

**ВАЖНЕЙШИЙ ИННОВАЦИОННЫЙ ПРОЕКТ
«ЕДИНАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА
КЛИМАТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ» (ВИП ГЗ)**

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

по отбору и камеральной обработке растительных образцов для оценки динамики запасов углерода в лесных, степных и тундровых экосистемах в части разработки системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах

Версия 2023-1

Москва, 2023

Разработчики:

Руководитель Консорциума – Лукина Наталья Васильевна (ЦЭПЛ РАН);

Координатор Экспертной группы по пулам углерода в почве – Данилова Мария Анатольевна (ЦЭПЛ РАН);

Координатор Экспертной группы по пулам углерода в травяно-кустарничковом покрове: Иванова Екатерина Александровна (ИППЭС КНЦ РАН, ЦЭПЛ РАН);

Эксперты организаций-участников:

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН – Кузнецов Михаил Андреевич;

Институт леса им. В.Н.Сукачева СО РАН – Сергеева Оксана Валерьевна, Мухортова Людмила Владимировна;

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН – Чернова Наталья Александровна, Головацкая Евгения Александровна;

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН – Коронатова Наталья Геннадьевна, Соловьев Сергей Викторович, Вишнякова Евгения Константиновна;

ИППЭС КНЦ РАН – Сухарева Татьяна Алексеевна;

Институт леса КарНЦ РАН – Ахметова Гульнара Вялитовна;

СПбГЛТУ им. С.М.Кирова – Капица Екатерина Александровна;

ТувИКОПР СО РАН – Самбуу Анна Доржуевна;

Факультет почвоведения МГУ – Телеснина Валерия Михайловна;

ФНЦ Агрэкологии РАН – Поташкина Юстина Николаевна;

ЦЭПЛ РАН – Иванова Валентина Николаевна;

ПАБСИ КНЦ РАН – Шмакова Наталья Юрьевна;

ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН – Куприн Александр Витальевич.

Содержание

1. Введение	4
2. Термины и определения	5
3. Исследование фотосинтезирующих органов древесных растений и растений напочвенного покрова	8
3.1. Фотосинтезирующие органы древесных растений	8
3.1.1. Оборудование для полевых и камеральных работ	8
3.1.2. Сроки отбора	9
3.1.3. Отбор проб	9
3.1.4. Камеральная обработка веток древесных растений	10
3.1.5. Определяемые параметры	12
3.2. Фитомасса растений напочвенного покрова	14
3.2.1. Оборудование для полевых и камеральных работ	15
3.2.2. Сроки отбора	15
3.2.3. Отбор проб	16
3.2.4. Камеральная обработка проб надземной и подземной фитомассы	17
3.2.5. Определяемые параметры	20
4. Литература	23
Приложение 1	25
Приложение 2	26
Приложение 3	27

1. Введение

Основным поставщиком органического вещества почвы является биота, в частности, надземные и подземные части растений. По химическому составу ассимилирующих органов деревьев часто можно судить о процессах на уровне экосистем, выявлять временные и пространственные тенденции. Для таежных лесов обнаружено влияние состава растительности напочвенного покрова на запасы углерода в почвах (Lukina et al, 2020). От состава растительности зависит количество и качество поступающего растительного опада, играющего ведущую роль в трансформации органического вещества и его переходе в почвенные пулы при активном участии почвенной биоты, а также процессы миграции соединений углерода в пределах почвенного профиля (Gleixner, 2013; Krishna and Mohan, 2017; Lukina et al, 2020; 2021; Кузнецова и др., 2022).

В настоящее время в России отсутствует единая национальная система мониторинга пулов в экосистемах суши. Среди наземных экосистем доминируют леса, и получаемая в рамках государственной инвентаризации лесов (ГИЛ) информация может быть использована для оценки вклада древостоев в цикл углерода. Однако порядок и методика ГИЛ не предусматривают оценку вклада в цикл углерода живого напочвенного покрова, который особенно велик в бореальных лесах, преобладающих в России, что вносит неопределенность в оценки поглощения лесами России парниковых газов. Для оценки процессов миграции углерода от растительности к почве необходима оценка пулов углерода в фотосинтезирующих органах древесных растений, надземной и подземной фитомассе растений напочвенного покрова.

Данные методические рекомендации разработаны с целью:

- оценки динамики углерода в живом напочвенном покрове и фотосинтезирующих органах древесных растений основных наземных экосистем (лесных, степных, тундровых) на тестовых полигонах;
- обновления конверсионных коэффициентов в существующих Методических указаниях по количественному определению объема поглощения парниковых газов для живого напочвенного покрова в разных природно-климатических условиях.

2. Термины и определения

Лес – целостная совокупность лесных древесных и иных растений, земли, животных, микроорганизмов и других природных компонентов, находящихся во взаимосвязи с внутренней и с внешней средой (Стандарт отрасли ОСТ 56-108-98 «Лесоводство. Термины и определения» (утвержденный Приказом Рослесхоза от 3.12.1998 г. № 203)).

Группа типов леса – основная типологическая единица, которая представляет собой подразделение сообществ в зависимости от вида-доминанта древесного полога, то есть каждая группа типов характеризуется господствующим видом верхнего яруса древостоя в сочетании с определенным соотношением эколого-ценотических групп видов в составе травяного (травяно-кустарничкового) и мохового (мохово-лишайникового) ярусов.

Примеры названий групп типов леса:

- Сосняки кустарничково-зеленомошные
- Сосняки лишайниковые
- Ельники кустарничково-зеленомошные
- Ельники мелкотравно-бореальные
- Березняки мелкотравно-бореальные
- Широколиственные (с участием ели) неморальные леса

Типы леса – единицы лесных сообществ, которые включены в группу типов леса; по своему объему в наибольшей степени соответствуют ассоциации с позиций доминантного подхода и представляют низшую единицу. Название типов леса даются как сочетание названий видов-доминантов разных ярусов.

Примеры названий типов леса:

- сосняк бруснично-лишайниковый
- сосняк чернично-брусничный
- ельник кислично-майниково-зеленомошный
- ельник чернично-разнотравный
- липо-дубняк с елью снытево-пролесниковый
- березняк (с липой) зеленчуково-волосистоосоковый

Подробная информация доступна на сайте ЦЭПЛ РАН в разделе Определитель типов леса Европейской России – <http://www.cepl.rssi.ru/bio/forest/index.htm>

Степь – равнина, поросшая травянистой растительностью, в умеренных и субтропических зонах северного и южного полушария. Характерной особенностью степей является практически полное отсутствие деревьев (физическая география).

Тундра – пространства субарктических широт Северного полушария с преобладанием мохово-лишайниковой растительности, а также низкорослых многолетних трав, кустарничков и низкорослых кустарников.

Тестовый полигон – репрезентативный для данного региона участок размером не менее 2000 на 2000 м. Тестовый полигон закладывается для:

- 1) повышения точности оценок запасов углерода в наземных экосистемах;
- 2) дальнейшей оценки многолетней динамики углерода и азота в почвах и растениях;
- 3) разработки методов интеграции наземных данных и ДЗЗ разного пространственного разрешения;
- 4) оценки конверсионных коэффициентов.

Сегмент полигона – относительно однородный участок внутри полигона, выделенный с использованием методов ДЗЗ.

Пробная площадь (площадка постоянного наблюдения ППН) – участок 50х50 м, заложенный в пределах тестового полигона в доминирующем типе биогеоценоза; закладывается после этапа экспресс-оценки.

Элементы мозаики = Элементарный биогеоареал (ЭБГА) - структурно-функциональная единица биогеоценотического покрова, являющаяся элементарным провайдером экосистемных функций, таких как формирование плодородия почв, регулирование биогеохимических циклов. Площадь, форма и название ЭБГА определяются по доминирующим растениям, т.е. по растительному компоненту, который соответствует понятию ценобиотической микрогруппировки Л.Г. Раменского (Орлова, 2013). Например, в лесных биогеоценозах в зависимости от строения древесного полога можно выделить такие элементы мозаики как межкрупные пространства (или проекции смыкания крон), подкрупные пространства (проекция середины кроны). По составу напочвенного покрова можно выделить лишайниковый элемент мозаики, кустарничково-зеленомошный и др.

Фотосинтезирующие органы растений – зеленые листья кустарничков, кустарничков и деревьев, травы, зеленые части мхов.

Нефотосинтезирующие органы растений – корни, стебли кустарничков, кустарничков и деревьев.

Фитомасса – общее количество живого органического вещества растений, накопленное к данному моменту времени в наземной и подземной сфере.

Мортмасса – количество органического вещества в отмерших органах растений, а также накопившееся в лесной подстилке, торфяной залежи и т. д.

Ветошь – пожелтевшие листья и побеги, стоящие на корню.

Опад – относящиеся к мортмассе отмершие части растений (листья, ветки, плоды, цветки, фрагменты коры и пр.), упавшие на поверхность почвы или на дно водоема.

3. Исследование фотосинтезирующих органов древесных растений и растений напочвенного покрова

Отбор образцов живого напочвенного покрова и фотосинтезирующих органов древесных растений проводят на тех же пробных площадках, на которых выполняются таксационные, геоботанические, почвенные, микробиологические и почвенно-зоологические исследования.

3.1. Фотосинтезирующие органы древесных растений

3.1.1. Оборудование для полевых и камеральных работ

Полевое оборудование:

1. GPS
2. Секатор (сучкорез) штанговый
3. Высотомер для определения высоты пробного дерева
4. Мерная вилка для определения диаметра пробного дерева
5. Перчатки медицинские (без талька) для отбора образцов
6. Пакеты для образцов (полиэтиленовые бытовые)
7. Маркеры спиртовые перманентные для CD/DVD (для подписывания этикеток/пакетов)
8. Полевой дневник, ведомости для фиксации измерений (таблица Приложение 2)
9. Этикетки

Оборудование для камеральных работ:

1. Перчатки медицинские (без талька) для разбора образцов
2. Секатор ручной (для разбора веток хвойных деревьев)
3. Крафт-бумага для разбора, хранения и сушки образцов
4. Алюминиевые стаканчики (бюксы) для измерения гигроскопической влаги (рис. 1)
5. Ведомости для фиксации измерений (таблица Приложение 2)



Рисунок 1 – Алюминиевый стаканчик (бюкс) для измерения гигроскопической влаги в образцах.

3.1.2. Сроки отбора

Отбор фотосинтезирующих органов древесных растений на пробных площадях проводится раз в 10 лет в конце вегетационного периода до начала пожелтения фотосинтезирующих органов деревьев (сроки согласовываются с геоботаническими оценками, принятыми для региона исследования) вместе с отбором почв (Методика, 2008; Rautio et al., 2020).

3.1.3. Отбор проб

На каждой пробной площади по результатам таксационных исследований выбирают среднее дерево:

- 1 дерево в монодоминантных одновозрастных лесных биогеоценозах,
- по 1 дереву двух возрастных классов одного доминирующего вида в монодоминантных разновозрастных лесных биогеоценозах,
- по 1 дереву двух доминирующих видов верхнего полога в полидоминантных лесах.

Для каждого пробного дерева измеряется его диаметр и высота для расчета годичного прироста фотосинтезирующих органов.

С помощью секатора отбирается по 1 ветви с каждого пробного дерева **из средней трети кроны с южной стороны**, избегая затененных ветвей. В случае проведения организацией многолетних исследований с отбором хвои/листьев из верхней трети кроны, отбор выполняют из разных частей кроны – по 1 ветви из средней и из верхней трети кроны. Это позволит не нарушать многолетние ряды и проводить сравнение результатов по содержанию углерода и азота в разных частях деревьев для окончательной рекомендации в методику.

Допустим любой удобный способ отбора проб (спиливание веток, использование секатора и т.д.), при условии, что это не приводит к загрязнению пробы (в т.ч. через контакт с руками или почвой), серьезному повреждению деревьев или риску для отбирающих пробы людей. Если для достижения верхней трети кроны необходимо подняться на дерево, можно использовать постоянный блок и веревку или кошки, при этом необходимо избегать повреждения ствола (Методика, 2008; Rautio et al., 2020).

В **тундровых сообществах**, где распространены кустарники, но отсутствует древесная растительность, пробы отбираются как в лесных биогеоценозах – по 1 ветви с верхней трети растения у двух видов доминирующих кустарников на ППН.

Отобранные ветви по отдельности поместить в полиэтиленовые пакеты с этикетками (рис. 2) для транспортировки в лабораторию. На этикетке отметить номер пробной

площади, вид и номер дерева, дату отбора. Если транспортировка в лабораторию занимает длительное время или происходит в теплую погоду, образцы должны храниться в темном и прохладном месте во время транспортировки и во время хранения в лаборатории до предварительной обработки. Допустимо также проводить предварительную обработку проб в полевых условиях: отделить листья от веток (для широколиственных видов) или побеги по возрастам (для хвойных) (см. раздел 3.1.4.) поместить в бумажные пакеты из крафт-бумаги, высушить в проветриваемом помещении в открытых пакетах и хранить в прохладном месте до отправки в лабораторию (Rautio et al., 2020).



Рисунок 2 – Пример этикетки для отобранной ветки пробного дерева.

3.1.4. Камеральная обработка веток древесных растений

Разбор образцов проводится в неопудренных виниловых/нитриловых перчатках, пока фотосинтезирующие органы растений находятся во влажном состоянии.

У листопадных видов с каждого дерева по отдельности отделить от веток и поместить в прочные бумажные пакеты из крафт-бумаги.

У хвойных видов отделить от веток побеги (рис. 3):

- зафиксировать количество возрастных классов хвой для каждой отобранной ветки, для основной оси и для побочных ветвей, чтобы избежать потери материала хвой последних лет жизни;
- отделить побеги текущего года, двух последних лет жизни суммарно и всех остальных лет жизни суммарно;
- поместить побеги в соответствующие пакеты из крафт-бумаги. На наружной стороне пакета отметить тип биogeоценоза/наименование изучаемого объекта/сектор полигона, номер площади, вид/возраст дерева, возраст побегов, дату отбора.



Рисунок 3 – Разбор ветки хвойного дерева на примере ели обыкновенной *Picea obovata*. У отобранной ветви фиксируется максимальный возраст хвои на основной оси и на побочных ответвлениях (1), отделяются побеги текущего года, последних лет жизни хвои (2), побеги разделяются по исследуемым возрастным классам: текущий год, промежуточные годы, последние 2 года (3).

Побеги высушить на воздухе в открытых пакетах; до взвешивания (для хвойных), этапа пробоподготовки и отправки на анализы хранить в прохладном месте (Методика, 2008; Rautio et al., 2020; Руководство, 2013).

3.1.5. Определяемые параметры

1. Коэффициент гигроскопии для пересчета на абсолютно сухое вещество.
2. Годичный прирост.

Годичная продукция фотосинтезирующих органов древесных растений рассчитывается для каждого пробного дерева с использованием аллометрического уравнения и коэффициентов для древесных пород Евразии (табл. 1) (Усольцев и др., 2016) по формуле:

$$\ln P_f = a_0 + a_1 * \ln H + a_2 * \ln DBH,$$

где P_f – фитомасса листвы/хвои в абсолютно сухом состоянии, кг;

H – высота дерева, м;

DBH – диаметр ствола на высоте груди, см.

a_0, a_1, a_2 – константы уравнения для соответствующих пород деревьев.

Для листопадных видов деревьев годичный прирост рассчитывается напрямую по уравнению, так как вся фитомасса листьев является приростом. Продукция в кг абсолютно сухой массы вычисляется путем деления вычисленной массы на коэффициент гигроскопии фотосинтезирующих органов пробных деревьев.

Для вечнозеленых видов:

- Для каждого пробного дерева отделить от мутовок хвою текущего года, двух последних лет жизни суммарно, всех остальных промежуточных возрастных классов суммарно и взвесить с точностью до 0.001 грамма. В ведомость вносить массу в кг;
- Рассчитать абсолютно сухую массу хвои текущего года, двух последних лет жизни суммарно и всех остальных промежуточных возрастных классов суммарно путем деления воздушно сухой массы на соответствующие коэффициенты гигроскопии;
- Вычислить долю хвои текущего года для каждого пробного дерева – измеренную абсолютно сухую массу хвои текущего года с ветки разделить на суммарную массу всей хвои с ветки (текущего года, двух последних лет жизни и промежуточных возрастных классов).
- Рассчитать всю фитомассу хвои дерева с использованием уравнения;

- Общую фитомассу хвои, вычисленную по уравнению, умножить на долю хвои текущего года.

Сочетание прямых измерений и использование уравнения позволит произвести точный расчет и учесть региональные особенности годичного прироста хвои древесных растений.

Таблица 1. Константы аллометрического уравнения для расчета фитомассы фотосинтезирующих органов древесных растений (по Усольцеву и др., 2016)

Порода	Константы уравнения		
	a_0	a_1	a_2
Сосна	-4.1273	-0.7283	2.6522
Ель	-2.6957	0.9877	0.8100
Пихта	-2.6957	0.9877	0.8100
Лиственница	-3.4786	-0.4339	1.9208
Кедр	-3.1356	-0.9572	2.6364
Криптомерия	-2.0782	-1.0398	2.5276
Кипарисовик	-1.6284	-0.7460	1.9883
Дугласия	-8.1481	1.8516	1.2036
Береза	-3.7883	-0.3629	2.0858
Осина и тополи	-3.2324	-1.6842	3.1602
Липа	-4.1730	-0.3150	1.9702
Ольха	-5.1805	-0.7736	2.8447
Дуб	-2.1543	-2.0512	3.1237
Бук	-0.3418	-2.5603	3.0884
Ясень	-3.7172	-0.2742	1.9697
Робиния псевдоакация	-3.0734	-1.1741	2.6220
Ива	-2.7032	-1.0801	2.2967
Клен	-3.8551	-0.6443	2.3695
Ильм	-5.5365	2.3035	0.0889
Чозения	-2.5934	-1.7183	2.9793
Боярышник	-2.0072	-1.7531	2.5305
Черемуха	-4.0550	1.0991	0.8809
Орех маньчжурский	-2.4775	0.0720	1.3514
Маакия амурская	-0.4107	-1.1676	1.7003
Бархат амурский	-0.0339	-0.1695	0.6018

3. Общее содержание С (в %) и общее содержание N (в мг/кг сухого веса) в фотосинтезирующих органах древесных растений.

Для проведения анализов отбираются образцы хвои/листьев:

Листопадные деревья:

- после высушивания на воздухе отбирают образец листьев с пробных деревьев одного вида/возрастного класса с каждой из 5 пробных площадок изучаемого типа биогеоценоза;
- рассыпать листья на бумагу и отобрать навеску на анализы 5 грамм в шахматном порядке или хаотично по площади бумаги.

Хвойные деревья:

- после сушки и взвешивания для определения годичного прироста отобрать образцы хвои с пробных деревьев одного вида/возраста с каждой из 5 пробных площадок изучаемого типа биогеоценоза по исследуемым возрастным классам хвои;
- отобрать пробы хвои текущего года, двух последних лет жизни и всех остальных возрастных классов: как в случае с листьями рассыпать хвою на бумагу и отобрать 3 соответствующие навески на анализы по 5 грамм в шахматном порядке или хаотично по площади бумаги. Обязательно зафиксировать возраст хвои последних двух возрастных классов.

Высушенные образцы измельчить в мельнице до мелкодисперсного, гомогенного порошка. Определение содержания общего углерода и общего азота в растениях осуществляют методом газовой хроматографии на элементном анализаторе на основании методик измерений, применяемых в повседневной рабочей практике испытательных лабораторий. Эти методики измерений могут быть приведены в руководстве по эксплуатации оборудования или в отдельном документе, устанавливающем методику измерений массовой доли общего азота и общего углерода в пробах почв и растений методом газовой хроматографии на элементном анализаторе определенного типа. Данные о содержании углерода и азота в хвое различного возраста позволит оценить динамику запаса углерода в фотосинтезирующих органах хвойных деревьев.

4. Соотношение C/N вычисляется по формуле в таблице путем умножения содержания C в % на 10000 и деления на содержание N в мг/кг.

5. Запасы C в фитомассе древесных растений в тС/га рассчитывается как для листопадных деревьев, так и для хвойных, путем умножения содержания C в % на общую фитомассу, рассчитанную по уравнению годичного прироста, и деления полученного значения на 10000.

Все измеренные параметры, расчетные величины и результаты анализов отражают в утвержденной форме таблицы (Приложение 2).

3.2. Фитомасса растений напочвенного покрова

3.2.1. Оборудование для полевых и камеральных работ

Полевое оборудование:

1. GPS
2. Перчатки медицинские (без талька) для отбора образцов
3. Рамка для отбора надземной и подземной фитомассы с определенным для типа биогеоценоза размером внутреннего сечения (рис. 4)
4. Ножницы для отбора надземной фитомассы
5. Совок/лопата для отбора почвенного монолита
6. Рулетка/сантиметр для фиксации глубины отбора монолитов
7. Пакеты для образцов (полиэтиленовые бытовые)
8. Маркеры спиртовые перманентные для CD/DVD (для подписывания этикеток/пакетов)
9. Полевой дневник, ведомости для фиксации измерений (таблица Приложение 3)
10. Этикетки

Оборудование для камеральных работ:

1. Перчатки медицинские (без талька) для разбора образцов
2. Крафт-бумага для разбора, хранения и сушки образцов
3. Алюминиевые стаканчики (бюксы) для измерения гигроскопической влаги
4. Ведомости для фиксации измерений (таблица Приложение 3)



Рисунок 4 – Рамка для отбора надземной и подземной фитомассы (25x25 см).

3.2.2. Сроки отбора

Измерения надземной и подземной фитомассы напочвенного покрова проводятся в период максимального сезонного развития растений в конце вегетационного периода до начала изменения окраски растений (пожелтения/побурения трав, листьев). Сроки

окончания вегетационного периода согласовываются с геоботаническими оценками, принятыми для региона исследования.

В биогеоценозах, в которых доминируют эфемероиды, необходимо делать два отбора – в период максимального развития эфемероидов и затем в период максимального развития остальных видов растений (Базилевич и др., 1978; Reinsch et al., 2020).

3.2.3. Отбор проб

В **лесных** экосистемах для определения запасов надземной фитомассы в каждом из 3-4 элементов мозаики пробной площади однократно срезается ножницами весь растительный покров вровень с поверхностью почвы с использованием рамки размером 25x25 см (3-4 укуса на ППН). Также можно срезать растения живого напочвенного покрова с монолитов, отобранных для определения запасов подстилки (Базилевич и др., 1978; Reinsch et al., 2020; ICOS, 2020). В лесных экосистемах с преобладанием в напочвенном покрове крупных растений для определения запаса фитомассы используется рамка 50x50 см.

Для определения запасов подземной биомассы в местах укусов отбираются монолиты почвы размером 25x25 см на основную глубину укоренения растений (не менее 30 см) (3-4 монолита на пробную площадь) (Schmidt et al., 2020; Родин и др., 1967). При отборе измеряется глубина для расчета корневой биомассы на единицу площади и объема почвы.

В **степных, луговых и пустынных** биомах отбор надземной фитомассы производится с помощью шаблона размером 50x50 см. Для учета подземной фитомассы производится отбор монолитов размерами 10x10 см, с увеличением их количества до 12-15 шт. на пробную площадь (Титлянова и др., 1996; Титлянова, Шибарева, 2020) на глубину до 30 см.

В **тундрах** укусы для учета надземной фитомассы отбираются как в лесах, с помощью шаблона 25x25 см. При отборе сначала срезают все растения над моховым покровом. Затем срезают слой живых частей мхов и из него выбирают кустарнички и другие растения. На голых пятнах собирают слоевища водорослей и берут поверхностные образцы почвенных корок (Базилевич и др., 1978). Размеры монолита для оценки подземной фитомассы в **тундровых** экосистемах – 25x25 см, глубина отбора – до 20 см (Schmidt et al., 2020; Базилевич и др., 1978).

Рекомендации по отбору образцов в **болотных экосистемах** представлены в Методических рекомендациях к полевым исследованиям в болотных экосистемах (Методические, 2023).

В случае если есть основания считать, что количества материала, срезанного с монолитов, недостаточно для химических анализов, дополнительно на каждой площадке отбирают живой растительный материал доминантов напочвенного покрова (максимум 5 доминирующих видов растений).

Отобранные укосы, монолиты и дополнительные пробы растений упаковывают для транспортировки в лабораторию в пакеты с этикеткой, маркируют типом биогеоценоза/наименованием изучаемого объекта/сектором полигона, номером площадки, элементом мозаики, содержимым пробы (укос, монолит, вид растения), глубиной отбора монолита (для монолитов), даты отбора (рис. 5-6). В лаборатории образцы хранят в темном и прохладном месте до предварительной обработки (Schmidt et al., 2020; Reinsch et al., 2020).

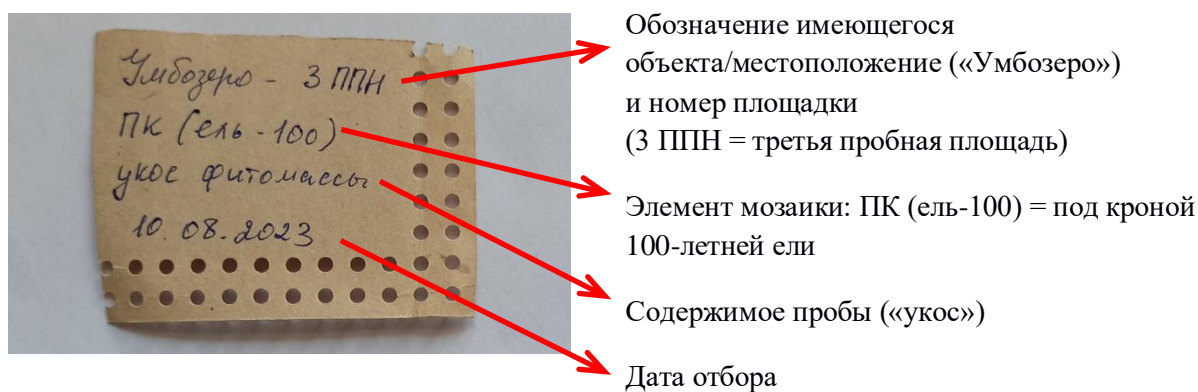


Рисунок 5 – Пример заполнения этикетки для образцов укосов или монолитов.

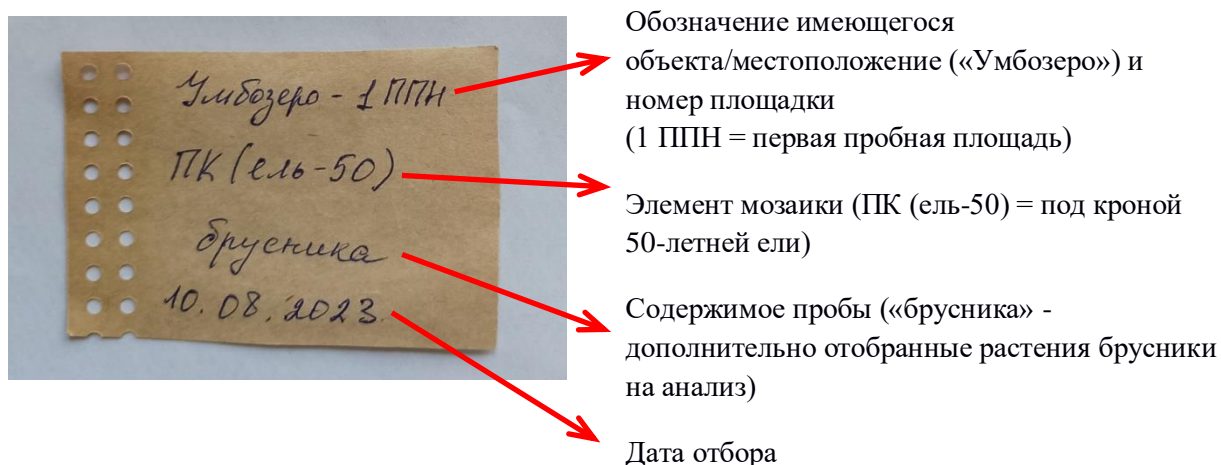


Рисунок 6 – Пример заполнения этикетки для образцов дополнительно отобранных растений.

3.2.4. Камеральная обработка проб надземной и подземной фитомассы

Надземные части растений напочвенного покрова сортируют в перчатках, пока он еще влажный, на виды растений и фракции (табл. 2):

- вечнозеленые кустарнички – сперва на побеги текущего года и многолетние (рис. 7), плоды и семена. После высушивания на воздухе побеги текущего года и многолетние разделяются на листья и стебли;
- листопадные кустарнички – на листья, стебли текущего года, многолетние стебли (рис. 8);
- травянистые растения – на вегетативную и генеративную части;
- мхи – на побеги текущего года и многолетние, ориентируясь на окраску побега (рис. 9).
- ветошь, сухие растения и их части, изменившие окраску (пожелтевшие и бурые) относят к опад.

Таблица 2 – Схема разбора проб укосов, отобранных на пробных площадях

Тип растительности	Фракции	
Мхи	Побеги текущего года	
	Побеги многолетние	
Лишайники	Живые части слоевища	
Листопадные кустарнички	Листья	
	Стебли	Текущего года
		Многолетние
	Плоды	
Вечнозеленые кустарнички	Побеги текущего года	Листья
		Стебли
	Побеги многолетние	Листья
		Стебли
	Плоды	
Травы	Живые побеги	
	Плоды/семена	

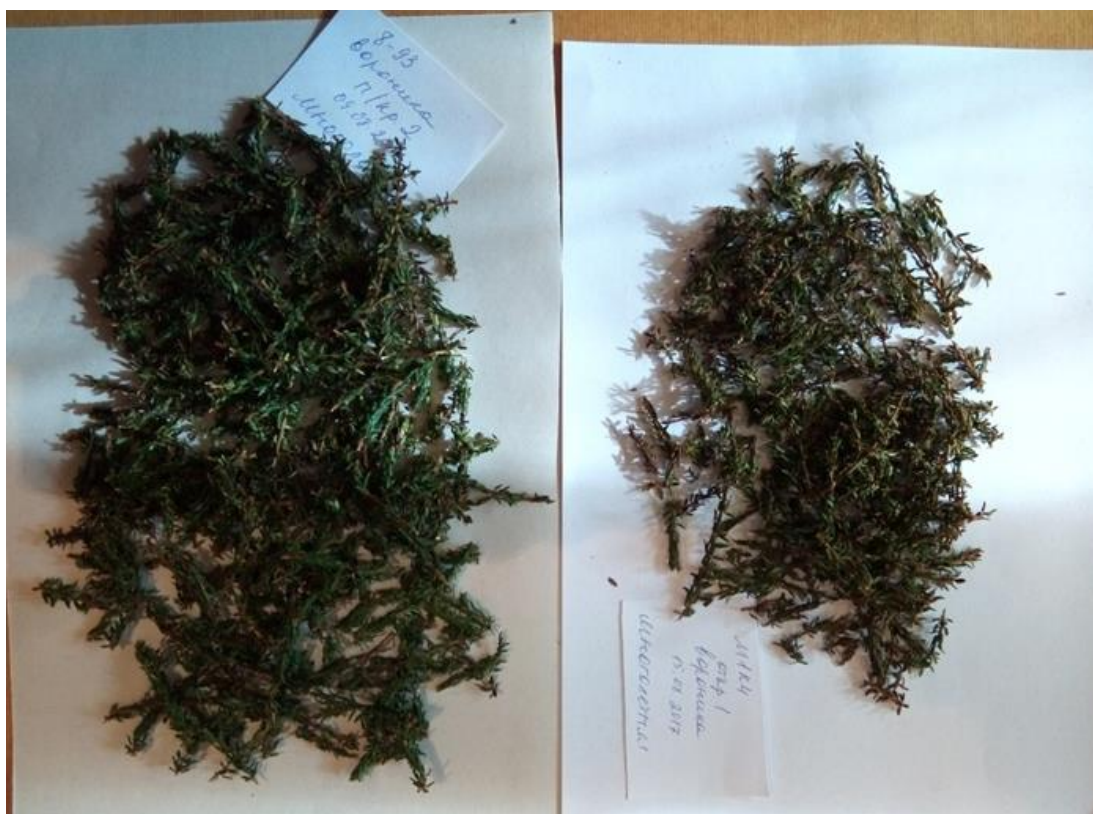


Рисунок 7 – Побеги текущего года и многолетние на примере вороники обыкновенной *Empetrum hermaphroditum* Hagerup



Рисунок 8 – Разбор листопадного кустарничка на примере черники обыкновенной *Vaccinium myrtillus* L. У отобранных растений (1) отделяются побеги текущего года (2), после высушивания побеги текущего года разделяются на листья и стебли (3), растения разделяются на листья, побеги текущего года, побеги многолетние (4).



Рисунок 9 – Побеги текущего года и многолетние мха плевроциума Шребера *Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt.

Растения, отобранные для химических анализов, также разбираются на фракции. Все фракции хранятся в бумажных пакетах из крафт-бумаги по отдельности с обозначением на пакетах типа биогеоценоза/наименования изучаемого объекта/сектора полигона, номера площадки, элемента мозаики, фракции фитомассы, даты отбора.

Корни растений извлекают из почвенных монолитов не разделяя на виды. Корни древесных растений и кустарников не анализируют. Остальной материал промывают от почвенных частиц на ситах (0.25 мм) дистиллированной водой. Луковицы, клубни и корневища учитываются отдельно (не соединяют с корнями) (Базилевич и др., 1978; Reinschetal., 2020; Schmidt et al., 2020). Корни высушивают на воздухе и хранят в бумажных пакетах из крафт-бумаги с обозначением на пакете типа биогеоценоза/наименования изучаемого объекта/сектора полигона, номера площадки, элемента мозаики, глубины отбора монолита, даты отбора.

3.2.5. Определяемые параметры

1. Содержание гигроскопической влаги для каждой фракции/корней суммарно для пересчета на абсолютно сухое вещество. Определяется высушиванием и доведением до постоянной массы образца при 105 °С
2. Запас фитомассы

- высушенный на воздухе растительный материал укосов взвесить отдельно по видам и фракциям с точностью до 0.001 грамма, корни взвешиваются суммарно без разделения на виды растений;
- рассчитать абсолютно сухую массу фракций/корней путем деления воздушно сухой массы на коэффициент гигроскопии;
- запас фитомассы рассчитывается для каждой фракции или корней путем деления абсолютно сухой массы в г на площадь шаблона в м² и выражается в г/м².
- общий запас надземной фитомассы рассчитывается путем суммирования сухой массы всех фракций в г/м². Запас подземной биомассы равен запасу корней (Базилевич и др., 1978; Reinsch et al., 2020).

3. Годичная продукция.

Для оценки общего годичного прироста в лесных, степных и тундровых экосистемах можно использовать методы, описанные в работах Базилевич др., 1978 и Scurlock et al., 2002 (метод Смолли) – суммировать запасы биомассы текущего года отдельных видов, массу плодов и семян и треть общей массы корней без разделения их на живые и мертвые.

Таким образом, общий годичный прирост экосистемы будет складываться из измеренных значений запасов фитомассы видов и фракций в г/м² и рассчитываться по формуле:

$$M_{\text{Год}} = M_{1\text{-лет}} + M_{\text{лист-пад}} + M_{\text{вечнозел.}} + M_{\text{мхи}} + M_{\text{травы}} + M_{\text{плоды}} + 1/3M_{\text{корни}}$$

где, $M_{1\text{-лет}}$ – суммарная масса листьев и стеблей однолетних растений,

$M_{\text{лист-пад}}$ – суммарная масса стеблей текущего года и всей массы листьев листопадных многолетних кустарничков,

$M_{\text{вечнозел.}}$ – суммарная масса листьев и стеблей побегов текущего года вечнозеленых многолетних кустарничков,

$M_{\text{мхи}}$ – масса побегов текущего года мхов,

$M_{\text{травы}}$ – масса живых зеленых частей травянистых растений,

$M_{\text{плоды}}$ – суммарная масса всех плодов и семян,

$M_{\text{корни}}$ – масса корней.

4. Общее содержание С (в %) и общее содержание N (в мг/кг сухого веса) определяется в тех фракциях растений, которые доминируют в ежегодном опаде.

Для проведения химических анализов отбираются образцы:

- отдельных фракций (листья, побеги текущего года мхов или живые части травянистых растений) каждого вида-доминанта (до 5 видов по 2 фракции

каждого вида, преобладающих в ежегодном опаде) на каждой из пяти пробных площадок по элементам мозаики, пробы по 5 г для каждой фракции (всего до 40 образцов на одну пробную площадь);

- корней без разделения на виды (4 образца на одну пробную площадь);
- в случае если суммарная масса остальных растений/фракций растений укосов достаточна для анализа – взять из них одну смешанную пробу по элементам мозаики на анализ (3-4 образца на одну пробную площадь);

Высушенные на воздухе пробы измельчают в мельнице до мелкодисперсного, гомогенного порошка.

Определение содержания общего углерода и общего азота в пробах растений осуществляют методом газовой хроматографии на элементном анализаторе на основании методик измерений, применяемых в повседневной рабочей практике испытательных лабораторий. Эти методики измерений могут быть приведены в руководстве по эксплуатации оборудования или в отдельном документе, устанавливающем методику измерений массовой доли общего азота и общего углерода в пробах почв и растений методом газовой хроматографии на элементном анализаторе определенного типа.

5. Соотношение C/N вычисляется по формуле в таблице путем умножения содержания C в % на 10000 и деления на содержание N в мг/кг.

6. Запасы C в фитомассе растений напочвенного покрова в тС/га рассчитывается сперва для каждой фракции отдельно путем умножения содержания C в % на запас фитомассы в г/м² и деления полученного значения на 10000. Общие запасы C для биогеоценоза рассчитываются как сумма запаса C всех фракций.

Результаты измерений и анализов отражают в утвержденной форме таблицы (Приложение 3).

4. Литература

Gleixner G. Soil organic matter dynamics: a biological perspective derived from the use of compound-specific isotopes studies // *Ecological Research*. 2013. V. 28. №. 5. P. 683–695.

ICOS Ecosystem Instructions ANCILLARY DATA – GRASSLANDS. Version: 20200316. 2020. 33 p.

Krishna M.P., Mohan M. Litter decomposition in forest ecosystems: a review // *Energy, Ecology and Environment*. V. 2. №. 4. 2017. P. 236–249.

Lukina N., Kuznetsova A., Tikhonova E., Smirnov V., Danilova M., Gornov A., Tebenkova D., Knyazeva S., Bakhmet O., Kryshen A., Shashkov M. Linking forest vegetation and soil carbon stock in Northwestern Russia // *Forests*. 2020. T. 11. № 9. Article 979.

Rautio P, Fürst A, Stefan K, Raitio H, Bartels U, 2020: Part XII: Sampling and Analysis of Needles and Leaves. Version 2020-3. In: UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre (ed.): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde, Germany, 16 p. + Annex <http://www.icp-forests.org/Manual.htm>

Reinsch S., Linstädter A., Beil I., Berauer B., Kröel-Dulay G., Stuart-Haëntjens E., Schmidt I.K. Aboveground plant biomass. In: Halbritter A.H. (ed.) The handbook for standardised field and laboratory measurements in terrestrial climate-change experiments and observational studies (ClimEx). 2020. P. 46–63. <https://climexhandbook.w.uib.no/2019/11/06/aboveground-plant-biomass/>

Schmidt I.K., Ostonen I., Blume-Werry G. Belowground plant biomass. In: Halbritter A.H. (ed.) The handbook for standardised field and laboratory measurements in terrestrial climate-change experiments and observational studies (ClimEx). 2020. P. 63–76. <https://climexhandbook.w.uib.no/2019/11/06/belowground-plant-biomass/>

Scurlock, J.M.O., Johnson, K., Olson, R.J. Estimating net primary productivity from grassland biomass dynamics measurements // *Global Change Biology*. 2002. V. 8. P. 736–753.

Базилевич Н.И., Титлянова А.А., Смирнов В.В., Родин Л.Е., Нечаева Н.Т., Левин Ф.И. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах. М.: Мысль, 1978. 185 с.

Кузнецова А.И. Влияние растительности на запасы углерода в почвах доминирующих хвойно-широколиственных лесов европейской части России // Дисс... канд. биол. наук (спец: 06.03.02). Москва, 2022. 130 с.

Методика мониторинга лесов по международной программе ICP Forests. Москва. 2008. 46 с.

Методические рекомендации по оценке углеродных пулов и потоков в болотных экосистемах России. Часть 1: Полевые исследования. Версия 1.0. Ханты-Мансийск, 2023. 62 с.

Орлова М.А. Элементарная единица лесного биогеоценозического покрова для оценки экосистемных функций лесов // Труды Карельского научного центра РАН. 2013. № 6. С. 126–132.

Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1967. 145 с.

Руководство по комплексному мониторингу. Перевод с английского. М.: ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН», 2013. 153 с.

Титлянова А.А., Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Романова И.П. Подземные органы растений в травяных экосистемах. Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1996. 128 с.

Титлянова А.А., Шибарева С.В. (сост.) Продуктивность травяных экосистем: справочник. М.: Изд-во МБА, 2020. 100 с.

Усольцев В.А., Часовских В.П., Норицина Ю.В., Норицин Д.В. Аллометрические модели фитомассы деревьев для лазерного зондирования и наземной таксации углеродного пула в лесах Евразии: сравнительный анализ // Сибирский лесной журнал. 2016. № 4. С. 68–76.

Приложение 1

Количество проб, отбираемых на пробных площадях

Тип пробы	Количество на 1 ПП, шт.	Количество на 1 тип БГЦ (5 ПП), шт.
Ветви древесных растений	2-4	10-20
Укосы фитомассы	3-4	15-20
Дополнительные пробы 5 видов растений-доминантов (при необходимости)	15-20	75-100
Монолиты для учета корней	3-4	15-20

