



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра прикладной и системной экологии

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИЦИРОВАННАЯ РАБОТА**  
**(Магистерская диссертация)**

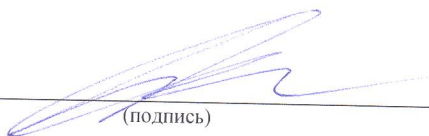
На тему: «Экосистемные функции заболоченных территорий  
о. Валаам и Приладожья»

Исполнитель **Омелечко Дмитрий Александрович**  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель **Кандидат биологических наук, доцент**  
(ученая степень, ученое звание)

**Рижия Елена Яновна**  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой



(подпись)

**Кандидат географических наук, доцент**  
(ученая степень, ученое звание)

**Алексеев Денис Константинович**  
(фамилия, имя, отчество)

«10» июня 2022

Санкт-Петербург  
2022

## Содержание

|                                                                                                                                                                                        |                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Введение.....                                                                                                                                                                          | 3                                     |
| 1 Основные экосистемные функции болот и заболоченных территорий .....                                                                                                                  | 6                                     |
| 2 Особенности эмиссии CO <sub>2</sub> и CH <sub>4</sub> почвами и влияние на неё различных экологических факторов.....                                                                 | <b>Error! Bookmark not defined.</b> 1 |
| 3 Физико-географическая характеристика Приладожья.....                                                                                                                                 | 16                                    |
| 3.1 Физико-географическая характеристика острова Валаам .....                                                                                                                          | 16                                    |
| 3.2 Почвы и почвенный покров Приладожья .....                                                                                                                                          | 22                                    |
| 3.3 Описание объекта исследования.....                                                                                                                                                 | 314                                   |
| 3.4 Характеристика растительного покрова Приладожья .....                                                                                                                              | 28                                    |
| 4 Объекты и методы .....                                                                                                                                                               | 4831                                  |
| 4.1 Описание объектов исследования.....                                                                                                                                                | 31                                    |
| 4.2 Методика проведения исследований .....                                                                                                                                             | 37                                    |
| 5 Методики определения физических и физико-химических характеристик почв..                                                                                                             | 39                                    |
| 5.1 Определение плотности сложения.....                                                                                                                                                | 39                                    |
| 5.2 Определение зольности почвы.....                                                                                                                                                   | 40                                    |
| 5.3 Определение эмиссии углерода с помощью метода закрытых камер и газового хроматографирования.....                                                                                   | 4841                                  |
| 5.4 Определение pH водной вытяжки.....                                                                                                                                                 | 44                                    |
| 5.5 Определение степени разложенности почвы_ .....                                                                                                                                     | 44                                    |
| 5.6 Определение влажности почвы.....                                                                                                                                                   | 46                                    |
| 5.7 Определение температуры почвы .....                                                                                                                                                | 4846                                  |
| 6 Результаты исследования .....                                                                                                                                                        | 48                                    |
| 6.1 Оценка физических и физико-химических показателей почвах острова Валаам .....                                                                                                      | 48                                    |
| 6.2 Оценка почвенной эмиссии парниковых газов заболоченного участка водосбора о. Германовского .....                                                                                   | 4853                                  |
| 6.3 Изучение эмиссии парниковых газов на олиготрофном болотном массиве Ламмин-Суо 2004-2010 гг. и сравнительная оценка с полученными результатами исследования на острове Валаам. .... | 4863                                  |
| Заключение .....                                                                                                                                                                       | 67                                    |
| Список использованных источников.....                                                                                                                                                  | 70                                    |
| Приложения .....                                                                                                                                                                       | 74                                    |

## Введение

На территории нашей страны общая площадь болот и заболоченных земель составляет более двадцати процентов. Согласно данным Института лесоведения РАН площадь под болотами составляет 140 млн. гектар, а вместе с заболоченными землями их площадь достигает до 375 миллионов гектар. Значимость болотных экосистем, безусловно, оказывает огромное влияние, так как они выполняют существенную роль в глобальных процессах связывания углерода и регенерации кислорода, поддержания водного баланса, сохранения биологического разнообразия на обширных территориях[1]. Болота способны выполнять важнейшие экосистемные функции – аккумулятивную, биологическую, ландшафтную, гидрологическую, газорегуляторную, геохимическую и др[2].

Болота и заболоченные территории - единственные в наземных экосистемы, которые обеспечивают постоянный и долговременный сток в них углерода. Также, болота способны смягчать "парниковый эффект" климата за счет накопления углерода в виде органического вещества торфа.

Баланс углерода в биосфере определяется двумя основными процессами: его накоплением в процессе фотосинтеза (чистая первичная продукция) и выделением  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  при гетеротрофном дыхании и разложении органического вещества[4].

В настоящее время, динамика содержания парниковых газов ( $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ ) в атмосфере является одной из наиболее актуальных проблем в области экологии, поскольку наблюдается постепенное увеличение их концентрации в атмосфере[3]. Круговорот углерода является одним из важнейших процессов, протекающих в биосфере. Одной из глобальных проблем исследования круговорота углерода является оценка его баланса в различных экосистемах, в том числе болотных, определение роли отдельных элементов в углеродном балансе и влиянии этих элементов на роль самой экосистемы на биосферном уровне.

Актуальность изучения источников эмиссии парниковых газов, как одной из важнейшей газовой экосистемной функции на заболоченных территориях, обусловлена необходимостью управления запасами органического углерода на планете и стремлением к более глубокому пониманию фотохимических процессов, происходящих в атмосфере Земли.

Объектами исследования являются: заболоченная территория водосбора Германовского озера (о. Валаам) и олиготрофный болотный массив Ламмин-Суо в Выборгском районе Ленинградской области.

Цель исследования заключается в оценке некоторых экосистемных функций заболоченных территорий, распространенных на острове Валаам и районе Приладожья (на примере газовой функции). Для реализации этой цели были поставлены следующие задачи:

- познакомиться с основными экологическими функциями болот;
- описать объекты исследования;
- определить некоторые физические и физико-химические параметры исследуемых почв острова Валаам;
- измерить и проследить динамику потоков углекислого газа и метана в вегетационный период на заболоченных участках о. Валаам и сравнить с литературными данными по Приладожью;
- выявить зависимость метеорологических параметров с вертикальными потоками парниковых газов на болотных участках;
- рассчитать кумулятивную эмиссию углекислого газа и метана на участке водосбора Германовского озера на острове Валаам.

Исследования, направленные на изучение особенностей вертикальных потоков парниковых газов и некоторых физико-химических параметров на территории участка водосбора Германовского озера за 2021 г. приводятся впервые. До сегодняшнего момента подобные исследования на данном участке не проводились.

Хотелось бы выразить особую благодарность моему научному руководителю Рижие Елене Яновне и консультанту ВКР Дмитричевой Лилии

Евгеньевне, за помощь при сборе, обработке материала и работе над текстом ВКР, предоставления некоторого оборудования для полевых и лабораторных исследований, а также студентам группы Э-М20-1-11 Перевышиной Ксении и Семёнову Даниилу за помощь в полевых работах и камеральной обработке на о. Валаам.

## 1 Основные экосистемные функции болот и заболоченных территорий

Под экосистемной функцией болот, в современной экологии - понимается ряд факторов процессов, которые происходят в пределах водно-болотных угодий. К ним можно отнести:

- 1) Процессы, связанные с движением вод;
- 2) Рост биомассы растений;
- 3) Распределение и трансформация биогенных веществ;
- 4) Биологическое разнообразие флоры и фауны.

На экосистемные функции болот влияют также различные абиотические и биотические факторы:

- 1) Метеорологические условия;
- 2) Качество и количество поступающих вод извне;
- 3) Различные нарушения естественного и антропогенного характера.

Экосистемы болот выполняют аккумулятивную, газорегуляторную, геохимическую, гидрологическую и другие функции.

Нарушения водно-болотных угодий также могут быть результатом природных условий (длительная засуха) или деятельности человека, такой как расчистка земель, осушение и т.д[5].

Застойный тип водного режима, который является основным для данного типа экосистем, формирует анаэробные условия в почве, по причине более быстрого истощения  $O_2$ . Интенсивность потерь кислорода в заболоченных участках зависит от ряда факторов, таких как температура и микробиологической активности. В частности, анаэробные условия в болотных массивах влияют на биогеохимический круговорот веществ в почве, влияя на цикл: круговорота азота, серы, фосфора, углерода и т.д. В зависимости от скорости, притока и оттока данных циклов, болота могут выступать как источники аккумуляирования или преобразования данных элементов[6].

Болота, несомненно, являются лидирующими типами экосистем, участвующие в обмене и эмиссии парниковых газов (водяной пар,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ). Болотные системы являются основными поглотителями  $\text{C}$  и  $\text{N}_2$  и источниками выделения парниковых газов, но, ситуации могут изменяться в зависимости от времени года и типа водно-болотных угодий[5].

Гидрологический режим болот, влияющий в свою очередь на функцию экосистем, может оказывать большое влияние на видовое биоразнообразие, скорость аккумуляции органогенных веществ, биологическую продуктивность и круговорот биогенных веществ. Застойный тип водного режима, и, как следствие, анаэробные условия, протекающие в болотных почвах, влияют на биологическое разнообразие. Биоразнообразие чаще всего ниже на постоянно застойных и затопляемых территориях, в отличие от слаботекущих или сезонно-затопляемых болотных массивах. В зависимости от типа водного режима, на болотных экосистемах формируются различные лесные, травяно-лесные и моховые сообщества[5].

Рассматривая гидрологию болотных экосистем, следует сказать, что данные экосистемы способны ослаблять паводки и удерживать наносы. Поступление и перераспределение водной массы является одной из важнейших функций гидрологического обмена с подземными, поверхностными и атмосферными системами. При помощи уравнения водного баланса и различных гидромоделей данный обмен возможно описать, для еще лучшего дальнейшего понимания функционирования данной экологической системы.

Болотные экосистемы являются одним из важнейших компонентов гидрологической сети а также, являются крупнейшим хранилищем пресной воды, что несомненно, играет важную роль в городах и странах, характеризующихся равнинным рельефом.

Распределение воды в болотных системах происходит за счёт фильтрации в растительной части и в торфах по направлению градиента напора или в результате гравитационных сил Земли вниз по профилю.

Верхний слой торфяных почв характеризуется высокой водопроницаемостью (моховой очёс, растительный покров), а нижележащие горизонты, содержащие торфяные горизонты, обладают меньшей водопроницаемостью. В слоях, толщиной 1 – 1,5 метра коэффициент фильтрации способен уменьшаться несколько тысяч раз.

Болотные и заболоченные экосистемы способны аккумулировать и отфильтровывать различные поллютанты, попадающие в поверхностные воды в связи с различной антропогенной деятельностью (промышленные и бытовые стоки, атмосферные осадки). Данные экосистемы способны препятствовать проникновению повышенных концентраций биогенных и загрязняющих веществ в грунтовые воды, которые, в свою очередь, могут использоваться для различных хозяйственных нужд[2].

Несомненно, бескислородные условия, протекающие в таких экосистемах, лимитируют интенсивность и снижают скорость разложения органических веществ, приводя к аккумулярованию органического вещества, изменяя окислительно-восстановительные реакции, от которых зависит превращение биогенных веществ в болотных почвах.

Анаэробные условия, протекающие в болотных почвах, привели к появлению различных видов адаптаций у организмов и особенно у укоренившихся растений, чтобы справляться с постоянным переизбытком воды по всему профилю почвы[5]. Различные адаптации, такие как: создание окисленных корневых зон у растений и анаэробное дыхание способствуют выживанию растений в бескислородных условиях, что, в свою очередь, делает такой тип экосистемы одним из самых продуктивных систем на Земле.

Вследствие высокой биологической продуктивности в водно-болотных угодьях наблюдается высокий рост вторичной продукции (прирост за единицу времени массы консументов). Величина биологической продуктивности в болотах, в большей степени, зависит от климатических условий, гидротермических условий и видового состава болотной флоры. Вторичная

продукция болот, по некоторым данным, способна в несколько раз превышать скорость других наземных экосистем[7].

Запас фитомассы в болотных экосистемах является основным показателем биологической продуктивности. Максимальный запас биомассы растений характерен для эвтрофных болот, в отличие от мезотрофных или олиготрофных, а минимальным – открытая топь[8]. В открытой топи прирост биомассы растений максимален в начале-конце августа и в начале сентября, когда как на эвтрофных болотах – в начале июля, а к середине сентября прирост биомассы растений начинает снижаться, так как флористический состав местности представлен в основном листопадными кустарниками и кустарничками и травами, а также, некоторыми деревьями.

Формирование роста и развития растительных сообществ в болотных экосистемах ведёт к появлению сложных пищевых сетей, которые, в свою очередь, способны влиять на поддержание биоразнообразия сообщества фауны и микробиологии за счет высокого количества детрита

Различные виды детритофагов (организмов, включающие в свой рацион различные мертвые органические вещества), например, насекомые, дождевые черви, грибы и бактерии и т.д., используют мертвое органическое вещество в качестве источника энергии (консументы), а некоторые другие (редуценты) используют органическое вещество в качестве переработки, для последующего преобразования другими организмами.

Различные виды растений, произрастающие в болотных экосистемах, способны поглощать атмосферный углерод в виде  $\text{CO}_2$ , при этом сохраняя его в своей биомассе[4]. В наземных экосистемах, не связанных с болотными, корни растений способны разлагаться и отмирать намного быстрее, в присутствии аэробных условий, в процессе чего - большая часть углерода высвобождается обратно в воздух в виде углекислого газа под действием микроорганизмов, в отличие в болотных экосистемах, где при наличии застойного водного режима и как следствие – анаэробных условий, которые происходят в почве по всему профилю, отмершие корни болотных растений

разлагаются намного дольше, приводя к аккумуляции органических веществ в почве и приводя к образованию торфа.

Также, немаловажна роль болот в качестве защиты прибрежных и внутренних районов, так как различные страны и населенные пункты могут получать ущерб от последствий климатических условий: изменения количества осадков, повышения температуры океана, штормов и т.д...

Водно-болотные экосистемы являются одними из крупнейших хранилищ углерода на Земле, но, при различных условиях (например, при повышении температуры почвы или их антропогенном нарушении), они способны выделять парниковые газы, такие как:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$ [6]. Водно-болотные угодья действуют как значительные поглотители углерода — разрушение водно-болотных угодий приведет к выбросу углекислого газа.

## 2 Особенности эмиссии CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> почвами и влияние на неё различных экологических факторов

Исследования, направленные на изучение эмиссии газов из почв, являющиеся традиционными для экологии и почвоведения, на сегодняшний день, являются актуальными, по причине проблем, связанными с глобальными проблемами парникового эффекта и загрязнения атмосферы[8].

Почва является источником, а также поглотителем обмена CO<sub>2</sub> и способствует секвестрации (отторжения мертвого материала от сохранивших жизнеспособность тканей) углерода. Углекислый газ (CO<sub>2</sub>) является важнейшим парниковым газом, на который приходится порядка 60 % всего парникового эффекта[10].

Почвенная эмиссия углекислого газа (CO<sub>2</sub>) – процесс, при котором высвобождается углекислый газ из почвы в атмосферу в результате деятельности микроорганизмов и дыхания корней растений и почвенной биоты, а также микробное разложение корневых ризодепозитов (ферменты, высокополимерные слизи белкового происхождения, куски тканей, корневые волоски, летучие органические вещества и прочее)[9]. Продукцией углекислого газа CO<sub>2</sub> следует считать образование данного газа в результате биогенных и абиогенных процессов. Существует закономерность распределения двуокиси углерода по профилю почвы, с глубиной концентрация, как правило, увеличивается.

В лесных экосистемах, корни растений, которые широко распространены в почве по профилю и их клетки, в свою очередь, выполняющие клеточное дыхание, способны метаболизировать вещества (углеводы) и, в свою очередь, выделять через листья углекислый газ[10].

Гетеротрофные микроорганизмы служат продуцентами парниковых газов в почве (грибы и бактерии), также – простейшие, беспозвоночные и позвоночные живые организмы. Микроорганизмы являются основными поставщиками CO<sub>2</sub> в атмосферу, а растительные корни – около 1/3 от общего

потока углекислого газа из почвы, хотя данная пропорция в экосистеме соблюдается не всегда и зависит от наличия или отсутствия лабильного субстрата, который легко минерализуется и от которого зависит микробиологическая активность[10].

В почвенных горизонтах углерод способен накапливаться и задерживаться в результате замедленной трансформации органического материала, затрудненного газообмена между почвенным и атмосферным воздухом и ряда других причин. Исследователи [11] выделяют несколько типов углерода, аккумулируемого в почве. Для первого типа, именуемого «быстрым пулом», характерно быстрое разложение углерода и высокое высвобождение углекислого газа. Для второго типа: «медленного пула», углерод, оставшись так и не переработанным микроорганизмами, может аккумулироваться десятилетиями. В его состав могут входить различные микробиологические остатки углерод из «быстрого пула», переработанные материалы растительного происхождения. И, последний тип: «стабильный резервуар», который состоит из органических веществ (гумуса) образованных в результате процесса гумусообразования и гумусонакопления. Он находится на глубине до одного метра и более, углерод удерживается несколько десятков лет.

Исходя из совокупности вышеперечисленных факторов, дыханием почвы следует считать результат выделения углекислого газа в процессе дыхания корней, жизнедеятельности микроорганизмов, биохимических реакций и физико-химических взаимодействий

Процессы, связанные с почвенной эмиссией, в главной степени определяются температурой и влажностью почвы. Также отмечается, что в зависимости от различных процессов, которые протекают в почве, корреляция эмиссии  $\text{CO}_2$  – температура,  $\text{CO}_2$  – влажность может отсутствовать или быть очень слабой. Дыхание почвы, в основном, характеризует суммарную жизнедеятельность почвенных микроорганизмов, позвоночных животных и корней растений, а также, по всему профилю почвы могут происходить различные физические и физико-химические процессы, которые могут также

влиять на выделение углекислого газа. Во время вегетационного сезона максимальное почвенное дыхание, как правило, наблюдается в июле-начале августа, а минимум – отмечен зимой, что может говорить о корреляции температуры почвы и потоком  $\text{CO}_2$ . К тому же, промерзшая почва снижает высвобождение газов, что, в свою очередь, влияет на эмиссию газов достаточно сильно.

Так, например, в почвах, в которых преобладает застойный тип водного режима, продукция углекислого газа может превосходить поверхностную эмиссию примерно в 1,5-1,2 раза[12]. Данное распределение может иметь корреляцию с взаимодействием  $\text{CO}_2$  с твердой и водной фазой почвы, а также аккумулярованием и распределением газа по профилю почвы и его боковым движением.

Также, существует корреляция между эмиссией  $\text{CO}_2$  из верхних слоёв почвы со скоростью ветра, так как она способна высвобождать несколько большее количества углекислого газа при горизонтальном направлении ветра.

Потоки  $\text{CH}_4$  из всех болот мира составляют по данным разных авторов от 92 до 110 Тг/год. Около 60% глобальной эмиссии из болот обусловлено торфяными массивами, находящимися в полосе от 50 до 70 с.ш.

Торфяные залежи по окислительно-восстановительным условиям разделяются на две основные части: окислительную (аэробную или её ещё называют торфогенной) и восстановительную (анаэробную)[13]. В последней процессы трансформации органического вещества не затухают, так как "работают" анаэробные бактерии и одним из результатов их жизнедеятельности является продуцирование  $\text{CH}_4$ .

Основным источником  $\text{CH}_4$  в атмосферу являются переувлажненные болота, в которых за счет обводнения почв создаются анаэробные условия, необходимые для функционирования метаногенного микробного сообщества (археи, которые образуют метан как побочный продукт метаболизма в бескислородных условиях)[13].

Метаногенные археи обнаружены практически во всех типах почвенных экосистем, однако эмиссия метана в атмосферу зависит также от активности метанотрофных микроорганизмов, которые, обитая в поверхностных аэрируемых слоях почвы, потребляют  $\text{CH}_4$ [14]. Поступление метана в атмосферу – результат работы микробного метанового цикла, основными микробными агентами которого как раз и являются метаногены и метанотрофы.

Эмиссия метана из увлажненных почв также зависит от процессов его транспорта из анаэробной зоны к поверхностным слоям. Метан поступает к ним благодаря трем основным механизмам: пузырьковому, диффузионному и через растения, также, большая часть метана в болотах остается в толще торфа и освобождается лишь при разрушении болота.

Образующийся метан диффундирует вверх по почвенному разрезу, либо поднимается со дна вместе с другими газами в форме пузырьков[14]. Однако основная часть метана не достигает дневной поверхности вследствие поглощения аэробными метанооксиляющими бактериями метанотрофами. Совокупность микробиологического образования и окисления метана называют циклом Зенгена.

Эмиссия метана – показатель незамкнутости цикла Зенгена (рисунок А.1 (приложение А)), в который объединены микроорганизмы, осуществляющие процессы продукции и потребления  $\text{CH}_4$ , когда часть метана высвобождается из зоны микробного трофического взаимодействия и поступает в атмосферу, где далее участвует в различных фотохимических реакциях, внося вклад в парниковый эффект.

В общем виде образование метана может быть представлено уравнениями:

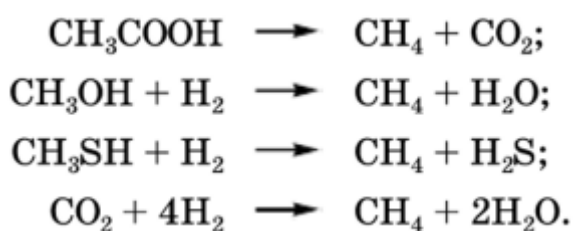


Рисунок 1.1 – Уравнения образования  $\text{CH}_4$  метаногенами

Количество выделяющегося метана зависит от состава органического вещества торфяных залежей, неоднородности зон аэрации болота, его парцеллярной мозаичности

Установлено, что почвы гидроморфных экосистем характеризуются большими величинами эмиссии  $\text{CH}_4$  по сравнению с почвами автоморфных и полугидроморфных экосистем[15].

### 3 Физико-географическая характеристика Приладожья

Приладожье является природно-историческим регионом, который входит в составе Республики Карелия, Российская Федерация представляет собой территорию вокруг Ладожского озера (рисунок А2 (приложение А) и разделяет ее на четыре региона: Северное Приладожье (южная Карелия); Восточное Приладожье (Олонецкий район Карелии); Южное Приладожье (Кировский и Волховский районы Ленинградской области); Западное Приладожье (Карельский перешеек). Кратко охарактеризуем регионы Приладожья.

Северное Приладожье имеет различные ландшафты, включающий шкерный район Ладожского озера и оно разделено на четыре района: Лахденпохский, Сортавальский, Суоярвский и Питкярантский. Данный регион ограничивается с юга берегом Ладоги, Республикой Карелии и Ленинградской области.

Северо-Ладожский участок на юго-западной оконечности Балтийского щита определяет наличие разнообразных скальных образований (преимущественно гранитов), именуемыми бараньими лбами. Пересеченность не является самой большой, самой высокой точкой региона является - гора Пётсевара (высотой 187 метров). Лесной массив определяется поясом лесной тайги, где произрастают в основном хвойные породы. Для южного региона характерен протяжённый берег, изрезанным островами и заливами (Ладожскими шхерами). Также, несмотря на наличие небольших и резких перепадов высот – в Приладожье расположено большое количество водопадов (Рускеальские, Тохмайоки).

К региону Южного Приладожья относится река Нева и южная часть Ладожского озера, вплоть до устья Свири. 74 километра - длина реки Невы и более 100 км - протяженность Ладожской береговой линии между рекой Невой и Свирью. Южное Приладожье составляют Кировский и Волховский районы Ленинградской области, Шлиссельбург и Новая Ладога.

Территория Западного Приладожья располагается между Финским заливом и Ладожским озером. Протяженность данной местности – около 160-190 км, с запада на восток – 50-115 км. На территории насчитывается порядка 700 озёр.

Восточное Приладожье располагается в южной части Карелии, граничащее на севере с Пряжинским и Питкярантским районом, на юге – с Ленинградской областью. Юго-западная граница территории омывается Ладожским озером – крупнейшим в Европе пресноводным водоемом. Протяженность береговой линии составляет около 130 км.

На климат Приладожья главенствующую роль влияет Арктика и Северная Атлантика. Постоянное перемещение масс воздуха на протяжении двух третей года по направлению «запад-восток», большая облачность, высокая влажность (в среднем 80 %) характеризуют климат как умеренно-холодный, переходный от морского к континентальному.

Плюсовые температуры устанавливаются в начале июня. Летом средняя температура воздуха в Приладожье составляет: в июне – днем 20°C, ночью 11°C; в июле – 20 и 14°C; в августе – 20 и 13°C.

Наивысший температурный рекорд в Приладожье был зафиксирован на уровне + 36,0°C. Причём из-за повышенной влажности жара и холод здесь воспринимаются сильнее, чем в более сухих регионах. Максимальное количество осадков отмечается в июле-августе.

Средняя температура воздуха в Приладожье осенью по месяцам: сентябрь – 15 и 9°C; октябрь – 9 и 4°C; ноябрь – 2 и -2 °C.

Зимы в Приладожье достаточно прохладные. Наиболее холодным месяцем в году является январь (среднесуточная температура варьирует от -12 до -16 °C. Зимой отмечается средняя температура в Приладожье в декабре – от -6 до -10 °C, в январе от -11 до -15 °C и в феврале от -10 до 14 °C

Климат Приладожья отмечается высокой влажностью (в январе-феврале) с наступлением обильных ветров и снегопадов.

Март считается весенним месяцем по большей части номинально, в это время все ещё лежит снег и прохладно и к наступлению мая начинает устанавливаться теплая погода и днём температура может достигать 10-12° С. Средняя температура в Приладожье весной: март – -4 и -7°С; апрель – 3 и 0°С; май – 8 и 6°С.

Сумма годовых осадков варьирует от 740 до 450 мм – с южных районов до северных. Среднегодовое атмосферное давление – 748-758 мм ртутного столба[26].

### 3.1 Физико-географическая характеристика острова Валаам

Вторым объектом исследования проведенного исследования является остров Валаам (рисунок А.2 приложения А), который расположен в северной части Ладожского озера, самый большой в составе Валаамского архипелага.

Валаамский архипелаг расположен в северной части Ладожского озера, в 45 км юго-восточнее г. Сортавала. Он состоит более чем из 50 островов, лежащих недалеко друг от друга. Самый большой из них – остров Валаам (площадь около 30 км<sup>2</sup>). Общая площадь всех островов 36 км<sup>2</sup>.

Остров Валаам расположен в пределах Балтийского кристаллического щита. Особенности рельефа определены тектоническими процессами, вызвавшими образование сети разломов и сбросов и сформировавшими денудационно-тектонический рельеф. Затем эти формы рельефа подвергались воздействию древнего оледенения. Движение ледника сопровождалось сглаживанием рельефа, образованием таких форм, как «бараньи лбы».

Габбро-долериты, являющиеся огромного интрузивного тела (геологическое тело, сложенное магматическими горными породами, которые закристаллизовались в глубине земной коры), протянувшегося в широтном направлении от г. Приозерск (Ленинградская обл.) на западе до поселка Салми (Республика Карелия) на востоке. Валаам-Салма имеет выпуклую к северу

форму радиусом 76 км. Центр этой арки (остров Валаам) можно считать географическим центром Ладожского озера. На северо-западе России, острова Валаамского, отсутствует иной крупный район выхода на поверхность кристаллических пород данного типа. Позднее в процессе освоения острова (XVII-XVIII век), образовался искусственный слой почвы, толщиной до двух метров, состоящий из привозной земли, щебня, золы. Рельеф острова сильно пересечен, холмистый, высота холмов достигает пятидесяти метров, склоны преимущественно крутые и обрывистые, местами выположены. Склоны заросли смешанным лесом, где преобладают ценные и декоративные породы деревьев: дуб, кедр, ильм, ель, сосна, береза, лиственница, пихта, клен, голубая ель, вяз, серебристый тополь, с возрастом 150-200 лет. Много лекарственных трав, мхов, ягодников. Большие площади занимают фруктовые сады, где произрастают яблоня, груша, вишня.

Гидрографическая сеть архипелага представлена многочисленными проливами, заливами, бухтами, внутренними озерами и соединяющими их искусственными межозерными каналами. Озера острова Валаам расположены в межсельговых понижениях и имеют тектоническое происхождение. Котловины ориентированы в северном и северо-западном направлениях. Питание озер происходит за счет атмосферных осадков и грунтового притока. В Карелии маленькие лесные озера называют “ламба”. Они обычно овальной формы, в естественном состоянии непроточные, с темной коричневой водой, илистым дном. В период владения островом монастырем все ламбы были соединены рукотворными каналами с Ладожским озером.

Водный режим Ладожского озера характеризуется плавным ходом уровней в течение года, что обусловлено большой водосборной площадью, огромным объемом водной массы и большой площадью зеркала озера. Для годового хода уровней характерен медленный и плавный подъем весной с середины апреля, продолжающийся до июля. Продолжительность стояния высоких уровней воды за период свободный от ледовых явлений составляет 15- 60 суток.

Острова сформированы магматическими породами, по большей части габбро-диабазы (габбро-долеритами) с примесью ферро-габбро-диабазов. Габбро-диабазы являются частью геологического тела, сложенного магматическими горными породами - интрузии, которая является частью кристаллического фундамента Ладожской котловины, образовавшегося 1,3 млрд. лет назад и протянувшегося в широтном направлении от города Приозерска, Ленинградской области и восточнее до поселка Салми в Карелии. Ширина фундамента составляет порядка 30 км, протяженность — 100 км и мощность (простираение вглубь) 200—260 м.

Движения земной коры (периодически активизирующиеся в районе Ладожской котловины) разбили интрузивное тело на большое количество блоков. В результате разнонаправленных движений блоков (опускания и поднятия) возникли впадины и поднятия на дне котловины. Одному из таких поднятий блоков и обязаны своим появлением острова Валаамского архипелага.

Возраст данных пород составляет порядка 2,5 млрд. лет. Диабазы, в отличие от гранитов и гранито-гнейсов (преобладающих пород Балтийского щита), образованы в основном полевыми шпатами и пироксенами, отличающиеся невысоким содержанием кремнезёма (порядка 52%) и в значительно меньших количествах содержат титаномагнетит, хлорит, серпентин, иногда встречаются апатит и амфибол. Данный перечень породообразующих минералов говорит о том, что в габбро-диабазе значительно больше, чем в гранитах, содержится необходимых для питания растений элементов, таких как: Са, Mg, Р. Для химического состава габбро-диабазы характерна довольно сильная насыщенность Fe (до 20%).

На коренном фундаменте залегают четвертичные отложения, которые представлены моренными, озерно-ледниковыми, озерными, делювиальными и торфяно-болотными. Наиболее древние из них — ледниковые отложения.

В плейстоценовый период данная территория неоднократно окутывалась ледниками. Ледовые участки, двигавшиеся в юго-восточном

направлении, сглаживали выпуклые элементы рельефа, углубляли впадины и разломы, распределяли рыхлые породы по поверхности и частично сглаживали материнские породы, откладывая моренные отложения.

Ледниковые породы сформировались локально, Ладожское озеро размыло их водами в периоды трансгрессии (во время наступления на сушу). В различное меж- и послеледниковое время у края отступающего ледника появлялась большая масса воды, а в понижениях рельефа формировались различные приледниковые бассейны. В этих бассейнах аккумулировались донные отложения, которые сейчас именуются ленточными глинами.

На Валаамском архипелаге данные породы сформировались на низких отметках и были перекрыты слоем (до одного метра) более молодых озёрных песков. На этих местах сейчас расположены различные сельскохозяйственные угодья.

В последние 15-20 тысяч лет, в послеледниковое время – окончательно сложился облик данного участка. В это время постоянно наступали озёрные воды, размывая и перемещая различные осадки.

После отступления вод 5000 лет назад началась ладожская трансгрессия, вызванная переливом вод из систем озёр Большая Сайма, которые находились севернее Ладожского озера. Данному событию предшествовало опускание суши участков водораздела.

Рыхлые горные породы на водоразделе содействовали ускоренному углублению русла рек и поспешному падению уровня воды. В связи с этим, молодые озёрные отложения (сортированные пески) на островах находятся ниже отметки 15 метров над уровнем моря.

Также, на Валаамском архипелаге повсеместно распространены элювиально-делювиальные супеси, отличающиеся по минералогическому и химическому составу. Поверхностные воды размывают элювий, откладывая его на расстоянии, формируя делювиальные осадки.

Характер рельефа раскрывает тектоническое происхождение архипелага. Скалистые гряды и крупные приподнятые массивы разбиты между собой системой депрессий (озёр, лощин, ложбин), которые образовались на месте тектонических разломов и трещин. Разломы изменяли северо-западное побережье архипелага, образовывали различные заливы и отделили остров Скитский от Валаама системой заливов (озером Сисяярви и Монастырской бухтой) длина которой составляет 2500 м с шириной 200 м. Далее, вглубь суши от заливов разломы тянутся в форме лощин.

Северо-западная часть острова приподнята на 20-30 метров относительно восточной и юго-восточной. В центральной части острова расположено понижение, сложенное ленточными глинами, с абсолютными отметками не превышающими 10 метров над уровнем моря. Центральное понижение придает рельефу острова форму чаши, наклоненной в сторону востока[27].

Годовая амплитуда уровней воды составляет 0,5...1,5 м, многолетняя – 2,5...3,0 м. Наиболее низкие уровни озера наблюдаются обычно в ноябре. Рассмотренные колебания уровня вызваны притоком и стоком воды с водосбора, сгонами и нагонами, ветровыми волнением. Ветровое волнение на Ладоге значительно, особенно в осенние месяцы. Волны достигают высоты 2...5 м.

### 3.3 Почвы и почвенный покров Приладожья

Почвенный покров Приладожья представлен огромным разнообразием. Причины, объясняющие неоднородность изучаемого почвенного покрова – неоднозначны. Они формируются в зависимости от состава материнских и подстилающих пород, выраженности выветривания, характером рельефа, условиями увлажнения, историей развития рельефа и почвенных образований, особенностями растительного покрова, характером и степенью воздействия на почву хозяйственной деятельности человека.

Неоднородность почвенного покрова Приладожья объясняется, кроме всего прочего, разнообразными видами процессов его нарушения, которые имеют повсеместное и частое распространение. Данные процессы по-своему воздействуют на почвенный профиль, делая его резко несхожим с профилем нормальной, ненарушенной почвы.

Территория Приладожья относится к зоне тайги. Почвообразование происходит в условиях влажного климата, и по причине довольно избыточного увлажнения, во многих местах происходит вынос продуктов разложения вниз по профилю. На территории Приладожья широко распространены почвы подзолистые и подзолы, преобладают иллювированные гумусовые подзолы. Для них характерна средне- и сильноокислая реакция среды (рН) и пониженная степень насыщенности почв основаниями. Подзолы иллювиально-железисто-гумусовые распространены преимущественно на вершинах гряд.

Данную территорию, по большей части, можно считать молодой, в некоторых местах возможен выход коренных пород, на которых отсутствуют рыхлые отложения и на такой местности, как правило – растительность отсутствует (кроме лишайников).

По мере увеличения увлажнения местности – увеличивается мощность почвенных горизонтов, а также содержание гумуса, характерен мощный слой. Болота занимают второе место по площади распространения после лесов. Они образуются в связи с тем, что территория расположена в области гумидного климата, а также близким залеганием коренных пород. В таких условиях, высокая влажность ослабевает процесс гумификации и минерализации органических остатков, в связи с чем, в почве накапливается довольно много органического вещества, образуя торфянистые горизонты, а на хорошо дренированных почвах – образуется грубый гумус.

Для данной территории характерен промывной тип водного режима в лесных экосистемах, благодаря щебнистому субстрату и большому

количеству атмосферных осадков, а для болотных – застойный тип водного режима.

Как было сказано ранее, территория Приладожья характеризуется большим количеством болот. В данном регионе распространены различные типы болот: сфагновые, лесные, курстарничковые и тд... Болота распространены преимущественно в понижениях, а также встречаются на ровных поверхностях, на пологих склонах, для которых характерно слабое течение воды в стороны падения склона.

На данной территориях распространены торфяно- и торфиносто-подзолистые почвы, а при постоянно застойном типе водного режима – встречаются торфяно-глеевые, торфяно-глееватые и торфяно-болотные почвы, которые, в восточной части Карельского перешейка занимают большие площади

В зоне лесотундры встречаются маломощные высоко гумифицированные подзолы[29].

### 3.4 Почвы и почвенный покров острова Валаам

Резкая расчлененность рельефа, различные условия по водообеспеченности и многообразие материнских пород определили сложное строение почвенного покрова, и, кроме того, его контрастность обуславливается и различными видами или процессами его нарушения в результате антропогенной деятельности, несмотря на небольшую территорию Валаамского архипелага. На данной территории присутствуют следующие типы почв: примитивные, подбуры, буроземы грубогумусные, подзолистые, подзолисто-болотные, болотные верховые, болотные низинные, антропогенные.

Свойства и своеобразный химический состав почвообразующих пород являются одними из главных факторов, которые определяют специфику процесса почвообразования на Валааме. Среди пород преобладающими

являются элювий и элюво-делювий, являющийся продуктом выветривания габбро-диабазов, моренные, озерно-ледниковые и озерные отложения (ленточные глины, суглинки, пески). Моренные, озёрно-ледниковые и озёрные отложения занимают склоны и ложбины, имеющие кислый силикатный состав. В условиях сильно расчлененного рельефа широко развиты склоновые процессы, проявляющиеся через миграцию растворенных веществ, а также перенос твердых частиц. Ливневые дожди, характерные для Валаама, способствуют смыву тонких частиц с повышенных элементов рельефа.

Основные почвообразовательные процессы, преобладающие на Валаамском архипелаге: подстилкообразование, гумусово-аккумулятивный процесс, оглинивание, оглеение, лессиваж, торфообразование.

Почвенный покров скалистых побережий и малых островов представлен подбурами и примитивными почвами. На низких скалистых побережьях формируются примитивные и болотистые низинные обедненные почвы. На длинных пологих склонах и плоских вершинах гряд располагаются преимущественно буроземы в комбинации с подбурами. На нижних частях склонов формируются буроземы оподзоленные и глеевые, а также подзолистые глеевые почвы. В наиболее низких местах сосредоточены буроземы глеевые в сочетании с болотистыми низинными почвами. Почвенный покров пониженных участков, распространенных вокруг внутренних озер, представлен сочетаниями болотно-подзолистых и болотных почв.

Примитивные почвы занимают порядка 23% площади архипелага. Чаще всего примитивные почвы встречаются вблизи с подзолистыми и болотистыми почвами, с подбурами, занимающими почти все высотные прибрежные дренированные положения. На низких отметках в условиях повышенного увлажнения на поверхности примитивных почв формируется торфянистый горизонт.

Подбуры и буроземы занимают 47% площади Валаамского архипелага, представлены как однородными, так и сложными контурами. Наиболее часто встречаются однородные контуры подбуров, приуроченные к плоским вершинам гряд, перекрытых маломощным слоем элювия. Развитые на морене буроземы, однородные контуры образуют нечасто, они выделены на некоторых пологих склонах.

Бурозёмы оподзоленные встречаются на нижних частях склонов гряд. Далее – занимают бурозёмы глеевые, на глубоких депрессиях и на основании крутых склонов.

Общая площадь подзолистых почв – 5% территории. Подзолистые почвы обычно распространены в широких ложинах и на низких побережьях, на равнинах отсутствуют. Из почв подзолистого типа наиболее распространены слабоподзолистые и грунтово-глеевые типы.

Малые площади занимают дерново-подзолистые почвы, формирующиеся под травяной растительностью, в основном, в центральной части острова.

Болотно-подзолистые почвы распространены небольшими массивами (9% площади) среди подзолистых почв. Наиболее распространены они в центральной и восточной частях острова.

Окультурирование почв на острове Валаам началось с середины XIX века. В монастыре выращивают и посеяли уже богатые урожаи различных культур. Такое плодородие было достигнуто благодаря рациональному использованию почв и качественной агротехнике. Все переувлажнённые почвы были осушены, широко применялось известкование и внесение органических удобрений.

Все освоенные почвы на Валаамском архипелаге можно разделить на две группы: почвы лугов и полей и почвы огородов и садов. Среди окультуренных почв наиболее часто встречаются поверхностно-глеевые суглинистые и глинистые почвы. Почвы в летний период сухие, весной и в дождливые периоды — переувлажнены, без мелиоративных работ их использование очень

затруднено. Такие почвы имеют кислую реакцию, содержат высокое количество фосфора, но бедны калием. Содержание гумуса в пахотном слое колеблется в пределах 3—5% и с глубиной постепенно снижается. Для повышения их плодородия целесообразно внесение необходимых доз известковых, органических и калийных удобрений[28].

### 3.4 Характеристика растительного покрова Приладожья

Особенности флоры и фауны Приладожья определяются и его географическим положением. В северных районах произрастают характерные для тундры растения: мхи, лишайники, карликовые ели и березки. 42,3% площади всего Приладожья распространены хвойные леса. Из хвойных деревьев распространены сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) и ель обыкновенная (*Picea abies*). К югу от Приладожья еловые леса чередуются со смешанными. В смешанных лесах обычны береза, ольха, осина, иногда встречаются клены.

Нижний ярус леса представлен кустарниками. Но стоит отметить, что, например, в еловом лесу они почти не растут. Ближе к югу от Приладожья обычны заросли брусники обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea*), голубики (*Vaccinium uliginosum*) и клюквы (*Oxycoccus*). Почва в лесу покрыта зелеными и сфагновыми мхами, лишайниками.

### 3.5 Характеристика растительного покрова острова Валаам

Растительность острова Валаам представлена высоким видовым разнообразием. На архипелаге насчитывается более 450 видов высших растений (не считая мхов).

Растительный покров Валаамского архипелага представлен сосновыми, сосново-еловыми и еловыми среднетаежными лесами, в которых значимо участие неморальных и многих травянистых видов. Лесные сообщества Валаама отличаются высокой производительностью (выше, чем в Южной Карелии).

Лесами покрыто порядка 80 % территории архипелага. Также находятся и интродуцированные породы: дуб черешчатый, лиственница сибирская, пихта сибирская, сосна кедровая сибирская и другие. Главной особенностью

лесов Валаама является высокий возраст (200 – 300 лет) и относительная нетронутость.

На относительно равнинных и возвышенных участках с маломощными буроземными почвами произрастают сосняки брусничные. Данный тип леса характеризуется высокой продуктивностью. Вместе с соснами в данных участках встречаются ели и березы, составляющие по количеству стволов до 30%.

Черничный тип леса наиболее распространён на Валаамском архипелаге (порядка 64% покрытой лесом площади). Черничники господствуют в ельниках (85%) и составляют более половины площади сосняков. Плоские вершины низких гряд, пологие склоны, хорошо дренируемые ложбины занимает лес черничного типа. Последнее - особенно характерно для произрастания ельников[27].

Сосняки скалистые формируются в основном на скалистых участках соответственно. Травяно-кустарничковый ярус разрежен, имеет пятнистый характер в связи с куртинным расположением растений.

В значительном количестве встречаются на Валааме береза и осина. Насаждения они образуют очень редко: на долю березняков приходится порядка 5,1% площади, покрытой лесом, а осинников насчитывается меньше 2 га.

Луга и поля располагаются на лощинах, широких понижениях между грядами и частично пологими склонами, занимают небольшую площадь, однако видовой состав их довольно богат и насчитывает в среднем четвертую часть флоры. Луга в основном используют в качестве сенокосов, выпасов скота и на некоторых – под выращивание различных культур.

Верховые болота представлены типичными олиготрофными растениями, среди которых встречаются болотные кустарнички – багульник, подбел, клюква болотная, из осоковых – пушица влагалищная, осока шариковидная и т.д[28].

На более богатых низинных болотах господствуют осоки (острая, пальчатая, удлиненная), болотное разнотравье. В ручьях и протоках встречается белокрыльник обыкновенный. Кроме сфагновых мхов на низинных болотах произрастают разнообразные гипновые мхи.

## 4 Объекты и методы

Исследование по оценке экосистемных функций заболоченных территорий острова Валаам проводилось в 2021 году. Объектом являлись заболоченные почвы вблизи Германовского озера территориально расположено на острове Валаам. Вторым объектом для изучения являлись заболоченные почвы болота Ламмин-Суо в Выборгском районе Карельского перешейка.

### 4.1 Описание объектов исследования

Остров Валаам расположен в округе елово-сосновых лесов Приладожской низменности, входящем в состав средней подзоны тайги, леса характеризуются высоким возрастом древостоя. Болота на архипелаге занимают 37 га, что составляет около 1 % территории. Встречаются болота небольшими массивами в понижениях рельефа, иногда вокруг малых озер.

Первым объектом исследования на острове Валаам является участок заболоченного леса в прибрежной зоне Германовского озера и занимает около 10 % водосборной площади [16]. Озеро Германовское представляет собой водоём полигумозного кислотного типа. Оно относится к редкому для Республики Карелии лимнологическому типу и нуждается в особом режиме охраны вместе с его водосборной территорией [17, 18].

В Германовское озеро, в северной его части, впадает протока естественного происхождения, в южной же части – из озера вытекает протока, впадая в Ладожское озеро, созданная в результате деятельности человека. Для данных водотоков характерен переменный сток, зависящий от климатических условий. В западной части водосборной площади расположена дренажная канава антропогенного характера.

В ходе исследования отбор образцов проводилось в трех точках на территории заболоченного леса: точка Г1 располагалась на северном берегу

озера Германовского, Г2 – в 35-40 метрах севернее точки Г1, а Г3 – в 30-ти метрах от точки Г2 на склоне сельги. На рисунке 4.1.1 представлено расположение точек отбора почвы.

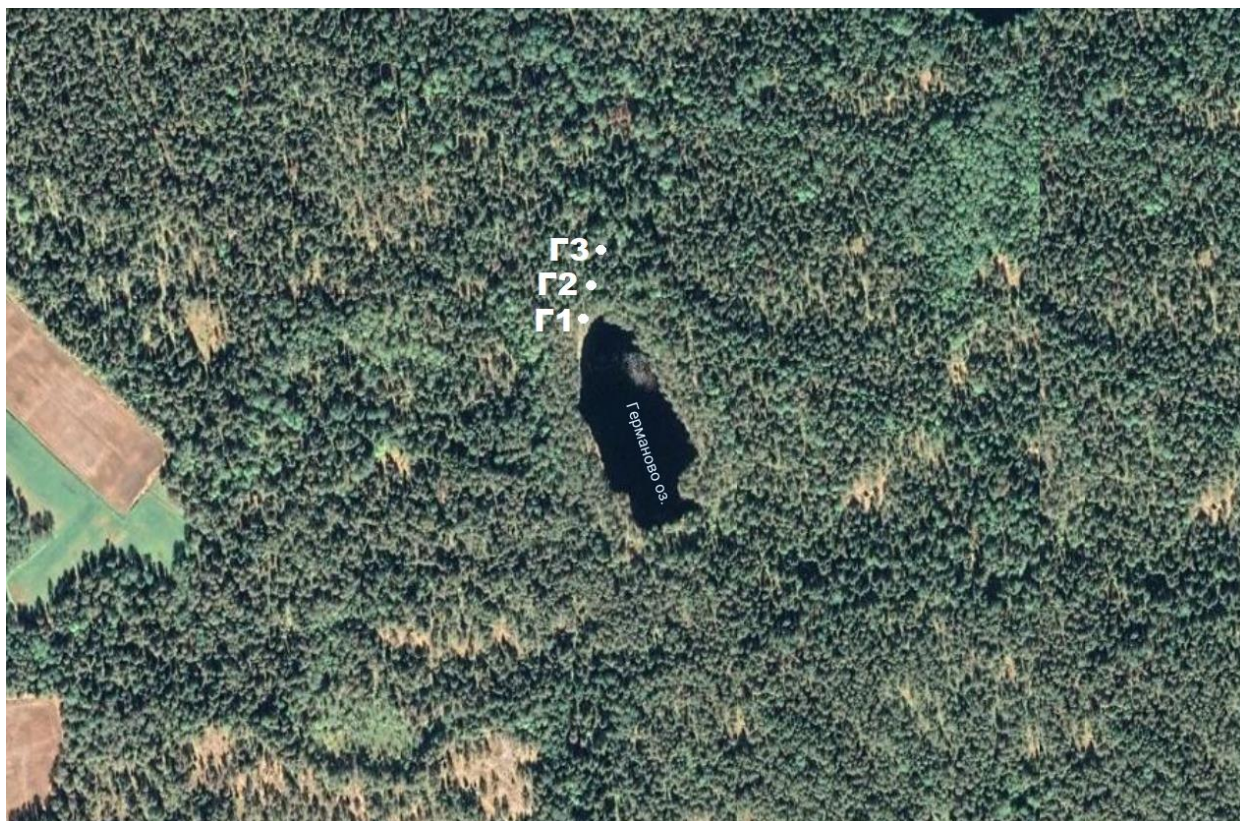


Рисунок 4.1.1 – Расположение точек отбора почвы и почвенного воздуха на участке водосбора у Германовского озера

Исследованный участок водосборной территории представляет собой озерную террасу с хорошо выраженным микрорельефом, сложенную хорошо сортированными озерными песками, встречается и грубо сортированный песчаный материал озерно-ледникового происхождения. Для исследуемого участка характерны также невысокие сельги, перекрытые маломощным и сильно скелетным элювием и элюво-делювием. Почвы данного элемента ландшафта характеризуются мощным слоем торфяных отложений разной степени разложенности, на склонах сельг формируются торфянистые примитивные почвы и грубогумусные буроземы.

Растительность по берегам оз. Германовского представлена заболоченными сосновыми, еловыми и елово-сосновыми лесами. Возраст сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) — от 130 до 325 лет, максимальный возраст ели (*Picea abies* (L.) Karst.) — 230 лет. В формировании древостоя иногда принимают участие береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.) и ольха черная (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.). На юго-западном и северо-восточном берегах преобладает сосняк багульниково-чернично-сфагновый полосой протяженностью от 10 до 30 м. В целом, на территории водосбора оз. Германовского леса с участием сфагновых мхов занимают 4 га[16].

Вдоль берега вокруг точки Г1 на небольших участках протяженностью до 2 м (зона сплавины) отмечены виды, больше характерные для верхового типа болот: клюква болотная (*Oxycoccus palustris* Pers.), росянка круглолистная (*Drosera rotundifolia* L.), подбел обыкновенный (*Andromeda polifolia* L.), тростник обыкновенный (*Phragmites australis*), багульник (*Ledum palustre* L.). Сомкнутость крон на данном участке составила около 30-40%. В целом, для северного участка берега озера характерно большее почвенное богатство, так как происходит дополнительный сток биогенных элементов с окружающих селыг. Здесь формируются сфагновые ельники с участием ольхи черной. Сильно выражен микрорельеф, характерны кочки, небольшие ямы, отмечен Кукушкин лён обыкновенный (*Polytrichum commune*). Дальше от берега озера, ближе к точке Г2 начинает преобладать Сфагнум Гиргенсона (*S. girgensohnii* Russow) (среднее проективное покрытие около 75 %) — вид, приуроченный к затененным условиям под пологом леса, являющийся индикатором временного переувлажнения почвы, встречается также черника обыкновенная (среднее ПП = 10%) (*Vaccinium myrtillus*) и багульник обыкновенный (*Lédum palústre*) (среднее ПП = 5%). Сомкнутость крон для участка Г2 варьирует в пределах от 60 до 80%. Отойдя от точки Г2 севернее

на 30 метров, мы приближаемся к склону сельги. Для точки ГЗ характерна сомкнутость крон около 60% где преобладает черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus*) (среднее ПП = 40%) и Сфагнум Гиргенсона (*S. girgensohnii* Russow) (среднее ПП = 20%).

### *Основные лимнологические особенности Германовского озера*

Германовское озеро – типичный водоем верховых болот. Несмотря на небольшую глубину, озеро хорошо стратифицировано в течение всего лета. Значения прозрачности в озере варьируют от 0,4 до 1,1 м. Кислородный режим неблагоприятный, в летний период на дне часто наблюдаются заморные явления. Значения электропроводности и рН очень низкие и находятся в узком диапазоне. Для Германовского озера характерно минимальное значение рН среди всех озер о. Валаам, наименьшее значение прозрачности (0,6 м) и максимальные значения цветности, которые объясняются высоким содержанием гумусовых веществ аллохтонного происхождения. Кроме того, отмечена минимальная средняя концентрация хлорофилла-а (3,9 мкг/л). Содержание перманганатной окисляемости – высокое.

Питание озера происходит за счёт атмосферных осадков, а также стока с сельг в процессе выщелачивания, проходя через заболоченную территорию водные потоки, захватывая с собой значительное содержание минерального и аллохтонного вещества, влияя на химический состав Германовского озера по причине обогащения органическими веществами, гуминовыми кислотами, продуктами разложения органических веществ. В разложении автохтонного и аллохтонного органического вещества на данной заболоченной территории, особенно на сплавинах, анаэробная деструкция преобладает над аэробной.

Вторым объектом в нашем исследовании является олиготрофный болотный массив Ламмин-Суо в Выборгском районе Ленинградской области, приуроченный к провинции средней тайги и выпуклых болот юго-восточной Финляндии и Карельского перешейка. В послеледниковое время на месте болота Ламмин-Суо длительное время существовало озеро, образовавшееся при таянии обширной глыбы льда, оставшейся здесь на стадии таяния последнего ледникового покрова. Площадь болотного массива составляет 2,9 км<sup>2</sup>. Площадь водосборного бассейна — 1,06 км<sup>2</sup>. Размер котловины болота — 1 на 2 километра. Болото расположено в бывшей озёрной котловине, размером 1 на 2 километра, где сохранились три остаточных озера площадью 0,0179, 0,0153 (озёра Купальное и Питьево, образующие группу озёр Две Сестры) и 0,0056 км<sup>2</sup> (Озеро № 3), максимальная глубина в озёрах достигает 12,2 м (озеро Питьево). Сток из болота осуществляется по трём ручьям: Южному и Северному, относящимся к бассейну Сестры, и Западному, воды которого текут в озеро Красавица. Большая часть болота покрыта сосново-пушицево-кустарничковой растительностью. Торфяной слой болота имеет мощность 4-5 метров, общие запасы торфа достигают 360 000 м<sup>3</sup>[30].

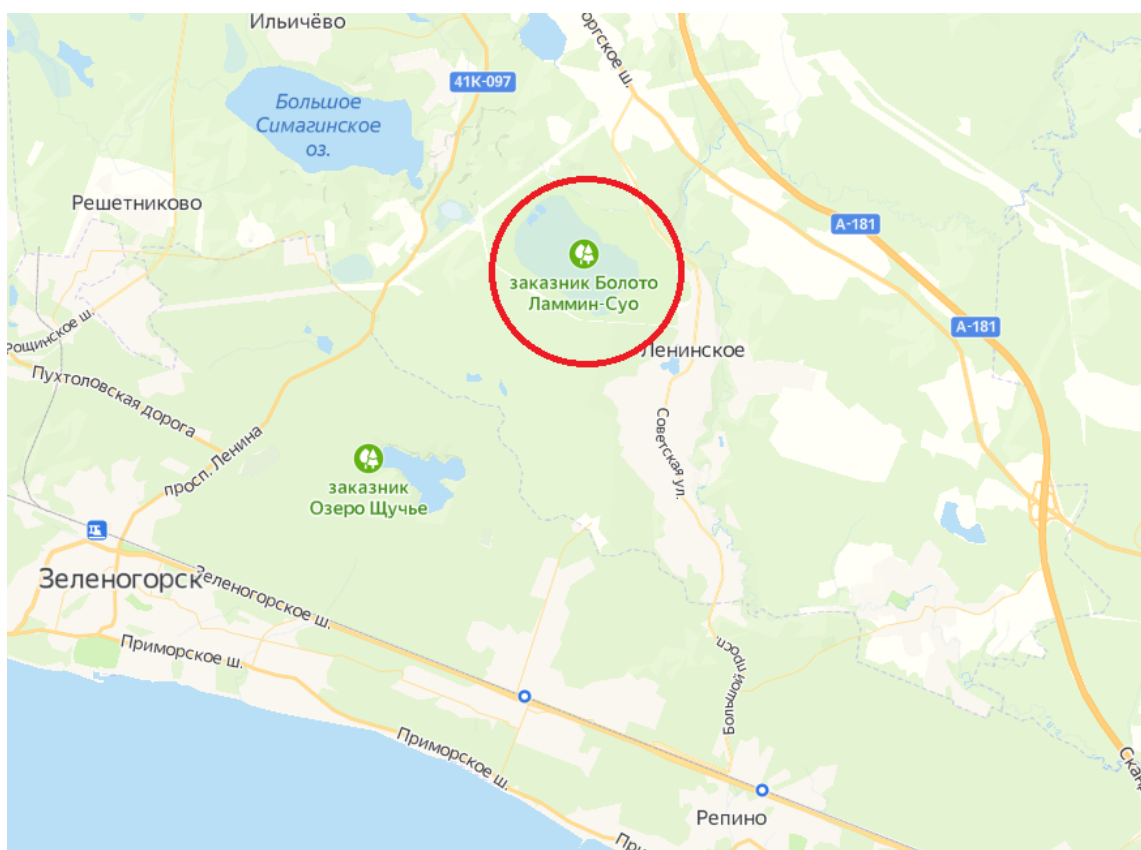


Рисунок 4.1.2 – Расположение болотного массива Ламмин-суо на карте

В связи с выпуклой формой рельефа основным источником водного питания массива являются атмосферные осадки, выпадающие на его поверхность.

С геоморфологической точки зрения большой интерес представляет участок камово-озового комплекса, окаймляющий болото с востока. В пределы охраняемой территории входит озовая гряда, расположенная у восточного края болота, начинающаяся в 500 м севернее окраины поселка Ленинское и тянется на 3 км в северо-западном направлении. Ширина ее по подошве от 500 до 600 м. Уплощенная, сглаженная вершина гряды носит волнообразный характер за счет чередования слабо выпуклых наиболее высоких участков с полого-вогнутыми седловинами. Благодаря этому относительные превышения гряды над подножием варьируют от 8 до 25 м.

## *Описание растительности данной местности*

Пространственная структура растительного покрова болота имеет радиально-секторальный характер. Смены растительных сообществ происходят в направлении от купола к краям болота, согласно направлению линий стока. Купол занят сосново-кустарничково-пушицево-сфагновой растительностью. Древесный ярус низкий (3 – 6 м) и разреженный. В южном и восточном направлении древостой становится все более разреженным, сосны растут только на кочках. Затем появляются небольшие мочажины, которые по мере движения вдоль линий стока становятся все крупнее. Грядово-мочажинный комплекс сменяется кочкарно-ковровым комплексом, занимающим около 40% площади болота. Окружающие болотный массив холмы покрыты еловыми и сосновыми лесами. Список сосудистых растений насчитывает 189 видов (5 из них подлежит охране) и 64 вида мохообразных, из которых 8 – печеночники, 18 – сфагновые и 38 – зеленые мхи. Среди них – очень редкий печеночный мох *Cryptothallus mirabilis* и два вида сфагновых мхов, редких в Ленинградской области – *Sphagnum tenellum* и *S. lindbergii*.

В работе приведено описание господствующих микроландшафтов, в которых производилось измерение эмиссии двуокиси углерода и метана на грядово-мочажинном микроландшафте[30].

### 4.2 Методика проведения исследований

В ходе проведения исследования применялись общеизвестные методики по современному почвоведению, среди которых центральное место занимает большая группа аналитических методов, а именно инструментальные или физико-химические методы.

Для оценки экосистемных функций заболоченных территорий острова Валаам проводился отбор почвенных образцов в представленных точках с

целью определения, pH почвы, степени разложенности, плотность сложения почвы и ее зольности и образцов почвенного воздуха для определения эмиссии углекислого газа

Пробы были отобраны буром АМ-16. Глубина почвенного профиля на исследуемых точках составила до полутра метров.

## 5 Методики определения физических и физико-химических характеристик почв

### 5.1 Определение плотности сложения

Плотность является одним из анализируемых физико-механических анализов, представляющая из себя массу абсолютно сухой почвы при ненарушенном сложении в единице объема.

Плотность почвы относится к фундаментальным физическим показателям, и определяется соотношением между твердой, жидкой и газообразной фазами. На плотность почв оказывают влияние такие факторы, как минералогия почвы, количество мертвого органического вещества, а также другие минеральные соединения, способные повышать плотность почвы. В свою очередь, высокое содержание органогенных веществ приводит к уменьшению плотности сложения почвы.

Для рыхлых почв с высокой порозностью характерно низкое значение плотности сложения, бесструктурные же почвы, наоборот, ведут к повышению плотности. Плотность сложения для торфяных почв низкая, варьирует в пределах – 0,10-0,30 г/см<sup>3</sup>.

Для определения плотности почвы отбираются почвенные образцы с ненарушенным сложением из генетических горизонтов почвенных профиля на территориях исследуемых точек. Отбор почвы выполняется при помощи цилиндров, куда насыпается почва до краёв. Затем цилиндры закрываются крышкой и взвешиваются вместе с воздушно-сухой почвой. Анализ выполнялся в трехкратном взвешивании. Масса воздушно-сухой почвы вычисляется путем вычитания из массы цилиндра с воздушно-сухой почвой массы пустого цилиндра[31]. Плотность сложения почвы рассчитывается путем деления массы абсолютно сухой почвы на объем цилиндра:

$$D_v = M_c / V_{\Pi} \quad (1)$$

где  $M_c$  — масса абсолютно сухой почвы, гр;

$V_{п}$  — объем, занятый образцом почвы, см<sup>3</sup>.

## 5.2 Определение зольности почвы

Методика определения зольности почвы изложено в ГОСТ 27784-88 «Почвы. Метод определения зольности торфяных и оторфованных горизонтов почв».

Зольность - показатель, который характеризует содержание золы, выраженное в процентах к сухому веществу. Для её определения почву измельчается в ступке и просеивается через сито с отверстиями диаметром 5 мм до тех пор, пока вся почва не пройдет через сито, тщательно перемешивали [19].

Анализ начинается с подготовки тиглей. Тигли предварительно моются, высушиваются, затем прокаливаются в муфельной печи при температуре до 500°C, охлаждаются в эксикаторе с хлористым кальцием с погрешностью не более 0,001 г. Также, проводится повторное прокаливание и взвешивание до установления постоянной массы. Если расхождение между результатами взвешиваний не превышает 0,005 г, прокаливание заканчивают. Тигли хранятся в эксикаторе с хлористым кальцием, периодически проверяют их массу.

Масса анализируемых почвенных проб для достоверного анализа должна составлять около 4 грамм, проба помещается в предварительно взвешенные фарфоровые тигли с таким расчетом, чтобы почва занимала не более  $\frac{2}{3}$  объема тигля, затем взвешивается с погрешностью не более 0,001 г, помещается в холодный сушильный шкаф и нагревается до 105 °C. Тигли с пробами почв, высушенными при (105±2) °C до постоянной массы, ставятся в холодную муфельную печь и постепенно доводится температура до 200°C. Тигли прокаливаются в течение 30 минут [3].

Тигли с зольным остатком, извлеченные из муфельной печи, закрываются крышками и ставятся в эксикатор. Охлажденные до комнатной температуры тигли взвешивают с погрешностью не более 0,001 г [3].

После охлаждения и взвешивания оценивается изменение массы зольного остатка. Если изменение массы в сторону уменьшения или увеличения будет менее 0,005 г, то анализ заканчивается и для расчета принимаются наименьшее значение массы. При уменьшении массы на 0,005 г и более тигли с зольным остатком нужно прокаливать дополнительно. Прокаливание заканчивают, если разность в массе при двух последовательных взвешиваниях будет менее 0,005 г. Массовую долю зольности почв, рассчитывают математически.

### 5.3 Определение эмиссии углекислого газа и метана с помощью метода закрытых камер и газового хроматографирования

Наблюдения за эмиссией  $\text{CO}_2$  из почв проводили, начиная с 15 июня и последний день отбора был 14 сентября. На территории исследуемых точек, у Германовского озера, эмиссию углекислого газа и метана из торфяных почв определяли методом закрытых камер с интервалом в 7 дней адсорбционным методом. В течение всего периода наблюдений параллельно с отбором проб измеряли температуру и влажность верхнего слоя торфяной залежи. Установленные специальные напочвенные камеры показаны на рисунке 5.3.1



Рисунок 5.3.1 – Установленные камеры для последующего извлечения почвенного воздуха

Суть метода заключалась в следующем: пластмассовые ведра, объёмом 2,25 дм<sup>3</sup> ставились дном вверх на моховой очес (чтобы не нарушать естественную среду высвобождения парниковых газов). Время экспозиции было выбрано 45 минут. В ведра заранее были проделаны небольшие отверстия для резиновой пробки-заглушки. Колпак устанавливается вверх дном на поверхность почвы и вращательным движением врежется на глубину 1-3 см вглубь. По истечении 45 минут, когда почвенный воздух достаточно сосредоточился в закрытой камере, в резинку вставляется специальный шприц, и по специальной методике выкачивается воздух, который был накоплен в ведерке за это время. После чего, содержимое шприца вкалывалось в заранее подписанную ампулу. Одновременно проводилась холостая проба из атмосферного воздуха вне камеры.

Следующий этап данного анализа заключался в самом определении содержимого ампул на газовом хроматографе Кристалл 2000М (рисунок А.5 приложения А), год выпуска — 2003., рабочая температура от температуры окружающей среды +4 °С до 450 °С, дискретность задания 0,1 °С; скорость

программирования от 1 до 50 °С/мин, дискретность задания 0,1 °С/мин; количество изотерм – 5.

Для калибровки использовались стандартизованные (производство: National Institute for Environmental Studies, Япония) смеси газов метан/воздух с концентрацией CH<sub>4</sub> 1.99, 5 и 9.84 ppmv и аттестованной газовой смесью (50ppm углекислый газ в азоте) ГСО 3746-87, точность данных стандартов составляла ±0.01 ppm.

Интенсивность продуцирования почвенной микрофлорой углекислого газа и метана высчитывается по формуле:

$$D \text{ (мг/кг)} = \frac{h \times k \times V_{\text{св}} \times 24 \times 1000}{l \times p \times t} \quad (2)$$

где h- величина пика CO<sub>2</sub> в анализируемой пробе;

V<sub>св</sub> – объем газовой фазы в анализируемом сосуде;

K – чувствительность детектора к CO<sub>2</sub>;

l- объем анализируемой пробы газа, вводимой в хроматограф;

1000 – граммов в 1 кг;

24 – часов в сутки;

p – объем почвы в сосуде;

t – время закрытого сосуда;

#### 5.4 Определение рН водной вытяжки

Значение рН используется для выражения степени кислотности почвы. Измерение рН почвы играет очень важную роль, поскольку оно влияет на относительную доступность питательных веществ в почве. Если почва характеризуется 6,5...8,0 ед. рН, снижается усвоение железа, цинка и марганца, при этом увеличивается содержание молибдена и фосфора. Почва с очень высоким рН обогащается углекислым газом, который поглощает другие свободные ионы и вредит росту растений. Для этого почвенный образец отбирается и высушивается при комнатной температуре в течении 2...3-х дней. После этого почва растирается и просеивается через сито с диаметром отверстий не более одного миллиметра. После чего, выполняется квартование отобранных образцов для получения средней пробы.

Анализ выполнялся согласно методике, изложенной в ГОСТ 26423-85, которая представляет собой актуальную кислотность, обусловленную наличием ионов водорода, свободных (угольная) и водорастворимых органических кислот, гидролитически кислых солей и степени их диссоциации. Для определения рН торфяных горизонтов была взята навеска торфа 1:25. После добавления воды пробу следует встряхнуть в течение трех минут. Затем часть суспензии сливается в стакан, в который при помощи электродов выполняют измерения рН. Снятие показаний выполнялось примерно через две-три минуты после замедления скачков значений на приборе. Актуальную кислотность выражают в единицах рН[31].

#### 5.5 Определение степени разложенности почвы

Степень разложенности торфа – это процентное количество в нем массы, не имеющей структуры, которая может включать в себя гуминовые вещества, частицы негумифицированных растительных остатков (детрит). Анализ проходил по методике, изложенной в ГОСТ 10650-2013 (ситовым методом).

Данный метод является наиболее простым при полевых исследованиях в условиях отсутствия специального оборудования.

Суть метода такова: из пробы сырого, недавно отобранного торфа берется навеска 10-20 грамм, помещается в мензурку или стакан, вместимостью до 300 см<sup>3</sup>, заливают до 2/3 объема дистиллированной водой и оставляют замачиваться до 24 часов. Также, берется параллельно взятая навеска, в котором определяют сухое вещество. Изначально, перед проведением анализа, содержимое ёмкости переносят в колбу, вместимостью до 1дм<sup>3</sup>, после чего пробу торфа заливают дистиллированной водой. Колба закрывается пробкой и встряхивается на ротаторе или вручную в течение 5-10 минут.

Далее, полученная суспензия пропускается через сито с диаметром 0,25 мм. Остаток промывается водой из под крана в течение 6-10 минут до тех пор, пока не пропадёт муть. Затем, остаток на сите дополнительно промывается дистиллированной водой и затем переносится в чашу Петри для дальнейшего выпаривания влаги и высушивания в сушильном шкафу при температуре до 160 °С[31].

Показатель содержания фракции менее 0,25 мм (Р%) высчитывается по формуле:

$$P \% = ((M_c - M_o) * 100) / M_c \quad (3)$$

где  $M_c$  – масса сухого вещества торфа, г;

$M_o$  – масса сухого вещества остатка на сите, г;

Масса сухого вещества в навеске свежего торфа высчитывается по формуле:

$$M_o = (M_v * (100 - W)) / 100 \quad (4)$$

где  $W$  – массовая доля влаги в торфе, %.

$M_v$  – масса навески свежего торфа, г.

Далее, пользуются следующими таблицами, для определения степени разложенности торфа, представленные на рисунках А.6 и А.7 приложения А.

## 5.6 Определение природной влажности почвы

Из пробы свежего торфа берётся навеска до 10 грамм, во взвешенные бюксы. Далее, пробы помещаются в сушильный шкаф, предварительно нагретый до 110 °С до полного высушивания. После чего – бюксы вынимаются, закрываются крышками, охлаждаются до комнатной температуры и взвешивают. Затем, проводится контрольное подсушивание в течение 30-60 минут и определяется потеря массы, и, если она не превышает 0,01 г – испытание завершается[31].

Влажность почвы (W%) рассчитывают по формуле:

$$W\% = ((M_1 - M_2) * 100) / (M_1 - M_0) \quad (5)$$

где  $M_1$  – масса бюкса пробой до высушивания, г;

$M_2$  -масса бюкса с пробой после высушивания, г;

$M_0$  – масса бюкса без пробы, г

## 5.7 Определение температуры почвы

Температурой почвы следует считать такую температуру, которая считывается показаниями различных датчиков, которые могут быть установлены на разных глубинах. Измерение температуры торфа поверхностного горизонта продемонстрирована на рисунке А.8 приложения А.

Тепловой режим почвы, зависит от притока тепла извне и также минералогического состава почвы, порозности, влажности почвы. Также, температурный режим почвы зависит от характера рельефа, растительности, наличия склонов и т.д.

Основным источником тепла, поступающем в почву, является энергия солнца, которая поглощается приповерхностным слоем. Это тепло передается в нижележащие горизонты и также расходуется на нагревание воздуха и испарение воды.

Температура почвы оказывает огромное влияние на формирование термического режима атмосферы. Этот параметр необходим для нахождения возможной корреляции между выделением почвы  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  и температурой почвы. Стоит отметить что при проведении исследований, моховой очес не снимался целенаправленно, чтобы определить неизменную температуру под ним, так как при его извлечении, возможно повышение температуры под открытым Солнцем, и, как следствие – появление возможной ошибки в дальнейших статистических анализах.

Таким образом, представлена сущность используемых методик для получения данных при помощи которых можно выполнить физико-механические анализы почвы.

## 6 Результаты исследования

### 6.1 Оценка физико-химических показателей почвах острова Валаам

После заложения почвенных разрезов на территории исследуемых точек выполнялось определения плотность сложения почвы. Данный показатель является наиболее вариабельным, он способен меняться в зависимости от различных факторов, особенно он меняется в вышележащих горизонтах.

Результаты, полученные в ходе исследования, представлены в таблице 6.1.1

Таблица 6.1.1 – Плотность сложения почвы исследуемых точек

| Точка | Глубина отбора, см | Результаты, г/см <sup>3</sup> | Оценка плотности почвы (по Качинскому Н.А.)                                                                                    |
|-------|--------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Г1    | 20-50              | 0,08-0,10                     | Плотность почвы, в данном случае, связана со степенью разложенности торфа, чем слабее почва разложена – тем она менее плотная. |
|       | 50-75              | 0,09-0,10                     |                                                                                                                                |
|       | 75-100             | 0,08-0,09                     |                                                                                                                                |
|       | 100-125            | 0,08-0,10                     |                                                                                                                                |
| Г2    | 10-25              | 0,12-0,14                     |                                                                                                                                |
|       | 25-50              | 0,10-0,12                     |                                                                                                                                |
|       | 50-75              | 0,08-0,09                     |                                                                                                                                |
|       | 75-100             | 0,09                          |                                                                                                                                |
|       | 100-125            | 0,08                          |                                                                                                                                |
| Г3    | 5-25               | 0,12-0,14                     |                                                                                                                                |
|       | 25-50              | 0,2                           |                                                                                                                                |
|       | 50-75              | 0,21-0,23                     |                                                                                                                                |
|       | 75-100             | 0,12-0,15                     |                                                                                                                                |

Из данных представленных в таблице 1 видно, что плотность почвы в поверхностном слое точек Г2 и Г3 варьирует в диапазоне 0,012-0,14 г/см<sup>3</sup>. Причем максимальная плотность сложения почвы характеризовалось для почвы отобранной в точке Г3, которая располагалась на северном берегу Германского озера, а минимальная в точке Г1 – расположенная ближе всего к озеру.

Плотность сложения почвы южного берега Германского озера (точка Г1) характеризуется одинаковыми значениями по всему профилю, обратная тенденция определена для почв отобранной в точке Г2 и Г3. При этом почвы в точке Г2 обладают уменьшением плотности сложения вниз по глубине.

В ходе выполнения исследования проводилось определения степени разложенности (таблица 6.1.2), данный показатель определяется чисто морфологически или количественно на основании измерения соотношения между разложившимся материалом и сохранившимися строение растительными остатками. Согласно существующим классификациям степень разложения растительных остатков бывает следующих типов:

- 1) слаборазложенный (до 25 %) – при котором остатки растений отличны от остаточных метериалов растений (цветом);
- 2) среднеразложенный (25-35%)– остатки растений отличаются не только цветом, но и формой;
- 3) хорошо разложенный (35-50%) - при сжатии липнет к руке и пачкает пальцы;
- 4) сильноразложенный (более 50%)– растительные остатки полностью утратили первоначальную форму, но видны фрагменты измененных растительных тканей[31].

Таблица 6.1.2 – Степень разложенности растительных остатков (Р%)

| Точка | Глубина отбора, см | Результаты, % | Оценка полученных результатов |
|-------|--------------------|---------------|-------------------------------|
| Г1    | 20-50              | 24            | слаборазложенный              |
|       | 50-75              | 35            | среднеразложенный             |
|       | 75-100             | 23            | слаборазложенный              |
|       | 100-125            | 25            | слаборазложенный              |
| Г2    | 10-25              | 35            | среднеразложенный             |
|       | 25-50              | 44            | хорошоразложенный             |
|       | 50-75              | 45            | сильноразложенный             |
|       | 75-100             | 22            | слаборазложенный              |
|       | 100-125            | 30            | среднеразложенный             |
| Г3    | 5-25               | 65            | сильноразложенный             |
|       | 25-50              | 55            | сильноразложенный             |
|       | 50-75              | 52            | сильноразложенный             |
|       | 75-100             | 36            | хорошо разложенный            |

Из полученных данных можно сделать вывод, что степень разложения растительных остатков на территории исследуемых точек, зависит от удаленности точки от озера. Для почвенного разреза точки Г3 (наиболее удаленная от озера точка, с меньшей влажностью) – обладает хорошо и сильноразложившимся показателем торфа, когда как для точки Г1 (рисунок 8) характерна слаборазложенная степень торфа, где влажность почвы выше (примерно в 2 раза).

Проводилось определение природной, или абсолютной влажности, под которой понимают содержание влаги в почве к массе абсолютно сухой массы почвы.

В ходе проведенного исследования влажность почвы определялась вместе с отбором проб почвенного воздуха и измерения температуры почвы (таблица 6.1.3):

Таблица 6.1.3 – Влажность почвы исследуемых точек

| № точки            | Природная влажность почвы, ср., % |       |      |
|--------------------|-----------------------------------|-------|------|
|                    | Г1                                | Г2    | Г3   |
| Глубина отбора, см | 20-50                             | 15-50 | 5-50 |
| 15.06.2021         | 1210                              | 650   | 980  |
| 22.06.2021         | 1220                              | 630   | 930  |
| 29.06.2021         | 1200                              | 600   | 900  |
| 06.07.2021         | 1160                              | 580   | 830  |
| 13.07.2021         | 1140                              | 480   | 720  |
| 20.07.2021         | 1130                              | 420   | 720  |
| 27.07.2021         | 1130                              | 440   | 670  |
| 03.08.2021         | 1200                              | 520   | 830  |
| 10.08.2021         | 1190                              | 630   | 920  |
| 17.08.2021         | 1200                              | 640   | 1000 |
| 24.08.2012         | 1200                              | 650   | 1000 |
| 31.08.2021         | 1310                              | 660   | 1020 |
| 07.09.2021         | 1320                              | 690   | 1050 |
| 14.09.2021         | 1300                              | 660   | 1080 |

Исходя из данных, представленных в таблице 6.1.3 видно, что поверхностный слой в исследуемой точке № 1 (ближе всего к берегу) характеризуется очень высоким содержанием влаги в почве (категория – очень влажный). Влажность поверхностного слоя почвы, отобранной в точке Г2 характеризовалась приблизительно одинаковыми значениями, но в июле отмечено снижение влажности в слое 10-25 см по сравнению с влажностью почвы отобранной в июне, это можно объяснить тем, что лето 2021 года характеризовалось достаточно жарким и в данном месте произошло испарение верхнего слоя торфа, но уже к 3 августа наблюдается снова увеличение влажности, по сравнению с 27, после обильных осадков. Для этого почвенного профиля характерна такая же тенденция увеличения влажности вниз по профилю. Отличительной особенностью почвенного профиля, расположенного на территории точки Г3 заключалось в том, что в слое 5-50 см была зафиксирована средняя и маловлажная категория.

рН почвы на исследуемых точках характеризуется как сильнокислый. Значение рН в почве отобранной в точке Г1 в поверхностном слое имеет самое минимальное значение, сравнению с точками в Г2 и Г3. При этом рН водной вытяжки увеличивается вниз по почвенному профилю, независимо от точки отбора почвенного образца. Данные представлены в таблице № 6.1.4

Таблица 6.1.4 – рН почвы исследуемых точек

| №<br>горизонта | рН          |       |
|----------------|-------------|-------|
|                | Глубина, см | рНвод |
| Г1             | 20-50       | 3,1   |
|                | 50-75       | 3,2   |
|                | 75-100      | 3,2   |
|                | 100-125     | 3,5   |
| Г2             | 10-25       | 3,4   |
|                | 25-50       | 3,5   |
|                | 50-75       | 3,6   |
|                | 75-100      | 4,1   |
|                | 100-125     | 4,3   |
| Г3             | 5-25        | 3,5   |
|                | 25-50       | 3,5   |
|                | 50-75       | 3,7   |
|                | 75-100      | 3,8   |

В целом, почвенные параметры, отобранные в точках расположенных вблизи Германского озера, обладают типичными физическими и физико-химическими показателями характерными для болотных почв.

Данные о зольности представлены в таблице Б.1 приложения Б. На ней мы можем наблюдать следующее: Высокие показатели зольности характерны для точки Г2 на глубине 75-125 см, что объясняется выщелачиванием осадками минеральных веществ (Са, Mg, Р) с сельги и их аккумуляцией в нижележащих горизонтах.

## 6.2 Оценка почвенной эмиссии парниковых газов заболоченного участка водосбора о. Германовского

Результаты исследования эмиссии углекислого газа в точках Германского озера представлены на рисунке 6.2.1.

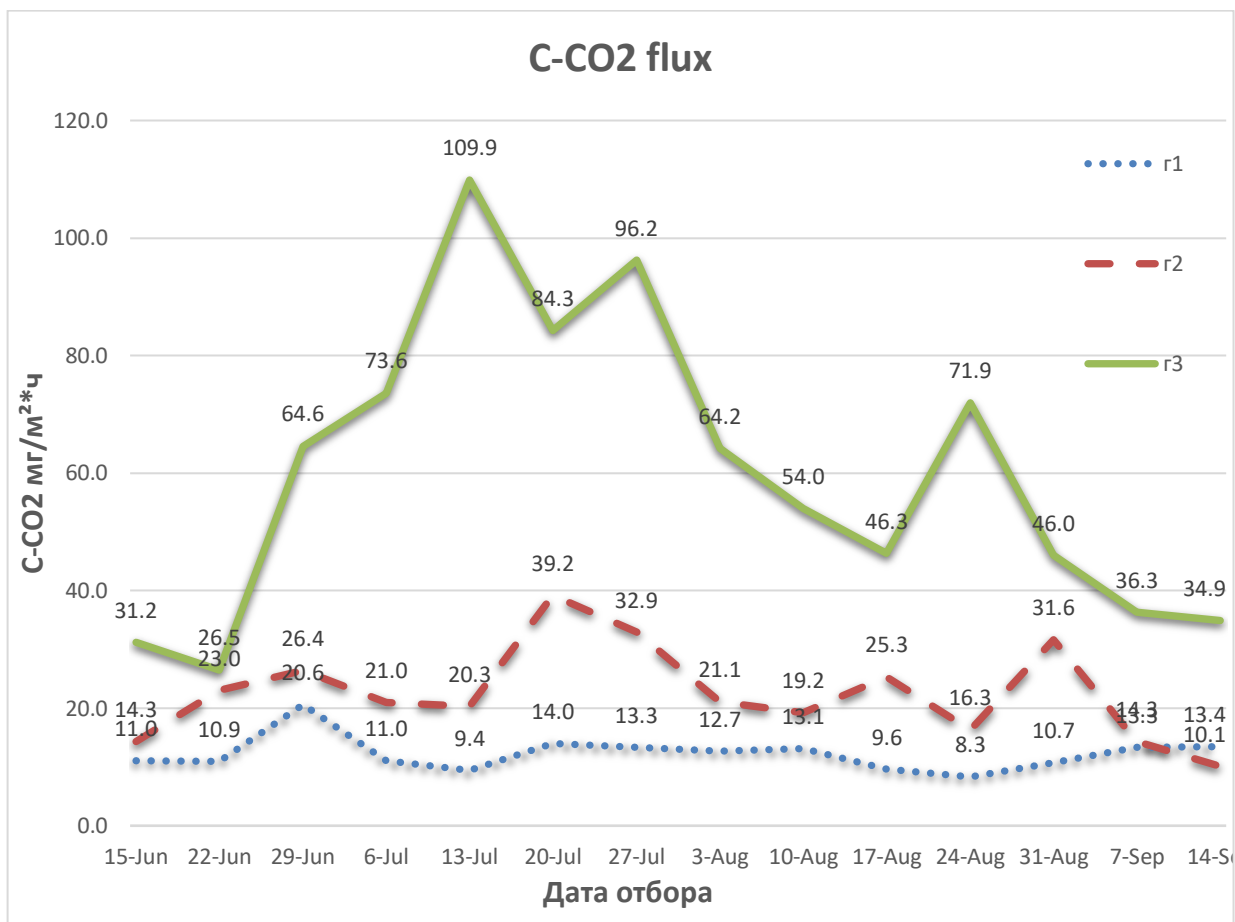


График 6.2.1 – Сезонная динамика эмиссии углекислого газа из заболоченных почв водосбора о. Германовское,  $\text{C-CO}_2$  мг/м²\*ч

Анализ данных исследуемых точек свидетельствует о неравномерном потоке углекислого газа, в зависимости от удалённости точек отбора от озера. Исходя из полученных результатов, мы можем наблюдать следующую закономерность: точки Г1 и Г2 характеризуются значительно более низкой эмиссией  $\text{CO}_2$ , по сравнению с точкой Г3. Это связано, прежде всего с тем, что для точек Г1 и Г2 характерна высокая и очень высокая влажность почвы (рисунок А.9 приложения А) по всему почвенному профилю, для них

характерен застойный тип водного режима, и, как следствие – в них протекают анаэробные условия. Аэробные же микроорганизмы не способны существовать при таких условиях. Бескислородные условия, в свою очередь, лимитируют интенсивность и снижают скорость разложения органических веществ микроорганизмами, приводя к аккумуляции и медленному разложению органического вещества, с чем и связана более низкая степень разложения торфа на данных точках по всему профилю (таблица 6.1.2) по сравнению с точкой ГЗ.

Точка № ГЗ, относительно точек № Г1 и № Г2 характеризуется более высокой эмиссией углекислого газа в связи с относительно низким содержанием влаги в почвенных горизонтах (рисунок А9 приложения А). Степень разложения органического материала изменяется от хорошо разложившейся до сильно разложившейся. Максимальная эмиссия  $\text{CO}_2$  была зафиксирована 13 июля ( $109,9 \text{ мгС-}\text{CO}_2/\text{м}^2\cdot\text{ч}$ ), которая, в свою очередь, может быть связана с высокой максимальной температурой воздуха в этот день ( $30,8^\circ\text{C}$ ). Для данной обследуемой точки характерна следующая закономерность – пик эмиссии наблюдается в июле, о чем говорит высокая корреляция с температурой воздуха и почвы, где при повышении данных параметров микробиологическая активность – увеличивается. Для точек Г1 и Г2 корреляция по этим параметрам классифицируется как умеренная (для точки Г2) и слабая (для точки Г1) (рис. 6.2.2). Так, например, в точке Г2 с 13.06.22 по 20.06.22 наблюдалось небольшое повышение эмиссии  $\text{CO}_2$  (с  $20,3$  до  $39,2 \text{ мгС-}\text{CO}_2/\text{м}^2\cdot\text{ч}$ ) вместе с повышением температуры воздуха и почвы и 27 июля был зафиксирован пик эмиссии за всю исследованную сезонную динамику (с июня по сентябрь). Это может быть связано с тем, что к этому времени, верхний горизонт торфа (до 25 см) мог успеть потерять влагу и в нем могли начать протекать аэробные условия, с небольшим выделением данного газа, и, после обильных осадков 31 июля – эмиссия газа упала до  $21,1 \text{ мгС-}\text{CO}_2/\text{м}^2\cdot\text{ч}$  к 3 августа.

Для точки Г1 характерен же неизменный, постоянный, очень малый вертикальный поток  $\text{CO}_2$ , что связано с близким расположением точки к озеру (рисунок А.4 приложения А), где преобладают исключительно анаэробные условия.

Небольшие содержания эмиссии углекислого газа в точках № Г1 и № Г2 складываются преимущественно за счет дыхания корней растений, тогда как в точке Г3, помимо дыхания корней – проявляется также и микробиологическое участие в эмиссии данного газа. Далее, была рассчитана корреляционная зависимость потока эмиссии углекислого газа от различных параметров почвы и атмосферы (рисунок 6.2.3)

| Точка | Ср. Влажность почвы (0-50 см), % | Температура почвы (20см), $^{\circ}\text{C}$ | Температура воздуха среднедекад, $^{\circ}\text{C}$ | Осадки среднедекад, мм |
|-------|----------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------|
| Г1    | -0,09                            | 0,12                                         | 0,07                                                | -0,06                  |
| Г2    | -0,59                            | 0,56                                         | 0,37                                                | -0,12                  |
| Г3    | -0,82                            | 0,79                                         | 0,54                                                | -0,19                  |



корреляция отсутствует  
слабая корреляция (0,1-0,3)  
умеренная корреляция (0,3-0,5)  
заметная корреляция (0,5-0,7)  
высокая корреляция (0,7-0,9)

Рисунок 6.2.2 – Корреляционная зависимость почвенных потоков  $\text{CO}_2$  от температуры воздуха, температуры и влажности почвы и атмосферных осадков на исследованных точках

Пониженная температура почвы приводит к снижению микробиологической активности, что, в свою очередь приводит к колебаниям высвобождения углекислого газа. Наибольшая средняя температура наблюдается в точке Г3 (22,5 °С) - 20.07.22, наименьшая – в точке Г1 - 14 сентября – 9 °С . Рассчитана корреляционная зависимость почвенных потоков CO<sub>2</sub> от температуры почвы и для точки Г1 коэффициент корреляции составил 0,11 (слабая прямая связь), для точки Г2 – 0,42 (умеренная прямая связь) и для точки Г3 – высокое значение корреляции (0,75). Низкая корреляция в точке № Г1 объясняется тем, что в условиях повышенной влажности почвы отсутствует аэробное дыхание микроорганизмов и повышение же температуры в данной почве не приведет к высвобождению эмиссии CO<sub>2</sub>, в отличие от точки № Г3, где в верхних горизонтах почвы протекают аэробные условия, что является пусковым механизмом для повышения микробиологической активности и запуска повышенного вертикального потока углекислого газа из почвы.

Исходя из этого, можно сделать вывод, что повышение температуры почвы прямо пропорционально увеличению потоков CO<sub>2</sub> из почвы, что как раз и подтверждается различными исследованиями в области изучения эмиссии парниковых газов.

Так же, на основании полученных данных проведен расчет кумулятивной эмиссии CO<sub>2</sub> в почвах по трём точкам. Результаты исследования представлены на графике 6.2.3

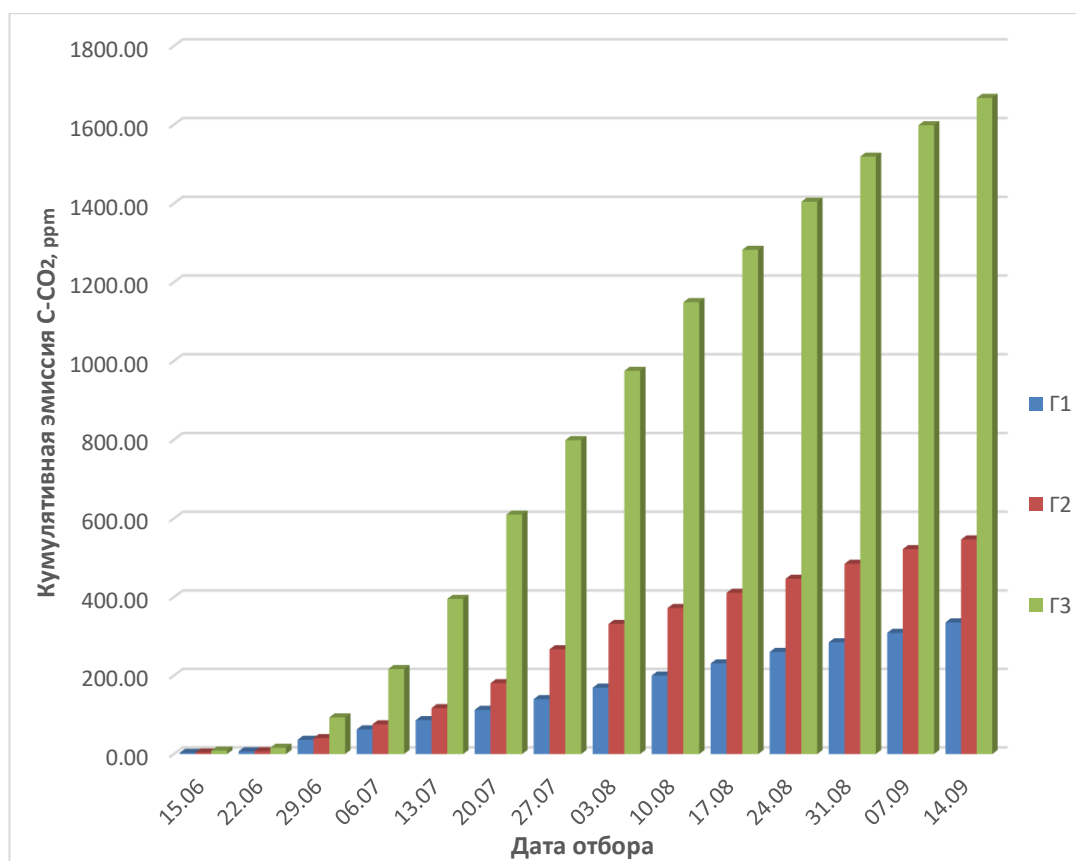


График 6.2.3 – Кумулятивная эмиссия углекислого газа из почв водосборной территории Германского озера.

Исходя из представленной диаграммы, можно сделать вывод о том, что максимальной кумулятивной эмиссией углекислого газа за весь период наблюдения обладает самая удаленная от берега точка Г3, значения достигают 1,7 гC-CO<sub>2</sub> /кг. Минимальные значения эмиссии - 336 мгC-CO<sub>2</sub> /кг (в 5 раз меньше), наблюдаются на расположенной на сплавине у самого берега точке Г1, которая обладает самой высокой влажностью. Точка Г2 характеризуется значением – 416 мгC-CO<sub>2</sub> /кг.

Говоря об эмиссии CH<sub>4</sub> на данном участке, для начала следует представить график сезонной динамики эмиссии метана из заболоченных почв по трём точкам отбора вблизи Германовского озера, C-CH<sub>4</sub>мг/м<sup>2</sup>\*ч.

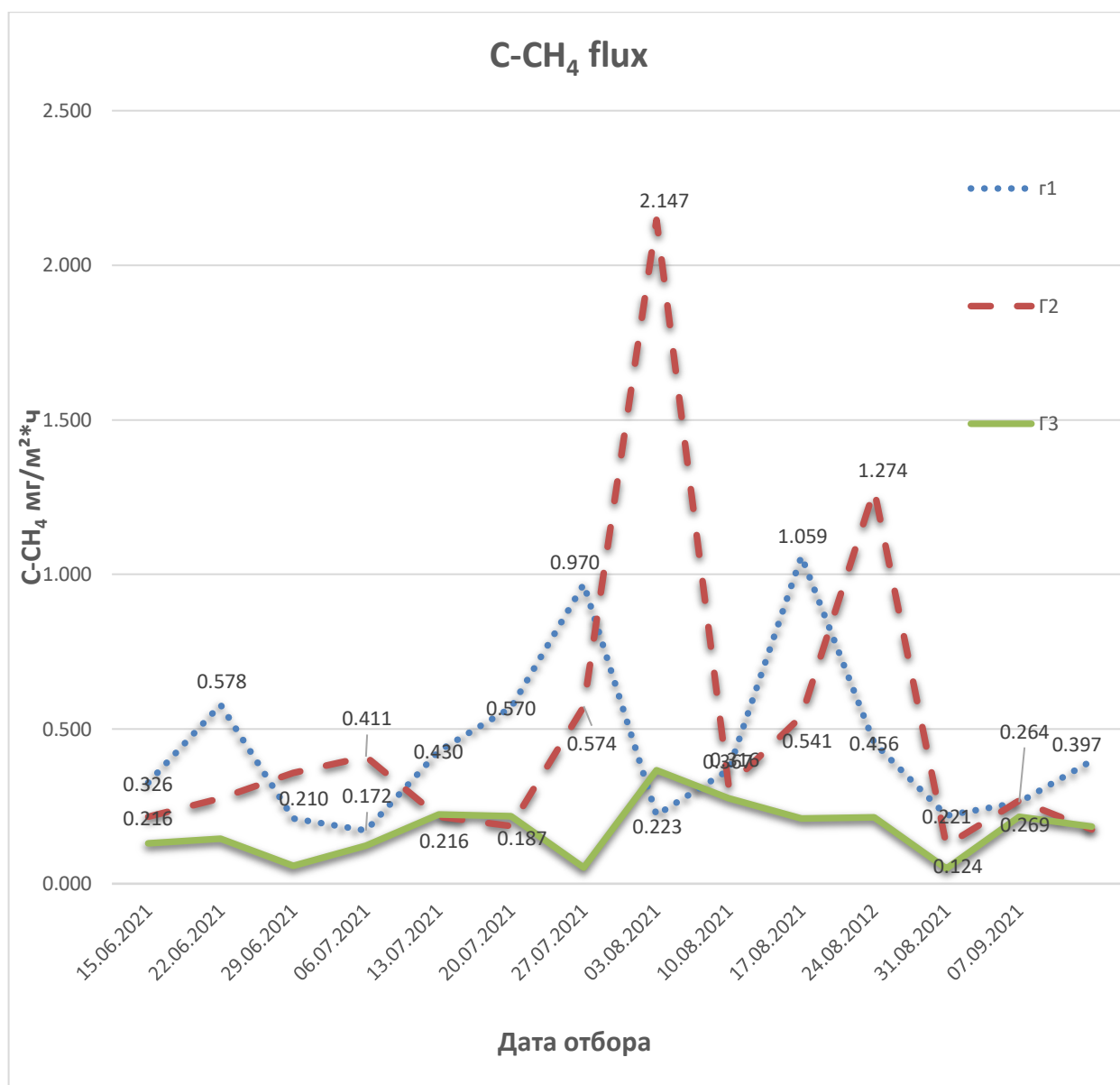


График 6.2.4 – Сезонная динамика эмиссии метана из заболоченных почв водосбора о. Германовское,  $C-CH_4$  мг/м<sup>2</sup>\*ч

Исходя из данного графика, мы можем сделать вывод, что оценка деструкционной активности микроорганизмов в анаэробных условиях по величине метанообразования показала, что для данных почв характерно колебательное высвобождение метана на заболоченном участке у Германовского озера. Наибольшая эмиссия метана характерна для точки № Г2, с максимальным пиком эмиссии 3 августа, составляя 2,147 мг $C-CH_4$ /м<sup>2</sup>\*ч возможно, в результате залпового высвобождения данного газа из почвы. Точки Г1 и Г2, характеризуюсь преимущественно анаэробными условиями,

протекающими в почвах, отмечены немного большим высвобождением метана, в отличие от точки Г3, где анаэробные условия встречаются на определенной глубине. Второй по величине пик эмиссии метана наблюдался 24 августа, также на точке № Г2 и составил 1,274 мгС-CH<sub>4</sub>/м<sup>2</sup>\*ч, что может быть связано также с залповым пузырьковым высвобождением данного парникового газа.

Как отмечалось ранее, в вегетационный сезон интенсивность потока метана определяется, в основном, двумя факторами: уровнем болотных вод и температурой торфяной залежи. Так как температура и влажность торфяной залежи определялись только с поверхности, для понимания процесса высвобождения метана из почвы в данной работе недостаточно данных. Также, как и для потока углекислого газа, была рассчитана корреляционная зависимость потока эмиссии метана от различных параметров почвы и атмосферы (рисунок 6.2.5)

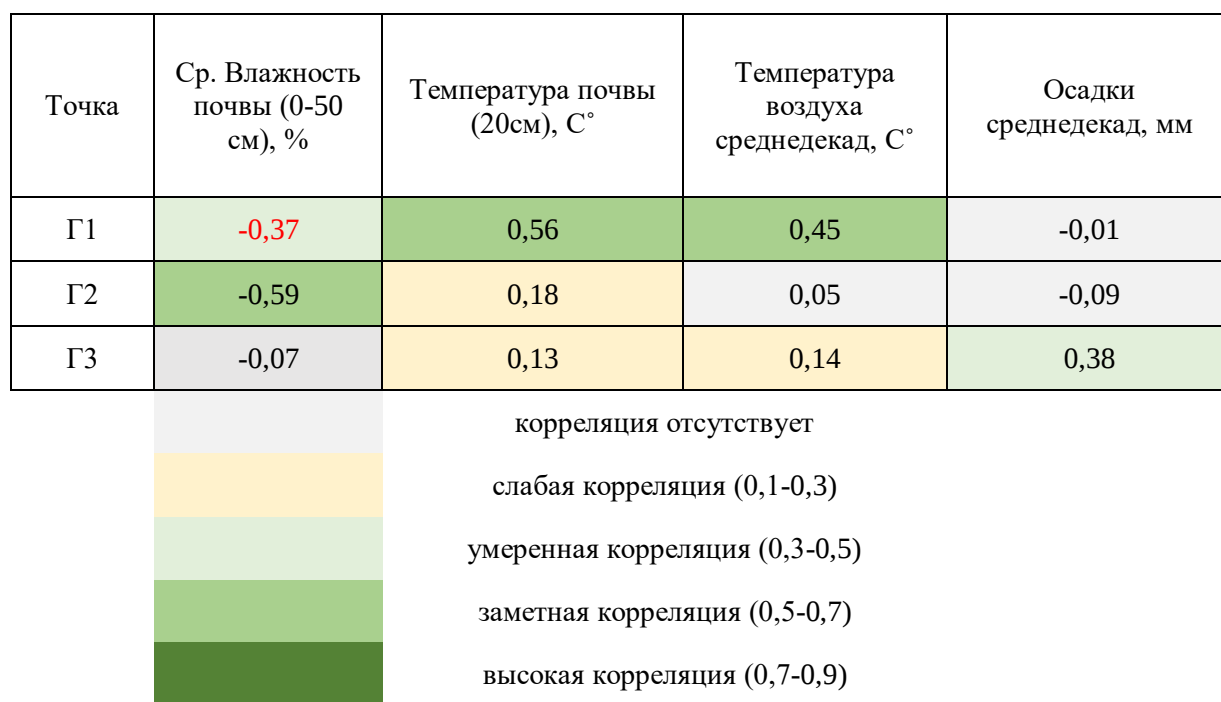


Рисунок 6.2.5 - Корреляционная зависимость почвенных потоков CH<sub>4</sub> от температуры воздуха, температуры и влажности почвы и атмосферных осадков на исследованных точках.

Данные о корреляционной зависимости могут сказать нам следующее: эмиссия метана на болотных массивах дискретна, особенно в тёплый период года, что не всегда позволяет найти взаимосвязь между эмиссией и различными параметрами климата и почвенных залежей.

Только лишь средняя корреляция была обнаружена с температурой почвы и воздуха (0,56 и 0,45 соответственно), что может говорить о том, что при повышении температуры – эмиссия метана увеличивается.

А вот в точке Г1 мы сталкиваемся с совсем иной ситуацией, когда коэффициент корреляции влажности почвы от потоков метана равен - 0,37 и -0,59 (отрицательная умеренная связь). Или, другими словами, чем меньше влажность почвы – тем эмиссия метана выше. Так как почва в точках Г1 и так характеризуется очень высоким содержанием влаги, независимо от даты отбора, данная корреляция может быть не значима. В точке Г2 у нас наблюдаются противоположные явления, когда при понижении влажности почвы – должно наблюдаться снижение эмиссии метана, а не наоборот. Можно предположить, что повышение высвобождения метана в таких почвах может происходить по другим причинам, связанными не только с влажностью почвы (например, переносом метана пузырьковым механизмом и т.д.).

Также, невысокие показатели коэффициентов корреляции могут быть связаны еще с тем, что у нас не имеется дополнительных данных, касаемо температуры почвы, так как возможно, зная температуру почвы послойно, картина эмиссии метана из почвы могла бы иметь совсем другой вид.

Расчет кумулятивной эмиссии  $\text{CH}_4$  в почвах по трём точкам за исследованный период представлены на графике 6.2.6

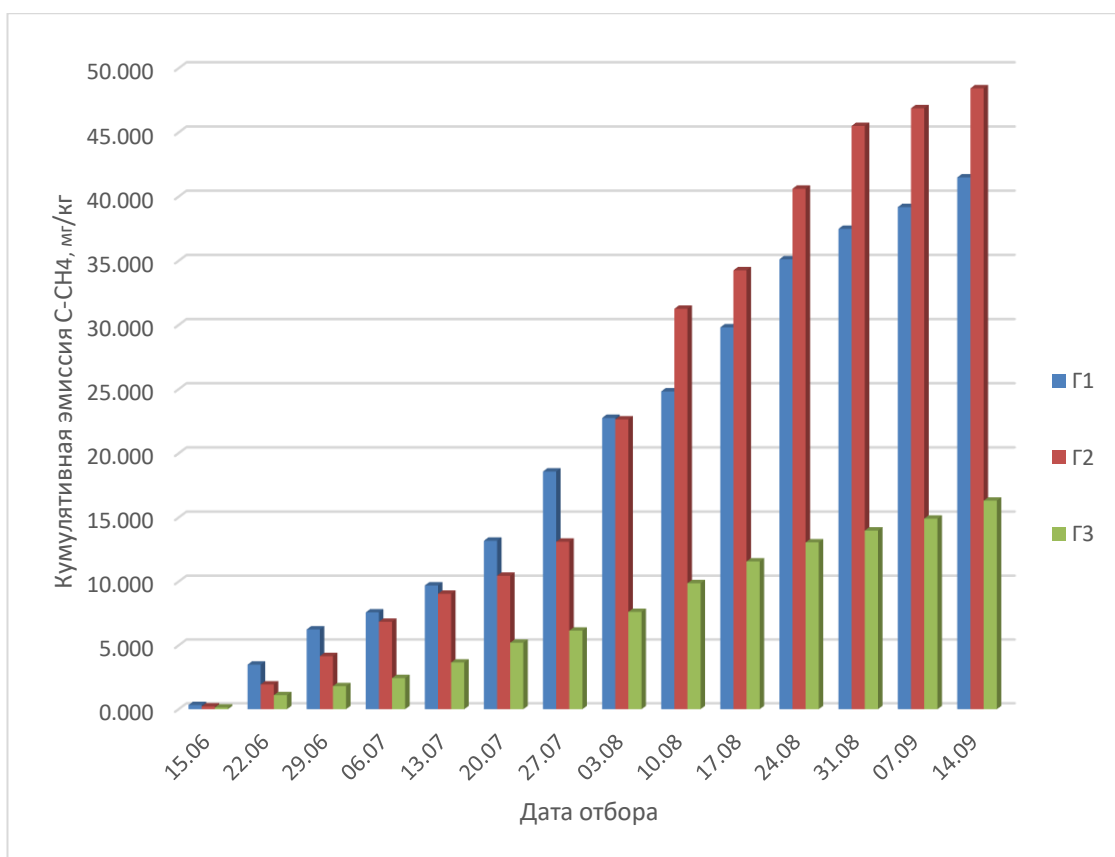


График 6.2.6 – Кумулятивная эмиссия метана в почвах исследуемых точках у Германского озера.

Показатели кумулятивной эмиссии метана за вегетационный сезон на участке водосбора Германовского озера следующие: Г1 = 41,5 мгС-СН<sub>4</sub>/кг, Г2 - 48,4 мгС-СН<sub>4</sub>/кг, 16,3 мгС-СН<sub>4</sub>/кг для точки Г3. Такие невысокие значения эмиссии можно связать, возможно, с активной деятельностью метанотрофных организмов, которые окисляют метан до СО<sub>2</sub>, что в свою очередь, приводит к меньшему его высвобождению.

### 6.3 Изучение эмиссии парниковых газов на олиготрофном болотном массиве Ламмин-Суо 2004-2010 гг. и сравнительная оценка с полученными результатами исследования на острове Валаам.

Исследования эмиссии парниковых газов на болотном массиве Ламмин-Суо в 2004-2010 гг. приведены 6.3.1

Топологическая карта болота Ламмин-суо представлена на рисунке А.11 приложения А, где отмечено место измерения эмиссии парниковых газов за исследуемых период. На типологических картах болота Ламмин-Суо цифровые обозначения указывают на тип болотных микроландшафтов, а цвет – на принадлежность их к той или иной группе микроландшафтов.

На территории болотного массива Ламмин-Суо выделено 17 типов болотных микроландшафтов. В 12 из них проводились наблюдения за уровнем болотных вод.

Карта глубин торфяной залежи болотного массива Ламмин-суо представлена на рисунке А.12 приложения А.

Таблица 6.3.1 – Характеристика среднемесячного потока CO<sub>2</sub> болотного массива Ламмин-суо и заболоченного участка у Германовского озера

| Объект              | Микроландшафт                                                   | Годы наблюдений | Эмиссия CO <sub>2</sub> (мг CO <sub>2</sub> /м <sup>2</sup> *ч) | Месяцы года |        |        |          |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------|-------------|--------|--------|----------|
|                     |                                                                 |                 |                                                                 | Июнь        | Июль   | Август | Сентябрь |
| Ламмин-суо          | сфагново-пушицево-кустарничковый облесенный сосной олиготрофный | 2004            | Среднее                                                         | 77,7        | 113    | 94,8   | 44,5     |
|                     |                                                                 |                 | Минимум                                                         | 51,3        | 60,9   | 53,6   | 19       |
|                     |                                                                 |                 | Максимум                                                        | 107         | 177,8  | 130,6  | 107      |
|                     |                                                                 | 2008            | Среднее                                                         | 72,9        | -      | 68     | 196,7    |
|                     |                                                                 |                 | Минимум                                                         | 19,25       | -      | 16     | 99,2     |
|                     |                                                                 |                 | Максимум                                                        | 175,25      | -      | 159,4  | -        |
|                     |                                                                 | 2010            | Среднее                                                         | -           | 749,9  | 2223,6 | 276,6    |
|                     |                                                                 |                 | Минимум                                                         | -           | -      | 1731,3 | 223,5    |
|                     |                                                                 |                 | Максимум                                                        | -           | 1179,1 | 3559,7 | 877,1    |
| Остров Валаам т. Г1 | сфагново-пушицево-тростниковый мезо-олиготрофный (сплавина)     | 2021            | Среднее                                                         | 10,4        | 11,9   | 11,4   | 13,3     |
|                     |                                                                 |                 | Минимум                                                         | 9,2         | 9,4    | 8,3    | -        |
|                     |                                                                 |                 | Максимум                                                        | 11          | 14     | 15,4   | -        |
| Остров Валаам т. Г2 | сфагново-кустарничковый грядово-мочажинный олиготрофный         | 2021            | Среднее                                                         | 13,5        | 39,3   | 17,3   | 12,2     |
|                     |                                                                 |                 | Минимум                                                         | 12,0        | 31,0   | 15,7   | 10,1     |
|                     |                                                                 |                 | Максимум                                                        | 14,3        | 50,1   | 19,6   | 14,3     |
| Остров Валаам т. Г3 | сфагново-кустарничково-травянистый олиготрофный                 | 2021            | Среднее                                                         | 36,9        | 91     | 61,6   | 35,6     |
|                     |                                                                 |                 | Минимум                                                         | 26,5        | 73,6   | 46     | 34,9     |
|                     |                                                                 |                 | Максимум                                                        | 52,9        | 109,9  | 82,6   | 36,3     |

Микроландшафт сфагново-пушицево-кустарничковый облесенный сосной занимает значительную часть (22 %) площади болота. Микрорельеф кочковатый; кочки моховые высотой 15–30 см и диаметром у основания 0,5–0,8 м занимают до 50 % площади микроландшафта. Древесный ярус разреженный (сомкнутость крон не превышает 0,4) представлен сосной высотой 4-8 м с отдельными деревьями до 10 м. В травяно-кустарничковом ярусе преобладает пушица (*Eriophorum vaginatum*) с примесью болотных кустарничков (вереск, подбел, кассандра) произрастающих обильно на кочках. Моховой ярус сплошной и состоит из сфагновых мхов[25].

2010 год характеризовался экстремально жарким и сухим вегетационным сезоном, по сравнению с предыдущими годами,

среднесуточная температура достигала до +35°C, что наряду с отсутствием осадков привело к снижению грунтовых вод.

В представленной таблице 6.3.1 мы можем наблюдать повышение эмиссии углекислого газа в данный период и причиной этому, по-видимому, стало стимулирование дыхания аэробной микробиоты. Если в июле 2010 года эмиссия углекислого газа из почвы превышала показатели 2002 г. в 6,6 раз, а в августе – в 23,4 раза.

Затем, мы можем наблюдать снижение эмиссии в сентябре, со средним значением потока – 276,6 мг CO<sub>2</sub> /м<sup>2</sup>\*ч при температуре залежи до +14,4 °C и повышении уровня грунтовых вод, что, в свою очередь, ведет к снижению микробиологической активности и как следствие – уменьшению вертикального потока газа.

Интенсивность вертикального потока CO<sub>2</sub> возрастает с понижением уровня грунтовых вод и повышением температуры торфяной залежи, что и объясняется повышением эмиссии в точках Г2 и Г3 на заболоченном участке Германовского озера. Максимальный пик эмиссии в августе 2010 году на исследуемом участке болотного массива Ламмин-суо составило 3559,7 мгC-CO<sub>2</sub>/м<sup>2</sup>\*ч, когда как в точке Г3 у Германовского озера на Валаамском архипелаге максимальное значение составило 82,6 мгC-CO<sub>2</sub>/м<sup>2</sup>\*ч, что в 43 раза меньше.

Максимальная же эмиссия CO<sub>2</sub> на участке водосбора Германовского озера была зафиксирована 13 июля и составила 109,9 мгC-CO<sub>2</sub>/м<sup>2</sup>\*ч, в июле 2010 года на болотном массиве Ламмин-суо – 1179 мгC-CO<sub>2</sub>/м<sup>2</sup>\*ч, что примерно в 11 раз меньше.

Невысокая эмиссия CO<sub>2</sub> на участке водосбора Германовского озера объясняется тем, что аэробные условия протекают исключительно на поверхности торфяной залежи, а также, это можно объяснить меньшей мощностью торфяного горизонта на склоне сельги и близкому расположению горной породы габбро-диабазы; затенённостью участка (в связи с чем, высыхание горизонтов почвы может быть снижено). В отличие от массива

Ламмин-суо, где залежь характеризуется мощным слоем торфа (около 5 метров), в условиях повышенной температуры воздуха и прямого солнечного воздействия на торфяную залежь микробиологическая активность возрастает, в связи со значительным повышением температуры почвы и снижением влажности торфяных горизонтов.

Месячные значения эмиссии метана в сфагново-сосново-кустарничковом микроландшафте по данным наблюдений в 2004-2010 гг. представлено в таблице № 6.3.2

Таблица 6.3.2 – Характеристика среднемесячного потока  $\text{CH}_4$  болотного массива Ламмин-суо и заболоченного участка у Германовского озера

| Объект              | Микроландшафт                                              | Годы наблюдений | Эмиссия $\text{CH}_4$ (мг $\text{CH}_4$ /м <sup>2</sup> *ч) | Месяцы года |             |             |             |
|---------------------|------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                     |                                                            |                 |                                                             | Июнь        | Июль        | Август      | Сентябрь    |
| Ламмин-суо          | сфагново-сосново-кустарничковом олиготрофный               | 2004            | Среднее                                                     | <b>2,67</b> | <b>3,86</b> | <b>3,8</b>  | <b>2,37</b> |
|                     |                                                            | 2008            | Среднее                                                     | <b>0,6</b>  | <b>1,62</b> | <b>1,41</b> | <b>1,67</b> |
|                     |                                                            | 2010            | Среднее                                                     | <b>2,5</b>  | <b>9,28</b> | <b>2,55</b> | <b>1,11</b> |
| Остров Валаам т. Г1 | сфагново-пушицево-тростниковый мезоолиготрофный (сплавина) | 2021            | Среднее                                                     | <b>0,37</b> | <b>0,53</b> | <b>0,47</b> | <b>0,33</b> |
|                     |                                                            |                 | Минимум                                                     | 0,21        | 0,17        | 0,22        | 0,26        |
|                     |                                                            |                 | Максимум                                                    | 0,58        | 0,97        | 1,06        | 0,4         |
| Остров Валаам т. Г2 | сфагново-кустарничковый грядово-мочажинный олиготрофный    | 2021            | Среднее                                                     | <b>0,28</b> | <b>0,35</b> | <b>0,88</b> | <b>0,22</b> |
|                     |                                                            |                 | Минимум                                                     | 0,22        | 0,19        | 0,12        | 0,18        |
|                     |                                                            |                 | Максимум                                                    | 0,36        | 0,57        | 2,15        | 0,27        |
| Остров Валаам т. Г3 | сфагново-кустарничково-травянистый олиготрофный            | 2021            | Среднее                                                     | <b>0,11</b> | <b>0,16</b> | <b>0,22</b> | <b>0,2</b>  |
|                     |                                                            |                 | Минимум                                                     | 0,06        | 0,05        | 0,05        | 0,19        |
|                     |                                                            |                 | Максимум                                                    | 0,15        | 0,22        | 0,37        | 0,22        |

Сфагново-сосново-кустарничковый микроландшафт занимает незначительную площадь данного массива (3 %) и в настоящее время располагается северо-восточнее оз. Купальное (рисунки 5.1 и 5.6). В 1950–1985 годах этот микроландшафт располагался в лесном полукольце и на окрайке болота. Микрорельеф поверхности кочковатый с нечетко

выраженными приствольными повышениями, высотой до 30 см. Древесный ярус с сомкнутостью крон деревьев 0,4 состоит из сосны высотой 2,5–5,0 м (отдельные деревья до 8 м) и диаметром стволов — 3–15 см. Травяно-кустарничковый ярус, сомкнутостью до 80 %, представлен в основном кустарничками (голубика, морошка, багульник, вереск), местами с примесью пушицы. Моховой покров сплошной из сфагновых мхов[25].

Если учитывать выбросы метана посредством пузырькового механизма, то разброс оценок может отличаться на 1-2 порядка. Как говорилось ранее, в вегетационный период интенсивность эмиссии регулируется двумя факторами: уровнем болотных вод и температурой залежи. Соотношение этих компонентов определяет интенсивность эмиссии метана в этот период.

Так, в 2010 году, в июне средний поток эмиссии в залеже массива массива Ламмин-суо был 2,5 мг  $\text{CH}_4$  /м<sup>2</sup>\*ч, а в июле – она возросла в 3,7 раз, так как температура возросла с +18 26.06.10 г до +33 15.07.10. Рост эмиссии, в данном случае, сопровождался с понижением уровня болотных вод. По сравнению с 2008 годом средняя эмиссия метана возросла в 5,7 раз.

## Заключение

Болота составляют неотъемлемую часть биосферы. Покрывая около 6% поверхности Земли, водно-болотные угодья обеспечивают большое количество экосистемных функций, в дополнение к сохранению биоразнообразия.

Экосистемы торфяных болот различны по происхождению, распространенности и видовому составу, однако у всех них есть одна общая особенность: свойство сохранять на маленькой территории большое количество органического углерода. Углерод поглощается растениями из воздуха и тысячелетиями накапливается в торфяных болотах с выделением кислорода при постоянном водонасыщении торфяного слоя. Кроме того, торфяные болота имеют огромное значение для водного баланса местности, так как они могут сохранять и фильтровать воду, а затем медленно высвобождать ее обратно.

Подводя итоги данной магистерской диссертации, можно сделать вывод о том, что выявленные особенности в ходе проведения исследования представляют особенность торфообразования и его накопления. Эмиссия парниковых газов определяется динамикой газового режима каждого слоя торфяной залежи, что подтверждается корреляционными зависимостями.

Так, полученные данные об эмиссии углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) из почвенного покрова исследуемых точек Германского озера свидетельствуют о взаимосвязи вертикального потока углекислого газа с температурой и влажностью почвы, менее – с атмосферными осадками и температурой воздуха. В точке ГЗ, которая является наиболее удаленным участком от озера, верхние горизонты, характеризующейся средней и малой природной влажностью верхних горизонтов (420-690%) за исследованный период, была замечена высокая корреляция с влажностью (-0,82), а также с температурой почвы (0,79) и воздуха, со средней корреляцией : 0,54, что связано с высокой микробиологической активностью аэробных организмов в данной почве во

время изменения климатических и гидрологических условий в течение исследованного периода, и как следствие – повышения вертикальных потоков газа. Также, средние показатели корреляции были замечены в Точке Г2 с влажностью и температурой почвы (-0,59 и 0,56) соответственно.

Вертикальный поток  $\text{CH}_4$  в нашем исследовании может быть связан преимущественно с хаотичным (пузырьковым) выбросом метана на заболоченной территории у Германовского озера. Также, небольшие потоки данного газа на данном участке, по сравнению с болотным массивом Ламминсуо, могут быть связаны с активной деятельностью метанотрофов, которые способны окислять данный газ, тем самым, уменьшая его эмиссию, а также небольшой мощностью торфяной залежи. Была найдена средняя корреляция в точке Г1 эмиссии метана с температурой воздуха и почвы и составила 0,56 и 0,45 соответственно. Для нахождения возможной подробной зависимости потока метана с различными климатическими параметрами, необходимо наличие большей выборки и проведения мониторинга эмиссии парниковых газов данной заболоченной территории.

Сложная система, которую представляет из себя заболоченный объект на острове Валаам, предполагает более тщательные исследования её биологической и органической составляющей для прогнозирования формирования газового состава и эмиссии. В настоящее время, мы пока имеем фрагментарное представление о биохимическом процессе, происходящем в торфяной залежи на территории заболоченной территории Германовского озера, на фоне окислительно-восстановительных и других реакций, формирующихся непосредственно в торфяной залежи исследованной заболоченной территории.

Водно-болотные экосистемы выступают в роли важнейшего резервуара, в котором происходит активное поглощение углерода — антропогенное же нарушение таких систем приведет к выбросу парниковых газов, и, как следствие – к появлению парникового эффекта.

Уделение внимания запасам, продукции и структуре надземного яруса в болотных почвах, а также гидрологическому режиму и биогеохимическому циклу является неотъемлемой и важной задачей, а также подземной продукции, которая, к настоящему времени – изучена достаточно плохо.

## Список литературы

1. Писаренко А.И. Бореальные леса и лесное хозяйство / Писаренко А.И., Страхов В.В.. — Москва : Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации, Юриспруденция, 2012. — 518 с. — ISBN 978-5-9516-0593-1.
2. Экосистемные функции болот и их деградация вследствие мелиорации и торфодобычи [Электронный ресурс] <https://bahna.land/ru/bolota/ekosistemnye-funktsii-bolot-i-ikh-degradatsiya-vsledstvie-melioratsii-i-torfodobychi>
3. Головацкая Е.А. Биологическая продуктивность олиготрофных и эвтрофных болот южно-таежной подзоны Западной Сибири // Журнал Сибирского Федерального ун-та. Сер. Биология. - 2009. - Т. 2. - №1. - С. 38-53.
4. Инишева Л.И. Головацкая Е.А. Элементы углеродного баланса олиготрофных болот отрогов Васюганского болота // Экология.-2002.-№4.- С.242-249.
5. Ecology of Wetland Ecosystems: Water, Substrate, and Life - Julia A. Cherry (New College and Biological Sciences, The University of Alabama) 2011 Nature Education Citation: Cherry, J. A. (2011) Ecology of Wetland Ecosystems: Water, Substrate, and Life. Nature Education Knowledge 3(10):16
6. Adamus, P.R, FHWA Assessment method, v. 2 of Method for wetland functional assessment: Washington, D.C., U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration Report no. FHWA-IP-82-24, 1983
7. Barbier EB, Hacker SD, Kennedy C, Koch EW, Stier AC, Silliman BR. The value of estuarine and coastal ecosystem services. Ecological monographs. 2011;81(2):169-93.

8. Ефремов С.П., Ефремова Т.Т., Мелентьева Н.В. Запасы углерода в экосистемах болот // Углерод в экосистемах лесов и болот России. Под ред. В.А. Алексеева, Р.А. Бердси. Красноярск, 1994. С. 128-139.

9. Глаголев М.В., Головацкая Е.А., Шнырев Н.А. Эмиссия парниковых газов на территории Западной Сибири // Сибирский экологический журнал, 2007, № 2, С. 197–210.

10. Инишева Л.И., Сергеева М.А., Смирнов О.Н. Денитрификация и эмиссия углерода болотами Западной Сибири // Научный диалог. Выпуск №7. Естествознание и экология. 2012. С. 61-74.

11. C. Rahn, K. Zhang, R. Lillywhite, C. Ramos, J. Doltra, J.M. De Paz, H. Riley, M. Fink, C. Nendel, K. Thorup-Kristensen, A. Pedersen, F. Piro, A. Venezia, C. Firth, U. Schmutz, F. Rayns, K. Strohmeyer EU-Rotate\_N – a decision support system – to predict environmental and economic consequences of the management of nitrogen fertiliser in crop rotations Eur. J. Hortic. Sci., 75 (2010), pp. 20-32

12. Заварзин Г. А. Цикл углерода в природных экосистемах России // Природа. 1994. № 7. С.15–18.

13. Инишева Л.И., Сергеева М.А. Условия образования и эмиссия метана в олиготрофных ландшафтах Васюганского болота // Вестник ТГПУ. Естественные и точные науки. 2006. Вып. 6 (57). С. 54-59.

14. М. В. Глаголев, О. Р. Коцюрбенко, А. Ф. Сабреков, Ю. В. Литти, И. Е. Терентьева Микробиология, ОБЗОР МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОБНОЙ ПРОДУКЦИИ И ЭМИССИИ МЕТАНА В ПОЧВАХ 2021, Т. 90, № 1, стр. 3-23

15. Вомперский С.Э. Заболоченные органогенные почвы и болота России и запас углерода в их торфах / С.Э. Вомперский, А. И. Иванов, О.П. Цыганова // Почвоведение.– 1994.– No12.– С.17–25.

16. Комолова С.А., Степанова А.Б., Кузьмина Е.Ю., Дмитричева Л.Е., Козицкая К.А. Сфагновые мхи водосбора озера Германовского (природный парк "Валаамский архипелаг") // Новости сист. низш. раст. – Novosti Sist. Nizsh. Rast. 49. – 2015. – С. 328–344.

17. Козицкая К. А., Степанова А. Б., Комолова С. А. Взаимодействие в системе «озеро-водосбор» на примере водоема верхового болота озера Германовское (Природный парк «Валаамский архипелаг»). // Тез. докл. междунар. конф. молодых ученых «Проблемы и перспективы исследований растительного мира». – 2014. – Ялта. – С. 102.

18. Степанова А. Б., Шарафутдинова Г. Ф., Воякина Е. Ю. Гидрохимические особенности малых озер о. Валаам. // Учен. записки РГГМУ. – 2010. – №12. – С. 97–110.

19. Воякина Е. Ю. Вертикальная структура фитопланктона в двух малых лесных озерах Валаамского архипелага. // Состояние и проблемы продукционной гидробиологии. – М., 2006. – С. 115–125.

20. Нейштадт М.И. Возникновение и скорость развития процесса заболачивания / Научные предпосылки освоения болот Западной Сибири, - М.: Наука, 1977. - С.39-48.

21. Bolin B. The greenhouse effect, climatic change and ecosystems: A synthesis of present knowledge // The greenhouse effect, climatic change and ecosystems. - 1986. - P.2-8.

22. Houghton R.G. et al. Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: a net release of CO<sub>2</sub> to the atmosphere // Ecological Monographs, 1983. – V.53, № 3. – P.235-262

23. Васильев С. В. Скорость торфонакопления в Западной Сибири // Динамика болотных экосистем Северной Евразии в голоцене. — Петрозаводск: Изд-во Карел. науч. центра РАН, 2000. — С. 56–59.

24. Botch M. S., Kobak K. I., Vinson T. S., Kolchugina T. P. Carbon pools and accumulation in peatlands of the former Soviet Union // Global Biogeochem. Cycles. — 1995. — 9, N 1. — P. 37–46.

25. Гидрометеорологический режим и водный баланс верховых болот Северо-Запада России (на примере болота Ламмин-Суо) / Под ред. С. М. Новикова, В. И. Батуева. — Санкт-Петербург: Свое издательство, 2019. — 448 с.

26. Ладожское озеро. Атлас. Ин-т озероведения РАИ. СПб, 2002.

27. Валаам — феномен природы /А. А. Кучко и др.—5 Петрозаводск: Карелия, 1988.— 108 с.: ил.— (Природа и человек).

28. Экосистемы Валаама и их охрана /А.А. Кучко, Н.А. Белоусова, А.В. Кравченко и др.; [Отв. ред. Н.И. Казимиров] Карел.фил. АН СССР, Ин-т леса. - Петрозаводск : Карелия, 1989. - 197, [2] с. : ил. ; 20 см.

29. Матинян Н. Н. Почвы острова Валаам /Н.Н. Матинян, И.С. Урусевская; С.-Петерб. гос. ун-т, С.-Петерб. о-во естествоиспытателей. - СПб. : Изд-во СПбГУ, 1999. - 31 с. : ил. ; 19 см. - Библиогр.: с. 30.

30. Мониторинг потоков парниковых газов в природных экосистемах Алферов А.М., Блинов В.Г., Гитарский М.Л., Грабар В.А., Замолотчиков Д.Г., Зинченко А.В., Иванова Н.П., Ивахов В.М., Карабань Р.Т., Карелин Д.В., Калюжный И.Л., Кашин Ф.В., Конюшков Д.Е., Коротков В.Н., Кровотынцев В.А., Лавров С.А., Марунич А.С., Парамонова Н.Н., Романовская А.А., Трунов А.А., Шилкин А.В., Юзбеков А.К. место издания Амирит Саратов, ISBN 978-5-9500981-6-1, 279 с.

31. Физика почв, Практический курс, Часть 2, Козлова А.А., Учеб. пособие. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2012 - 147 с.

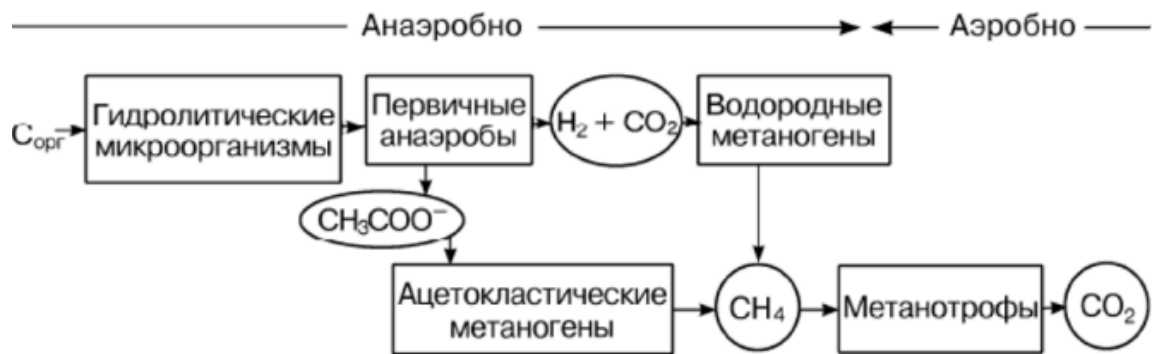


Рисунок А.1 - Незамкнутый цикл Зенгена



Рисунок А.2 – Ладожское озеро на карте



Рисунок А.2 – Карта острова Валаам



Рисунок А.4– Установка камер для последующего извлечения почвенного воздуха



Рисунок А.5 - Газовый хроматограф Кристалл 2000М, год выпуска — 2003.

| Р % | Целые значения процентов |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|     | 0                        | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
| 10  | 4,8                      | 5,2  | 5,5  | 5,8  | 6,1  | 6,5  | 6,8  | 7,2  | 7,6  | 7,9  |
| 20  | 8,3                      | 8,7  | 9,1  | 9,5  | 9,9  | 10,3 | 10,5 | 10,7 | 11,5 | 11,9 |
| 30  | 12,3                     | 12,8 | 13,3 | 13,8 | 14,3 | 14,8 | 15,3 | 15,8 | 16,3 | 16,8 |
| 40  | 17,3                     | 17,8 | 18,3 | 18,9 | 19,5 | 20,1 | 20,7 | 21,3 | 21,9 | 22,5 |
| 50  | 23,1                     | 23,7 | 24,3 | 25,0 | 25,7 | 26,4 | 27,1 | 27,8 | 28,5 | 29,5 |
| 60  | 29,9                     | 30,6 | 31,3 | 32,0 | 32,8 | 33,6 | 34,4 | 35,2 | 36,0 | 36,8 |
| 70  | 37,6                     | 38,4 | 39,3 | 40,2 | 41,1 | 42,0 | 42,9 | 43,8 | 44,7 | 45,6 |
| 80  | 46,5                     | 47,5 | 48,5 | 49,5 | 50,5 | 51,5 | 52,5 | 53,5 | 54,5 | 55,5 |
| 90  | 56,5                     | 57,6 | 58,7 | 59,8 | 60,9 | 62,0 | 63,2 | 64,4 | 65,6 | 66,8 |

Рисунок А.6 – Таблица степени разложения торфа

| Степень разложения торфа, Р% | Оценка торфа                |
|------------------------------|-----------------------------|
| < 15                         | Неразложившийся             |
| 15-20                        | Весьма слаборазложившийся   |
| 20-25                        | Слаборазложившийся          |
| 25-35                        | Среднеразложившийся         |
| 35-45                        | Хорошо разложившийся        |
| 45-55                        | Сильно разложившийся        |
| > 55                         | Весьма сильно разложившийся |

Рисунок А.7 – Классификация торфа по степени разложения



Рисунок А.8 – Измерение температуры торфа поверхностного горизонта почвенным термометром ТП-1

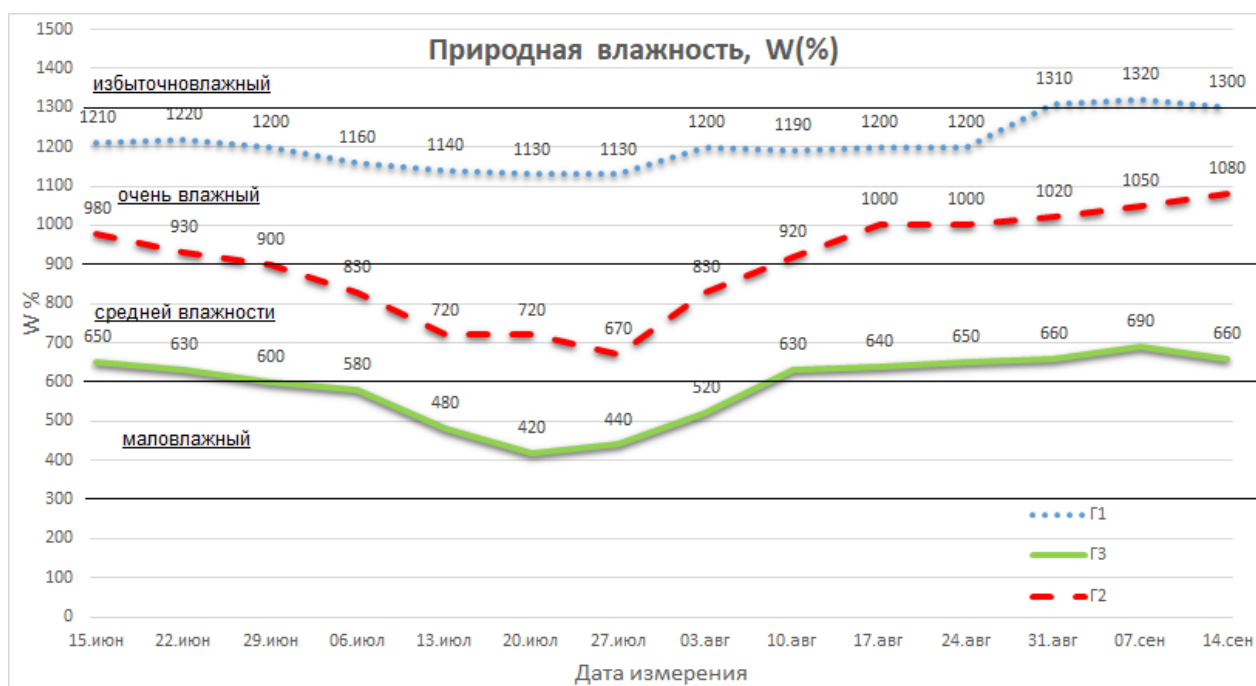


Рисунок А.9 – Сезонные изменения температуры почв на исследуемых участках объекта.

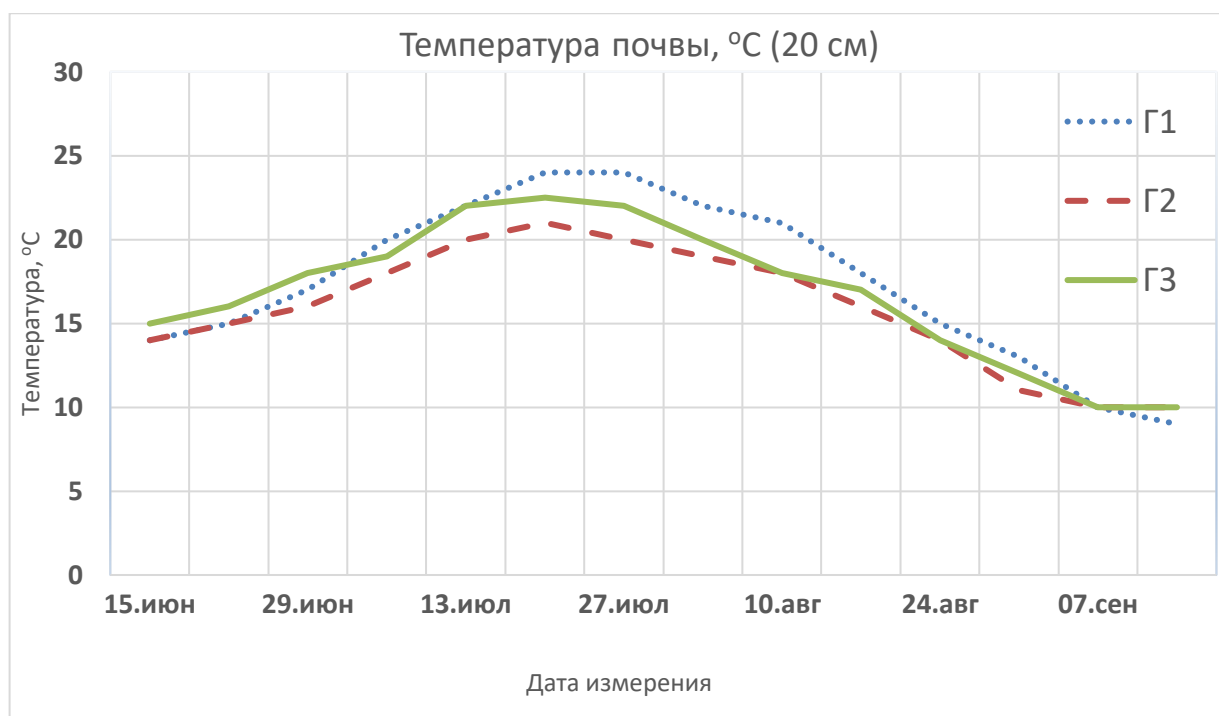


Рисунок А.10 – Сезонные изменения температуры почв на исследуемых

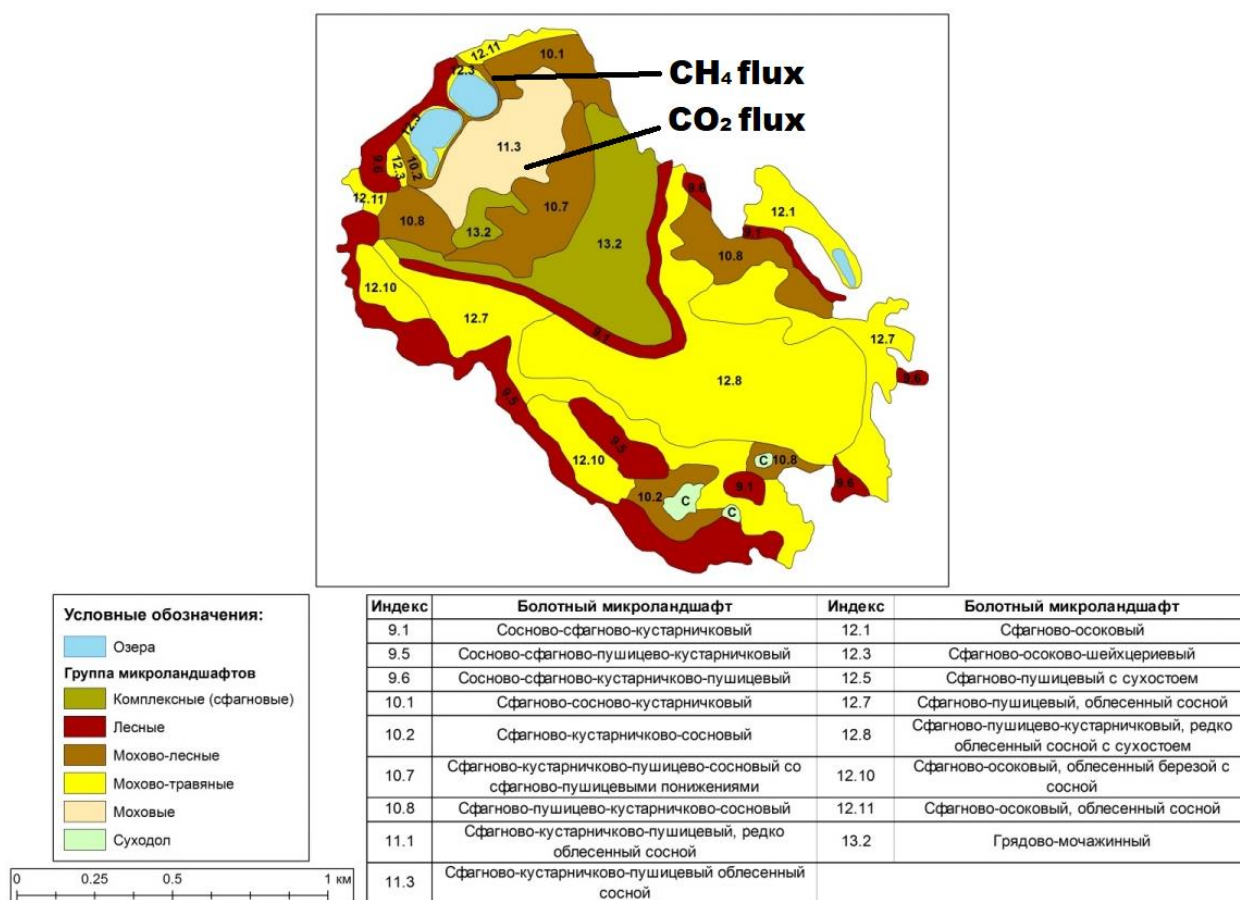


Рисунок А.11 - Типологическая карта болота Ламмин-Суо

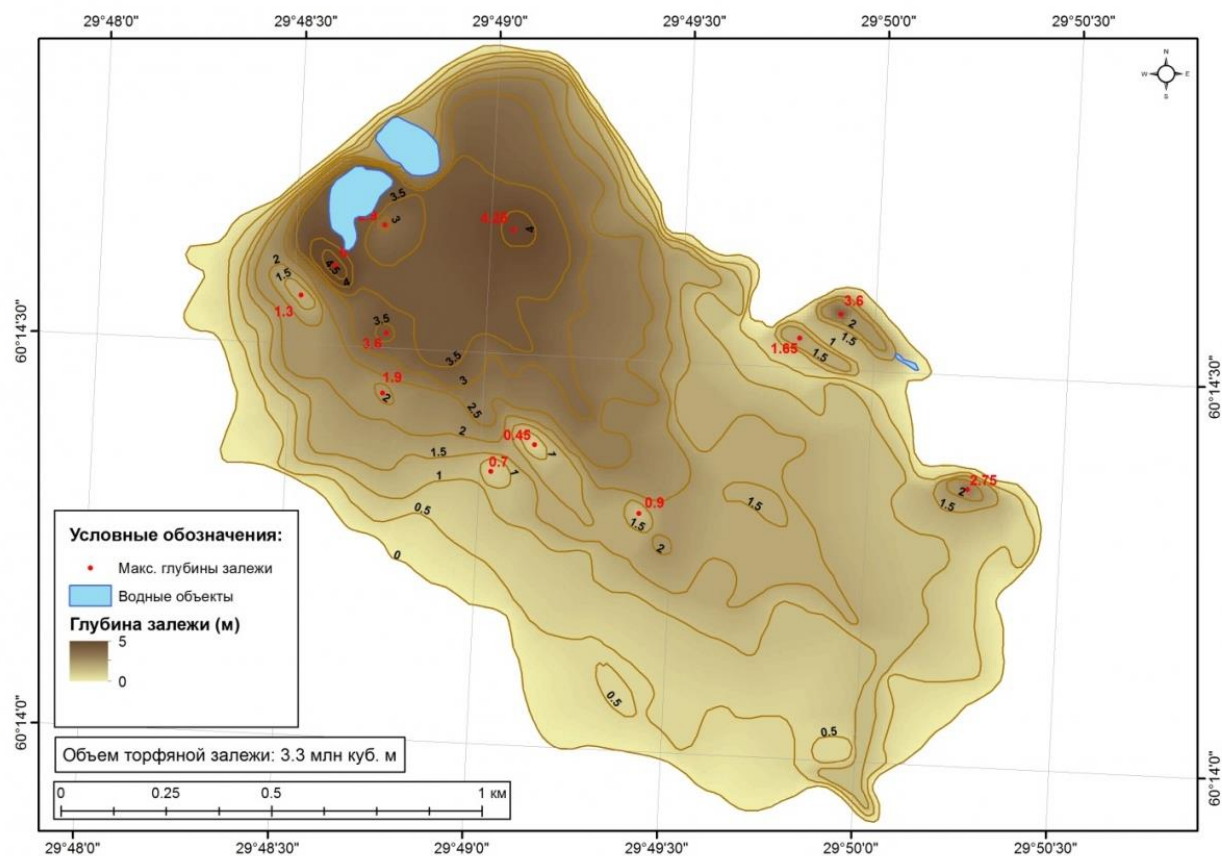


Рисунок А.12 - Карта глубин торфяной залежи болотного массива Ламмин-  
суо

| Точка | Микроландшафт                                              | Глубина отбора, см | pHвод | Степень разложения, Р % | Плотность сложения, г/см3 | Зольность, % |
|-------|------------------------------------------------------------|--------------------|-------|-------------------------|---------------------------|--------------|
| Г1    | сфагново-пушицево-тростниковый мезоолиготрофный (сплавина) | 20-50              | 3,1   | 24                      | 0,08-0,1                  | 4,0          |
|       |                                                            | 50-75              | 3,2   | 35                      | 0,09-0,1                  | 6,7          |
|       |                                                            | 75-100             | 3,2   | 23                      | 0,08-0,1                  | 3,9          |
|       |                                                            | 100-125            | 3,5   | 25                      | 0,1-0,12                  | 5,6          |
| Г2    | сфагново-кустарничковый грядово-мочажинный олиготрофный    | 10-25              | 3,4   | 35                      | 0,12-0,14                 | 5,8          |
|       |                                                            | 25-50              | 3,5   | 44                      | 0,1-0,12                  | 3,1          |
|       |                                                            | 50-75              | 3,6   | 45                      | 0,08-0,09                 | 6,8          |
|       |                                                            | 75-100             | 4,1   | 22                      | 0,09-0,12                 | 13,3         |
|       |                                                            | 100-125            | 4,3   | 30                      | 0,12-0,14                 | 13,8         |
| Г3    | сфагново-кустарничково-травянистый олиготрофный            | 5-25               | 3,5   | 65                      | 0,12-0,14                 | 3,2          |
|       |                                                            | 25-50              | 3,5   | 55                      | 0,2-0,24                  | 3,1          |
|       |                                                            | 50-75              | 3,7   | 42                      | 0,21-0,23                 | 2,5          |
|       |                                                            | 75-100             | 3,8   | 36                      | 0,12-0,15                 | 5,8          |

Таблица Б.1 – Таблица основных физических и физико-химических параметров почвы исследуемых точек водосборной площади о. Германовского

| Дата       | Средняя температура, С | Осадки, мм | Дата       | Средняя температура, С | Осадки, мм |
|------------|------------------------|------------|------------|------------------------|------------|
| 15.06.2021 | 9,7                    | 0          | 01.08.2021 | 15.6                   | 5          |
| 16.06.2021 | 10.5                   | 0          | 02.08.2021 | 15.8                   | 34         |
| 17.06.2021 | 12.4                   | 0          | 03.08.2021 | 12.7                   | 1          |
| 18.06.2021 | 13.8                   | 0          | 04.08.2021 | 12.7                   | 1          |
| 19.06.2021 | 15.0                   | 0          | 05.08.2021 | 13.9                   | 0          |
| 20.06.2021 | 18.8                   | 0          | 06.08.2021 | 18.3                   | 0          |
| 21.06.2021 | 20.0                   | 0          | 07.08.2021 | 17.2                   | 8          |
| 22.06.2021 | 20.7                   | 0          | 08.08.2021 | 15.8                   | 25         |
| 23.06.2021 | 21.6                   | 0          | 09.08.2021 | 15.3                   | 0          |
| 24.06.2021 | 17.9                   | 0          | 10.08.2021 | 15.9                   | 0          |
| 25.06.2021 | 20.1                   | 0          | 11.08.2021 | 16.7                   | 0          |
| 26.06.2021 | 20.1                   | 2          | 12.08.2021 | 19.0                   | 0          |
| 27.06.2021 | 20.6                   | 0          | 13.08.2021 | 17.7                   | 2          |
| 28.06.2021 | 21.4                   | 0          | 14.08.2021 | 15.4                   | 5          |
| 29.06.2021 | 19.4                   | 0          | 15.08.2021 | 13.9                   | 7          |
| 30.06.2021 | 21.1                   | 0          | 16.08.2021 | 15.2                   | 1          |
| 01.07.2021 | 18.9                   | 0          | 17.08.2021 | 18.8                   | 0          |
| 02.07.2021 | 20.1                   | 0          | 18.08.2021 | 16.3                   | 0          |
| 03.07.2021 | 21.8                   | 0          | 19.08.2021 | 14.9                   | 2          |
| 04.07.2021 | 22.7                   | 0          | 20.08.2021 | 14.7                   | 2          |
| 05.07.2021 | 22.2                   | 0          | 21.08.2021 | 13.7                   | 2          |
| 06.07.2021 | 22.7                   | 0          | 22.08.2021 | 13.4                   | 0          |
| 07.07.2021 | 22.8                   | 0          | 23.08.2021 | 13.2                   | 1          |
| 08.07.2021 | 23.9                   | 0          | 24.08.2021 | 10.8                   | 11         |
| 09.07.2021 | 24.2                   | 0          | 25.08.2021 | 11.7                   | 0          |
| 10.07.2021 | 24.5                   | 0          | 26.08.2021 | 13.7                   | 1          |
| 11.07.2021 | 26.1                   | 0          | 27.08.2021 | 14.8                   | 0          |
| 12.07.2021 | 24.9                   | 0          | 28.08.2021 | 15.6                   | 0          |
| 13.07.2021 | 24.9                   | 0          | 29.08.2021 | 15.5                   | 0          |
| 16.07.2021 | 25.4                   | 0          | 30.08.2021 | 14.8                   | 0          |
| 17.07.2021 | 23.3                   | 0          | 31.08.2021 | 13.2                   | 0          |
| 18.07.2021 | 22.5                   | 0          | 01.09.2021 | 13.1                   | 0          |
| 19.07.2021 | 20.4                   | 0          | 02.09.2021 | 12.9                   | 2          |
| 20.07.2021 | 17.4                   | 3          | 03.09.2021 | 12.1                   | 5          |
| 21.07.2021 | 16.9                   | 3          | 04.09.2021 | 12.6                   | 4          |
| 22.07.2021 | 15.4                   | 1          | 05.09.2021 | 11.8                   | 0          |
| 23.07.2021 | 16.0                   | 1          | 06.09.2021 | 12.4                   | 3          |
| 24.07.2021 | 15.9                   | 0          | 07.09.2021 | 12.5                   | 5          |
| 25.07.2021 | 17.8                   | 0          | 08.09.2021 | 11.6                   | 4          |
| 26.07.2021 | 19.6                   | 0          | 09.09.2021 | 11.3                   | 1          |
| 27.07.2021 | 21.0                   | 0          | 10.09.2021 | 10.8                   | 0          |
| 28.07.2021 | 19.8                   | 0          | 11.09.2021 | 10.0                   | 8          |
| 29.07.2021 | 18.9                   | 3          | 12.09.2021 | 9.3                    | 0          |
| 30.07.2021 | 18.0                   | 0          | 13.09.2021 | 9.4                    | 7          |
| 31.07.2021 | 15.8                   | 11         | 14.09.2021 | 8.7                    | 2          |

Таблица Б.2 – Климатические параметры о. Валаам с 15 июня по 14 сентября (осадки и температура воздуха)