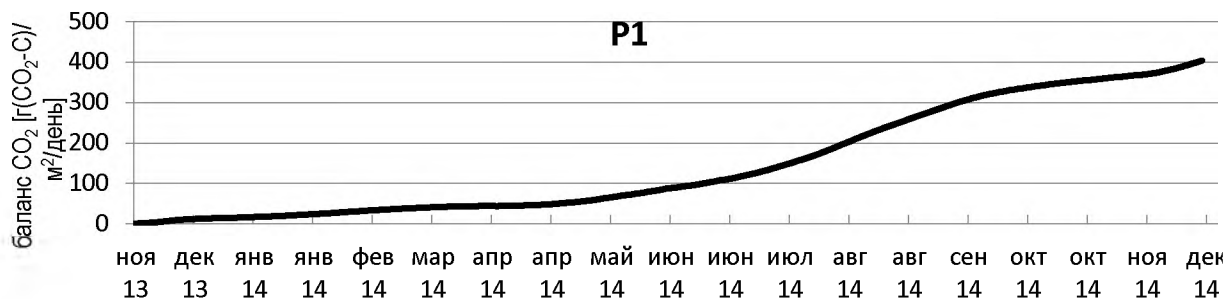


Рисунок 7 – Модель динамики кумулятивного нетто-экосистемного обмена (НЭО кумулятивный) для площадки P1 с ноября 2013 г. по декабрь 2014 г.

Результаты моделирования потоков CO<sub>2</sub> для площадки P2 были схожими с площадкой P1. Это объясняется идентичными климатическими условиями, динамикой УГВ и схожей торфяной залежью (осушенный верховой торф) между площадками. Единственным существенным различием между площадками P1 и P2, являлась наличие *Calluna vulgaris* в растительном покрове площадки P2, что оказало воздействие на ВПП, ДЭ и НЭО.

Общий тренд динамика потоков CO<sub>2</sub> на площадке P2 совпадает с площадкой P1, где наибольшие суточные значения ДЭ и ВПП наблюдались в летний период с апреля по октябрь 2014 г. и низкие суточные потоки CO<sub>2</sub> в зимние месяцы (рис. 8).

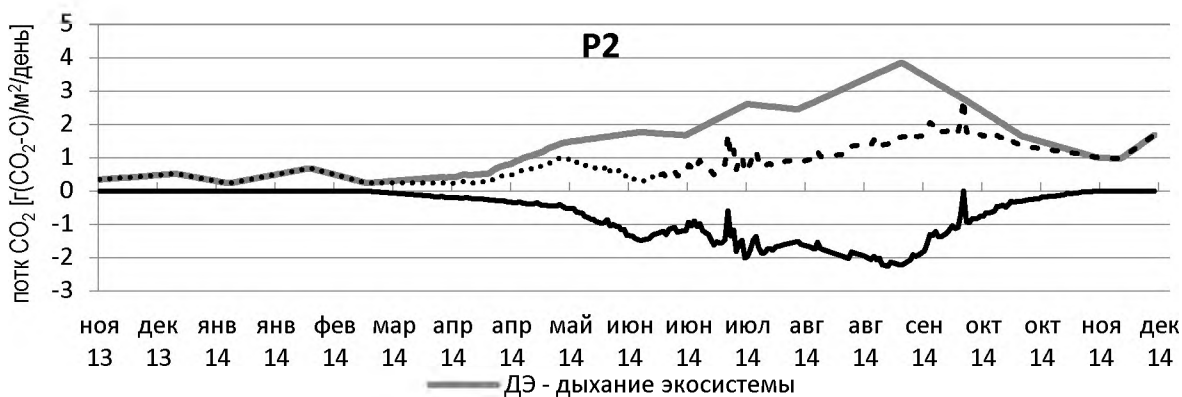


Рисунок 8 – Модель динамики потоков CO<sub>2</sub> для площадки P2 в течение периода мониторинга с ноября 2013 г. по декабрь 2014 г.

На рис. 8 видно, что активное поглощение CO<sub>2</sub> (линия ВПП) растительность площадки P2 наблюдалось с марта по октябрь 2014 г. Максимальное суточное поглощение CO<sub>2</sub> составило –2,27 г (CO<sub>2</sub>-C)/м<sup>2</sup>/день в сентябре 2014 г. В отличие от площадки P1, где падение УГВ осенью 2014 г. оказало угнетающее воздействие на растительность, на площадке P2, где доминирует *Calluna vulgaris*, этого воздействия не наблюдалось. Максимальные суточные потоки ДЭ наблюдались в августе-сентябре 2014 г. и достигали значений в 3,83 г (CO<sub>2</sub>-C)/м<sup>2</sup>/день. Суточный НЭО баланс оставался положительным на протяжении всего периода измерений, что указывает на то, что исследуемый биотоп был источником CO<sub>2</sub>.

Годовое значение потока ВПП для площадки P2 составило –240,33 г (CO<sub>2</sub>-C)/м<sup>2</sup>/год. При сравнении годовых значений на площадке видно, что наличие на площадке P2 *Calluna vulgaris* способствовало более интенсивному поглощению CO<sub>2</sub> экосистемой. Годовое значение ДЭ составило 530,61 г (CO<sub>2</sub>-C)/м<sup>2</sup>/год, что практически совпадает с оценками ДЭ для площадки P1. Общий годовой нетто-

экосистемный баланс  $\text{CO}_2$  для площадки P2 за год измерений составил  $290,28 \text{ г } (\text{CO}_2\text{-C})/\text{м}^2/\text{год}$ . Таким образом, эмиссия  $\text{CO}_2$  с площадки P2 была на  $89,18 \text{ г } (\text{CO}_2\text{-C})/\text{м}^2/\text{год}$  ниже, чем на площадке P1. Возможным объяснением этого может служить прирост биомассы *Calluna vulgaris*, который является многолетним вечнозеленым растением. Другими повлиявшими факторами могут являться отличия в микро топографии между площадками P1, P2 и различия в прогревании верхнего слоя торфа (т. к. *Calluna vulgaris* препятствует проникновению солнечного света).

Оценка эмиссии от минерализации торфа, с помощью подходов аналогично площадке P1, составила  $290\text{--}410 \text{ г } (\text{CO}_2\text{-C})/\text{м}^2/\text{год}$ . Динамика кумулятивного нетто-экосистемного обмена  $\text{CO}_2$  для площадки P2 представлена на рис. 9.

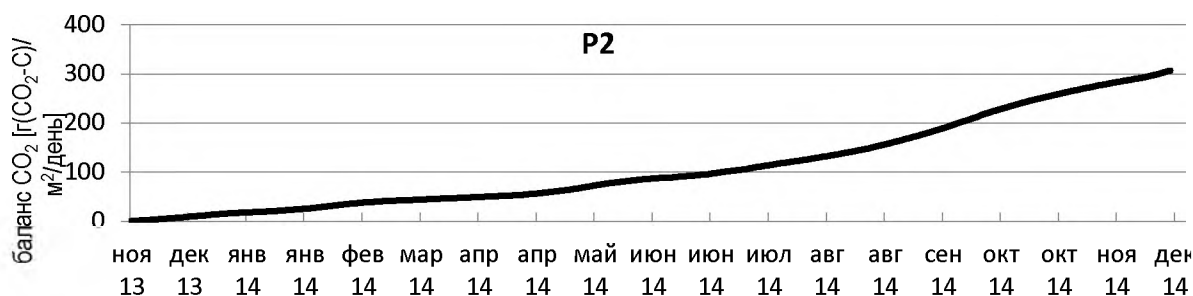


Рисунок 9 – Модель динамики кумулятивного нетто-экосистемного обмена (НЭО кумулятивный) для площадки P2 с ноября 2013 г. по декабрь 2014 г.

Результаты оценки потоков  $\text{CO}_2$  для площадки T1 были существенно выше, чем аналогичные на площадках P1 и P2. Результаты моделирования динамики суточных потоков  $\text{CO}_2$  для площадки T1 приведена на рис. 10.

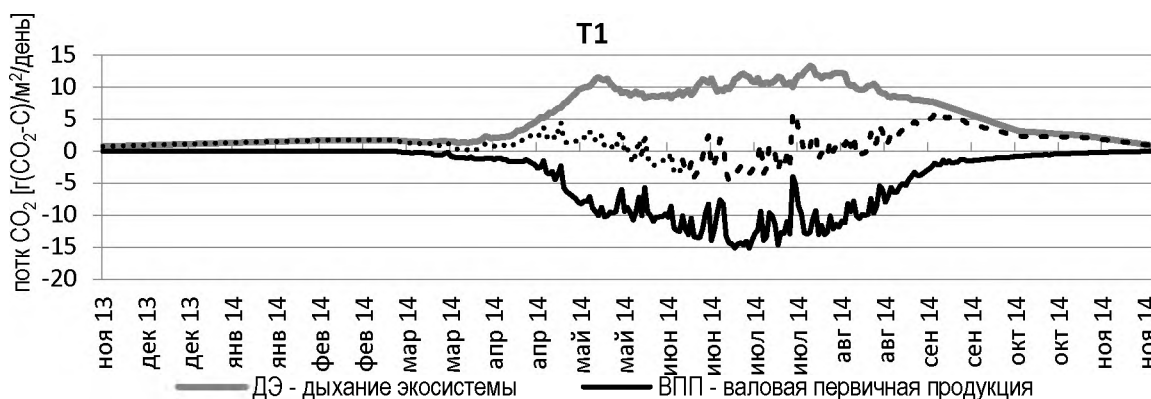


Рисунок 10 – Модель динамики потоков  $\text{CO}_2$  для площадки T1 в течение периода мониторинга с ноября 2013 г. по ноябрь 2014 г.

Так же, как и на площадках P1 и P2, максимальные значения ДЭ и ВПП наблюдались в летний период. Поглощение  $\text{CO}_2$  (линия ВПП) начало интенсивно возрастать в апреле 2014 г., достигнув максимального значения в  $-15,41 \text{ г } (\text{CO}_2\text{-C})/\text{м}^2/\text{день}$  в июле 2014 г., и затем плавно уменьшилось к сентябрю 2014 г. Наблюдаемая динамика ВПП соответствует росту луговой растительности, в первую очередь *Phleum pratense*, которая была высажена на площадке T1 в начале апреля 2014 г. После достижения пика роста, начался процесс постепенного старения и отмирания поверхностной части растений, что выразилось в сокращении поглощения  $\text{CO}_2$  экосистемой. В конце сентября–октябре 2014 г., растительный покров на площадке T1 представлял собой сухостой.

Поток выделения  $\text{CO}_2$  экосистемой обусловленный дыханием экосистемы (рис. 8 линия ДЭ), так же хорошо коррелирует с развитием растительности на площадке T1, быстро возрастая с апреля по май 2014 г. Это указывает на значительный вклад дыхания растений в общий поток  $\text{CO}_2$  дыхания экосистемы. В период с мая по август суточные значения ДЭ соответствовали выделениям  $\text{CO}_2$  от  $8,68$  до  $13,07 \text{ г } (\text{CO}_2\text{-C})/\text{м}^2/\text{день}$ .

Площадка T1 являлась единственной площадкой, где суточные значения нетто-экосистемного обмена  $\text{CO}_2$  опускалась ниже нуля (линия НЭО), что указывает на то, что в данный период экосисте-

ма являлась поглотителем  $\text{CO}_2$ . Минимальное суточное значение НЭО за период мониторинга потоков  $\text{CO}_2$  составило  $-4,29 \text{ г } (\text{CO}_2\text{-C})/\text{м}^2/\text{день}$ , максимальное суточное значение НЭО  $5,99 \text{ г } (\text{CO}_2\text{-C})/\text{м}^2/\text{день}$ . Годовой нетто-экосистемный обмен  $\text{CO}_2$  для площадки Т1 составил  $464,46 \text{ г } (\text{CO}_2\text{-C})/\text{м}^2/\text{год}$ . Оценка эмиссии  $\text{CO}_2$  от минерализации торфа составляет примерно  $464,46\text{--}1146,86 \text{ г } (\text{CO}_2\text{-C})/\text{м}^2/\text{год}$  (рис. 11).

В отличие от площадок Р1 и Р2 динамики кумулятивного нетто-экосистемного обмена  $\text{CO}_2$  для площадки имеет период когда кумулятивный НЭО сокращался в период с конца мая по середину июля 2014 г. (рис. 11), т. к. в указанный период площадка Т1 являлась чистым поглотителем  $\text{CO}_2$  из атмосферы. Сокращение кумулятивного НЭО составило порядка  $100 \text{ г } (\text{CO}_2\text{-C})/\text{м}^2/\text{год}$ . Весь оставшийся период измерений НЭО кумулятивный возрастал, другими словами площадка Т1 была источником  $\text{CO}_2$  для атмосферы.

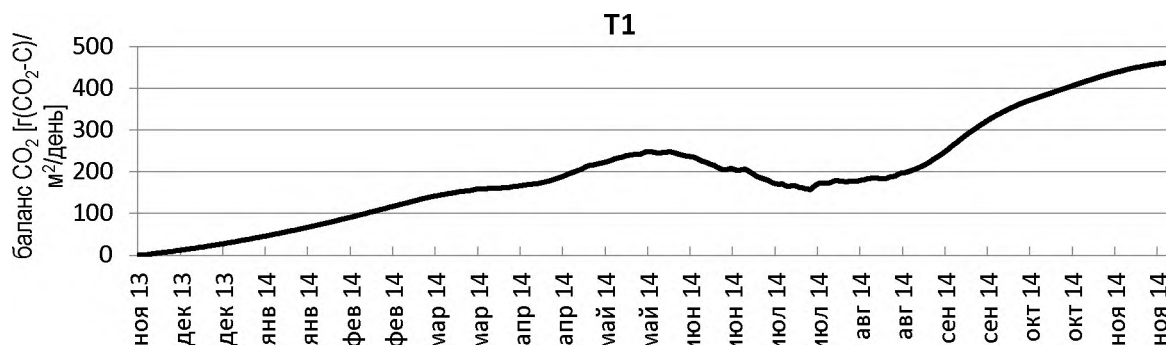


Рисунок 11 – Модель динамики кумулятивного нетто-экосистемного обмена (НЭО кумулятивный) для площадки Т1 с ноября 2013 г. по декабрь 2014 г.

Результаты мониторинга потоков  $\text{CO}_2$  на площадках Р1, Р2 и Т1 подтвердили, что исследуемые биотопы нарушенных торфяников являлись чистыми источниками  $\text{CO}_2$ .

Ниже приведены результаты моделирования годовой динамики эмиссии  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$ . Точкой на графике указан средний измеренный поток  $\text{CH}_4$  или  $\text{N}_2\text{O}$  на одной площадке, вертикальные планки указывают стандартное отклонение от среднего потока, и линий соединяющие точки указывают на предполагаемые значения эмиссии  $\text{CH}_4$  или  $\text{N}_2\text{O}$  для временных интервалов, когда измерения потоков не проводились (рис. 12–17).

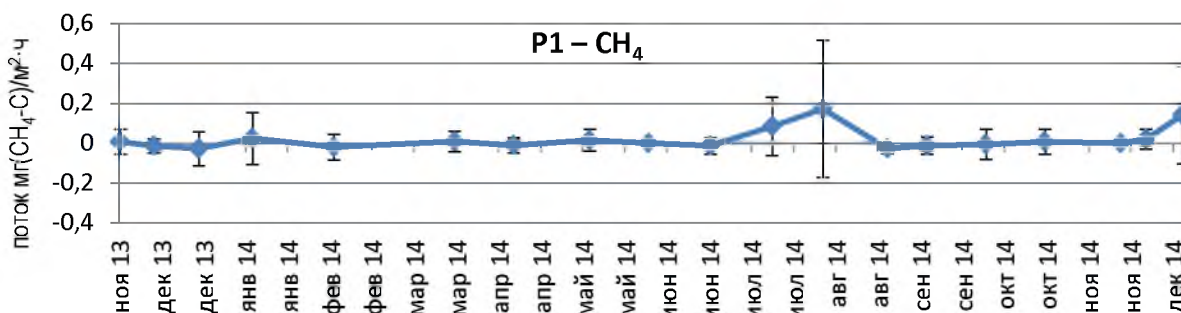


Рисунок 12 – Модель динамики эмиссии метана для площадки Р1 в период с ноября 2013 г. по декабрь 2014 г.

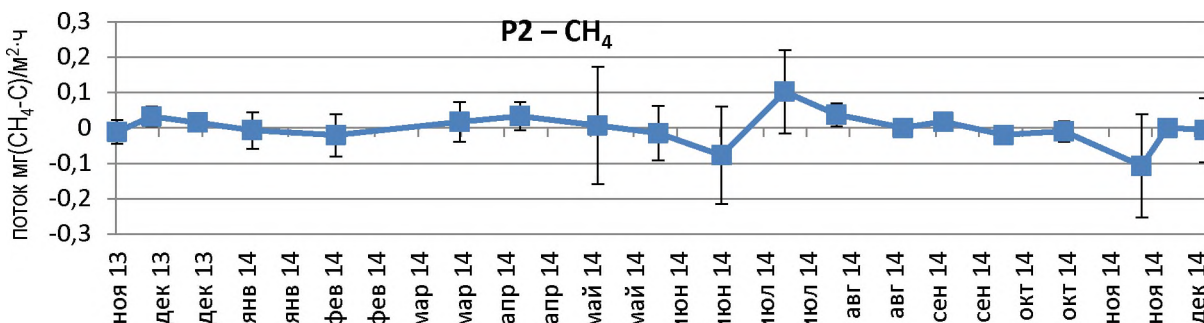


Рисунок 13 – Модель динамики эмиссии метана для площадки Р2 в период с ноября 2013 г. по декабрь 2014 г.



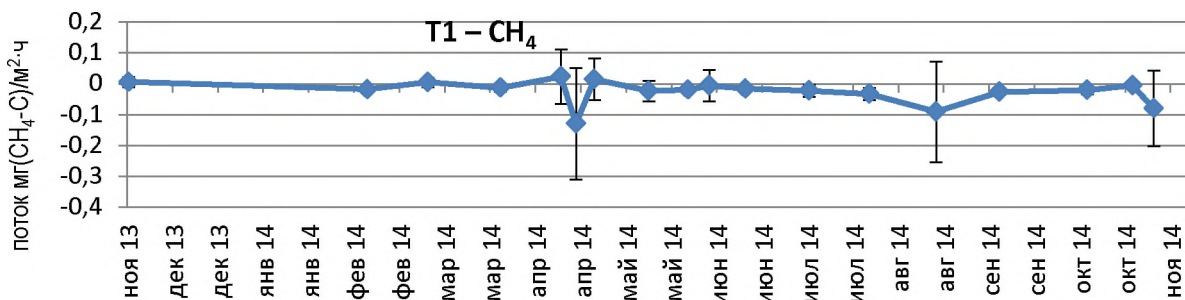


Рисунок 14 – Модель динамики эмиссии метана для площадки P1 в период с ноября 2013 г. по ноябрь 2014 г.

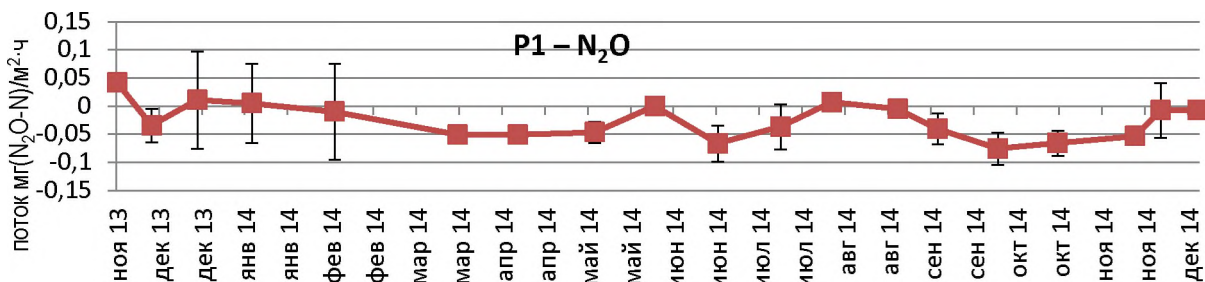


Рисунок 15 – Модель динамики эмиссии закиси азота для площадки P1 в период с ноября 2013г. по декабрь 2014 г.

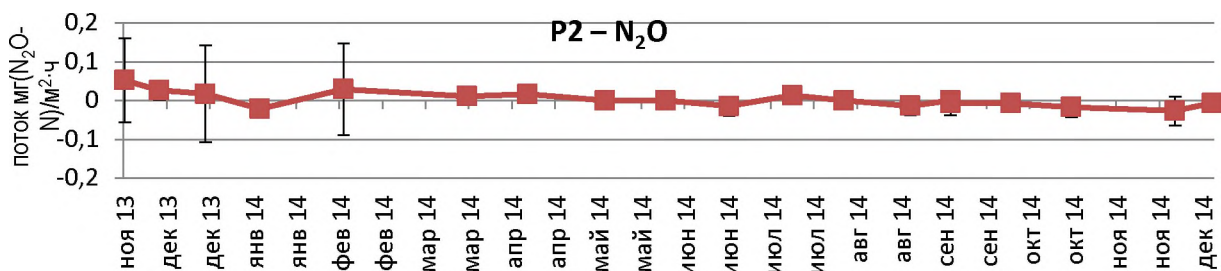


Рисунок 16 – Модель динамики эмиссии закиси азота для площадки P2 в период с ноября 2013 г. по декабрь 2014 г.

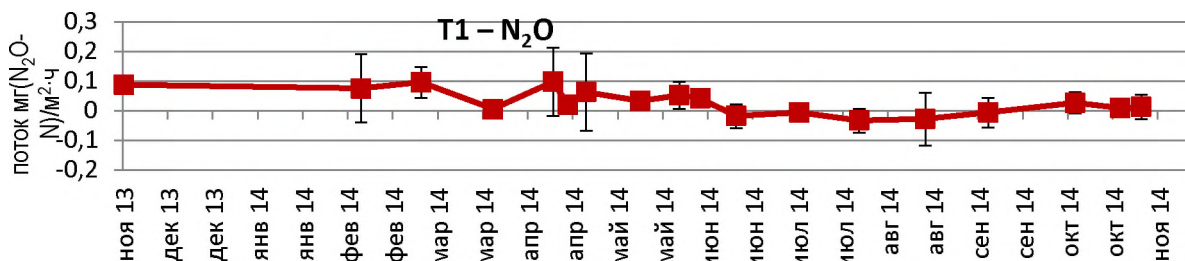


Рисунок 17 – Модель динамики эмиссии закиси азота для площадки T1 в период с ноября 2013 г. по декабрь 2014 г.

В течение всего периода мониторинга эмиссии ПГ (с ноября 2013 г. по ноябрь 2014 г.) изомерные потоки CH<sub>4</sub> на площадках P1, P2 и T1 варьировали в пределах от -0,13 до 0,18 мг (CH<sub>4</sub>-C)/м<sup>2</sup>·ч. Такие низкие значения эмиссия CH<sub>4</sub> близки к пределу возможностей измерения потоков CH<sub>4</sub> с помощью используемой методики закрытых камер. Результаты моделирования годовой эмиссии метана получились близкими к нулю. Полученные результаты подтверждают, что нарушенные торфяники не являются источником CH<sub>4</sub>.

Несмотря на то, что нарушенные торфяники часто являются сильным источником N<sub>2</sub>O, измерения на площадках P1, P2 и T1 не выявили высоких эмиссий этого парникового газа. Измеренные потоки N<sub>2</sub>O варьировали от -0,75 до 0,97 мг(N<sub>2</sub>O-N)/м<sup>2</sup>·ч. Аналогично как и с потоками CH<sub>4</sub> измеренные потоки N<sub>2</sub>O были близки к пределу возможности измерения с помощью используемой методики закрытых камер. Единственным исключением можно считать площадку T1, где относительно площадок P1 и P2 потоки N<sub>2</sub>O были выше.

На исследуемых площадках, полученные данные эмиссии метана не значительны, поэтому их можно приравнять к нулю. Полученные данные можно обосновать тем, что данные площадки подверглись воздействию со стороны человека. В результате осушения торф стал более насыщен кисло-

родом на большой глубине, доминирование окисления метана превратило территорию торфяника в незначительные стоки атмосферного метана.

На площадке Т1 наблюдались самые высокие эмиссии закиси азота, так как данная площадка является осушенным сельскохозяйственным торфяником. Полученные данные можно обосновать тем, что формирование  $N_2O$  происходит только когда становится доступным неорганический азот, такой, как аммоний или нитрат, через минерализацию торфа, внесение удобрений или через депонирование азота. При дефиците N торфяники (P1 и P2) выступают в качестве и стоков  $N_2O$ , поскольку микроорганизмы могут использовать  $N_2O$  как субстрат для образования  $N_2$  во время денитрификации.

### **Выводы**

Результаты мониторинга парниковых газов показали, что исследуемые площадки являются стоками метана и закиси азота и чистыми источниками углекислого газа. Это подтверждается полученными значениями эмиссии парниковых газов с исследуемых площадок.

На площадке Т1 наблюдались наибольшие значения эмиссии  $CO_2$ , которая составила  $17,03 \pm 0,98$  т/га<sup>2</sup>/год, на площадке P1 –  $13,91 \pm 0,87$  т/га<sup>2</sup>/год. На площадке P2 наблюдались наименьшие значения эмиссии  $CO_2$  –  $10,64 \pm 1,10$  т/га<sup>2</sup>/год.

На площадке Т1 наблюдались наибольшие потоки закиси азота и составили 1,90 т (экв –  $CO_2$ )/га/год, для площадки P2 – 0,12 т (экв –  $CO_2$ )/га/год. Площадка P1 являлась стоком закиси азота, с эмиссией равной –1,25 т (экв –  $CO_2$ )/га/год.

Площадка Т1 являлась стоком метана, с эмиссией равной –0,40 т (экв –  $CO_2$ )/га/год, источником метана являлась площадка P1 – 0,04 т (экв –  $CO_2$ )/га/год, на площадке P2 эмиссии метана не наблюдалось – 0,00 т (экв –  $CO_2$ )/га/год.

Полученные результаты обосновываются тем, что площадка Т1 располагалась на осушенном сельскохозяйственном торфянике, а площадки P1 и P2 на верховом болоте с нарушенным гидрологическим режимом.

Установлена зависимость ПГ от влажности почвы, уровня стояния грунтовых вод, глубины торфяной залежи, температуры воздуха и почвы, вида возделываемых культур.

Исследуемые болота Копыш и Червень-2 представляют собой типы экосистем, которые практически не изучены с точки зрения баланса углерода и потоков парниковых газов. Данные о годовых эмиссиях парниковых газов с нарушенных верховых болот необходимо включить в существующую систему методов измерения, отчетности и проверки балансов парниковых газов для торфяников.

### **Список литературы**

1. Швиль, Ш. Выбросы парниковых газов из болот. Методика оценки климатической значимости на примере болота Целау / Ш. Швиль, А. Хаберль, А. Штраус. – Грейфсвальд, 2010. – С. 4 – 6.
2. Степанов, А. Л. Микробная трансформация парниковых газов в почвах / А. Л. Степанов. – Москва, 2011. – С. 4
3. Августин, Ю. Углеродные кредиты и заболачивание деградированных торфяников: климат-биоразнообразие-землепользование / Ю. Августин, Дж. Коувенберг, М. Минке; под ред. Ф. Таннебергер, В. Вихтманн. – Stuttgart, 2011. – С.13 – 21.
4. Van Essen Instruments. All rights reserved / Product manual. Diver. – Giesbeek, The Netherlands, 2016. – 26 с.
5. Околелова, А. А. Особенности эмиссии диоксида углерода в зависимости от природно-климатических условий / А. А. Околелова, Нгуен Тхинь Ван. – Волгоград, 2011. – С. 4.
6. Бурло, А. В. Суточная динамика и баланс углекислого газа на осушенном и естественном низинном болотах / А. В. Бурло, А. А. Чувашова, И. П. Наркевич. – Минск, 2013 – С. 8.

**V. M. Kankova, A. V. Burlo, I. P. Narkevitch**

## **GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN BREST AND MINSK REGIONS FROM THE PEATLANDS**

*The article presents results of the yearly monitoring of carbon dioxide fluxes, nitrous oxide and methane fluxes from peat soils. The study shows set greenhouse gas dependence on soil moisture, groundwater level state, the depth of the peat deposit, air and soil temperature, type of crops.*