

**ОЦЕНКА  
ПОТОКОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ  
В ЭКОСИСТЕМАХ РЕГИОНОВ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**



Институт глобального климата и экологии  
имени академика Ю.А. Израэля

# **ОЦЕНКА ПОТОКОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ЭКОСИСТЕМАХ РЕГИОНОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Ответственный редактор  
член-корреспондент Российской академии наук  
А.А. Романовская

Москва  
2023

---

---

УДК 504.7+504.38

ББК 26.236.23

О 93

© ФГБУ «ИГКЭ», 2023

© коллектив авторов, 2023

**Оценка потоков парниковых газов в экосистемах регионов Российской Федерации.** / Под редакцией чл.-корр. РАН А.А. Романовской. Москва: ИГКЭ, ООО «Принт», 2023. 343 с.

Монография обобщает оценки среднегодового баланса основных парниковых газов (углекислого газа, метана и закиси азота) в наземных экосистемах разных типов Российской Федерации. Оценки выполнены методом «снизу вверх», т.е. основаны на данных наземных измерений и исследований с использованием геоинформационного подхода и материалов статистического учета. Такая комплексная оценка выполнена в нашей стране впервые. Предыдущие исследования затрагивали только отдельные экосистемы или основывались на экспертных предложениях или результатах моделирования «сверху вниз», что не позволяло в полной мере судить о степени их корректности. В настоящей работе приведены количественные значения неопределенности по всем исследуемым потокам парниковых газов. В качестве предисловия дан критический анализ полученных результатов по экосистемам разных типов и сведен полный годовой баланс парниковых газов в России с учетом как природных, так и антропогенных потоков парниковых газов. Показано, что с высокой степенью вероятности Россия является нетто-источником парниковых газов в атмосфере. Монография нацелена на выявление наиболее «проблемных» вопросов, требующих дальнейшей научной работы для уточнения баланса парниковых газов в экосистемах.

Книга адресована широкому кругу ученых, специалистов в области экологии, климатологии, почвоведения, лесного и сельского хозяйства, преподавателям и учащимся, лицам, принимающим решения на федеральном и региональном уровнях.

Рецензенты:

чл.-корр. РАН, д.б.н. Лукина Н.В.;

чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор Семенов С.М.

Рецензенты Отчета по НИР

«Научные исследования в области оценки способности различных типов экосистем к поглощению диоксида углерода и подготовка научно-обоснованных предложений по расчету объемов поглощения диоксида углерода экосистемами регионов Российской Федерации» шифр 17-14-НИР/01 в соответствии с Государственным контрактом от

21.07.2017 № ДК-14-23/55:

д.ф.-м.н. Гинзбург А.С.;

д.б.н., профессор А.К. Юзбеков.

Технический редактор:

Брускина И.М.

Дизайн и макет:

Прохорова Л.А.

Фото на обложке

Зайнулин С.М. «Северные подсолнухи»

ISBN 978-5-9631-1090-4

---



*Светлой памяти Андрея Артуровича СИРИНА (1956 — 2023), члена-корреспондента РАН, доктора биологических наук, крупного специалиста в области лесного болотоведения и экологии болотных экосистем, гидроэкологии и гидролесомелиорации с мировым именем и заслугами*

---



---

## СОДЕРЖАНИЕ

Обозначения и сокращения.....	9
Определения.....	12
Романовская А.А.	
<b>БАЛАНС ПОТОКОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ.....</b>	<b>15</b>
Коротков В.Н., Романовская А.А., Карелин Д.В., Курганова И.Н., Сирин А.А., Корзухин М.Д., Лопес де Гереню В.О., Голубятников Л.Л., Глаголев М.В., Попов И.О., Трунов А.А., Вертянкина В.Ю., Полумиева П.Д., Бердин В.Х., Юлкин Г.М., Посысаев Ю.Ю., Каримова Д.Б., Сконечный М.С.	
<b>ОЦЕНКА ПОТОКОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ЭКОСИСТЕМАХ РЕГИОНОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ.....</b>	<b>45</b>
Введение.....	45
<b>Глава 1. Анализ существующих типов природных экосистем по регионам Российской Федерации.....</b>	<b>47</b>
1.1. Экосистемы тундр.....	48
1.2. Лесные экосистемы.....	50
1.3. Травяные экосистемы.....	55
1.3.1. Степные экосистемы.....	56
1.3.2. Луговые экосистемы (сенокосы и пастбища).....	64
1.4. Водно-болотные угодья.....	67
1.4.1. Болотные экосистемы.....	67
1.4.2. Пресноводные экосистемы.....	70
1.5. Выводы .....	74
<b>Глава 2. Оценка способности различных природных экосистем к чистому поглощению парниковых газов по субъектам Российской Федерации.....</b>	<b>76</b>
2.1. Тундры.....	76
2.1.1. Аналитические и картографические материалы по проведению оценки способности тундровых экосистем к чистому поглощению парниковых газов с разбивкой по субъектам Российской Федерации.....	76
2.1.2. Расчёты способности тундровых экосистем к чистому поглощению парниковых газов с разбивкой по субъектам Российской Федерации.....	83

---

2.1.3. Научно обоснованные предложения по определению методов, по которым возможно оценить способность тундровых экосистем, находящихся на территории Российской Федерации, к чистому поглощению диоксида углерода.....	115
2.2. Лесные экосистемы.....	122
2.2.1. Аналитические и картографические материалы по проведению оценки способности лесных экосистем к чистому поглощению парниковых газов с разбивкой по субъектам Российской Федерации.....	122
2.2.2. Расчёты способности лесных экосистем к чистому поглощению парниковых газов с разбивкой по субъектам Российской Федерации.....	165
2.3. Степные экосистемы.....	173
2.3.1. Аналитические и картографические материалы по проведению оценки способности степных экосистем к чистому поглощению парниковых газов с разбивкой по субъектам Российской Федерации.....	173
2.3.2. Расчёты способности степных экосистем к чистому поглощению парниковых газов с разбивкой по экосистемам субъектов Российской Федерации.....	196
2.3.3. Научно обоснованные предложения по определению методов, по которым возможно оценить способность степных экосистем, находящихся на территории Российской Федерации, к чистому поглощению парниковых газов.....	205
2.4. Луговые экосистемы.....	209
2.4.1. Аналитические и картографические материалы по проведению оценки способности луговых экосистем к чистому поглощению диоксида углерода с разбивкой по субъектам Российской Федерации.....	209
2.4.2. Расчёты способности луговых экосистем к чистому поглощению парниковых газов.....	224
2.4.3. Научно обоснованные предложения по определению методов, по которым возможно оценить способность луговых экосистем, находящихся на территории Российской Федерации, к чистому поглощению парниковых газов.....	228
2.5. Болотные экосистемы.....	242
2.5.1. Аналитические и картографические материалы по проведению оценки способности болотных экосистем к чистому поглощению парниковых газов с разбивкой по субъектам Российской Федерации.....	242

---

---

2.5.2. Расчёты способности болотных экосистем к чистому поглощению парниковых газов с разбивкой по экосистемам субъектов Российской Федерации.....	254
2.5.3. Научно обоснованные предложения по определению методов, по которым возможно оценить способность болотных экосистем, находящихся на территории Российской Федерации, к чистому поглощению диоксида углерода.....	261
2.6. Пресноводные экосистемы.....	273
2.6.1. Аналитические и картографические материалы по проведению оценки способности пресноводных экосистем к чистому поглощению парниковых газов с разбивкой по субъектам Российской Федерации.....	273
2.6.2. Расчёты способности пресноводных экосистем к чистому поглощению парниковых газов с разбивкой по экосистемам субъектов Российской Федерации.....	286
2.6.3. Научно обоснованные предложения по определению методов, по которым возможно оценить способность пресноводных экосистем, находящихся на территории Российской Федерации, к чистому поглощению диоксида углерода.....	293
2.7. Выводы.....	297
<b>Глава 3. Расчёты по определению способности природных экосистем разных типов к чистому поглощению парниковых газов на территории Российской Федерации.....</b>	<b>299</b>
3.1. Экосистемы тундр.....	299
3.2. Лесные экосистемы.....	299
3.3. Степные экосистемы.....	303
3.4. Луговые экосистемы.....	305
3.5. Водно-болотные угодья.....	308
3.5.1. Болотные экосистемы.....	308
3.5.2. Пресноводные экосистемы.....	311
3.6. Выводы.....	315
<b>Глава 4. Анализ неопределённости количественных оценок способности природных экосистем (включая неуправляемые леса) на территории Российской Федерации к чистому поглощению диоксида углерода и к общему, выраженному в эквиваленте CO<sub>2</sub>, чистому поглощению парниковых газов – диоксида углерода, метана и закиси азота; определение доверительных интервалов.....</b>	<b>316</b>
4.1. Экосистемы тундр.....	316

---

4.2. Лесные экосистемы.....	317
4.3. Степные экосистемы.....	318
4.4. Луговые экосистемы.....	319
4.5. Болотные экосистемы.....	320
4.6. Пресноводные экосистемы.....	321
4.7. Выводы.....	322
<b>Заключение.....</b>	<b>324</b>
<b>Список использованных источников.....</b>	<b>326</b>

---

## Обозначения и сокращения

AF	– суммарные годовые потоки диоксида углерода (annual Flux)
C	– углерод
CH <sub>4</sub>	– метан
Cs	– доля летнего сезона в годовом потоке CO <sub>2</sub> из почв (Summer Contribution)
CO <sub>2</sub>	– углекислый газ (диоксид углерода)
DOC	– растворенный органический углерод (dissolved organic carbon)
Fs	– суммарный почвенный поток CO <sub>2</sub> из экосистемы за летний период (июнь-август) (Summer Flux)
GPP	– валовая первичная продукция
IMCG	– Международная группа по охране болот
IPBES	– Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services
IPS	– International Peat Society Международное общество по торфу (Международное торфяное общество)
MR	– микробное дыхание
n	– число повторностей в эксперименте
N <sub>2</sub> O	– закись азота
NEE	– чистый экосистемный обмен
NEP	– чистая экосистемная продукция
NPP	– чистая первичная продукция
POC	– particulated organic carbon (взвешенный органический углерод)
R	– коэффициент корреляции
R <sup>2</sup>	– коэффициент детерминации
RR	– корневое дыхание
SE	– стандартная ошибка
SR	– дыхание почвы
STD	– стандартное отклонение
TSR	– общее дыхание почвы
Wп	– влажность почвы
АО	– автономный округ
БД	– база данных

ВОНКТА (SABSTA)	–	Вспомогательный орган для консультирования по научным и техническим аспектам РКИК ООН
Гг	–	гигаграмм
ГЛР	–	Государственный лесной реестр
ГЛФ	–	Государственный лесной фонд
Гт	–	гигатонна ( $10^{15}$ г)
ГУЛФ	–	Государственный учет лесного фонда
ГХИ Росгидромета	–	Гидрохимический институт Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
ДА	–	дыхательная активность
ДИ	–	доверительный интервал
ЕЧР	–	Европейская часть России
ЗИЗЛХ	–	землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство
ИВ CO <sub>2</sub>	–	интенсивность выделения CO <sub>2</sub> из почв
Кадастр РФ	–	Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, нерегулируемых Монреальским протоколом
КБР (CBD)	–	Конвенция о биологическом разнообразии
м <sup>3</sup>	–	метр кубический
МБП	–	Международная биологическая программа
МГЭИК	–	Межправительственная группа экспертов по изменению климата (IPCC)
МДЗ	–	методы дистанционного зондирования
Мт	–	мегатонна ( $10^{12}$ г)
НИР	–	научно-исследовательская работа
ОВ	–	органическое вещество
ООН	–	Организация Объединённых Наций
ООПТ	–	особо охраняемые природные территории
ПГ	–	парниковые газы
ПГП	–	потенциал глобального потепления (GWP)
ПНУ	–	показатель неустойчивости климата
ППВ	–	полная полевая влагоёмкость
РКИК ООН	–	Рамочная конвенция ООН об изменении климата
РОБУЛ	–	Региональная оценка бюджета углерода
Рослесхоз	–	Федеральная служба лесного хозяйства Министерства природных ресурсов и экологии РФ

---

---

Росреестр	–	Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии
Росстат	–	Федеральная служба государственной статистики РФ
РФ	–	Российская Федерация
Ta	–	температура воздуха
Tп	–	температура почвы
ФАО	–	Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН
ФАР	–	фотосинтетически активная радиация

---

## Определения

*Автотрофное дыхание (Ra, Respiration Autotrophic)* – это процесс преобразования органического вещества в углекислый газ фотосинтезирующими организмами (например растениями и водорослями); определяет количество углерода, которое автотрофы расходуют на свою жизнедеятельность.

*Болотный массив (в гидрологии суши)* - часть земной поверхности, занятая болотом, границы которой представляют замкнутый контур и проведены по линии нулевой глубины торфяной залежи.

*Болотный микроландшафт (в гидрологии суши)* - часть болотного массива, однородная по характеру растительного покрова, микрорельефу поверхности и водно-физическим свойствам деятельного горизонта и представленная одной растительной ассоциацией, группой близких по флористическому составу и структуре растительных ассоциаций или комплексом различных растительных ассоциаций, закономерно чередующихся в пространстве.

*Болото (в гидрологии суши)* - природное образование, занимающее часть земной поверхности и представляющее собой отложения торфа, насыщенные водой и покрытые специфической растительностью.

*Болото (при учете лесного фонда)* – участки лесного фонда с поверхностным слоем торфа глубиной не менее 30 см в неосушенных местах и 20 см – в осушенных, при отсутствии на ней древесной растительности или при наличии ее с полнотой 0,3 и менее для молодняков и 0,2 для других групп.

*Валовая первичная продукция (GPP, Gross Primary Production)* – количество углерода, поглощаемого растениями в процессе фотосинтеза.

*Верховое болото* – болото, которое формируется, как правило, в условиях атмосферного типа водного питания, торфяная залежь которого обладает низким потенциальным плодородием. Чаще всего это открытые или слабооблесенные (полнота <0,3) сосной V класса бонитета и ниже болота.

*Водно-болотные угодья* – земли, занятые водой и болотами, в том числе реками, ручьями, озерами, водохранилищами, прудами, искусственными водоемами, осушительными и оросительными каналами и др. Водно-болотные угодья (Рамсарская конвенция) – болота, включая низинные, торфяные угодья, водоёмы и водотоки – естественные или искусственные, постоянные или временные, стоячие или проточные, пресные, солоноватые или солёные, включая морские акватории, глубина которых при отливе не превышает шести метров.

*Гетеротрофное дыхание (Rh, Respiration Heterotrophic)* – это процесс преобразования органического вещества в диоксид углерода гетеротрофными организмами; определяет количество углерода, которое расходуют гетеро-

---

---

трофы (например, почвенные микроорганизмы и животные) на свою жизнедеятельность

*Заболоченные земли* – земли государственного лесного фонда, характеризующиеся избыточным увлажнением и наличием торфяного слоя, мощность которого в неосушенном состоянии не превышает 30 см.

*Источник выбросов парниковых газов* – любой процесс, вид деятельности или механизм, посредством которого в атмосферу поступают парниковые газы.

*Кадастр (от латинского слова «capitastum»)* – систематизированный свод сведений, составляемый периодически или путем непрерывных наблюдений над соответствующим объектом.

*Корневое дыхание (RR, Respiration Root)* – часть общего дыхания растения, относящегося к корням.

*Коэффициент детерминации ( $R^2$ )* – доля дисперсии зависимой переменной, объясняемая рассматриваемой моделью зависимости, то есть объясняющими переменными (показывает, какая доля вариации объясняемой переменной учтена в модели).

*Коэффициент корреляции (R)* – статистический показатель зависимости двух и более случайных величин.

*Низинное болото* – болото, формирующееся, как правило, в условиях грунтового или грунтово-напорного типа водного питания, торфяная залежь которого обладает высоким потенциальным плодородием. При грунтово-напорном и паводковом питании обычно произрастает ольха черная и ива III-IV классов бонитета, при безнапорном – ельники с примесью сосны и березы IV-V классов бонитета.

*Обводнение болот* – комплекс мер по восстановлению естественного уровня грунтовых вод ранее осушенных водно-болотных угодий.

*Общее дыхание почвы (TSR, Total Soil Respiration)* – включает корневое и гетеротрофное дыхание.

*Осушение болот* – комплекс мер по понижению естественного уровня грунтовых вод водно-болотных угодий с целью их использования под торфо-разработки, пашню, кормовые угодья, поселения или посадки леса.

*Открытые болота* – это болота, лишенные лесной растительности.

*Переходное болото* – болото, торфяная залежь которого характеризуется переходом от низинного к верховому. Характеризуется сосново-березовыми древостоями различной полноты, обычно V класса бонитета.

*Периодически избыточно увлажнённые земли или леса на минеральных гидроморфных почвах* – это земли, которые характеризуются периодически избыточным увлажнением и отсутствием торфяного слоя.

---

*Природные (естественные) экосистемы* – экосистемы, в которых биологический круговорот протекает без прямого участия человека.

*Чистая первичная продукция (NPP, Netto Primary Production)* – количество углерода, остающееся в тканях растения после вычета всех затрат на дыхание.

*Чистая экосистемная продукция (NEP, Netto Ecosystem Production)* – количество углерода, остающееся в экосистеме после вычета всех потерь углерода на автотрофное и гетеротрофное дыхание и в результате нарушений.

---

## БАЛАНС ПОТОКОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

*Романовская А.А.*

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии  
имени академика Ю.А. Израэля»  
РФ 107258 г. Москва, ул. Глебовская, д. 20Б  
*an\_roman@igce.ru*

### **Введение**

В России ежегодно готовится национальная отчетность в рамках обязательств Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН), Киотского протокола и Парижского соглашения по антропогенным выбросам и поглощениям парниковых газов – Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов (далее – кадастр).

Антропогенные выбросы парниковых газов легко идентифицируют по их источникам, связанными с деятельностью человека. Наибольшие выбросы обусловлены добычей, транспортировкой и сжиганием ископаемого топлива, промышленными процессами, производством продуктов питания, изменениям в землепользовании.

Обоснование и определение антропогенного поглощения парниковых газов много сложнее. На переговорах Сторон РКИК ООН были предложены 2 концепции: «управления землями» (land management) и «управляемых земель» (managed lands). В первом случае подход по отдельным действиям позволяет учитывать только те потоки, которые модифицированы прямым воздействием деятельности человека – например, распашка земель в рамках управления пахотными угодьями приводит к потерям почвенного органического углерода. Прямое воздействие также включает такие действия, как вырубка и посадка лесов, затопление и осушение земель и др. Наиболее спорным вопросом явилось управление существующими лесными землями – выделить на них эффект именно антропогенной деятельности практически невозможно, учитывая, что действия по охране и защите лесов предотвращают неизвестную величину эмиссий парниковых газов в атмосферу в год. Здесь потребовалось ввести понятие «управляемых земель». Так, Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства (ЗИЗЛХ) Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) (Good Practice Guidance..., 2003) установили следующее определение двух подходов управляемости для лесных земель:

«Управление лесными ресурсами – это процесс планирования и осуществления мер для контроля использования лесных ресурсов, направленный на обеспечение выполнения лесом соответствующих экологических, эконо-

---

мических и социальных функций. Управляемый лес – это лес, подвергающийся управлению лесными ресурсами».

МГЭИК также выделяет понятие «непрямого антропогенного воздействия» на потоки парниковых газов в экосистемах, происходящее вследствие антропогенных изменений окружающей среды (например, изменения атмосферной концентрации CO<sub>2</sub>, выпадения соединений азота антропогенного происхождения, изменения в режиме температуры или осадков), которые влияют на рост, гибель популяций, скорость разложения и режимы естественных нарушений в экосистемах.

Подход по «управлению землями» был принят для отчетности в рамках Киотского протокола. В соответствии с РКИК ООН используется подход «управляемых земель». В рамках Парижского соглашения страны могут выбрать один из двух подходов по учету антропогенного поглощения самостоятельно.

Согласно методическим рекомендациям МГЭИК в границах управляемых земель отчетности и учету подлежат все выбросы и поглощение парниковых газов, которые и принимаются в качестве аппроксимации антропогенных потоков (например, лесные пожары, вызванные естественными причинами на территории управляемых лесов, засчитываются в качестве антропогенных, но любые пожары на территории неуправляемых земель учету не подлежат). Итак, введенное понятие управляемых земель косвенно подразумевает наличие антропогенного эффекта на территории природных экосистем.

В следующем методическом руководстве МГЭИК 2006 года (IPCC, 2006) управляемые земли определены как «земли, на которых происходит вмешательство и деятельность человека для выполнения производительных, экологических и социальных функций.» При этом более конкретные определения и классификации управляемых и неуправляемых земельных угодий «должны устанавливаться на национальном уровне, описываться понятным образом и последовательно применяться во времени.»

Недостатки аппроксимации антропогенного эффекта на климатическую систему через подход по управляемым землям были детально обсуждены на отдельном совещании экспертов МГЭИК в 2008 году (Report..., 2008). В частности, было указано на сложность применения подхода в отношении водноболотных угодий и затопленных земель, учета изменений возрастной структуры лесов, природных нарушений на управляемых землях, косвенных положительных эффектов увеличения атмосферной концентрации CO<sub>2</sub> и др. Очевидно, что оценка изменений запасов углерода по всех пулах управляемых земель согласно руководству МГЭИК учитывает совместно и эффект управления, и естественные процессы. Однако иного подхода для разделения этих факторов на встрече выработано не было, и аппроксимация «управляемых земель» была подтверждена как наиболее прагматичный подход для национальной отчетности. Он актуален и в настоящее время, в рамках Парижского соглашения. При этом четкое выделение именно антропогенных потоков на управляемых землях является более точным подходом для отчетности по парниковым газам и страны должны стремиться к нему.

---

Задача по достижению «сбалансированности между антропогенными выбросами из источников и абсорбцией поглотителями парниковых газов во второй половине этого века» (статья 4.1 Парижского соглашения) напрямую указывает на необходимость полного учета антропогенного нетто-поглощения на территории управляемых экосистем Сторон соглашения. При этом следует отметить, что расчеты МГЭИК по «углеродной нейтральности» к 2050 году основываются на узкой интерпретации антропогенного эффекта на основе прямых антропогенных действий, который включает только облесение, лесовозобновление и обезлесивание и абсолютно не учитывает вклад управляемых лесов так, как это отражено в национальной отчетности в соответствии с используемым в кадастрах стран подходом по «управляемым землям» (Grassi et al., 2021, 2023). Для устранения этого несоответствия необходимо применять поправочные коэффициенты, которые сдвигают обязательный срок достижения углеродной нейтральности (по CO<sub>2</sub>) стран согласно их кадастрам несколько раньше 2050 года.

Для целей отчетности на территории Российской Федерации выделяют управляемые экосистемы, где наблюдаются антропогенные потоки парниковых газов (эксплуатационные и защитные леса; ООПТ; торфоразработки; осушенные торфяники; пашни; сенокосы; пастбища; земли поселений), и естественные (неуправляемые) экосистемы, где деятельность человека не ведется и антропогенных потоков парниковых газов нет (леса, где нет обязанности тушить пожары (резервные леса); тундры; болота; естественные луга; степи; реки и озера). Антропогенные потоки парниковых газов управляемых экосистем с разной степенью точности ежегодно оценивают и представляют в национальных кадастрах в рамках секторов ЗИЗЛХ и сельского хозяйства (растениеводство). Естественные потоки относятся исключительно к области научных исследований и их общая величина на территории России до настоящего времени точно не известна. Соответственно, достоверно не известен и общий баланс парниковых газов в России с учетом антропогенного и естественного вклада.

В конце 10-х гг. XXI века у чиновников и заинтересованных сторон из бизнеса вследствие некоторой путаницы между антропогенными и естественными потоками парниковых газов возник запрос на оценку потоков парниковых газов от всех экосистем России. Обсуждался вопрос о возможности представления отчетности по всем экосистемам в кадастре. В определенных кругах превалировала идея о климатическом «донорстве» России и, как следствие, отсутствии необходимости в сокращении антропогенных выбросов парниковых газов. Минприроды России заказало соответствующую научно-исследовательскую работу в 2017 году коллективу ученых, в который входили ведущие ученые МГУ, институтов РАН (ИГ РАН, ИФХиБПП РАН, ИЛАН РАН) и Росгидромета (ИГКЭ). Данная работа, по сути, является до настоящего момента единственной попыткой полностью оценить баланс всех основных парниковых газов (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) на территории России методом «снизу-вверх», т.е. на основе наземных экспериментальных данных, методов математического моделирования и расчетной оценки в соответствии с между-

народно-признанными методиками МГЭИК. Руководитель работы – зав. отделом ИГКЭ, к.б.н. Коротков Владимир Николаевич.

Конечно, выполненные оценки не лишены некоторых недостатков и неточностей, которые становятся более заметны с течением времени. Однако попытки исправить эти неточности и улучшить оценки имеют риск остаться незавершенными никогда. Поэтому в 2023 году в ИГКЭ принято решение опубликовать этот отчет в том виде, в котором он был сдан в 2017 г., в виде монографии. Считаем, что эта работа актуальна и в настоящее время и может служить хорошей отправной точкой для дальнейшего уточнения потоков парниковых газов российских экосистем в рамках отдельных научных исследований, работ «карбоновых полигонов» Минобрнауки России, выполнения важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически-активных веществ» (утв. распоряжением Правительства РФ от 29.10.2022 г. № 3240-р).

В данной статье представлен анализ результатов отчета НИР (Отчет по НИР ..., 2018), а также выполнена оценка баланса антропогенных и естественных потоков парниковых газов в России.

### **Охват и распределение земель**

Общая площадь природных экосистем России, рассматриваемых в работе (Отчет по НИР ..., 2018), составляет 85% от общей площади страны. Основную долю площади составляют лесные земли (61% от площади природных экосистем, рассматриваемых в работе), тундры (18%) и болота (10%), меньшую – травяные экосистемы (6%) и пресноводные экосистемы (5%). При этом леса, болота и луга не подразделяли на управляемые и неуправляемые (согласно техническому заданию на работу). Таким образом, в результатах оказались частично учтены и антропогенные потоки парниковых газов (см. ниже).

Площади природных экосистем, включенные в расчет, не всегда совпадают с данными статистики (табл. 1). Так учтенные болотные земли, по-видимому, частично перекрывают лесные земли и тундру. При этом оценки потоков парниковых газов от торфяников на лесных землях согласно использованной методологии не приводят к двойному учету, а дополняют друг друга. В то время как в случае тундры возможен риск двойного счета. Этот вопрос требует дальнейшего изучения.

В кадастре в категории «управляемые луга» включены сенокосы и пастбища, а также зарастающие пахотные земли. Однако в работе (Отчет по НИР ..., 2018) брошенные пашни оказались полностью учтены в категории вторичные степи, что вызывает некоторые сомнения и, по-видимому, является следствием переоценки этих площадей в степной зоне и, как результат – переоценке накопления углерода в почвах вторичных степей. Сумма сенокосов, пастбищ и степей оказалась выше суммарной площади луговых угодий в государственной статистике, что может свидетельствовать и о завышении площадей естественных степей. Эти вопросы очень мало исследованы и требуют дальнейшей работы с данными дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

---

Как указывалось выше, в работе (Отчет по НИР ..., 2018) учтены полностью все лесные земли согласно данным государственной статистики.

**Таблица 1.** Площади земельных угодий по данным национальной отчетности и использованным в работе (Отчет по НИР ..., 2018) за 2016 год, тыс. га

Типы угодий	Кадастр (2018)	В работе (Отчет по НИР..., 2018)	Разница
<b>Лесные земли</b>	<b>897014,4</b>	<b>897014,4</b>	<b>0</b>
из них:	688239,5	-	
– управляемые леса			
– неуправляемые леса	208774,9	-	
<b>Пахотные земли<sup>1)</sup></b>	<b>92577,8</b>	<b>92577,8</b>	<b>0</b>
<b>Луговые земли</b>	<b>122043,3</b>	<b>125118,0</b>	<b>-3074,7</b>
из них:	100323,3	-	
– управляемые луга			
– неуправляемые луга	21720,0	-	
– сенокосы и пастбища	-	70789,0	
– естественные степи	-	21938,0	
– вторичные степи	-	32391,0	
<b>Водно-болотные земли</b>	<b>226825,0</b>	<b>322821,1</b>	<b>-95996,1</b>
из них:	157510,9	253507,0	-95996,1
– болота			
– земли под водой	69314,1	69314,1	0
<b>Поселения</b>	<b>14171,7</b>	<b>14171,7</b>	<b>0</b>
<b>Прочие земли</b>	<b>359886,9</b>	<b>260816,1</b>	<b>99070,7</b>
из них:	-	258462,0	
– тундра			
– прочие земли	-	2354,1	
<b>Всего земель</b>	<b>1712519,1</b>	<b>1712519,1</b>	<b>0</b>

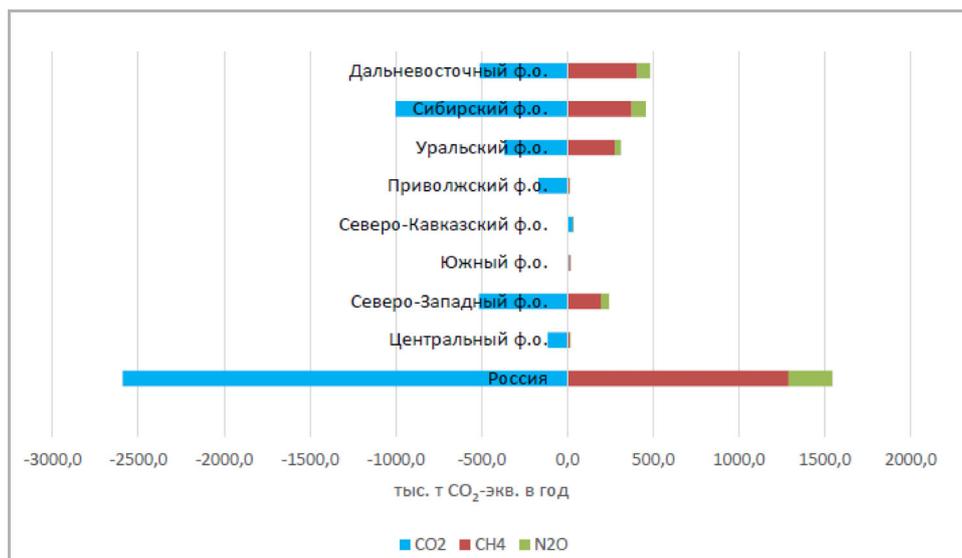
<sup>1)</sup> с учетом паровых земель и многолетних насаждений

### **Результаты оценки потоков парниковых газов природных экосистем**

Аналитика полученных результатов по потокам парниковых газов природных экосистем по видам газов и по административному делению России (по данным Отчет по НИР ..., 2018) приведена на рис. 1. Детально результаты по субъектам и типам экосистем представлены в итоговой таблице в приложении.

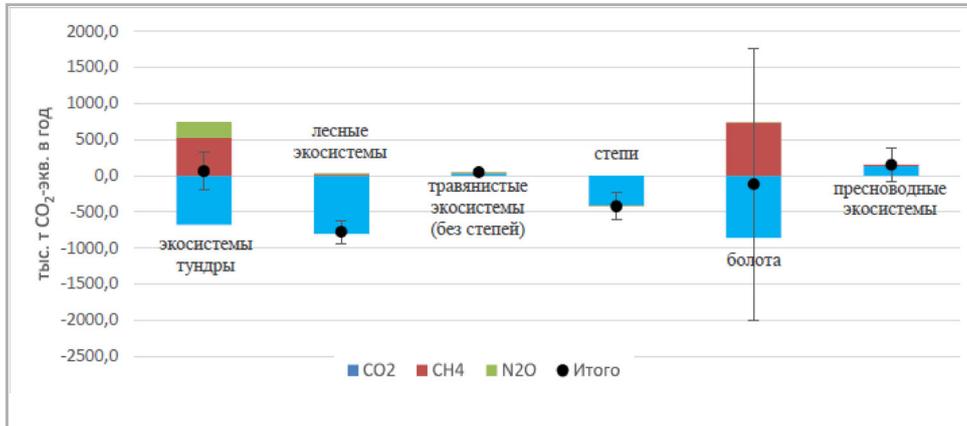
Как следует из рис. 1 нетто-поглотителями по сумме всех парниковых газов являются лесные регионы: Северо-Западный федеральный округ (ф.о.), Центральный ф.о., Сибирский и Дальневосточный ф.о. При этом значитель-

ные болотные площади в этих округах определяют сравнительно высокие показатели эмиссии метана, которая компенсирует часть поглощения углерода в биомассе лесов. Более южные регионы, с меньшими площадями лесов и большими площадями пастбищных земель и пресноводных объектов являются нетто-источниками: Южный ф.о., Северо-Кавказский ф.о., Приволжский и Уральский ф.о. В целом территория природных экосистем нашей страны имеет отрицательный баланс по всем видам парниковых газов и относится к нетто-поглотителям.



**Рисунок 1.** Потоки парниковых газов по видам газов и по федеральным округам от экосистем, тыс. т CO<sub>2</sub>-экв. в год (отрицательные значения – поглощение, положительные – выбросы) (по данным Отчет по НИР ..., 2018)

На рис. 2 приведены результаты по видам парниковых газов и типам экосистем. Вертикальными линиями показаны диапазоны неопределенности (95% доверительный интервал). Два почти равных, но разнонаправленных потока CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> в болотных экосистемах, определили высокую неопределенность результирующего значения: ± 1580%. При этом поглощение CO<sub>2</sub> рассчитано с неопределенностью ± 200%, а CH<sub>4</sub> ± 100%. Из рис. 2 видно, что к ключевым потокам на территории России относится поглощение углерода лесными, болотными и тундровыми экосистемами, а также выбросы метана болотами и тундрами. Увлажненные территории, где в почвах часто создаются анаэробные условия, хотя и накапливают углерод, характеризуются относительно высокими выбросами метана в атмосферу и могут являться нетто-эмитентами по парниковым газам, учитывая, что потенциал глобального потепления у метана в 25-30 раз выше, чем у CO<sub>2</sub>. Высокие эмиссии метана от болот в бореальной зоне, а также их рост в течение 2007-2021 гг. относительно уровня 2000-2006 отмечены в работе (Zhang et al., 2023).



**Рисунок 2.** Потоки парниковых газов по видам газов и типам природных экосистем в России, тыс. т CO<sub>2</sub>-экв. в год (отрицательные значения – поглощение, положительные – выбросы)

На рисунке приведены планки погрешностей значений баланса парниковых газов по каждому типу экосистемы (по данным Отчет по НИР ..., 2018)

Полученные оценки потоков парниковых газов, приведенные в детализации по типам экосистем на рис. 2, вызывают некоторые сомнения:

- по величине нетто-поглощения CO<sub>2</sub> в лесах (-804 тыс. т CO<sub>2</sub>). Эти оценки получены на основе исходных данных по запасам древесины из Государственного лесного реестра (ГЛР), информация в котором по экспертным оценкам имеет давность в 15-30 лет. Кроме того, в силу имеющихся особенностей учета данные ГЛР включают информацию только по первому ярусу древостоя, имеющего товарную стоимость. На пробных площадях Государственной инвентаризации лесов (ГИЛ) собирается информация по всем деревьям, что более корректно с точки зрения оценки углеродного баланса. Таким образом, по всей видимости, полученные оценки по бюджету углерода в лесах занижены примерно на 30-40% (Schepaschenko et al., 2021; Romanov et al., 2022). По оценкам моделирования, проведенного на основе сопоставления 16 динамических глобальных моделей растительности, использованных в Friedlingstein et al. (2022), нетто-поглощение в управляемых лесах Российской Федерации превышает данные национального кадастра (-0,68 млрд т CO<sub>2</sub>) и составляет около -1,1 млрд т CO<sub>2</sub> в год (Grassi et al., 2023). Однако следует отметить, что имеющийся в литературе диапазон оценок поглощения углерода российскими лесами достаточно широк и составляет от -220 до -2500 млн т CO<sub>2</sub> (Филипчук и др., 2020);

- принимая во внимание, что оценки в (Отчет по НИР ..., 2018) для лесных земель выполнены на основе данных государственной статистики, в этой работе не включены леса на зарастающих сельскохозяйственных землях, что может привести к недоучету поглощения до -90 млн т CO<sub>2</sub> только в биомассе древостоев (экспертная оценка д.т.н. Барталева С.А., ИКИ РАН). Накопление углерода почвами зарастающих земель учтено в кадастре в категории изменение землепользования;

– по величине нетто-поглощения  $\text{CO}_2$  степями. Как указывалось выше, оценка площадей степей и, особенно, вторичных степей может быть несколько завышена. Соответственно, вероятна и некоторая переоценка общего поглощения углерода. В недавней работе авторов этой оценки получены примерно такие же результаты (Golubyatnikov et al., 2023) – однако общую площадь степных угодий уточнить пока так и не удалось. Применяемый подход по разнице пашни в начале 90-х гг. и в настоящее время может показывать завышенные результаты для площадей вторичных степей, т.к. не учитывает другие возможные направления перевода земель;

– по относительно высоким значениям эмиссии  $\text{N}_2\text{O}$  в тундрах. В литературе встречается гораздо меньшая оценка выброса  $\text{N}_2\text{O}$  в этой зоне. Так, по данным Voigt et al. (2020) в среднем для многолетнемерзлых почв удельная глобальная эмиссия  $\text{N}_2\text{O}$  за 1993-2019 гг. на 2 порядка ниже и в пересчете на сопоставимые единицы составляет около  $0,57 \text{ г С-}\text{CO}_2 \text{ м}^{-2}$  в год, чем получена в работе (Отчет по НИР..., 2018) –  $21,7 \text{ г С-}\text{CO}_2 \text{ м}^{-2}$  в год. При этом общая оценка тундровой зоны в качестве слабого нетто-источника или территории с нулевым балансом парниковых газов хорошо согласуется с полученной позже оценкой МГЭИК (IPCC Special Report..., 2019; Liu et al., 2022). В таком случае, по-видимому, поглощение углерода в (Отчет по НИР..., 2018) также может быть несколько преувеличено для тундровых экосистем, что в совокупности с компенсирующими оценками эмиссии  $\text{N}_2\text{O}$  показывает согласующиеся с данными других авторов результаты;

– возможен недоучет площадей мелких и временных пресноводных водоемов на основе данных государственной статистики и, соответственно, эмиссий парниковых газов от них. Более глубокое протаивание многолетнемерзлых грунтов в течение теплого периода года может сопровождаться образованием временных мелких водоемов, которые характеризуются высокими эмиссиями метана. Необходимо проводить дальнейшие исследования по оценке площадей мелких озер, ручьев и прудов на территории тундры по данным ДЗЗ для более корректной оценки годовой эмиссии метана и  $\text{CO}_2$  в атмосферу.

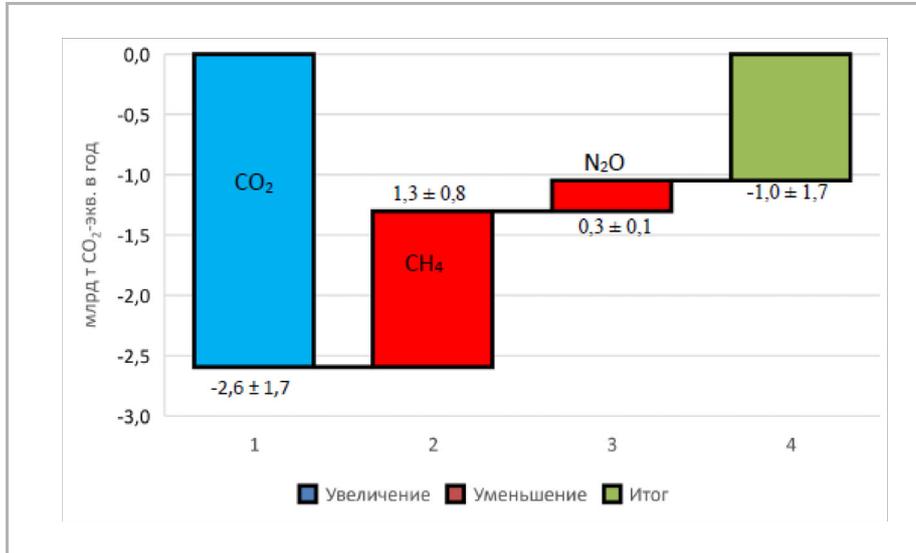
На рис. 3 представлен баланс потоков парниковых газов природных экосистем на территории нашей страны.

Как следует из рис. 3, нетто-поток  $\text{CO}_2$  характеризуется отрицательной величиной – т.е. поглощение углекислого газа преобладает над его выбросами и соответствует  $-2,6 \pm 1,7$  млрд т  $\text{CO}_2$  в год. Эта оценка хорошо согласуется с данными других авторов (Ciais et al., 2010; Sitch et al., 2015; Dolman et al., 2012; Pan et al., 2011; Кудеяров, 2018). В соответствии с данными глобального сервиса Biomass Carbon Monitor<sup>1)</sup> по изменению запасов углерода наземной биомассы, на территории России в 2016 году поглощено около  $-2,14$  млрд т  $\text{CO}_2$ , что также хорошо согласуется с полученными данными по углекислому газу в (Отчет по НИР..., 2018). В исследовании (Deng et al., 2022) средняя величина нетто-

---

<sup>1)</sup> <https://carbonstocks.kayrros.com/>

поглощения  $\text{CO}_2$  экосистемами в РФ по данным инверсионного моделирования оценивается в среднем меньшей величиной равной  $-1,6$  млрд т  $\text{CO}_2$  с диапазоном оценок по разным моделям от  $-3,0$  до  $-0,7$  млрд т  $\text{CO}_2$ .



**Рисунок 3.** Нетто-поглощение парниковых газов на территории природных экосистем России, млрд т  $\text{CO}_2$ -экв. в год (отрицательные значения – поглощение, положительные – выбросы) (по данным Отчет по НИР ..., 2018)

Метан и закись азота характеризуются нетто-выбросами в атмосферу в сумме  $1,6 \pm 0,8$  млрд т  $\text{CO}_2$ -экв. в год, которые компенсируют более 60% поглощения  $\text{CO}_2$ . По оценкам выбросов не- $\text{CO}_2$  газов в литературе не так много данных, а их разброс сравнительно большой. Так, в работе (Denisov et al., 2019) естественный поток метана в РФ оценен почти в 5 раз ниже, чем в (Отчет по НИР ..., 2018). Полученные в нашей работе эмиссии метана в атмосферу от болот почти в 1,4 раза выше, чем максимальная оценка по данным спутникового мониторинга GOSAT (Saunois et al., 2020). Отметим также, что информация по эмиссии метана от тундр в данных GOSAT и других спутников, по-видимому, отсутствует.

Итоговый баланс потоков парниковых газов всех исследуемых экосистем России соответствует нетто-поглощению в  $-1,0 \pm 1,7$  ( $\pm 161\%$ ) млрд т  $\text{CO}_2$ -экв. Высокая неопределенность определяется, прежде всего, неопределенностью потоков на болотных землях и в тундре.

По данным, имеющимся в литературе, в результате ожидаемого увеличения эмиссий метана от многолетнемерзлых грунтов, роста эмиссии метана с шельфа, а также постепенного снижения продуктивности лесных и иных экосистем в результате дальнейшего изменения температур и перераспределения осадков вероятно увеличение потоков парниковых газов в атмосферу с территории России и превращение природных экосистем страны в нетто источник парниковых газов во второй половине 21-го века (Denisov et al., 2019).

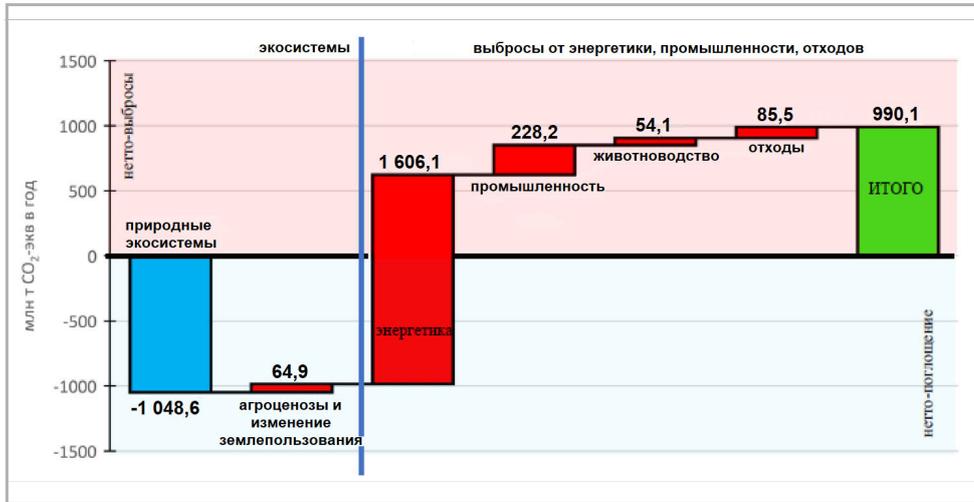
С учетом уже частично включенных в приведенные выше оценки антропогенных потоков парниковых газов для полной оценки суммарного нетто-потока (антропогенного и естественного) от экосистем нашей страны необходимо добавить вклад агроценозов, изменений в землепользовании и изменений баланса углерода в резервуаре продукции лесозаготовки. Эти оценки имеются в кадастре (Национальный кадастр..., 2023) за 2016 год (см. табл. 2). Общий нетто-поток парниковых газов от экосистем нашей страны оценен равным поглощению  $-984 \pm 1692$  тыс. т  $\text{CO}_2$ -экв.

На рис. 4 приведены оценки совокупного баланса парниковых газов с учетом антропогенных выбросов от сжигания ископаемого топлива, промышленности, животноводства, сектора отходов и нетто-поглощения экосистем России по данным (Отчет по НИР ..., 2018) и (Национальный кадастр..., 2023).

Полученный суммарный баланс антропогенных и естественных потоков парниковых газов на территории России соответствует величине нетто-выброса 990 млн т  $\text{CO}_2$ -экв. Согласно данным кадастра (2023) значения объединенной неопределенности без учета вклада сектора ЗИЗЛХ в базовом (1990) и отчетном (2021) годах составили соответственно 4,4% и 5,5% (кадастр, том 2). Используя большее значение для 2016 года получаем совокупную неопределенность результирующей оценки равную  $\pm 172\%$ . Таким образом, по состоянию на 2016 год суммарный баланс парниковых газов на территории России с большой вероятностью имеет положительную величину, т.е. характеризуется нетто-выбросами в атмосферу в размере  $0,99 \pm 1,69$  млрд т  $\text{CO}_2$ -экв.

**Таблица 2.** Баланс потоков парниковых газов на территории природных и антропогенных экосистем в России по состоянию на 2016 г., млн т  $\text{CO}_2$ -экв.

Категории поглотителей/источников парниковых газов	Млн т $\text{CO}_2$ -экв. в год	Неопределенность, %
природные экосистемы (по данным Отчет по НИР ..., 2018)	-1048,6	161
рисоводство	0,6	70
эмиссия $\text{N}_2\text{O}$ от пашен	58,8	93
эмиссии $\text{CO}_2$ и $\text{CH}_4$ от пашен, в т.ч. осушенных	90,2	75
известкование	0,6	51
внесение мочевины	0,2	52
изменение землепользования (земли поселений)	9,0	51
изменение землепользования (прочие земли)	2,3	65
изменение землепользования (кормовые угодья)	-106,6	44
продукция лесозаготовки	10,0	21
<b>Итого по всем экосистемам России</b>	<b>-983,7</b>	<b>172</b>



**Рисунок 4.** Баланс парниковых газов (с учетом F-содержащих газов) на территории России в 2016 г., млн т CO<sub>2</sub>-экв. в год: отрицательные значения (голубым цветом) – нетто-поглощение; положительные значения (красным цветом) – выбросы; зеленым цветом – итоговый баланс парниковых газов на территории России с учетом естественных и антропогенных потоков

Суммарный баланс парниковых газов с учетом нетто-потоков от экосистем и антропогенных выбросов по видам газов представлен в табл. 3.

**Таблица 3.** Баланс парниковых газов на территории России с учетом природных и антропогенных потоков по видам парниковых газов по состоянию на 2016 г., млн т CO<sub>2</sub>-экв. (выбросы «+»/поглощение «-»)\*

Парниковые газы	Природные потоки (по данным Отчет по НИР..., 2018)	Антропогенные потоки (по данным кадастра, 2023)	Баланс парникового газа в РФ
CO <sub>2</sub>	-2591,6	1633,9	-957,7
CH <sub>4</sub>	1288,8	293,1	1581,9
N <sub>2</sub> O	254,1	81,4	335,5

\* без учета F-содержащих парниковых газов

Как следует из данных табл. 3, Российская Федерация может считаться «донором» только по CO<sub>2</sub>, нетто-поглощение по которому составляет примерно -0,96 млрд т CO<sub>2</sub>. Однако с учетом выбросов не-CO<sub>2</sub> газов наша страна, с высокой вероятностью, является нетто-эмитентом парниковых газов в атмосферу.

Имеющиеся спутниковые оценки для потока CO<sub>2</sub>, полученные методом «сверху-вниз», хорошо согласуются с результатами, представленными в работе (Отчет по НИР ..., 2018). Спутниковая информация является независимым источником информации для верификации данных, полученных методом «снизу-вверх» на основе данных наземного наблюдения и моделирования. Так,

по данным (Burne et al., 2023) среднее из 5 наборов данных, анализируемых в рамках проекта сравнения инверсионных моделей Orbiting Carbon Observatory (OCO-2), включая измерения CO<sub>2</sub> in situ и комбинацию этих данных, показало нетто-поглощение между поверхностью земли и атмосферой в пределах территории Российской Федерации, которое составляет чуть менее 1 млрд т CO<sub>2</sub> в среднем в течение периода 2015-2020 гг. Эта величина соответствует сумме экосистемных потоков углекислого газа и антропогенных выбросов CO<sub>2</sub> в России, которая в нашей работе оценена в -0,96 млрд т CO<sub>2</sub> (см. табл. 2) для 2016 года. По нашим оценкам природные экосистемы в РФ поглощают около -2,6 млрд т CO<sub>2</sub>-экв., что также хорошо соотносится с величиной ΔC<sub>loss</sub> (Burne et al., 2023), соответствующей среднему из 5 наборов данных. Хотя переменная ΔC<sub>loss</sub> включает также международную торговлю зерном и древесиной, в случае России результирующая по этим потокам практически равна нулю и не оказывает значительного влияния на сопоставление результатов работ (Отчет по НИР ..., 2018) и (Burne et al., 2023).

Суммарные потоки метана в России по данным (Отчет по НИР ..., 2018) примерно в 2 раза оценены выше, чем в (Denisov et al., 2019) и в 1,4 раз, чем в (Метан..., 2022). Согласно последнему исследованию вклад России в естественные глобальные выбросы метана не превышает 10% и составляет 13,3 млн т CH<sub>4</sub> в год для оценки «снизу вверх» и 11,7 млн т CH<sub>4</sub> в год для оценки «сверху вниз». При этом вклад болот доминирует в интенсивности всех естественных источников – примерно треть от всех выбросов CH<sub>4</sub> с территории России в атмосферу. Интенсивность антропогенных источников выбросов метана так же не более 10% (23,5 млн т CH<sub>4</sub> в год и 19,8 млн т CH<sub>4</sub> в год, соответственно) (Метан..., 2022). Отметим, что по данным кадастра антропогенный выброс метана без учета сектора ЗИЗЛХ составил в 2016 году меньшую величину – 11,6 млн т, а с его учетом – 12,5 млн т CH<sub>4</sub> (Национальный кадастр..., 2023). По данным глобальной базы выбросов климатически активных веществ EDGAR<sup>2)</sup> (Emissions Database for Global Atmospheric Research) антропогенный выброс метана в России составлял в 2016 году около 16 млн т CH<sub>4</sub> (18 млн т CH<sub>4</sub> в 2021). По другим данным, например, базы данных CEDS<sup>3)</sup> (A Community Emissions Data System) – около 25 млн т CH<sub>4</sub> в 2017 г. Разброс данных «снизу вверх» для антропогенных выбросов в России составляет от 16 до 28 млн т CH<sub>4</sub>, а по данным «сверху-вниз» – от 11 до 26 млн т CH<sub>4</sub> (Saunois et al., 2020).

По данным авторов (Метан..., 2022) доля антропогенных эмиссий в общем выбросе метана в России близка к 2/3. Примерно такое же соотношение 2:1 между антропогенными выбросами метана и естественными приведено в (Denisov et al., 2019). Международные базы данных показывают соотношение близкое к 1:1 (Saunois et al., 2020). По нашим данным есте-

---

<sup>2)</sup> <https://edgar.jrc.ec.europa.eu/>

<sup>3)</sup> <https://esgf-node.llnl.gov/search/input4mips/>

ственная эмиссия метана с территории России превышает антропогенный выброс в соотношении 4:1. Несмотря на возможности некоторой переоценки естественных потоков и/или недооценки антропогенного выброса метана в (Отчет по НИР ..., 2018; Национальный кадастр..., 2023), учитывая наличие значительных источников в тундре и болотных экосистемах, превышение совокупной естественной эмиссии метана над антропогенным выбросом выглядит более логично для территории Российской Федерации, чем наоборот.

Антропогенные выбросы азота можно сопоставить с данными базы EDGAR, которые показывают меньшую величину антропогенного выброса  $N_2O$  за 2016 год, чем в кадастре: 76 млн т  $CO_2$ -экв. (85 млн т  $CO_2$ -экв. для 2021 г.). Для естественной эмиссии  $N_2O$  в масштабе всей страны в литературе обнаружены только данные моделирования. Так, сопоставление результатов оценки по 10 моделям наземных экосистем (девять моделей: DLEM, LM3V-N, ORCHIDEE, ORCHIDEE с азотным и фосфорным циклами (ORCHIDEE-CNP), O-CN, Lund-Potsdam-Jena General Ecosystem Simulator (LPJ-GUESS), LPX-Bern, TRIPLEX-GHG и модель с вегетационным блоком для оценки малых газовых составляющих (VISIT)) показывает достаточно близкие между собой результаты эмиссии азота от природных экосистем России в среднем за период с 2001-2015 гг. в размере около 0,26-0,28 Тг  $N-N_2O$  (Tian et al., 2018, 2020). Эта величина соответствует 126,4 млн т  $CO_2$ -экв., что в 2 раза ниже, чем 254,1 млн т  $CO_2$ -экв. в (Отчет по НИР..., 2018). Сомнения в оценках интенсивности эмиссии  $N_2O$  от тундры и ее возможном завышении в (Отчет по НИР..., 2018) обсуждены выше.

## Заключение

Несмотря на имеющиеся возможные погрешности в оценках выбросов и поглощения парниковых газов в работе (Отчет по НИР..., 2018), по всей видимости, они в значительной степени взаимно компенсируют друг друга. Относительно высокая неопределенность результирующей оценки в целом по природным экосистемам России, определенная в почти 200%, обусловлена нахождением разницы 2-х больших величин разнонаправленных потоков выбросов и поглощения. Однако можно на экспертном уровне предположить, что точность результирующей оценки выше и она находится в пределах примерно  $\pm 50\%$ . Этот диапазон соответствует среднему разбросу результатов моделирования по динамическим моделям растительности и инверсионного моделирования по данным ДЗЗ. В таком случае не возникает сомнений в знаке баланса парниковых газов.

Лицам, принимающим решения, при определении целей и мероприятий в области климатической политики в РФ следует ориентироваться на 3 основные цифры баланса потоков парниковых газов в стране:

– нетто-поглощение углекислого газа на территории наземных экосистем России соответствует величине в примерно -2,5 млрд т  $CO_2$ . С учетом антропогенного выброса углекислого газа (1,6 млрд т  $CO_2$ ) территория нашей

страны с высокой вероятностью является «донором», т.е. нетто-поглотителем при оценке только по CO<sub>2</sub>;

– с учетом выбросов не-CO<sub>2</sub> парниковых газов (метана и закиси азота) нетто-поглощение парниковых газов в природных экосистемах России сокращается более, чем в 2 раза и составляет около -1 млрд т CO<sub>2</sub>-экв. Наибольший вклад в выбросы не-CO<sub>2</sub> газов дают болотные и тундровые экосистемы нашей страны, при этом по последним неопределенность оценки крайне высока, данные в литературе фрагментарны, а спутниковая информация, по всей видимости, практически отсутствует;

– баланс естественных и антропогенных потоков парниковых газов на территории России с большой степенью вероятности положительный, т.е. соответствует нетто-выбросам в атмосферу в размере 1 млрд т CO<sub>2</sub>-экв. Нетто-баланс по антропогенным потокам парниковых газов в национальном кадастре за 2016-2021 составляет 1,56 млрд т CO<sub>2</sub>-экв. выбросов в атмосферу (Национальный кадастр..., 2023). Таким образом, весьма вероятно, что Российская Федерация не является «климатическим донором» при полном учете всех парниковых газов.

Дальнейшие научные исследования целесообразно посвятить сбору более полной по площади нашей страны информации по изменению запасов углерода и потокам не-CO<sub>2</sub> парниковых газов, корректной оценке межгодовой изменчивости этих потоков. Особенный недостаток данных, как наземных экспериментальных данных наблюдений, так и спутниковых и модельных оценок, отмечается для зоны тундровых экосистем. Высокая пространственная вариабельность, малое число экспериментальных измерений, незначительный охват спутниковыми системами, высокая облачность северных территорий – все это обуславливает высокие разбросы совокупных оценок по вкладу тундры в процесс изменения климата, полученных разными методами. Если по углероду оценки строятся на более надежных данных (таких как запасы углерода экосистемы), которые подходят для периодического наблюдения, то выбросы CH<sub>4</sub> и N<sub>2</sub>O требуют непрерывных измерений и не могут быть достоверно интерполированы между точечными во времени и пространстве измерениями, как наземными, так и дистанционными. Эти особенности должны быть учтены в рамках выполнения работ «карбоновых полигонов» Минобрнауки России и реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически-активных веществ».

### Список литературы

Кудеяров В.Н. Углеродный баланс наземных экосистем на территории России к 25-летию принятия рамочной Конвенции ООН об изменении климата // Вестник РАН. – 2018. – Т. 88. – № 2. – Интернет-ресурс: <https://doi.org/10.7868/S0869587318020093>.

Метан и климатические изменения: научные проблемы и технологические аспекты / Под ред. академика РАН В.Г. Бондура, академика РАН И.И. Мо-

---

---

хова, члена-корреспондента РАН А.А. Макоско. – М.: Российская академия наук, 2022.

Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, за 1990-2021 г. – Москва, Росгидромет, ФГБУ «ИГКЭ», часть 1-2, 2023.

Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, за 1990-2016 г. – Москва, Росгидромет, ФГБУ «ИГКЭ», часть 1-2, 2018.

Отчет по НИР «Научные исследования в области оценки способности различных типов экосистем к поглощению диоксида углерода и подготовка научно-обоснованных предложений по расчету объемов поглощения диоксида углерода экосистемами регионов Российской Федерации» шифр 17-14-НИР/01 в соответствии с Государственным контрактом от 21.07.2017 № ДК-14-23/55 / Авторы: В.Н. Коротков, А.А. Романовская, Д.В. Карелин, И.Н. Курганова, А.А. Сирин, М.Д. Корзухин, В.О. Лопес де Гереню, Л.Л. Голубятников, М.В. Глаголев, И.О. Попов, А.А. Трунов, В.Ю. Вертянкина, П.Д. Полумиева, В.Х. Бердин, Г.М. Юлкин, Ю.Ю. Посысаев, Д.Б. Каримова, М.С. Скопечный, А.А. Зайцева. – М., 2018. – 321 с.

Филипчук А.Н., Малышева Н.В., Золина Т.А., Югов А.Н. Бореальные леса России: возможности для смягчения изменения климата // Лесохозяйственная информация. – 2020. – № 1. – С. 92-113.

Byrne B., Baker D.F., Basu S., Bertolacci M., Bowman K.W. et al. National CO<sub>2</sub> budgets (2015-2020) inferred from atmospheric CO<sub>2</sub> observations in support of the global stocktake // *Earth Syst. Sci. Data.* – 2023. – V. 15. – P. 963-1004. – Интернет-ресурс: <https://doi.org/10.5194/essd-15-963-2023>. – Режим доступа – свободный.

Ciais P., Canadell J.G., Luysaer S. et al. Can we reconcile atmospheric estimates of Northern terrestrial carbon sink with land-based accounting? // *Curr. Opin. Environ. Sustain.* – 2010. – V. 2. – P. 225-230.

Deng, Z., Ciais, P., Tzompa-Sosa, Z.A., Saunio, M., Chevallier F., Tan C., Sun T., Ke P., Cui Y., Liu Z. Comparing national greenhouse gas budgets reported in UNFCCC inventories against atmospheric inversions // *Earth System Science Data* – 2022. – V. 14(4). – P. 1639-1675. – Интернет-ресурс: <https://doi.org/10.5194/essd-14-1639-2022> – Режим доступа – свободный.

Denisov S.N., Eliseev A.V., Mokhov I.I. Contribution of Natural and Anthropogenic Emissions of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> to the Atmosphere from the Territory of Russia to Global Climate Changes in the Twenty-first Century // *Dokl. Earth Sc.* – 2019. – V. 488. – P. 1066-1071. – Интернет-ресурс: <https://doi.org/10.1134/S1028334X19090010> – Режим доступа – свободный.

---

Dolman A.J., Shvidenko A., Schepaschenko D., Ciais P., Tchepakova N., Chen T., van der Molen M.K., Beletti Marchesini L., Maximov T.C., Maksyutov S., Schulze E.-D. An estimate of the terrestrial carbon budget of Russia using inventory-based, eddy covariance and inversion method // *Biogeosciences*. – 2012. – V. 9. – P. 5323-5340. – Интернет-ресурс: <https://doi.org/10.5194/bg-9-5323-2012> – Режим доступа – свободный.

Friedlingstein P., O'Sullivan M., Jones M. W., Andrew R.M., Gregor L., Hauck J., Le Quéré C., Luijckx I.T., Olsen A., Peters G.P., Peters W., Pongratz J., Schwingshackl C., Sitch S., Canadell J.G., Ciais P., Jackson R.B., Alin S.R., Alkama R., Arneeth A., Arora V.K., Bates N.R., Becker M., Bellouin N., Bittig H.C., Bopp L., Chevallier F., Chini L.P., Cronin M., Evans W., Falk S., Feely R.A., Gasser T., Gehlen M., Gkritzalis T., Gloege L., Grassi G., Gruber N., Gürses Ö., Harris I., Hefner M., Houghton R.A., Hurtt G.C., Iida Y., Ilyina T., Jain A.K., Jersild A., Kadono K., Kato E., Kennedy D., Klein Goldewijk K., Knauer J., Korsbakken J.I., Landschütze, P., Lefèvre N., Lindsay K., Liu J., Liu Z., Marland G., Mayot N., McGrath M.J., Metz N., Monacci N.M., Munro D.R., Nakaoka S.-I., Niwa Y., O'Brien K., Ono T., Palmer P.I., Pan N., Pierrot D., Pockock K., Poulter B., Resplandy L., Robertson E., Rödenbeck C., Rodriguez C., Rosan T.M., Schwinger J., Séférian R., Shutler J.D., Skjelvan I., Steinhoff T., Sun Q., Sutton A.J., Sweeney C., Takao S., Tanhua T., Tans P.P., Tian X., Tian H., Tilbrook B., Tsjino H., Tubiello F., van der Werf G.R., Walker A.P., Wanninkhof R., Whitehead C., Willstrand Wranne A., Wright R., Yuan W., Yue C., Yue X., Zaehle S., Zeng J., Zheng B. Global Carbon Budget 2022 // *Earth Syst. Sci. Data*. – 2022. – V. 14. – P. 4811-4900. – Интернет-ресурс: <https://doi.org/10.5194/essd-14-4811-2022> – Режим доступа – свободный.

Golubyatnikov L.L., Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O. Estimation of Carbon Balance in Steppe Ecosystems of Russia // *Izvestiya Atmospheric and Oceanic Physics* – 2023. – V. 59. – No. 1. – P. 63-77. – Интернет-ресурс: <https://doi.org/10.1134/s0001433823010048>.

Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Intergovernmental Panel on Climate Change / Penman J., Gytarsky M., Hiraishi T., Krug T., Kruger D., Pipatti R., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K. and Wagner F. (eds.). – IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. UNEP. Technical Support Unit. Institute for Global Environmental Strategies. – Hayama, Japan, 2003. – 632 p. – Интернет-ресурс: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf\\_contents.html](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_contents.html) – Режим доступа – свободный.

Grassi G., Stehfest E., Rogelj J., Vuuren D., Cescatti A., House J., Nabuurs G.-J., Rossi S. Alkama R., Abad Viñas R., Calvin K.V., Ceccherini G., Federici S., Fujimori S., Gusti M., Hasegawa T., Havlik P., Humpenöder F., Korosuo A., Perugini L., Tubiello F., Popp A. Critical adjustment of land mitigation pathways for assessing countries' climate progress // *Nature Climate Change*. – 2021. – V. 11. – P. 425-434. DOI: 10.1038/s41558-021-01033-6. – Интернет-ресурс: <https://www.nature.com/articles/s41558-021-01033-6> – Режим доступа – свободный.

---

---

Grassi G., Schwingshackl C., Gasser T., Houghton R.A., Sitch S., Canadell J.G., Cescatti A., Ciais P., Federici S., Friedlingstein P., Kurz W.A., Sanz Sanchez M.J., Abad Viñas R., Alkama R., Bultan S., Ceccherini G., Falk S., Kato E., Kennedy D., Knauer J., Korosuo A., Melo J., McGrath M.J., Nabel J.E.M.S., Poulte, B., Romanovskaya A.A., Rossi S., Tian H., Walker A.P., Yuan W., Yue X., Pongratz J. Harmonising the land-use flux estimates of global models and national inventories for 2000-2020 // *Earth Syst. Sci. Data.* – 2023. – V. 15. – P. 1093-1114. – Интернет-ресурс: <https://doi.org/10.5194/essd-15-1093-2023> – Режим доступа – свободный.

IPCC 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories / Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K. (eds). – Published: IGES, Japan, Technical Support Unit, Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan. – 2006. – Vol. 4. – Chapter 3. – 42 p. – Интернет-ресурс: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/> – Режим доступа – свободный.

IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate / H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.). – Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, – 2019. – P. 447-587. – Интернет-ресурс: <https://doi.org/10.1017/9781009157964.007> – Режим доступа – свободный.

Liu Z., Kimball J.S., Ballantyne A.P., Parazoo N.C., Wang W. J., Bastos A., Madani N., Natali S.M., Watts J.D., Rogers B.M., Ciais P., Yu K., Virkkala A.-M., Chevallier F., Peters W., Patra P.K., Chandra N. Respiratory loss during late-growing season determines the net carbon dioxide sink in northern permafrost regions // *Nature Communications.* – 2022. – V. 13. – P. 5626. – Интернет-ресурс: <https://doi.org/10.1038/s41467-022-33293-x> – Режим доступа – свободный.

Pan Y., Birdsey R.A., Fang J., Houghton R., Kauppi P.E., Kurz W.A., Phillips O.L., Shvidenko A., Lewis S.L., Canadell J.G., Ciais P., Jackson R.B., Pacala S., McGuire A.D., Piao S., Rautiainen A., Sitch S., Hayes D., Wayson C. A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests // *Science.* – 2011. – V. 333. – P. 988-993. – DOI: 10.1126/science.1201609.

Report of the IPCC expert meeting on IPCC Guidance on estimating emissions and removals from land uses such as agriculture and forestry – 13-15 May 2008, Helsinki, Finland, 2008. – 13 p. – Интернет-ресурс: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/meeting/pdffiles/0805\\_HelsinkiMeeting\\_report.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/meeting/pdffiles/0805_HelsinkiMeeting_report.pdf) – Режим доступа – свободный.

Romanov A.A., Tamarovskaya A.N., Gloor E., Brien R., Gusev B.A., Leonenko E.V., Vasiliev A.S., Krikunov E.E. Reassessment of carbon emissions from fires and a new estimate of net carbon uptake in Russian forests in 2001-2021 – *Science of The Total Environment.* – 2022. – V. 846. – P. 157322. – Интернет-ресурс: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157322> – Режим доступа – свободный.

---

Saunois M., Stavert A.R., Poulter B., Bousquet P., Canadell J.G., Jackson R.B., Raymond P.A., Dlugokencky E.J., Houweling S., Patra P.K., Ciais P., Arora V.K., Bastviken D., Bergamaschi P., Blake D.R., Brailsford G., Bruhwiler L., Carlson K.M., Carrol M., Zhuang Q. Supplemental data of the Global Carbon Project Methane Budget 2019 (Version 2.0) [Data set] // Global Carbon Project. – 2020. – Интернет-ресурс: <https://doi.org/10.18160/GCP-CH4-2019> – Режим доступа – свободный.

Schepaschenko D., Moltchanova E., Fedorov S., Karminov V., Ontikov P., Santoro M., See L., Kositsyn V., Shvidenko A., Romanovskaya A., Korotkov V., Lesiv M., Bartalev S., Fritz S., Shchepashchenko M., Kraxner F. Russian forest sequesters substantially more carbon than previously reported // Scientific Reports. – 2021. – V. 11. – P. 12825 – DOI 10.1038/s41598-021-92152-9. – Интернет-ресурс: [www.nature.com/articles/s41598-021-92152-9](http://www.nature.com/articles/s41598-021-92152-9) – Режим доступа – свободный.

Sitch S., Friedlingstein P., Gruber N., Jones S. D., Murray-Tortarolo G., Ahlström A., Doney S.C., Graven H., Heinze C., Huntingford C., Levis S., Levy P.E., Lomas M., Poulter B., Viovy N., Zaehle S., Zeng N., Arneth A., Bonan G., Bopp L., Canadell J.G., Chevallier F., Ciais P., Ellis R., Gloor M., Peylin P., Piao S.L., Le Quéré C., Smith B., Zhu Z., Myneni R. Recent trends and drivers of regional sources and sinks of carbon dioxide // Biogeosciences. – 2015. – V. 12. – P. 653-679. – DOI:10.5194/bg-12-653-2015.

Tian H., Xu R., Canadell J.G., Thompson R.L., Winiwarter W., Suntharalingam P. et al. A comprehensive quantification of global nitrous oxide sources and sinks // Nature. – 2020. – V. 586(7828). – P. 248-256. – Интернет-ресурс: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2780-0> – Режим доступа – свободный.

Tian H., Yang J., Lu C., Xu R., Canadell J.G., Jackson R.B., Arneth A., Chang J., Chen G., Ciais P., Gerber S., Ito A., Huang Y., Joos F., Lienert S., Messina P., Olin S., Pan S., Peng C., Saikawa E., Thompson R.L., Vuichard N., Winiwarter W., Zaehle S., Zhang B., Zhang K., Zhu Q. The Global N<sub>2</sub>O Model Intercomparison Project // Bulletin of the American Meteorological Society. – 2018. – V. 99. – No. 6. – P. 1231-1251. – Интернет-ресурс: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-17-0212.1> – Режим доступа – свободный.

Voigt C., Marushchak M.E., Abbott B.W., Biasi C., Elberling B., Siciliano S.D. et al. Nitrous oxide emissions from permafrost-affected soils // Nature Reviews Earth & Environment. – 2020. – V. 1(8). – P. 420-434. – Интернет-ресурс: <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0063-9> – Режим доступа – свободный.

Zhang Z., Poulter B., Feldman A.F., Ying Q., Ciais P., Peng S., Li X. Recent intensification of wetland methane feedback // Nature Climate Change. – 2023. – V. 13. – P. 430-433. – Интернет-ресурс: <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01629-0> – Режим доступа – свободный.

---

**Потоки парниковых газов от природных экосистем  
Российской Федерации, тыс. т CO<sub>2</sub>-экв. в год  
(по данным Отчет по НИР ..., 2018)**

Субъект	Экосистемы тундр										Лесные экосистемы		
	Чистое поглощение (-)/ выбросы (+) природными экосистемами			Выбросы от разложения навоза северных олений			Выбросы от пожаров <sup>1)</sup>	Итого	Чистое поглощение (-)/ выбросы (+)		Выбросы от пожаров	Итого	
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>			CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>			N <sub>2</sub> O
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>		
<b>Россия</b>	<b>-678182</b>	<b>524912</b>	<b>217929</b>	<b>3</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>64680</b>	<b>-809936</b>	<b>16106</b>	<b>11560</b>	<b>-775151,9<sup>2)</sup></b>		
Центральный ф.о.	0	0	0	0	0	0	0	-76258,0	31,5	27,4	-76199,2		
Белгородская область								-1771	0,2	0,2	-1770,5		
Брянская область								-5836	4,7	4,0	-5826,8		
Владимирская область								-4991	0,5	0,4	-4990,4		
Воронежская область								-854	1,1	1,0	-852,1		
Ивановская область								-2697	0,5	0,5	-2695,6		
Калужская область								-4832	1,7	1,5	-4828,9		
Костромская область								-13167	0,3	0,2	-13166,8		
Курская область								-1174	1,7	1,6	-1170,8		
Липецкая область								-811	0,4	0,4	-810,1		
Московская область								-6620	4,7	3,5	-6612,0		
Орловская область								-1197	2,7	2,7	-1191,4		
Рязанская область								-722	0,8	0,7	-720,9		
Смоленская область								-9712	4,8	4,2	-9702,6		
Тамбовская область								-1916	1,0	1,0	-1914,3		
Тверская область								-13863	2,5	1,9	-13858,3		
Тульская область								-1669	2,8	2,8	-1663,3		
Ярославская область								-4252	0,9	0,7	-4250,2		
г. Москва								-174	0	0	-174,3		

<sup>1)</sup> выбросы N<sub>2</sub>O от пожаров в тундрах ниже 0,005 тыс. т CO<sub>2</sub>-экв., поэтому не указаны в таблице.  
<sup>2)</sup> с учетом выбросов от осушенных органических почв в целом по стране: CO<sub>2</sub> - 5077,0; CH<sub>4</sub> - 478,4; N<sub>2</sub>O - 1561,7 тыс. т CO<sub>2</sub>-экв.

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Северо-Западный ф.о.</b>	<b>-326417</b>	<b>96125</b>	<b>44019</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>-186269</b>	<b>-84746</b>	<b>36,3</b>	<b>29,6</b>	<b>-84679,9</b>
Республика Карелия							0	-11195	0,3	0,2	-11194,5
Республика Коми	-134733	18385	8290	0,1	0,6	0,1	-108056	-28892	6,2	4,8	-28881,2
Архангельская область	-169680	61047	27774	0,3	1,3	0,3	-80857	-7591	1,4	1,2	-7588,3
Вологодская область							0	-5055	0,5	0,4	-5053,7
Калининградская область							0	-1304	7,8	6,8	-1289,4
Ленинградская область							0	-9439	7,1	5,0	-9426,9
Мурманская область	-22004	16693	7955	0,1	0,4	0,0	2645	-4167	0,4	0,3	-4166,7
Новгородская область							0	-9027	5,8	5,5	-9016,0
Псковская область							0	-9512	6,5	5,1	-9500,0
г. Санкт-Петербург							0	-65	0,0	0,0	-65,3
Ненецкий а.о.							0	1501	0,4	0,3	1502,1
<b>Южный ф.о.</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-6970</b>	<b>7,5</b>	<b>6,7</b>	<b>-6956,0</b>
Республика Адыгея							0	-975	0,9	0,6	-973,5
Республика Калмыкия							0	502	1,6	1,8	505,7
Республика Крым							0	-1014			-1014,3
Краснодарский край							0	-5866	3,1	2,3	-5860,4
Астраханская область							0	-110			-109,7
Волгоградская область							0	443	0,4	0,4	443,5
Ростовская область							0	170	1,6	1,6	172,9
г. Севастополь							0	-120			-120,2
<b>Северо-Кавказский ф.о.</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-5562</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>-5550,8</b>
Республика Дагестан							0	-1450	3,0	3,1	-1444,2
Республика Ингушетия							0	-250	0,0	0,0	-250,2
Кабардино-Балкарская Республика							0	-565	1,1	0,9	-563,1
Карачаево-Черкесская Республика							0	-1035	0,7	0,6	-1034,0
Республика Северная Осетия							0	-593	0,1	0,2	-592,5

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Чеченская Республика							0	-938	0,1	0,2	-937,6
Ставропольский край							0	-730	0,5	0,6	-729,3
<b>Приволжский ф.о.</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-93917</b>	<b>55</b>	<b>51</b>	<b>-93810,6</b>
Республика Башкортостан							0	-11957	17,0	17,3	-11922,2
Республика Марий Эл							0	-3667	0,2	0,3	-3666,6
Республика Мордовия							0	-3787	1,1	1,1	-3785,0
Республика Татарстан							0	-4693	2,3	2,1	-4688,4
Удмуртская Республика							0	-8093	6,6	5,5	-8081,2
Чувашская Республика							0	-2383	0,9	0,8	-2381,8
Пермский край							0	-24901	8,3	7,1	-24885,6
Кировская область							0	-11238	3,5	3,2	-11231,1
Нижегородская область							0	-8576	0,8	0,5	-8574,4
Оренбургская область							0	-1959	1,9	1,9	-1954,7
Пензенская область							0	-3746	3,5	3,6	-3738,7
Самарская область							0	-2551	2,5	2,1	-2546,1
Саратовская область							0	-1563	0,8	0,8	-1560,9
Ульяновская область							0	-4805	5,5	5,0	-4794,1
<b>Уральский ф.о.</b>	<b>-67499</b>	<b>76868</b>	<b>33957</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>43333</b>	<b>-103262</b>	<b>730,9</b>	<b>640,4</b>	<b>-101890,4</b>
Курганская область							0	-5395	7,9	7,1	-5380,4
Свердловская область							0	-27965	15,2	12,4	-27937,6
Тюменская область							0	-10936	5,1	4,1	-10926,9
Челябинская область							0	-8114	19,8	19,4	-8075,0
Ханты-Мансийский а.о.							0	-34560	58,7	42,7	-34458,3
Ямало-Ненецкий а.о.	-67499	76868	33957	1,2	5,4	0,6	43333	-16291	624,2	554,8	-15112,2

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Сибирский ф.о.</b>	<b>-128993</b>	<b>171283</b>	<b>70496</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>112787</b>	<b>-34003</b>	<b>10493,5</b>	<b>7384,5</b>	<b>-322124,6</b>
Республика Алтай							0	-3017	0,2	0,2	-3016,5
Республика Бурятия							0	-30982	3262,2	2203,7	-25516,2
Республика Тыва							0	5565	11,3	7,6	5584,2
Республика Хакасия							0	-998	0,2	0,2	-997,2
Алтайский край							0	-6945	4,3	4,0	-6937,2
Забайкальский край							0	-47658	1597,0	1083,3	-44977,7
Красноярский край	-128993	171283	70496	0,2	0,8	0,0	112787	-91661	2945,5	2280,2	-86435,5
Иркутская область							0	-102789	2549,8	1714,6	-98524,9
Кемеровская область							0	-10549	9,9	9,1	-10530,4
Новосибирская область							0	-8397	5,0	4,5	-8387,2
Омская область							0	-11258	1,6	1,2	-11255,0
Томская область							0	-31313	106,5	75,8	-31130,9
<b>Дальневосточный ф.о.</b>	<b>-155273</b>	<b>180636</b>	<b>69457</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>94828</b>	<b>-99218</b>	<b>4745,8</b>	<b>3415,0</b>	<b>-91057,6</b>
Республика Саха (Якутия)	-56009	93202	36491	0,3	1,1	5,5	73692	-59045	88,9	77,1	-58879,1
Камчатский край							0	-22907	688,6	523,8	-21694,8
Приморский край							0	-12687	50,8	35,9	-12600,0
Хабаровский край							0	-8515	163,8	143,7	-8207,5
Амурская область							0	-12108	3329,3	2302,4	-6476,1
Магаданская область							0	4226	268,5	201,4	4696,4
Сахалинская область							0	-10294	2,8	2,3	-10288,9
Еврейская а.о.							0	-2255	63,9	59,2	-2132,3
Чукотский а.о.	-99265	87434	32966	0,3	1,1	0,2	21137	24366	89,2	69,1	24524,7

Продолжение таблицы

Субъект	Травяные экосистемы												Итого
	Степные экосистемы				Травяные экосистемы сенокосов и пастбищ				Травяные пожары				
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O		CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O			
13	14	15	16	17	18	19	20	21					
<i>Россия</i>	<i>-416230,8</i>	<i>-4039,4</i>	<i>-1,2</i>	<i>-6144,8</i>	<i>730,8</i>	<i>6057,2</i>	<i>662,2</i>	<i>-370754,9<sup>3)</sup></i>					
<b>Центральный ф.о.</b>	<b>-24754,7</b>	<b>-135,5</b>	<b>0,0</b>	<b>2250,4</b>	<b>44,6</b>	<b>356,6</b>	<b>90,5</b>	<b>-22049,6</b>					
Белгородская область	-2913,0	-25,1	0,0	1150,6	1,1	8,7	1,9	-1773,8					
Брянская область				449,8	16,2	129,2	5,6	606,9					
Владимирская область				-119,2	0,9	6,8	1,0	-109,5					
Воронежская область	-1257,2	-12,5	0,0	283,2	2,3	19,2	7,2	-949,9					
Ивановская область				-111,1	1,5	12,3	0,2	-96,7					
Калужская область				-217,1	3,6	29,8	2,4	-178,6					
Костромская область				-227,7	1,0	7,6	0,5	-218,1					
Курская область	-2747,9	-17,8	0,0	63,4	2,3	18,3	7,6	-2665,8					
Липецкая область	-1137,8	-7,8	0,0	-56,3	0,3	2,8	5,4	-1187,4					
Московская область				-27,3	1,1	9,0	2,4	-12,0					
Орловская область	-3611,8	-20,1	0,0	79,8	2,3	17,9	9,2	-3512,6					
Рязанская область				-210,3	2,8	21,5	10,1	-164,9					
Смоленская область				-107,3	3,0	24,5	4,8	-69,8					
Тамбовская область	-2880,8	-22,1	0,0	-42,8	0,8	6,5	21,7	-2893,0					
Тверская область				-435,0	2,5	19,9	0,7	-411,2					
Тульская область	-10206,2	-55,1	0,0	51,3	1,3	10,2	9,1	-10179,5					
Ярославская область				-280,1	0,6	5,1	0,5	-273,3					
г. Москва				2006,6	0,8	7,1	0,0	2014,5					

<sup>3)</sup> с учетом выбросов от осушенных органических почв в целом по стране: CO<sub>2</sub> - 37475,2; CH<sub>4</sub> - 1915,5; N<sub>2</sub>O - 8218,8 тыс. т CO<sub>2</sub>-экв.

Продолжение таблицы

I	13	14	15	16	17	18	19	20	21
<b>Северо-Западный ф.о.</b>				<b>-1134,9</b>	<b>10,4</b>	<b>82,9</b>	<b>6,3</b>	<b>7,3</b>	<b>-1028,1</b>
Республика Карелия				-98,1	0,1	1,0	0,0	0,0	-96,9
Республика Коми				-203,0	0,8	6,0	0,0	0,2	-196,1
Архангельская область				-579,0	0,8	6,5	0,0	0,3	-571,4
Вологодская область				-476,9	1,8	14,3	0,1	0,1	-460,6
Калининградская область				408,5	4,9	39,2	3,1	3,4	459,1
Ленинградская область				56,3	0,5	4,4	0,6	0,7	62,5
Мурманская область				-2,9	0,0	0,1	0,0	0,0	-2,8
Новгородская область				-126,8	0,6	4,7	1,2	1,3	-119,0
Псковская область				-113,0	0,8	6,8	1,1	1,2	-103,0
г. Санкт-Петербург									0,0
Ненецкий а.о.							0,0	0,0	0,0
<b>Южный ф.о.</b>	<b>-20810,1</b>	<b>-1055,8</b>	<b>-0,3</b>	<b>41829,5</b>	<b>124,0</b>	<b>1100,2</b>	<b>147,3</b>	<b>160,3</b>	<b>21495,0</b>
Республика Адыгея	-61,1	-3,6	0,0	457,9	2,7	22,6	2,1	2,3	422,8
Республика Калмыкия	11505,7	-473,4	-0,1	14302,9	59,3	549,2	13,7	14,9	25972,2
Республика Крым	-4823,3	-48,2	0,0	1348,3	4,6	39,0	0,0	0,0	-3479,7
Краснодарский край	-3524,2	-39,1	0,0	2596,2	6,4	50,5	35,7	38,8	-835,8
Астраханская область	-1127,8	-133,7	0,0	10323,7	27,4	239,4	19,7	21,5	9370,2
Волгоградская область	-16909,6	-266,0	-0,1	4131,2	15,0	124,1	34,1	37,1	-12834,3
Ростовская область	-5869,9	-91,8	0,0	8669,4	8,5	75,0	42,1	45,8	2879,1
г. Севастополь					0,1	0,5	0,0	0,0	0,6
<b>Северо-Кавказский ф.о.</b>	<b>-448,9</b>	<b>-229,5</b>	<b>-0,1</b>	<b>38730,7</b>	<b>143,0</b>	<b>1208,2</b>	<b>75,0</b>	<b>81,6</b>	<b>39559,9</b>
Республика Дагестан	-78,8	-78,9	0,0	23280,2	90,6	766,0	9,6	10,4	23999,1
Республика Ингушетия	132,4	-6,5	0,0	2112,9	1,7	15,2	0,1	0,1	2255,9
Кабардино-Балкарская Республика	-1121,8	-18,4	0,0	1046,6	9,4	77,3	12,5	13,6	19,2
Карачаево-Черкесская Республика	-355,5	-10,1	0,0	2239,0	13,9	117,5	4,3	4,7	2013,7
Республика Северная Осетия	-340,6	-9,2	0,0	729,2	4,6	37,7	5,2	5,7	432,6
Чеченская Республика	815,1	-40,2	0,0	3721,5	5,2	40,5	4,3	4,7	4551,1
Ставропольский край	500,3	-66,2	0,0	5601,3	17,6	154,0	39,0	42,4	6288,4

Продолжение таблицы

I	13	14	15	16	17	18	19	20	21
<b>Приволжский ф.о.</b>	<b>-50360,3</b>	<b>-627,0</b>	<b>-0,2</b>	<b>-11886,1</b>	<b>151,4</b>	<b>1187,8</b>	<b>101,4</b>	<b>110,3</b>	<b>-61322,7</b>
Республика Башкортостан	-15998,1	-81,2	0,0	-5546,3	42,7	332,4	5,6	6,1	-21238,7
Республика Марий Эл				88,7	2,0	15,8	0,3	0,3	107,1
Республика Мордовия				-259,4	2,5	19,1	6,9	7,5	-223,5
Республика Татарстан	-588,0	-19,3	0,0	-535,6	25,1	191,9	5,2	5,7	-915,1
Удмуртская Республика				-706,9	5,6	43,4	0,2	0,2	-657,5
Чувашская Республика				-78,8	8,5	68,6	1,3	1,4	1,1
Пермский край				-643,9	7,5	58,6	0,4	0,5	-576,8
Кировская область				-810,4	2,8	21,8	0,7	0,8	-784,3
Нижегородская область				-568,3	4,0	31,6	3,6	3,9	-525,1
Оренбургская область	-10272,0	-264,5	-0,1	-2918,4	28,6	229,3	21,8	23,8	-13151,4
Пензенская область	-5456,4	-47,4	0,0	10,6	3,1	24,0	14,4	15,6	-5436,1
Самарская область	-4759,7	-40,9	0,0	-494,2	4,6	37,4	7,1	7,7	-5238,0
Саратовская область	-8405,6	-130,3	0,0	809,4	9,4	75,1	25,4	27,6	-7589,1
Ульяновская область	-4880,6	-43,5	0,0	-232,6	5,0	38,9	8,5	9,2	-5095,2
<b>Уральский ф.о.</b>	<b>-53608,4</b>	<b>-253,4</b>	<b>-0,1</b>	<b>-9639,5</b>	<b>17,9</b>	<b>138,6</b>	<b>26,1</b>	<b>29,1</b>	<b>-63289,6</b>
Курганская область	-19050,7	-87,0	0,0	-2217,0	4,3	33,8	4,4	4,8	-21307,4
Свердловская область				-620,1	2,9	22,2	0,8	0,9	-593,4
Тюменская область	-9774,7	-43,8	0,0	-3206,3	6,5	49,9	0,8	0,8	-12966,8
Челябинская область	-24783,0	-122,6	0,0	-2688,0	3,7	29,4	18,7	20,4	-27521,4
Ханты-Мансийский а.о.				-524,2	0,4	3,3	1,1	1,2	-518,1
Ямало-Ненецкий а.о.				-383,9	0,0	0,1	0,4	1,1	-382,4

Продолжение таблицы

1	13	14	15	16	17	18	19	20	21
<b>Сибирский ф.о.</b>	<b>-266248,4</b>	<b>-1738,1</b>	<b>-0,5</b>	<b>-60767,1</b>	<b>218,9</b>	<b>1820,7</b>	<b>134,7</b>	<b>146,6</b>	<b>-326433,2</b>
Республика Алтай	-9375,6	-97,1	0,0	-1316,6	24,6	206,6	0,1	0,1	-10558,0
Республика Бурятия	-19115,8	-151,2	0,0	-6095,0	36,9	303,7	2,6	2,8	-25015,9
Республика Тыва	-26697,2	-401,7	-0,1	-1937,5	16,1	136,0	0,3	0,3	-28883,8
Республика Хакасия	-18773,9	-103,1	0,0	-2122,8	10,4	82,4	0,9	1,0	-20905,1
Алтайский край	-17809,2	-124,7	0,0	-5941,2	25,9	200,4	13,1	14,3	-23621,4
Забайкальский край	-63714,4	-281,5	-0,1	-19371,7	46,4	381,2	4,1	4,5	-82931,6
Красноярский край	-24228,2	-130,8	0,0	-5759,9	13,4	159,7	52,7	57,4	-29835,6
Иркутская область	-19438,6	-134,3	0,0	-2517,4	9,2	69,9	6,1	6,7	-21998,5
Кемеровская область	-17968,1	-85,3	0,0	-162,4	7,5	60,1	9,6	10,5	-18128,2
Новосибирская область	-29440,7	-147,0	0,0	-10359,7	17,9	138,4	26,5	28,9	-39735,7
Омская область	-19686,8	-81,5	0,0	-4136,5	7,8	60,0	13,3	14,5	-23809,2
Томская область				-1046,3	2,9	22,4	5,2	5,6	-1010,1
<b>Дальневосточный ф.о.</b>				<b>-5527,8</b>	<b>20,6</b>	<b>162,2</b>	<b>20,5</b>	<b>28,4</b>	<b>-5296,1</b>
Республика Саха (Якутия)				-2600,1	15,4	115,9	2,1	8,2	-2458,5
Камчатский край				544,7	0,4	3,1	2,8	3,1	554,1
Приморский край				-518,5	1,9	15,0	1,6	1,7	-498,2
Хабаровский край				-420,7	0,4	3,1	3,6	3,9	-409,6
Амурская область				-2045,3	1,3	10,3	6,5	7,0	-2020,1
Магаданская область				-127,1	0,1	0,8	1,2	1,3	-123,8
Сахалинская область				34,6	0,7	10,3	0,2	0,2	45,9
Еврейская а.о.				-316,1	0,4	3,5	2,5	2,7	-307,0
Чукотский а.о.				-79,3	0,0	0,0	0,1	0,3	-78,8

Продолжение таблицы

Субъект	Водно-болотные угодья											Итого по всем экосистемам
	Болотные экосистемы			Пресноводные водоемы			Реки и ручьи		Итого			
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>		CH <sub>4</sub>		
<b>I</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>			
<i>Россия</i>	<i>-860125,3</i>	<i>731989,3</i>	<i>8024,6</i>	<i>58106,8</i>	<i>8120,4</i>	<i>77732,7</i>	<i>7759,4</i>	<i>32539,6<sup>4)</sup></i>	<i>-1048687,1</i>			
<b>Центральный ф.о.</b>	<b>-18748,0</b>	<b>13644,8</b>	<b>187,2</b>	<b>1433,6</b>	<b>200,3</b>	<b>1288,6</b>	<b>128,6</b>	<b>-1864,9</b>	<b>-100113,6</b>			
Белгородская область				29,7	4,2	17,7	1,8	53,3	-3490,9			
Брянская область	-1339,4	971,4	16,9	28,0	3,9	48,6	4,9	-265,8	-5485,8			
Владимирская область	-1514,4	1093,9	16,5	26,6	3,7	57,1	5,7	-311,0	-5410,8			
Воронежская область				61,6	8,6	84,8	8,5	163,5	-1638,5			
Ивановская область	-644,7	459,8	6,3	57,9	8,1	89,7	8,9	-14,0	-2806,2			
Калужская область	-374,0	275,0	3,9	13,8	1,9	44,2	4,4	-30,8	-5038,3			
Костромская область	-2360,4	1699,1	22,4	87,2	12,2	145,9	14,6	-379,1	-13763,9			
Курская область				41,2	5,8	39,0	3,9	89,9	-3746,7			
Липецкая область				22,8	3,2	38,2	3,8	68,0	-1929,5			
Московская область	-2662,3	1952,2	25,4	76,1	10,6	131,9	13,2	-452,9	-7076,9			
Орловская область	-4,6	3,3	0,1	11,2	1,6	26,5	2,6	40,7	-4663,3			
Рязанская область	-1725,6	1274,2	15,1	53,3	7,4	121,0	12,1	-242,4	-1128,2			
Смоленская область	-3048,4	2223,7	37,2	50,0	7,0	75,6	7,5	-647,5	-10419,8			
Тамбовская область				43,8	6,1	49,5	4,9	104,3	-4703,0			
Тверская область	-4028,2	2948,8	32,0	292,6	40,9	178,1	17,8	-518,0	-14787,5			
Тульская область				18,5	2,6	39,8	4,0	64,9	-11777,9			
Ярославская область	-1045,9	743,3	11,5	519,4	72,6	100,9	10,1	411,9	-4111,6			
г. Москва								0,0	1840,3			

<sup>4)</sup> с учетом выбросов от торфоразработок в целом по стране: CO<sub>2</sub> - 545,9; CH<sub>4</sub> - 153,8; N<sub>2</sub>O - 26,2 тыс. т CO<sub>2</sub>-экв.; и с учетом выбросов от торфяных пожаров в целом по стране: CO<sub>2</sub> - 111,9; CH<sub>4</sub> - 70,0; N<sub>2</sub>O - 23,8 тыс. т CO<sub>2</sub>-экв.

Продолжение таблицы

1	22	23	24	25	26	27	28	29	30
<b>Северо-Западный ф.о.</b>	<b>-121479,8</b>	<b>97838,8</b>	<b>812,3</b>	<b>12276,2</b>	<b>1715,6</b>	<b>6075,6</b>	<b>606,5</b>	<b>-2154,8</b>	<b>-274131,4</b>
Республика Карелия	-17212,6	12287,3	157,9	5605,7	783,4	700,8	70,0	2392,4	-8898,9
Республика Коми	-26244,0	23109,3	121,4	276,7	38,7	1804,4	180,1	-713,4	-137847,1
Архангельская область	-33686,4	27524,1	197,7	529,1	73,9	1781,1	177,8	-3402,6	-92419,1
Вологодская область	-14063,4	10155,0	133,7	787,6	110,1	442,7	44,2	-2390,1	-7904,4
Калининградская область	-384,7	276,1	4,2	209,6	29,3	22,5	2,2	159,2	-671,1
Ленинградская область	-6326,1	4663,1	44,8	1752,8	245,0	185,3	18,5	583,4	-8781,0
Мурманская область	-4649,0	3833,4	21,5	1339,4	187,2	373,3	37,3	1143,1	-381,7
Новгородская область	-4778,8	3377,4	39,6	25,7	3,6	132,7	13,2	-1186,5	-10321,5
Псковская область	-3827,6	2722,2	38,3	469,8	65,7	193,4	19,3	-318,9	-9921,9
г. Санкт-Петербург	-38,2	38,2	0,0					0,0	-65,3
Ненецкий а.о.	-10269,2	9852,6	53,3	1279,7	178,8	439,4	43,9	1578,6	3080,7
<b>Южный ф.о.</b>	<b>-9453,0</b>	<b>6855,2</b>	<b>119,1</b>	<b>2392,5</b>	<b>334,3</b>	<b>3122,2</b>	<b>311,7</b>	<b>3682,0</b>	<b>18221,0</b>
Республика Адыгея	0,0	0,0	0,0	96,8	13,5	94,2	9,4	213,9	-336,8
Республика Калмыкия	-2,3	1,7	0,0	100,8	14,1	34,4	3,4	152,1	26630,0
Республика Крым				254,0	35,5	180,2	18,0	487,7	-4006,3
Краснодарский край	-5353,8	3882,5	67,4	361,8	50,6	611,6	61,0	-318,9	-7015,1
Астраханская область	-3839,4	2784,3	48,4	452,3	63,2	1647,0	164,4	1320,2	10580,7
Волгоградская область				690,3	96,5	195,6	19,5	1002,0	-11388,9
Ростовская область	-257,4	186,7	3,2	436,6	61,0	359,2	35,9	825,1	3877,1
г. Севастополь				0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-119,6

Продолжение таблицы

<i>I</i>	22	23	24	25	26	27	28	29	30
<b>Уральский ф.о.</b>	<b>-174992,0</b>	<b>194067,6</b>	<b>1709,0</b>	<b>16405,9</b>	<b>2292,7</b>	<b>23021,3</b>	<b>2298,0</b>	<b>64802,5</b>	<b>-57044,4</b>
Курганская область	-180,6	130,4	2,3	238,1	33,3	44,6	4,5	272,6	-26415,3
Свердловская область	-19825,5	16644,5	191,0	204,9	28,6	483,3	48,2	-2225,0	-30755,9
Тюменская область	-41574,4	36587,1	436,3	457,5	63,9	696,4	69,5	-3263,7	-27157,3
Челябинская область	-59,1	40,9	0,9	203,2	28,4	70,8	7,1	292,2	-35304,3
Ханты-Мансийский а.о.	-90792,7	115423,3	1010,2	2267,3	316,9	4671,4	466,3	33362,7	-1613,7
Ямало-Ненецкий а.о.	-22559,8	25241,4	68,2	13034,9	1821,6	17055,0	1702,5	36363,7	64202,1
<b>Сибирский ф.о.</b>	<b>-235771,2</b>	<b>190002,8</b>	<b>2403,0</b>	<b>13377,7</b>	<b>1869,5</b>	<b>18057,9</b>	<b>1802,6</b>	<b>-8257,6</b>	<b>-544028,3</b>
Республика Алтай	-167,6	121,5	2,1	8,5	1,2	218,3	21,8	205,8	-13368,6
Республика Бурятия	-7621,5	5892,6	79,4	1450,8	202,8	384,8	38,4	427,3	-50104,9
Республика Тыва	-1121,8	833,2	13,2	131,4	18,4	269,0	26,9	170,2	-23129,5
Республика Хакасия	-44,5	32,3	0,6	88,0	12,3	119,0	11,9	219,5	-21682,8
Алтайский край	-2704,0	1959,4	34,2	98,1	13,7	716,1	71,5	188,8	-30369,7
Забайкальский край	-5329,5	4198,9	52,1	79,7	11,1	327,7	32,7	-627,2	-128536,6
Красноярский край	-74053,2	62203,1	559,7	8600,6	1201,9	12991,0	1296,8	12799,9	9316,0
Иркутская область	-22372,8	16717,6	254,1	1676,3	234,3	1006,5	100,5	-2383,6	-122907,0
Кемеровская область	-92,9	67,4	1,2	34,9	4,9	271,0	27,0	313,4	-28345,1
Новосибирская область	-32096,0	22981,8	398,6	514,9	72,0	227,6	22,7	-7878,5	-56001,5
Омская область	-19899,5	15433,3	230,7	276,4	38,6	252,1	25,2	-3643,2	-38707,4
Томская область	-70267,7	59561,8	777,1	418,1	58,4	1274,9	127,3	-8050,0	-40191,1
<b>Дальневосточный ф.о.</b>	<b>-282083,9</b>	<b>216738,7</b>	<b>2601,5</b>	<b>9360,9</b>	<b>1308,2</b>	<b>22372,2</b>	<b>2233,2</b>	<b>-27469,2</b>	<b>-28994,5</b>
Республика Саха (Якутия)	-107869,5	87281,6	971,6	6367,1	889,8	12764,2	1274,1	1678,9	14032,8
Камчатский край	-20592,0	15225,5	126,3	87,9	12,3	1609,5	160,7	-3369,9	-24510,6
Приморский край	-2223,9	1610,2	28,2	488,3	68,2	319,2	31,9	322,2	-12775,9
Хабаровский край	-48362,5	34447,9	467,6	948,0	132,5	2452,8	244,8	-9668,9	-18286,0
Амурская область	-42525,9	30132,5	445,9	520,5	72,7	1878,8	187,5	-9287,9	-17784,1
Магаданская область	-30786,4	23258,1	338,3	58,4	8,2	935,0	93,3	-6095,1	-15222,5
Сахалинская область	-6614,8	5626,1	37,6	50,4	7,0	158,1	15,8	-719,8	-10962,7
Еврейская а.о.	-9605,9	6789,2	134,0	17,5	2,4	53,3	5,3	-2604,2	-5043,5
Чукотский а.о.	-13503,0	12367,6	52,0	822,7	115,0	2201,2	219,7	2275,3	47858,0

Продолжение таблицы

1	22	23	24	25	26	27	28	29	30
<b>Северо-Кавказский ф.о.</b>	<b>-279,6</b>	<b>202,8</b>	<b>3,5</b>	<b>575,8</b>	<b>80,5</b>	<b>418,6</b>	<b>41,8</b>	<b>1043,4</b>	<b>35052,5</b>
Республика Дагестан	-279,6	202,8	3,5	306,7	42,9	115,4	11,5	403,1	22957,9
Республика Ингушетия				2,4	0,3	4,8	0,5	8,0	2013,7
Кабардино-Балкарская Республика				21,7	3,0	45,0	4,5	74,3	-469,6
Карачаево-Черкесская Республика				31,4	4,4	64,2	6,4	106,4	1086,1
Республика Северная Осетия				14,1	2,0	38,9	3,9	58,9	-100,9
Чеченская Республика				37,8	5,3	86,7	8,7	138,5	3751,9
Ставропольский край				161,7	22,6	63,7	6,4	254,3	5813,4
<b>Приволжский ф.о.</b>	<b>-17317,9</b>	<b>12638,7</b>	<b>189,1</b>	<b>2284,2</b>	<b>319,2</b>	<b>3376,4</b>	<b>337,0</b>	<b>1826,7</b>	<b>-153306,6</b>
Республика Башкортостан	-312,2	226,4	3,9	103,1	14,4	314,0	31,3	381,0	-32780,0
Республика Марий Эл	-1308,3	953,0	16,3	37,5	5,2	236,8	23,6	-35,9	-3595,4
Республика Мордовия				16,8	2,3	36,6	3,7	59,4	-3949,1
Республика Татарстан	-211,3	153,2	2,7	293,1	41,0	995,9	99,4	1373,9	-4229,6
Удмуртская Республика	-832,4	601,9	10,1	51,8	7,2	71,2	7,1	-83,1	-8821,7
Чувашская Республика	-215,4	156,2	2,7	49,3	6,9	55,5	5,5	60,7	-2320,0
Пермский край	-4950,4	3639,6	37,9	414,4	57,9	446,3	44,5	-309,8	-25772,2
Кировская область	-7076,0	5155,8	85,6	56,3	7,9	317,2	31,7	-1421,5	-13436,9
Нижегородская область	-2411,9	1752,5	29,9	158,7	22,2	209,9	20,9	-217,8	-9317,3
Оренбургская область				72,5	10,1	158,4	15,8	256,9	-14849,2
Пензенская область				44,4	6,2	45,4	4,5	100,5	-9074,3
Самарская область				289,6	40,5	97,7	9,8	437,5	-7346,5
Саратовская область				380,1	53,1	359,8	35,9	829,0	-8321,1
Ульяновская область				316,8	44,3	31,8	3,2	396,0	-9493,3

---

## ОЦЕНКА ПОТОКОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ЭКОСИСТЕМАХ РЕГИОНОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

*Коротков В.Н.<sup>1)</sup>, Романовская А.А.<sup>1)</sup>, Карелин Д.В.<sup>2)</sup>, Курганова И.Н.<sup>3)</sup>,  
Сирин А.А.<sup>4)</sup>, Корзухин М.Д.<sup>1)</sup>, Лопес де Гереню В.О.<sup>5)</sup>, Голубятников Л.Л.<sup>5)</sup>,  
Глаголев М.В.<sup>5)</sup>, Попов И.О.<sup>1)</sup>, Трунов А.А.<sup>1)</sup>, Вертянкина В.Ю.<sup>1)</sup>,  
Полумиева П.Д.<sup>1)</sup>, Бердин В.Х.<sup>6)</sup>, Юлкин Г.М.<sup>6)</sup>, Посысаев Ю.Ю.<sup>6)</sup>,  
Каримова Д.Б.<sup>6)</sup>, Сконежный М.С.<sup>6)</sup>*

<sup>1)</sup>ФГБУ «Институт глобального климата и экологии  
имени академика Ю.А. Израэля»  
РФ 107258 г. Москва, ул. Глебовская, д. 20Б

<sup>2)</sup> ФГБУН «Институт географии Российской академии наук»  
РФ 119017, Москва, Старомонетный переулок, дом 29, стр. 4

<sup>3)</sup> Обособленное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр  
«Пушинский научный центр биологических исследований Российской академии наук»  
РФ 142290 Московская область, г. Пушкино, Проспект науки, д. 3

<sup>4)</sup>ФГБУН «Институт лесоведения Российской академии наук»  
РФ 143030 Московская обл., п/о Успенское, Советская 21

<sup>5)</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
РФ 119992 Москва, Ломоносовский просп., д. 27 к. 4

<sup>6)</sup> Автономная некоммерческая организация  
«Международный центр устойчивого энергетического развития»  
117292, Россия, г. Москва, ул. Кедрова, д. 8, стр. 2

### **Введение**

В настоящем отчете представлены результаты выполнения научно-исследовательской работы «Научные исследования в области оценки способности различных типов экосистем к поглощению диоксида углерода и подготовка научно-обоснованных предложений по расчёту объёмов поглощения диоксида углерода экосистемами регионов Российской Федерации» шифр 17-14-НИР/01, выполняемой на основании государственного контракта от 21 июля 2017 года № ДК-14-23/55.

Научная новизна настоящей научно-исследовательской работы обусловлена недостаточной изученностью и высокой неопределённостью количественных оценок потоков парниковых газов в природных экосистемах субъектов Российской Федерации.

Практическая значимость НИР определяется необходимостью оценки экологической роли природных экосистем субъектов Российской Федерации,

---

что является необходимым условием обоснованного научного обеспечения позиции страны как экологического «донора» Земли, включая поддержку сделанных, начиная с 2012 года, т.н. «интервенций» РФ в рамках переговорного процесса РКИК ООН о необходимости учета «богатых углеродом экосистем» (тундры, болота, степи) в проблеме регулирования газового состава атмосферы и смягчения изменений климата.

Полученные результаты, при их практическом внедрении, будут способствовать реализации положений Концепции формирования системы мониторинга, отчетности и проверки объема выбросов парниковых газов в Российской Федерации, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации № 716-р от 22.04.2015 в части учёта объёма поглощений парниковых газов.

Полученные результаты также будут способствовать выполнению Перечня поручений Президента Российской Федерации по итогам заседания Государственного совета по вопросу «Об экологическом развитии Российской Федерации в интересах будущих поколений» от 27.12.2016 (пункт 1.е – «разработать и утвердить национальную методiku оценки способности всех типов лесов, водно-болотных угодий и степей, находящихся на территории Российской Федерации, к поглощению диоксида углерода, провести расчёты способности экосистем регионов к его поглощению») в части разработанной национальной методики по оценке поглощения CO<sub>2</sub> на территории лесов, водно-болотных угодий и кормовых угодий, в том числе на территории степей.

## Глава 1.

### Анализ существующих типов природных экосистем по регионам Российской Федерации

Размещение основных типов природных экосистем на территории России определяется основными экологическими факторами – солнечной радиацией, температурой, количеством осадков и орографией [1, 2]. В качестве ведущих экологических факторов, как правило, рассматриваются среднегодовая температура приземного воздуха (Т) и годовые осадки (Р) (рис. 1.1), а также используются производные от них величины.



**Рисунок 1.1.** Расположение основных типов природных экосистем в координатах (Р, Т) [3]  
*Стрелки описывают возможные изменения при потеплении климата*

На территории России наблюдается широтная зональность в расположении основных типов экосистем, выделяемых на основе признаков растительных сообществ (фитоценозов). В пределах каждой широтной зоны формируется зональный тип растительности, который является господствующим в пределах соответствующей зоны. Структурно-функциональные особенности, масштаб и территориальный охват экосистем определяются климато-географическими условиями среды, а также особенностями природопользования в прошлом и настоящем [2]. На территории России четко выражена широтная зональность многих природных процессов и явлений [4]. Это обусловлено большой протяженностью страны с севера на юг и преобладанием равнинного рельефа. На обширных равнинах последовательно представлены следующие природные зоны: арктические пустыни, тундра, лесная

зона, лесостепь, степи, полупустыни, пустыни, субтропики. Наиболее чётко и последовательно природные зоны выражены в европейской части страны, восточнее Уральских гор зональность прослеживается слабее из-за сложного характера рельефа и резко континентального климата.

В пределах каждой зоны формируется определенный тип растительных сообществ, который называется зональным. Каждый из них является господствующим типом растительности в пределах соответствующих зон. Растительность переходных природных зон (лесотундры, лесостепи, полупустыни) представлена сочетанием двух соседних зональных типов. Наряду с зональным типом растительности во всех зонах встречаются также интразональные типы – луга и болота. Формирование болот зависит от локальных особенностей увлажнения, а образование лугов обычно связано с особенностями хозяйственного использования территории (сенокосение и выпас).

В настоящем исследовании рассматриваются четыре крупных типа природных экосистем (тундра, леса, травяные экосистемы (включая степи и луговые угодья), водно-болотные угодья), которые отличаются значительными запасами углерода и играют важную роль в биологическом круговороте углерода и азота [5-10].

### **1.1. Экосистемы тундр**

Тундры представляют собой обширную природную зону, расположенную севернее пояса бореальных лесов и южнее зоны вечных арктических льдов. Согласно классификации климатов Кёппена, климат тундры характеризуется среднемесячной температурой самого тёплого месяца в пределах от 0°C до 10°C. Согласно классификации Алисова, средняя температура самого тёплого месяца – 0-12°C, годовая сумма осадков – менее 300 мм [11]. Лето в тундре короткое и с заморозками. Число дней со средней температурой выше 0°C – 55-118. Вегетационный период начинается в июне, заканчивается в сентябре. Несмотря на малый уровень осадков, почвенная влага испаряется медленно (на испарение затрачивается не более 30% осадков), следствием чего является переувлажнённость почв и заболачивание, усиливаемое наличием слоя многолетней мерзлоты, толщина которого достигает 100 м, в то время как верхний оттаявший слой почвы редко превышает в летний период 40 см (иногда не более 10 см).

В зимний период температура может достигать -30°C. Для тундр характерен низкий снежный покров – 0-30 см. При этом сильные ветра нередко его сдувают, обнажая почву. Среднегодовая температура воздуха отрицательная – от -14 до -4°C.

Характерной чертой биомов тундры является отсутствие деревьев. Растительность представлена различными кустарниковыми формами и травами, а также мхами, лишайниками и одноклеточными водорослями [2].

Тундры на территории Российской Федерации по площади составляют около 30% всех тундр Земли, при этом различают несколько тундровых регионов. Основную часть тундр составляют равнины, в которых чередуются отно-

---

сительно высокие сухие места и переувлажнённые низменности. Болота составляют около 1,8% территории, речные поймы и дельты – около 8,6% [12].

Существует несколько классификаций тундровых ландшафтов. Обычно выделяют три географических подзоны [13]:

1) арктическая тундра – преимущественно травянистая, осоко-пушицевая, с подушкообразными формами полукустарничков и мхами в сырых западинках. Растительный покров не сомкнут, кустарников нет, широко развиты глинистые голые «медальоны» с микроскопическими водорослями и бугры мерзлотного пучения;

2) средняя тундра, или типичная тундра – преимущественно моховая. Вокруг озёр – осоко-пушицевая растительность с небольшой примесью разнотравья и злаков. Появляются ползучие полярные ивы и карликовые берёзы, скрытые мхами и лишайниками;

3) южная тундра – кустарниковая; растительность южных тундр особенно резко различается в зависимости от долготы.

Почвы тундр содержат от 117 до 204,4 ГтС или 30% глобального почвенного резервуара. Именно одно из самых высоких долевых содержаний среди наземных экосистем, пока еще неактивного (находящегося в мерзлоте) углерода в почвах, позволяет считать их, наряду с болотами бореального пояса, важным дополнительным стоком С и долговременной ловушкой для углерода атмосферы. Дополнительное значение придаёт им высокое содержание в мерзлых грунтах и под ними газогидратов с участием в основном метана, стабильность которым придаёт отрицательная температура и высокое давление. В Российской Федерации эти криогенные экосистемы занимают около 65% территории страны, что составляет 40% криогенных экосистем мира, а тундры РФ занимают 45% от площади всего биома [14]. Существование этих сообществ на пределе толерантности наземных фитоценозов и их высокая чувствительность позволяют рассматривать их как индикатор и удобную модель глобальных климатических и антропогенных воздействий [5].

Распределение площадей экосистем тундр (без учета ледников и полярных пустынь) по субъектам РФ показано в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Площади экосистем тундр по субъектам РФ

Субъекты РФ	Площадь, млн га
Мурманская область	6,142
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	25,297
Республика Коми	7,214
Ямало-Ненецкий АО	39,005
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	85,628
Республика Саха	50,959
Чукотский АО	44,217
<b>Итого</b>	<b>258,462</b>

Наибольшие площади тундр сосредоточены на территории Таймырского Долгано-Ненецкого района Красноярского края, Республики Саха (Якутия), Чукотского АО, Ямало-Ненецкого АО, Архангельской области и Ненецкого АО.

## 1.2. Лесные экосистемы

Под лесными экосистемами в настоящей работе подразумеваются покрытые лесной растительностью земли, на которых преобладают различные виды деревьев и кустарников. Согласно Лесоустроительной инструкции, утвержденной Приказом Рослесхоза от 12.12.2011 № 516 (зарегистрировано в Минюсте РФ 06.03.2012 № 23413), к землям, покрытым лесной растительностью, относятся:

- земли, занятые лесными насаждениями естественного и искусственного происхождения с полнотой 0,4 и выше в возрасте молодняков и с полнотой 0,3 и выше в возрасте, превышающем возраст молодняков;
- земли, занятые кустарниками, на которых в силу естественно-географических условий не могут произрастать древесные породы или на которых специально организуются кустарниковые хозяйства (прутяных и высокотаннидных ив, орехоплодных, технических культур);
- плантации лесных древесных пород, предназначенные для ускоренного выращивания древостоев с целью получения целевых сортиментов или древесной массы для последующей переработки.

Все лесные экосистемы в контексте настоящей работы рассматриваются в качестве природных, поскольку невозможно чётко вычленив малонарушенные леса отдельно. Современные леса представляют собой экосистемы разной степени нарушенности, связанной со сложным сочетанием природных и антропогенных факторов (пожары, рубки, расчистка под сельскохозяйственные угодья и т.д.), действующих с разной периодичностью и интенсивностью [20, 21].

Согласно Приказу Минприроды России от 18.08.2014 N 367 (ред. от 21.03.2016) на территории нашей страны выделены следующие лесорастительные зоны: зона притундровых лесов и редкостойной тайги; таежная зона; зона хвойно-широколиственных лесов; лесостепная зона; степная зона; зона полупустынь и пустынь; зона горного Северного Кавказа и горного Крыма; Южно-Сибирская горная зона [15]. Эти зоны в свою очередь подразделяются на лесные районы по сходству природно-климатических условий.

По данным Росреестра по состоянию на 01.01.2017 г. лесные земли Российской Федерации занимали 897,0 млн га, в том числе 820,9 млн га земель, занятых лесными насаждениями (покрытых лесной растительностью) [16]. Таким образом, леса России занимают около 47,9% территории страны. По площади лесов Россия занимает первое место в мире, обладая примерно 20% мировых запасов древесины. Наиболее высокая лесистость характерна для регионов, расположенных в таежной зоне (50-80%), средняя – для регионов зоны хвойно-широколиственных лесов (30-45%), ниже средней – для регио-

---

нов лесостепной (10-25%), низкая – для регионов степной зоны (2-5%). Наибольшая лесистость характерна для Пермской области, Республики Коми и регионов Центральной Сибири. Минимальная лесистость (менее 1%) свойственна Республике Калмыкия, Ставропольскому краю, Астраханской, Ростовской и Волгоградской областям.

Основная часть лесных земель (96,4%) сосредоточена на территории лесного фонда. Лесные земли лесного фонда занимают 864,4 млн га, в том числе 770,0 млн га земель, занятых лесными насаждениями. Наибольшую долю площади (93,8%) составляют лесные насаждения на территории лесного фонда, включающего в себя защитные, эксплуатационные и резервные леса (рис. 1.2). Остальная площадь представлена лесами на землях особо охраняемых территорий и объектов, землях обороны и безопасности, землях населенных пунктов и других землях. Земли лесного фонда России – объект федеральной собственности, представляющий совокупность лесов, лесных и нелесных земель в границах, установленных в соответствии с лесным и земельным законодательством.



**Рисунок 1.2.** Доля площади, занятых лесными насаждениями России, по категориям земель (по данным Росреестра на 01.01.2017) [16]

Основным источником информации для расчетов углеродного баланса лесов является государственный лесной реестр. В государственном лесном реестре содержится документированная информация: 1) о составе и границах земель лесного фонда, составе земель иных категорий, на которых расположены леса; 2) о лесничествах, лесопарках, об их границах, их лесных кварталах и лесотаксационных выделах; 3) о защитных лесах, об их категориях, об эксплуатационных лесах, о резервных лесах, об их границах; 4) об особо защитных участках лесов, об их границах, о зонах с особыми условиями использования территорий; 5) о лесных участках и об их границах; 6) о количественных, качественных, об экономических характеристиках лесов и лесных ресурсов; 7) об использовании, охране, о защите, воспроизводстве лесов,

в том числе о лесном семеноводстве; 8) о предоставлении лесов гражданам, юридическим лицам. В материалах государственного лесного реестра наиболее подробная информация содержится по землям, входящим в лесной фонд, а подробной информации о лесах на других категориях земель нет.

Распределение площадей лесных земель по субъектам РФ представлено в табл. 1.2. Основные площади лесных земель сосредоточены в Дальневосточном и Сибирском федеральных округах. Максимальные площади лесных земель отмечены на территории Республики Саха (Якутия), Красноярского края, Иркутской области, Хабаровского края, Забайкальского края, Республики Коми, Ханты-Мансийского автономного округа, Магаданской области, Камчатского края, Амурской области, Республики Бурятия.

**Таблица 1.2.** Распределение площадей лесных земель по федеральным округам и субъектам РФ по данным Росреестра [16]

Федеральные округа и субъекты РФ	Лесные земли, тыс. га	Лесные насаждения, не входящие в лесной фонд, тыс. га	Всего лесных земель, тыс. га	Доля лесных земель от общей площади субъекта РФ, %
<i>Россия</i>	<i>870705,5</i>	<i>26308,9</i>	<i>897014,4</i>	<i>52,4</i>
<b>Центральный федеральный округ</b>	<b>23623,7</b>	<b>1736,8</b>	<b>25360,5</b>	<b>39,0</b>
Белгородская область	241,9	90,4	332,3	12,2
Брянская область	1183,6	121,4	1305	37,4
Владимирская область	1581,8	75,8	1657,6	57,0
Воронежская область	476,8	155,2	632	12,1
Ивановская область	1047,8	28,5	1076,3	50,2
Калужская область	1376,9	35,6	1412,5	47,4
Костромская область	4574,2	98,9	4673,1	77,6
Курская область	249,2	68,2	317,4	10,6
Липецкая область	190,7	61,4	252,1	10,5
Московская область	1998,1	35,3	2033,4	45,9
Орловская область	203,1	74,2	277,3	11,2
Рязанская область	1065,9	66,8	1132,7	28,6
Смоленская область	2168	357,8	2525,8	50,7
Тамбовская область	371,7	97,9	469,6	13,6
Тверская область	4742,2	233,3	4975,5	59,1
Тульская область	372,4	42,9	415,3	16,2
Ярославская область	1725,7	93	1818,7	50,3
г. Москва	53,7	0,2	53,9	21,0
<b>Северо-Западный федеральный округ</b>	<b>92639,6</b>	<b>3712,9</b>	<b>96352,5</b>	<b>57,1</b>
Республика Карелия	9850,2	22,1	9872,3	54,7

Продолжение таблицы 1.2

Федеральные округа и субъекты РФ	Лесные земли, тыс. га	Лесные насаждения, не входящие в лесной фонд, тыс. га	Всего лесных земель, тыс. га	Доля лесных земель от общей площади субъекта РФ, %
Республика Коми	31093,5	136,1	31229,6	74,9
Архангельская область	22948,6	126,3	23074,9	55,9
Вологодская область	10456,4	330,9	10787,3	74,6
Калининградская область	295,1	18,8	313,9	20,8
Ленинградская область	5015,8	125,5	5141,3	61,3
Мурманская область	5383,6	578,6	5962,2	41,1
Новгородская область	3582,2	138,7	3720,9	68,3
Псковская область	2249	785,3	3034,3	54,8
г. Санкт-Петербург	24,4	11,4	35,8	25,5
Ненецкий административный округ	1740,8	1439,2	3180	18,0
<b>Южный федеральный округ</b>	<b>3148</b>	<b>681,1</b>	<b>3829,1</b>	<b>8,6</b>
Республика Адыгея	288,8	7,7	296,5	38,1
Республика Калмыкия	32,5	42,3	74,8	1,0
Республика Крым	266,2	35	301,2	11,5
Краснодарский край	1541,4	158,8	1700,2	22,5
Астраханская область	104,2	19,5	123,7	2,5
Волгоградская область	591	131,3	722,3	6,4
Ростовская область	293	281,9	574,9	5,7
г. Севастополь	30,9	4,6	35,5	41,1
<b>Северо-Кавказский федеральный округ</b>	<b>1966,1</b>	<b>263,9</b>	<b>2230</b>	<b>13,1</b>
Республика Дагестан	585	57,2	642,2	12,8
Республика Ингушетия	101	2,3	103,3	28,5
Кабардино-Балкарская Республика	196,8	13,3	210,1	16,8
Карачаево-Черкесская Республика	431,2	9,7	440,9	30,9
Республика Северная Осетия	205,9	9,7	215,6	27,0
Чеченская Республика	336	27,6	363,6	23,2
Ставропольский край	110,2	144,1	254,3	3,8
<b>Приволжский федеральный округ</b>	<b>39096,7</b>	<b>1504</b>	<b>40600,7</b>	<b>39,2</b>
Республика Башкортостан	5765,6	227,9	5993,5	41,9
Республика Марий Эл	1339,1	18,9	1358	58,1

Продолжение таблицы 1.2

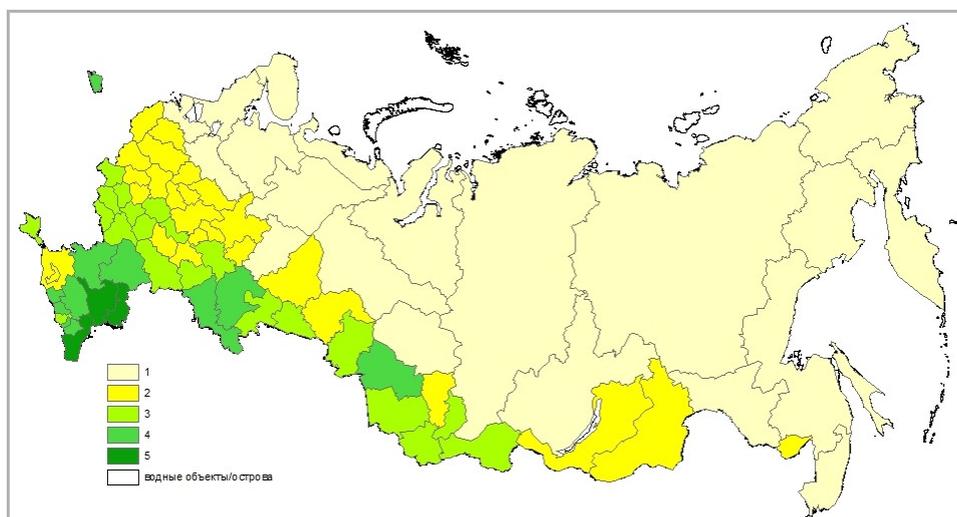
Федеральные округа и субъекты РФ	Лесные земли, тыс. га	Лесные насаждения, не входящие в лесной фонд, тыс. га	Всего лесных земель, тыс. га	Доля лесных земель от общей площади субъекта РФ, %
Удмуртская Республика	2019,1	102	2121,1	50,4
Чувашская Республика	603,7	17,5	621,2	33,9
Пермский край	11749,2	145,5	11894,7	74,2
Кировская область	7948,9	150,6	8099,5	67,3
Нижегородская область	3816,8	90,1	3906,9	51,0
Оренбургская область	618,5	199,3	817,8	6,6
Пензенская область	975,8	77,3	1053,1	24,3
Самарская область	685,6	104,5	790,1	14,8
Саратовская область	614,2	121,2	735,4	7,3
Ульяновская область	1035	55	1090	29,3
<b>Уральский федеральный округ</b>	<b>72667,2</b>	<b>5024,3</b>	<b>77691,5</b>	<b>42,7</b>
Курганская область	1759,5	37,2	1796,7	25,1
Свердловская область	13630,4	230	13860,4	71,3
Тюменская область	7112,8	144,9	7257,7	45,3
Челябинская область	2707,3	75,2	2782,5	31,4
Ханты-Мансийский административный округ	28693,7	156,7	28850,4	53,9
Ямало-Ненецкий административный округ	18763,5	4380,3	23143,8	30,1
<b>Сибирский федеральный округ</b>	<b>297286,4</b>	<b>5628,5</b>	<b>302914,9</b>	<b>58,9</b>
Республика Алтай	4357,7	190	4547,7	49,0
Республика Бурятия	23660,6	220,7	23881,3	68,0
Республика Тыва	8667,2	450,1	9117,3	54,1
Республика Хакасия	3288,9	23,1	3312	53,8
Алтайский край	4029,3	205,8	4235,1	25,2
Забайкальский край	30782,9	497,5	31280,4	72,4
Красноярский край	120936,8	3185	124121,8	52,4
Иркутская область	66080,7	235	66315,7	85,6
Кемеровская область	6075,5	163,5	6239	65,2
Новосибирская область	4799,2	280,3	5079,5	28,6
Омская область	4667,7	89,4	4757,1	33,7
Томская область	19939,9	88,1	20028	63,7

Продолжение таблицы 1.2

Федеральные округа и субъекты РФ	Лесные земли, тыс. га	Лесные насаждения, не входящие в лесной фонд, тыс. га	Всего лесных земель, тыс. га	Доля лесных земель от общей площади субъекта РФ, %
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	<b>340277,8</b>	<b>7757,4</b>	<b>348035,2</b>	<b>56,4</b>
Республика Саха (Якутия)	164862,1	1837,8	166699,9	54,1
Камчатский край	26810	305,8	27115,8	58,4
Приморский край	13024	407,8	13431,8	81,6
Хабаровский край	59571,8	231,5	59803,3	75,9
Сахалинская область	6607,9	347,4	6955,3	79,9
Еврейская административный округ	1783,2	139,1	1922,3	53,0
Чукотский административный округ	13015,1	3878,3	16893,4	23,4

### 1.3. Травяные экосистемы

В рамках настоящего исследования рассматривается два варианта травяных экосистем, встречающихся на территории России: степи и луговые угодья (сенокосы и пастбища). Суммарная площадь травяных экосистем по данным Росреестра составляет 92,5 млн га [16]. Наибольшую долю площади травяные экосистемы занимают в южных регионах России на территории Приволжского, Южного, Уральского и Сибирского федеральных округов (рис. 1.3).



**Рисунок 1.3.** Доля площади травяных экосистем от общей площади субъектов РФ (по данным Росреестра на 01.01.2017)  
Условные обозначения: 1 – < 5%; 2 – 5-15%; 3 – 15-25%; 4 – 25-50%; 5 – > 50%

### 1.3.1. Степные экосистемы

Степные биомы представляют собой засушливые экосистемы умеренного пояса, в которых растительный покров образован главным образом разными типами трав, среди которых самое видное место занимают дерновинные злаки. Благодаря тому, что под степной растительностью сформированы самые плодородные почвы (черноземы и каштановые), огромные пространства степей (за исключением опустыненных степных экосистем) сегодня распашаны, а нераспаханные площади используются под выпас или сенокосы. Менее 1% степных экосистем России сохраняется в рамках особо охраняемых природных территорий. И это наименьшая доля среди всех типов экосистем в стране.

В рамках проекта «Инвентаризация сохранившихся степных экосистем (степных массивов) России» в 2016 году была завершена работа по оценке площадей сохранившихся и спонтанно восстановившихся степных экосистем, аналогичная той, которая была проведена в последнее десятилетие в ряде стран Центральной и Восточной Европы (Венгрии, Румынии, Болгарии), а также в отдельных штатах США и Канады [17].

На основе космических снимков среднего разрешения была оценена современная пространственная структура и состояние степного биома и выявлены сохранившиеся относительно крупные массивы степных экосистем на территории России. Территория, где получили распространение степные биомы, включает в себя следующие субъекты РФ (полностью или частично):

- в Европейской части: Орловская область, Липецкая область, Тамбовская область (частично), Пензенская область, Ульяновская область, Самарская область, Республика Татарстан, Республика Башкортостан, Оренбургская область, Саратовская область, Курская область, Белгородская область, Воронежская область, Волгоградская область, Ростовская область, Республика Калмыкия, Астраханская область, Краснодарский край, Ставропольский край, а также Северо-Кавказские республики (Дагестан, Кабардино-Балкарская, Чеченская);
- в Азиатской части: Челябинская область, Тюменская область, Курганская область, Омская область, Новосибирская область, Алтайский край, Республика Алтай, Кемеровская область, Республика Хакасия, Красноярский край, Республика Тыва, Иркутская область, Республика Бурятия, Забайкальский край.

Выполненные в рамках вышеупомянутого проекта оценки показали, что общая площадь сохранившихся или восстановленных степных экосистем составляет 21,9 млн га и на их долю в среднем на территории РФ приходится 3,4% (табл. 1.3). И если в Европейской части России и в республиках Северного Кавказа степные экосистемы занимают соответственно 1/10 и 1/7 части или 10-15% общей площади административных округов степной зоны, то в Азиатской части эта доля составляет всего 1,5% (табл. 1.3).

---

В соответствии с выполненными оценками [17], большая часть степных биомов сохранилась в Европейской части – 59%. На долю азиатских степей и степных биомов в автономных республиках Кавказа приходится 36 и 5%, соответственно (рис. 1.4).

Таблица 1.3. Распределение выявленных степных массивов по регионам России [17]

Субъект РФ	Общая площадь региона, тыс. га	Общая площадь степей, тыс. га	% Степей от общей площади региона
Степная зона (всего)	647067	21938	3,39
Европейская часть (всего)	124159	12907	10,40
Республика Башкортостан	14295	480	3,36
Республика Калмыкия	7473	5167	69,14
Республика Татарстан	6785	22	0,32
Краснодарский край	7549	34	0,44
Ставропольский край	6616	588	8,89
Астраханская область	4902	1150	23,45
Белгородская область	2713	39	1,45
Волгоградская область	11288	1681	14,90
Воронежская область	5222	42	0,81
Курская область	3000	37	1,24
Липецкая область*	2405	23	0,95
Оренбургская область	12370	2098	16,96
Орловская область*	2465	35	1,41
Пензенская область	4335	26	0,61
Ростовская область	10097	809	8,01
Самарская область	5357	122	2,27
Саратовская область	10124	427	4,22
Тамбовская область*	3446	85	2,47
Ульяновская область	3718	42	1,13
Республики Северного Кавказа (всего)	7839	1163	14,84
Республика Дагестан	5027	843	16,78
Кабардино-Балкарская Республика	1247	0	0,00
Чеченская Республика	1565	320	20,45
Азиатская часть (всего)	515070	7867	1,53
Республика Бурятия	35133	476	1,35
Республика Алтай	9290	531	5,71
Республика Тыва	16860	2764	16,39
Республика Хакасия	6157	703	11,42
Алтайский край	16800	495	2,95

Субъект РФ	Общая площадь региона, тыс. га	Общая площадь степей, тыс. га	% Степей от общей площади региона
Красноярский край	236680	47	0,02
Иркутская область	77485	93	0,12
Кемеровская область	9573	0	0,00
Курганская область	7149	0	0,00
Новосибирская область	17776	293	1,65
Омская область	14114	27	0,19
Тюменская область	16012	0	0,00
Челябинская область	8853	461	5,20
Забайкальский край	43189	1977	4,58

\*сведения по Липецкой, Орловской и Тамбовской областям (овражно-балочная сеть) при суммировании не учитывались.

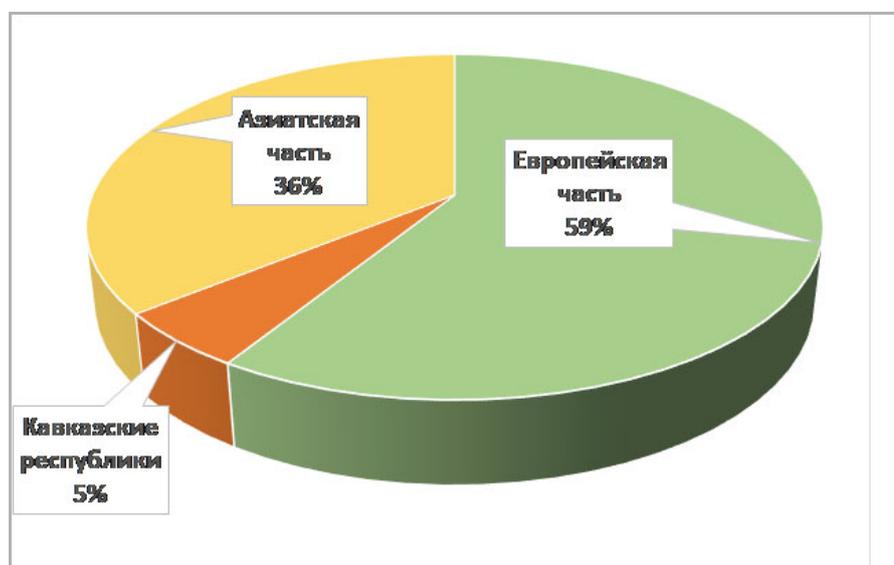


Рисунок 1.4. Распределение природных степных биомов на территории РФ

На территории Европейской России наибольшую долю степные биомы занимают в Калмыкии (69%), Астраханской (23,5%), Оренбургской (17,0%) и Волгоградской (14,9%) областях. В азиатской части более всего степных экосистем было обнаружено в Республиках Тыва (16,4%), Хакассия (11,4%) и Алтай (5,7%), а также Челябинской области (5,2%) и Забайкальском крае (4,6%).

На территории Российской Федерации распространение степных экосистем подчиняется двум основным градиентам: широтно-зональному (в направлении север-юг) и континентальности (в направлении запад-восток). Эти градиенты изначально заданы различиями в количестве осадков и солнечного тепла, поступающих на разные участки планеты [18]. В соответствии с

классификацией, разработанной Лавренко с соавт. [19], которой придерживается большинство современных ученых, степи делят на 5 основных классов, которые сильно различаются по степени обеспеченности осадками и теплом: (1) остепненные луга; (2) луговые степи; (3) настоящие степи; (4) сухие степи; (5) опустыненные степи. Некоторые исследователи остепненные луга и луговые степи объединяют в одну категорию луговых степей и отдельно выделяют горные степные экосистемы (табл. 1.4).

**Таблица 1.4.** Зонально-поясные варианты степей в Европейской и Азиатской России [17]

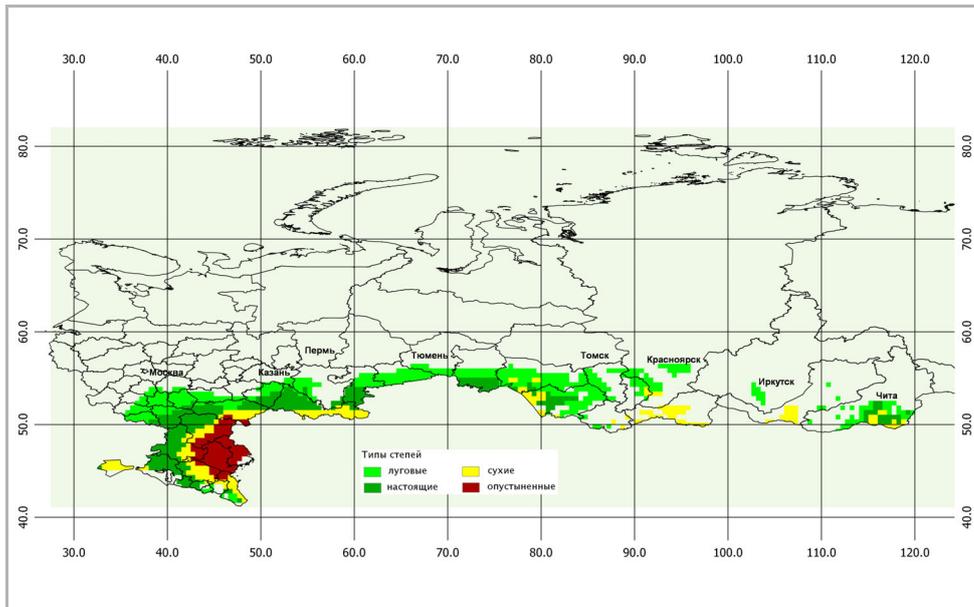
«Виды степей»	Европейская Россия		Азиатская часть	
	тыс. га	%	тыс. га	%
Луговые	455	3,3	2184	28,5
Настоящие	3432	24,6	3998	52,1
Сухие	1680	12,1	1079	14,1
Опустыненные	2445	17,5	390	5,1
Горные	219	1,6	24	0,3
Степная и интразональная растительность Прикаспия	5711	41,0	-	0,0
<b>Всего</b>	<b>13941</b>	<b>100</b>	<b>7675</b>	<b>100</b>

На территории Европейской России самая высокая доля сохранившихся степных экосистем приходится на степную и интразональную растительность Прикаспия (41%), настоящие (24,6%) и опустыненные (17,5%) степи. В Азиатской части России преобладающими являются настоящие (52,1%), луговые (28,5%) и сухие (14,1%) степи (табл. 1.4). Карта-схема зональной поясности степной растительности на территории Российской Федерации, основанная на данных Базилиевич Н.И. [20], представлена на рис. 1.5.

В 80-90-х годах прошлого столетия многие пахотные угодья в зоне степей были заброшены в связи с системным экономическим кризисом и изменениями в правовой системе землепользования. Прекращение распашки земель в степной зоне запустило восстановительную сукцессию, в ходе которой вновь начала формироваться степная экосистема. Время восстановления степных экосистем после снятия с/х нагрузки составляет от 10 до 60 лет и более, в зависимости от природных особенностей экосистемы, истории ее пахотного использования и условий восстановления [21, 22]. При этом потери углерода из почвы, обусловленные ее вовлечением в сельскохозяйственное использование, вновь сменяются его быстрым накоплением [23, 24].

Сегодня залежи (неиспользуемые сельскохозяйственные земли) представляют собой основной территориальный резерв для восстановления степного биома в России и расширения природного каркаса его распространения в регионе степей [22]. После прекращения распашки преобладающим (хотя не

единственным) направлением восстановления является формирование вторично-степных экосистем. При благоприятных условиях восстановления уже в 15-20-летнем возрасте их трудно отличить от целинных. По некоторым оценкам [25], в зоне степей в сумме реально существующие залежи (вторичные степные ценозы) составляют 26,7% базовой площади пашни 1990 г., т.е. не менее половины той площади, которая сегодня занята природными степными биомами.



**Рисунок 1.5.** Карта-схема зональной поясности степной растительности на территории Российской Федерации

Оценка площадей вторичных степных ценозов в зоне степей была выполнена нами на основе данных официальной статистики [26]. Восстановленные на месте бывших сельскохозяйственных угодий, степные биомы включают неиспользуемые сенокосы, пастбища и пахотные земли (табл. 1.5). Согласно выполненным расчетам, на начало 2017 г. общая площадь таких экосистем в степных регионах России составила 32,4 млн га, что существенно (на 11,5 млн га) превышает площадь природных степных биомов.

Большая часть (58%) восстановленных степных экосистем располагается в азиатской части России (рис. 1.6). Площадь вторичных степных экосистем, восстановленных на месте неиспользуемой пашни, в Азиатской и Европейской частях России практически одинаковы и составляют 8,6 млн га (рис. 1.7А), в то время как площадь неиспользуемых сенокосов и пастбищ в Азиатской части в 3 раза превосходит таковую в Европейской части РФ (рис.1.7А).

Доля вторичных степных биомов в общей площади, занятой степными экосистемами, в целом по России составляет 40,4% (рис. 1.7Б). Этот показатель в Европейской части существенно выше, чем в Азиатской: 52% против

30%. Доля вторичных степей, возникших на месте неиспользуемой пашни, примерно одинакова во всех регионах и изменяется от 27,4% в Северо-Кавказском регионе и в Крыму до 34,6% в Европейском степном регионе (рис. 1.7Б).

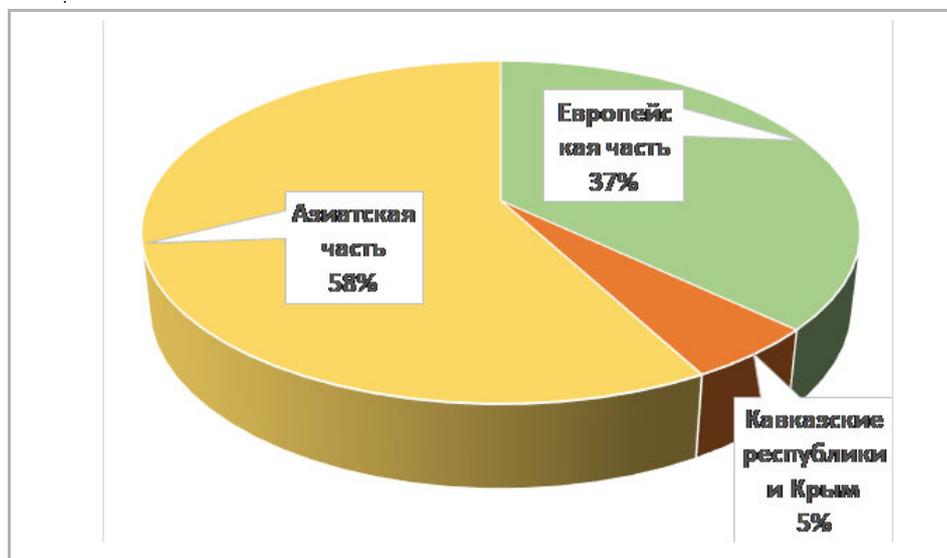


Рисунок 1.6. Распределение вторичных (восстановленных) степных биомов в степных регионах РФ

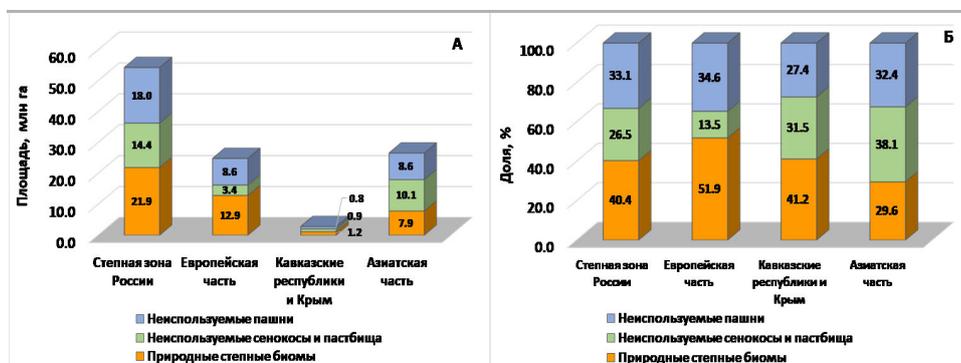


Рисунок 1.7. Распределение степных биомов (природных и вторичных) в различных регионах РФ

*А - распределение по площади, млн га; Б - распределение по долям, %"*

Общая площадь естественных степных экосистем на территории Российской Федерации по разным оценкам составляет сегодня 21-50 млн га (табл. 1.6), а площадь восстановленных степей на месте неиспользуемых с/х угодий оценивается в 26,0-32,4 млн га.

**Таблица 1.5.** Соотношение естественных и восстановленных степных массивов по регионам степной зоны России [17, 26]

Субъект РФ	Общая площадь региона (ОПР), тыс. га	Естественные степи		Вторичные (восстанов.) степи			Площ. вторич. степей / Площ. естест. степей
		тыс. га	% ОПР	Неиспользуемые, тыс. га	Пашня	% ОПР	
Степная зона (всего)	655612	21938	3,3	14384	18007	4,9	1,5
Европейская часть (всего)	127506	12907	10,1	3356	8618	9,4	0,9
Республика Башкортостан	14295	480	3,4	237	369	4,2	1,3
Республика Калмыкия	7473	5167	69,1	664	497	15,5	0,2
Республика Татарстан	6785	22	0,3	47	189	3,5	10,7
Республика Адыгея	779		0,0	29	19	6,1	
Краснодарский край	7549	34	0,4	207	282	6,5	14,6
Ставропольский край	6616	588	8,9	83	215	4,5	0,5
Астраханская область	4902	1150	23,4	363	275	13,0	0,6
Белгородская область	2713	39	1,4	154	141	10,9	7,5
Волгоградская область	11288	1681	14,9	256	1618	16,6	1,1
Воронежская область	5222	42	0,8	37	88	2,4	2,9
Курская область	3000	37	1,2	15	186	6,7	5,4
Липецкая область	2405	23	0,9	22	60	3,4	3,6
Оренбургская область	12370	2098	17,0	349	1088	11,6	0,7
Орловская область	2465	35	1,4	34	200	9,5	6,7
Пензенская область	4335	26	0,6	59	548	14,0	23,1
Ростовская область	10097	809	8,0	199	219	4,1	0,5
Самарская область	5357	122	2,3	119	306	7,9	3,5
Саратовская область	10124	427	4,2	225	1090	13,0	3,1
Тамбовская область	3446	85	2,5	39	172	6,1	2,5
Тульская область	2568		0,0	135	602	28,7	
Ульяновская область	3718	42	1,1	85	454	14,5	12,8
Кавказские республики и Крым (всего)	13036	1163	8,9	890	773	12,8	1,4
Республика Крым	2608		0,0	229	416	24,7	
Республика Дагестан	5027	843	16,8	50	162	4,2	0,3
Кабардино-Балкарская Республика	1247	0	0,0	236	10	19,7	
Чеченская Республика	1565	320	20,5	127	90	13,9	0,7

Продолжение таблицы 1.5

Субъект РФ	Общая площадь региона, (ОПР), тыс. га	Естественные степи		Вторичные (восстанов.) степи			Площ. вторич. степей / Площ. естеств. степей
		тыс. га	% ОПР	Неиспользуемые, тыс. га	Пашня	% ОПР	
Карачаево-Черкесская республика	1428		0,0	117	18	9,4	
Республика Северная Осетия	799		0,0	92	31	15,3	
Республика Ингушетия	363		0,0	40	47	24,0	
Азиатская часть (всего)	515070	7867	1,5	10138	8616	3,6	2,4
Республика Бурятия	35133	476	1,4	890	655	4,4	3,2
Республика Алтай	9290	531	5,7	727	39	8,3	1,4
Республика Тыва	16860	2764	16,4	2453	153	15,5	0,9
Республика Хакасия	6157	703	11,4	266	409	11,0	1,0
Алтайский край	16800	495	2,9	591	581	7,0	2,4
Красноярский край	236680	47	0,0	511	1191	0,7	36,4
Иркутская область	77485	93	0,1	511	1191	2,2	18,3
Кемеровская область	9573	0	0,0	331	809	11,9	
Курганская область	7149	0	0,0	541	622	16,3	
Новосибирская область	17776	293	1,6	672	1000	9,4	5,7
Омская область	14114	27	0,2	383	678	7,5	38,8
Тюменская область	16012	0	0,0	355	231	3,7	
Челябинская область	8853	461	5,2	307	871	13,3	2,6
Забайкальский край	43189	1977	4,6	1601	186	4,1	0,9

Таблица 1.6. Площади степей в Российской Федерации (млн га)

Растительность	Естественные	Вторичные	Источник
Степи + Полупустыни	36,0		[27]
Степные экосистемы	50,0	26,0	[25]
Степные экосистемы	85,9*		[28]
Степные экосистемы	21,9	32,4	[17, 26]

\* предположительно, включая современные залежи

Таким образом, на сегодняшний день общая площадь степных экосистем в России оценивается в 53,4 млн га и включает как естественные, так и восстановленные степные биомы. Однако до сих пор очень высокой остается неопределенность имеющихся оценок как в целом на территории России, так

и по отдельным регионам. Наиболее реалистичными нам представляются оценки, опирающиеся на данные официальной статистики, представленные в настоящем исследовании, и полученные в рамках проекта ПРООН/ГЭФ «Инвентаризация сохранившихся степных экосистем (степных массивов) России» (2010-2016 гг.) [17].

### 1.3.2. Луговые экосистемы (сенокосы и пастбища)

По данным Росреестра в 2016 году общая площадь луговых экосистем на территории РФ составляет 70789 тыс. га [16]. В табл. 1.7 представлены площади луговых экосистем по субъектам РФ. Наибольшие площади, занятых луговыми экосистемами, отмечены в Сибирском (21606,8 тыс. га) и Приволжском федеральных округах (15452,1 тыс. га). Наименьшие площади луговых экосистем на территории РФ характерны для Мурманской области (1,8 тыс. га) и Чукотского автономного округа (7,7 тыс. га).

Таблица 1.7. Площади луговых экосистем по данным Росреестра на 01.01.2017 г.

Федеральные округа и субъекты РФ	Площадь луговых экосистем, тыс. га
<b>Российская Федерация</b>	<b>70789,0</b>
<b>Центральный федеральный округ</b>	<b>6945,7</b>
Белгородская область	301,0
Брянская область	497,7
Владимирская область	238,3
Воронежская область	899,6
Ивановская область	172,8
Калужская область	327,7
Костромская область	184,6
Курская область	451,0
Липецкая область	342,5
Московская область	275,7
г. Москва	9,2
Орловская область	366,1
Рязанская область	819,1
Смоленская область	424,2
Тамбовская область	516,3
Тверская область	646,5
Тульская область	231,1
Ярославская область	242,3
<b>Северо-Западный федеральный округ</b>	<b>1737,5</b>
Республика Карелия	42,9
Республика Коми	114,2

Продолжение таблицы 1.7

Федеральные округа и субъекты РФ	Площадь луговых экосистем, тыс. га
Архангельская область	229,4
Вологодская область	285,8
Калининградская область	275,5
Ленинградская область	199,3
Мурманская область	1,8
Новгородская область	167,7
Псковская область	396,8
Ненецкий автономный округ	
<b>Южный федеральный округ</b>	<b>12953,0</b>
Республика Адыгея	62,2
Республика Калмыкия	4799,1
Республика Крым	206,4
Краснодарский край	385,9
Астраханская область	2524,6
Волгоградская область	2603,8
Ростовская область	2368,1
г. Севастополь	2,9
<b>Северо-Кавказский федеральный округ</b>	<b>5533,6</b>
Республика Дагестан	2701,0
Республика Ингушетия	65,9
Кабардино-Балкарская Республика	135,0
Карачаево-Черкесская Республика	377,6
Республика Северная Осетия-Алания	101,3
Чеченская Республика	504,9
Ставропольский край	1647,9
<b>Приволжский федеральный округ</b>	<b>15452,1</b>
Республика Башкортостан	3382,5
Республика Марий Эл	128,3
Республика Мордовия	456,9
Республика Татарстан	1030,4
Удмуртская Республика	365,7
Чувашская Республика	158,8
Пермский край	435,5
Кировская область	468,0
Нижегородская область	718,3

Федеральные округа и субъекты РФ	Площадь луговых экосистем, тыс. га
Оренбургская область	4329,6
Пензенская область	541,1
Самарская область	795,2
Саратовская область	2297,9
Ульяновская область	343,9
Уральский федеральный округ	4637,1
Курганская область	1042,6
Свердловская область	480,0
Тюменская область (без автономных округов)	1295,8
Ханты-Мансийский автономный округ - Югра	142,4
Ямало-Ненецкий автономный округ	39,8
Челябинская область	1636,5
<b>Сибирский федеральный округ</b>	<b>21606,8</b>
Республика Алтай	916,5
Республика Бурятия	1356,1
Республика Тыва	1040,6
Республика Хакасия	918,3
Алтайский край	3434,8
Забайкальский край	4603,4
Красноярский край	1605,7
Иркутская область	699,7
Кемеровская область	801,1
Новосибирская область	3841,5
Омская область	1978,5
Томская область	410,6
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	<b>1923,2</b>
Республика Саха (Якутия)	638,7
Камчатский край	38,9
Приморский край	437,4
Хабаровский край	121,8
Амурская область	544,9
Магаданская область	16,5
Сахалинская область	28,3
Еврейская Автономная область	89,0
Чукотский автономный округ	7,7

## 1.4. Водно-болотные угодья

Водно-болотные угодья – земли, занятые водой и болотами, в том числе реками, ручьями, озерами, водохранилищами, прудами, искусственными водоемами, осушительными и оросительными каналами и др. В настоящем исследовании рассматривается баланс парниковых газов в болотных экосистемах, а также в пресноводных экосистемах со стоячей (водоемы) и текущей водой (реки и ручьи).

### 1.4.1. Болотные экосистемы

Специфика болот как экосистем определяется накоплением органического материала – торфа, который образуется в результате неполного разложения мертвых остатков растений в условиях постоянного избытка влаги. Существует много типов болот, отличающихся географическими условиями, территориальной приуроченностью, характером растительности, однако все они имеют много общих черт и функций. Болота могут быть исходно облесены или быть открытыми, с растительностью, представленной мхами, осоками или кустарничками. Болота расположены во всех природных зонах страны, но в наибольшей степени они приурочены к бореальной и субарктической. Многие из них не распознаются как собственно болота: их относят к лугам или лесам. В ряде случаев болота были образованы в более влажные периоды прошлого, и при более сухом климате они уже не аккумулируют торф.

Болота – один из важнейших резервуаров углерода на планете. Покрывающая только 3% территории суши, их торфяные залежи содержат столько же углерода как вся биомасса суши, в два раза больше, чем леса планеты, или порядка 75% от величины углерода атмосферы. В болотах находится непропорционально больше органического углерода, чем в других типах экосистем суши: они содержат около 30% почвенного углерода планеты. Болота – лидер долговременного связывания углерода в биосфере суши. Болота накапливают и сохраняют запас углерода в течение тысяч лет и на протяжении всего последнего послеледникового периода играют важнейшую роль в поддержании баланса парниковых газов, связывая огромное количество диоксида углерода атмосферы [29].

Естественные болота разнонаправленно влияют на глобальный баланс двух основных углеродсодержащих парниковых газов (ПГ) – диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) и метана ( $\text{CH}_4$ ). Поэтому их роль в отношении климата комплексна. В естественном состоянии болота связывают  $\text{CO}_2$  атмосферы, накапливая его в торфе, но одновременно они выделяют метан. В долговременном плане отрицательные последствия выделения метана ниже, чем позитивные следствия изъятия  $\text{CO}_2$ . Связывая и накапливая огромный объем  $\text{CO}_2$  из атмосферы, болота оказывают усиливающееся охлаждающее воздействие, как и в предшествующие геологические эпохи, когда благодаря им образовались месторождения бурого и каменного угля, других видов ископаемого топлива. Кроме диоксида углерода и метана болота вносят определенный

вклад в поступление и закиси азота из атмосферы. Это может иметь место у отдельных болот, при определенных условиях и обычно эмиссия закиси азота из болот не достигает высоких значений. Однако следует учитывать высокие значения потенциала глобального потепления (ППП) закиси азота, которые на два порядка выше диоксида углерода. С учетом этого даже небольшие значения эмиссии  $N_2O$  могут существенно повлиять на оценку общего вклада болот в баланс парниковых газов.

В отличие от других экосистем, сложность рассмотрения болот, как в естественном, так и измененном состоянии, связаны с их объективной неопределенностью. Традиционно в нашей стране болота рассматриваются как земельные или водно-болотные угодья, геологические отложения, природные местообитания, сельскохозяйственные угодья, леса и т.д. Во многих случаях с точки зрения их природных особенностей и "потребительских" свойств они являются и тем, и другим, и третьим.

Болота являются целостными природными объектами, где три основных составляющих – избыток влаги, органические отложения в виде торфа и специфическая растительность – определяют существование друг друга и экосистемы в целом. Большинство научных направлений и отраслей использует закрепленное ГОСТом [30] гидрологическое определение болота как «природное образование, занимающее часть земной поверхности и представляющее отложения торфа, насыщенные водой и покрытые специфической растительностью».

Аналогичный объем имеют англоязычные термины «mire» и «peatland», в последнее время разделяемые по критерию наличия и отсутствия современного накопления торфа [29]. Учитывая, что баланс углерода естественных болот может меняться в зависимости от гидрометеорологических условий конкретного года, реальным критерием может служить наличие или отсутствие болотной растительности, которая может иметь место только при условии относительно устойчивого избыточного увлажнения.

В ряде отраслей знания, например, в ботанике, наличие торфа не является обязательным атрибутом понятия болота. Имеются и другие отраслевые различия в содержании термина «болото». Поэтому для исключения семантических разночтений и обеспечения межотраслевого взаимодействия в ходе Межведомственного обсуждения в 2002 году было предложено использование термина «торфяное болото». За последние годы этот термин находит все большее применение. В обиходе термин «болото», обозначающий переувлажненное неудобье может быть еще шире.

Наличие торфа указывает на несбалансированный характер массообмена болотных экосистем, их структурно-функциональные особенности и уникальное средообразующее значение. В качестве критерия разделения болот и заболоченных земель мелкоотторфованных обычно служит 30-сантиметровая глубина торфа, которая предполагает приуроченность к ней основной массы сосущих корней растений. В лесном и сельском хозяйстве к заболоченным землям часто относят неотторфованные площади с избыточно-увлажненными минеральными почвами.

---

Наличие торфа выделяет болота внутри более широкого понятия «перевлажненные земли» (англ. – «wetland»). Следует иметь в виду, что в рамках Конвенции о водно-болотных угодьях (Рамсарской) термин «wetland» имеет однозначный аутентичный русскоязычный перевод «водно-болотное угодье» и используется для обозначения широкого спектра водно-болотных угодий, включающей реки, озера, морские прибрежные зоны и пр. [31].

С начала 20 столетия в России (СССР) сложилась практика отнесения болот к разным категориям земель. Это определяет отсутствие системы их общего учета и необходимость научного обобщения имеющихся данных [32]. Региональное распределение болот по категориям земель определяется в основном с характером хозяйственного использования территории. Большая часть болот расположена на землях лесного фонда – 71,9% (в лесной зоне их большинство), а также на землях сельскохозяйственного назначения – 14,2% (их доля возрастает к северу и югу) и запаса – 11,4%. Лесное хозяйство является основным фондодержателем болотных, заболоченных и перевлажненных земель, как покрытых лесной растительностью, так и безлесных [32].

Существующие отраслевые подходы рассматривают их утилитарно как специфический объект природопользования (добычи торфа, ведения лесного хозяйства и пр.). Тематическое картографирование болот также отдает приоритет тем или иным отдельным чертам, например, растительности. Имеют место разногласия между отраслями, научными направлениями и школами. В то же время широкое разнообразие болот, перекрытие их спектральных характеристик и других индикационных показателей с другими угодьями не возлагает больших надежд на получение однозначной информации при использовании космической съемки, особенно для лесных и зале сенных болот, широко представленных на территории нашей страны. Основное препятствие здесь – традиционный узконаправленный подход к их рассмотрению, сложившийся при утилитарно-отраслевом учете этих целостных комплексных объектов. В результате отсутствует согласованность даже в базовых оценках болот, таких, как определение их общей площади на территории страны, не говоря уже об их разнообразии, распространении и других более сложных показателях [32].

В системе земельного кадастра под болотами понимают земельное угодье, избыточно увлажненное грунтовыми и атмосферными водами с наличием на поверхности разложившихся и полуразложившихся остатков в виде торфа. Выделяют верховое болото – расположенное на повышенных участках рельефа, увлажняемое атмосферными осадками, низинное болото – расположенное на пониженных участках рельефа, увлажняемое грунтовыми и поверхностными водами, а также переходное болото – занимающее среднее положение между верховым и низинным, увлажняемое за счет атмосферных осадков, грунтовых и поверхностных вод. Учет болотных угодий по площади идет во всех категориях земель. Действующее законодательство предусматривает следующие категории земель: земли сельскохозяйственного назначения;

земли лесного фонда; земли водного фонда; земли поселений; земли промышленности, транспорта, связи и иного назначения; земли особо охраняемых территорий; земли государственного запаса.

Болото как отдельное угодье учитывается (учитывалось) для сбора и регистрации на районном уровне. Исходной информацией служат данные о распределении земель в сельских округах или территориальных администрациях, городских поселениях, по предприятиям, организациям, учреждениям, по разработанным унифицированным формам, единым для всех субъектов РФ [32]. Данные по качественному состоянию земель, в т.ч. наличию заболоченных и переувлажненных земель на территории административного района, получают на основании почвенного и геоботанического обследования земель сельскохозяйственного назначения (бывших колхозов и совхозов).

Болота и заболоченные земли представляют широкий спектр экосистем, а каждое болото представляет – комплекс местообитаний разного масштаба, связанных единым ходом развития и закономерно сменяющих друг друга во времени и пространстве [33]. Отличительная особенность большинства болот – пространственная неоднородность разного уровня. Элементы мозаики разного масштаба могут обладать разными экологическими свойствами, в том числе отличаться не только значением, но знаком накопления/потери углерода, эмиссией/поглощением парниковых газов.

#### 1.4.2. Пресноводные экосистемы

Российская Федерация обладает крупнейшими запасами пресной воды в мире. Согласно данным [16, 34] площадь пресных водоемов (реки, ручьи, озера, пруды) в России составляет 69,3 млн га (табл. 1.8), что составляет примерно 4% от площади страны.

Между поверхностью пресноводных экосистем и атмосферой происходит газообмен, в том числе, в форме парниковых газов –  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  и  $\text{N}_2\text{O}$ .

$\text{CO}_2$  является одним из основных парниковых газов, выделяемых с водной поверхности. Образование  $\text{CO}_2$  в водоемах со стоячей водой и реках происходит в результате микробного разложения органического вещества, которое содержится в воде и донных осадках. Газы образуются при анаэробном разложении органического углерода, который поступает туда из почв, с остатками растений, в результате гибели планктона и т.д. Углерод частично абсорбируется в результате фотосинтеза планктона и водных растений, значительная часть углерода накапливается в донных отложениях. Нижние слои, где происходит антагонистическое разложение органического вещества, приводят к существенному вкладу в образование метана и других газов [35]. Уровень выбросов  $\text{CO}_2$  напрямую связан с такими факторами как: площадь и тип водного объекта, его глубина и его форма, местный климат, продолжительность и размеры ледяного покрова. Глобальные выбросы  $\text{CO}_2$  от рек оценены в 6600 млн тонн  $\text{CO}_2$  в год, от прудов в 2094 млн тонн  $\text{CO}_2$  в год, выбросы от озер оценивают в 1071 млн тонн  $\text{CO}_2$  в год [36].

---

Таблица 1.8. Площади пресноводных водоемов по субъектам РФ

Субъекты РФ	Площади рек и ручьев, тыс. га	Площади водоемов со стоячей водой, тыс. га	Всего, тыс. га
<b>Россия</b>	<b>22968,2</b>	<b>46345,87</b>	<b>69314,07</b>
<b>Центральный федеральный округ</b>			
Белгородская область	4,4	20,7	25,1
Брянская область	12,1	19,5	31,6
Владимирская область	14,2	18,5	32,7
Воронежская область	21,1	42,9	64,0
Ивановская область	22,3	40,3	62,6
Калужская область	11,0	9,6	20,6
Костромская область	36,3	60,7	97,0
Курская область	9,7	28,7	38,4
Липецкая область	9,5	15,9	25,4
Московская область	32,8	53,0	85,8
Орловская область	6,6	7,8	14,4
Рязанская область	30,1	37,1	67,2
Смоленская область	18,8	34,8	53,6
Тамбовская область	12,3	30,5	42,8
Тверская область	44,3	203,8	248,1
Тульская область	9,9	12,9	22,8
Ярославская область	25,1	361,7	386,8
<b>Северо-Западный федеральный округ</b>			
Республика Карелия	174,3	3904,0	4078,3
Республика Коми	448,8	192,7	641,5
Архангельская область	443	368,5	811,5
Вологодская область	110,1	548,5	658,6
Калининградская область	5,6	146,0	151,6
Ленинградская область	46,1	1220,7	1266,8
Мурманская область	107,9	1084,1	1192,0
Новгородская область	33,0	17,9	50,9
Псковская область	48,1	327,2	375,3
Ненецкий административный округ	109,3	891,2	1000,5
<b>Южный федеральный округ</b>			
Республика Адыгея	13,8	39,7	53,5

Субъекты РФ	Площади рек и ручьев, тыс. га	Площади водоемов со стоячей водой, тыс. га	Всего, тыс. га
Республика Калмыкия	7,5	61,6	69,1
Республика Крым	26,4	104,2	130,6
Краснодарский край	89,6	148,4	238,0
Астраханская область	359,5	276,4	635,9
Волгоградская область	42,7	421,9	464,6
Ростовская область	78,4	266,8	345,2
<b>Северо-Кавказский федеральный округ</b>		<b>383,7</b>	<b>383,7</b>
Республика Дагестан	16,9	125,8	142,7
Республика Ингушетия	0,7	0,98	1,68
Кабардино-Балкарская Республика	6,6	8,9	15,5
Карачаево-Черкесская Республика	9,4	12,9	22,3
Республика Северная Осетия	5,7	5,8	11,5
Чеченская Республика	12,7	15,52	28,22
Ставропольский край	13,9	98,8	112,7
<b>Приволжский федеральный округ</b>			
Республика Башкортостан	78,1	71,8	149,9
Республика Марий Эл	58,9	26,1	85,0
Республика Мордовия	9,1	11,7	20,8
Республика Татарстан	247,7	204,1	451,8
Удмуртская Республика	17,7	36,1	53,8
Чувашская Республика	13,8	34,3	48,1
Пермский край	111,0	288,6	399,6
Кировская область	78,9	39,2	118,1
Нижегородская область	52,2	110,5	162,7
Оренбургская область	39,4	50,5	89,9
Пензенская область	11,3	30,9	42,2
Самарская область	24,3	201,7	226,0
Саратовская область	89,5	264,7	354,2
Ульяновская область	7,9	220,6	228,5
<b>Уральский федеральный округ</b>			
Курганская область	11,1	165,8	176,9

Продолжение таблицы 1.8

Субъекты РФ	Площади рек и ручьев, тыс. га	Площади водоемов со стоячей водой, тыс. га	Всего, тыс. га
Свердловская область	120,2	142,7	262,9
Тюменская область	173,2	318,6	491,8
Челябинская область	17,6	141,5	159,1
Ханты-Мансийский административный округ	1350,3	1835,1	3185,4
Ямало-Ненецкий административный округ	4242,0	9077,9	13319,9
<b>Сибирский федеральный округ</b>			
Республика Алтай	54,3	5,9	60,2
Республика Бурятия	164,6	1737,9	1902,5
Республика Тыва	92,8	126,9	219,7
Республика Хакасия	29,6	61,3	90,9
Алтайский край	178,1	68,3	246,4
Забайкальский край	140,2	95,5	235,7
Красноярский край	3231,2	5989,7	9220,9
Иркутская область	430,6	2008,0	2438,6
Кемеровская область	67,4	24,3	91,7
Новосибирская область	56,6	358,6	415,2
Омская область	62,7	192,5	255,2
Томская область	317,1	291,2	608,3
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>			
Республика Саха (Якутия)	5460,6	7626,9	13087,5
Камчатский край	555,3	84,9	640,2
Приморский край	79,4	340,1	419,5
Хабаровский край	709,0	767,3	1476,3
Амурская область	648,2	502,8	1151,0
Магаданская область	400,0	70,0	470,0
Сахалинская область	45,7	40,8	86,5
Еврейская административный округ	18,4	16,9	35,3
Чукотский административный округ	941,7	985,5	1927,2

Среди наиболее значимых источников метана выделяют два – водоемы (реки, водохранилища, болота, озера и т.д.) и сельское хозяйство (разведение крупного рогатого скота, выращивание риса, сбор и хранение навоза и т.д. На долю этих источников приходится около 60% метана, который поступает в атмосферу. Из этих источников наиболее сложным в оценке метанового цикла являются водоемы. Наибольшее количество метана образуется в донных отложениях, а дальнейшее выделение в атмосферу происходит за счет молекулярной диффузии, с помощью растений и посредством пузырьков. Так же в водоемах происходит потребление метана метанотрофными бактериями, которые участвуют в процессе транспорта  $\text{CH}_4$  в водной среде [36].

Ежегодный выброс естественными источниками метана оценивается приблизительно в 101-355 Мт  $\text{CH}_4$ . Среди них выделяют выбросы от заболоченных территорий, которые оцениваются по разным источникам приблизительно в 55-150 Мт/год. Из них, на долю бореальной зоны приходится порядка 40% выбросов. Поток с поверхности океана и пресноводных водоемов оценивают в 10 и 5 Мт/год соответственно. Ежегодная производительность термитников оценивается в 20 Мт метана. Еще 40 Мт/год поступает в атмосферу в результате сгорания биомассы при пожарах, в большинстве своем происходящих в тропической зоне.

Крупнейшие источники метана находятся в северном полушарии, где находится большинство развитых стран и площадь суши, на которой располагаются основные источники метана, значительно больше, чем в Южном полушарии. Вклад Российской Федерации в выбросы  $\text{CH}_4$  оценивают в 35-40 Мт/год, из них около половины выбросов приходится на переувлажненные территории [37].

В связи с тем, что процесс эмиссии и поглощения закиси азота на поверхности пресноводных водоемов мало изучен, то оценки выбросов в данном исследовании не приведены. Для расчета выбросов  $\text{N}_2\text{O}$  с поверхности пресноводных водоемов требуется проведение дополнительных исследований по территории водоемов Российской Федерации.

Для оценки естественных выбросов и поглощения  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$  от пресноводных водоемов в настоящей работе были проведены расчеты отдельно для водоёмов со стоячей водой (пруды, озера и т.д.) и для проточных водоёмов рек и ручьев. Расчет проводился отдельно для разных типов водоемов, поскольку по данным исследований в реках и водоемах со стоячей пресной водой содержание метана и органического вещества в водной толще различаются в несколько раз и как следствие эмиссии от водной поверхности так же различны. В озерах, прудах и других водоемах со стоячей водой происходит интенсивное накопление углерода в донных отложениях. В реках, в силу того, что большая часть поступающего в них углерода выносится в океан, накопление в донных отложениях считается незначительным [38-41].

## 1.5. Выводы

1. Основными типами природных экосистем, оказывающих существенное влияние на потоки парниковых газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ), являются тундры, леса, степи, луга, болота и пресноводные экосистемы.

---

2. На территории Российской Федерации наблюдается широтная зональность в расположении основных типов экосистем (тундры, леса, степи, пустыни), связанная с природно-климатическими условиями среды, а также особенностями природопользования в прошлом и настоящем.

3. Наряду с зональными типами экосистем во всех природных зонах встречаются также интразональные типы – луга, болота и пресноводные водоемы (озера, реки и т.д.), формирование которых связано с режимом увлажнения и/или с особенностями природопользования.

4. Общая площадь природных экосистем России, рассматриваемых в настоящем исследовании, составляет 85% от общей площади страны. Основную долю площади природных экосистем России составляют лесные земли (61% от площади природных экосистем), тундры (18%) и болота (10%). Меньшую площадь составляют травяные экосистемы (6%) и пресноводные экосистемы (5%).

---

## **Глава 2. Оценка способности различных природных экосистем к чистому поглощению парниковых газов по субъектам Российской Федерации**

### **2.1. Тундры**

#### **2.1.1. Аналитические и картографические материалы по проведению оценки способности тундровых экосистем к чистому поглощению парниковых газов с разбивкой по субъектам Российской Федерации**

##### **2.1.1.1. Диоксид углерода (CO<sub>2</sub>)**

Как было отмечено ранее, существует несколько методов оценки интенсивности обмена экосистем тундры парниковыми газами с атмосферой, которые можно разделить на два основных вида: прямые измерения и математическое моделирование. Интерполяция данных, полученных для конкретных экосистем на обширные территории, включая территории целых субъектов Российской Федерации, требует применения знаний о распространности разных типов экосистем и ландшафтов, что подразумевает использование различных картографических методов.

Различают два основных типа математических моделей процессов обмена парниковыми газами между атмосферой и экосистемами: регрессионные эмпирические модели, основанные на данных непосредственных наблюдений и позволяющих интерполировать (и с некоторыми оговорками экстраполировать) их результаты на новые значения параметров внешней среды, влияющих на исследуемые процессы, и динамические модели, основанные на теоретических знаниях о структуре и функциях экосистем и представляющие собой системы уравнений, описывающих данные процессы.

***Модельные исследования.*** В представленном исследовании применен регрессионный подход, основанный на эмпирических зависимостях, полученных на основе натурных наблюдениях за процессами продукции и выделения CO<sub>2</sub>. С методологической точки зрения существует два крайних варианта имитационных моделей в естествознании, а именно эмпирические (куда относятся, в частности, феноменологические (агрегированные), регрессионные и статистические), и основанные на описании физико-химических и биологических процессов (механистические или динамические), а также широкий спектр промежуточных вариантов. Модели первого типа описывают зависимость такой сложной переменной как, например, продуктивность, как функцию от набора значимых экологических факторов, плюс ошибку ее аппроксимации [42]. Структура сообщества при этом рассматривается как «черный», или «серый ящик», а сама модель работает по принципу «вход – выход». Например, сюда

---

относится известная общая модель продуктивности экосистем в зависимости от суммы годовых осадков и температуры Г. Лита с соавторами [43]. При классическом подходе [44] делаются определенные допущения относительно статистической природы зависимой переменной и влияющих на нее факторов, например, об их независимости, нормальности распределения, ошибки аппроксимации, и т.д. В этом случае, хотя реальные переменные и факторы редко полностью удовлетворяют всем допущениям, применимы методы классического регрессионного анализа и статистическая обработка. То, что регрессионный подход полезен в анализе эмпирической информации, особенно при описании пространственно-распределенных потоков, неоднократно демонстрировали исследователи продуктивности арктических экосистем [20, 42, 45]. Регрессионное моделирование с успехом использовалось в 1970-х и начале 1980-х гг. в период осмысления результатов МБП [46], и продолжает применяться в работах по дыханию тундровых экосистем [47, 48].

«Процессуальные» (основанные на математическом описании природных процессов) модели объективно трудно применимы для описания глобальных или региональных процессов [49], в частности, продуктивности или биогеохимических циклов. Это связано с тем, что они требуют большого набора параметров, которые широко варьируют в пространстве и во времени, и неизвестны для большинства экосистем. Для имитационных динамических моделей, которые требуют немалого времени и квалификации во многих областях для грамотного отбора значимых параметров, вслед за их усложнением, характерно возрастание неопределенности в связи с накоплением ошибок измерения отдельных параметров [50].

При экстраполяции на большой масштаб лучше использовать простые модели, которые легко параметризуются [49]. Регрессионные модели, безусловно, в этом полезны, особенно там, где требуются пространственно-распределенные оперативные оценки, основанные на доступных полевых данных. Это своего рода “макро-подход”, который игнорирует структуру, лежащую в основе самого процесса, в пользу функции. При этом в ходе статистического анализа отбирается небольшое число значимых независимых факторов, которые легко оцениваются и (или) интерпретируются. К тому же, результаты регрессионного моделирования всегда могут использоваться для независимой проверки динамических моделей, или как основа для их построения. Регрессионное моделирование, следовательно, представляет при адекватном использовании мощное средство восполнения недостающих данных и прогноза, и именно оно, главным образом, использовалось нами на всех этапах обработки и анализа эмпирических данных. Поэтому в данной работе для тундровой зоны России и ее регионов использована в качестве основы модель Д.Г. Замолотчикова и Д.В. Карелина [51], основанная на эмпирических зависимостях чистого потока  $\text{CO}_2$  из различных тундровых сообществ от значимых переменных, таких как ФАР, температура, запасы отдельных фракций надземной фитомассы и сезон года. При этом первичные данные использованные в этом анализе в основном получены с использованием камерного метода изучения баланса  $\text{C}$  и других биогенных газов. Данный уровень

наблюдений имеет дело с временным масштабом от секунд до суток и месяцев, а с пространственным – от сантиметров до метров и гектаров. Метод может быть подразделен на оценку чистых потоков  $\text{CO}_2$ , метана и закиси азота (при экспозиции на свету и включая всю надземную растительность), а также оценку скорости эмиссии этих газов из почвы. Стационарные круглогодичные или сезонные установки с оборудованием по методу вихревой ковариации здесь могут быть использованы в качестве независимого метода сравнения для проверки результатов.

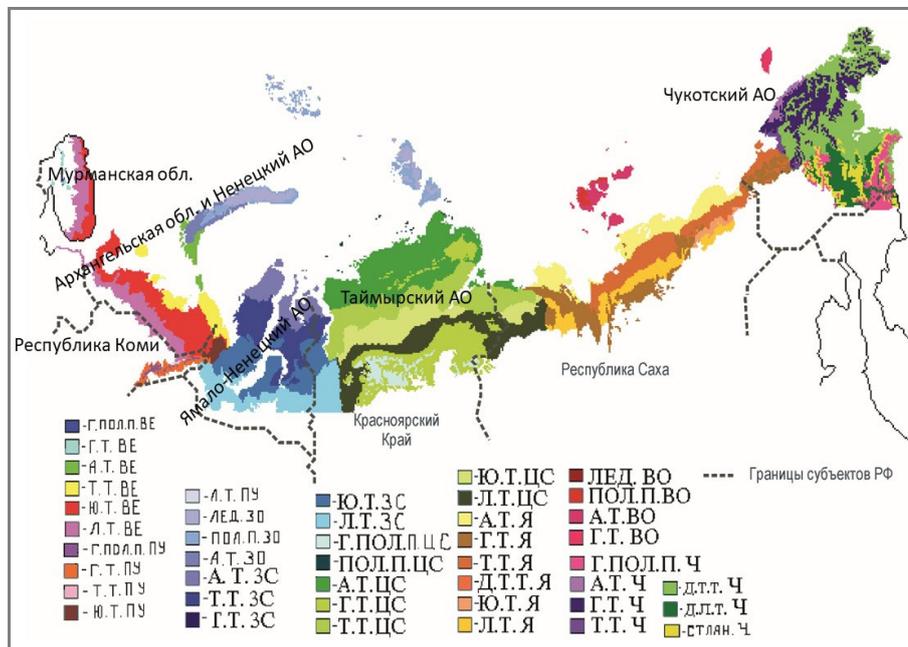
**Газиметрические исследования.** Данные по газиметрическим измерениям потоков  $\text{CO}_2$  в тундрах были получены в процессе полевых наблюдений в 1993-2012 гг. [5, 45, 51-54]. Исследования были проведены в восточно-европейских (восточная часть Большеземельской тундры), центрально-сибирских тундрах (западная часть п-ова Таймыр) и на Восточной Чукотке. Измерения охватывали все географические подзоны тундр (арктическая, типичная, южная), диапазон изменений широт от  $67^\circ\text{N}$  до  $74^\circ\text{N}$  и практически полный спектр экосистем (пятнистые, бугорковые, кочкарные, кустарниковые тундры, полигональные, осоковые, бугристые болота), а также основные административные регионы арктической и тундровой зоны РФ. Период полевых работ в различные годы включал время снеготаяния, период активной вегетации и время установления снежного покрова. Это самый большой массив подобных эмпирических данных в мире, собранный по единой методике одним коллективом, что существенно повышает степень доверия к результатам.

Основной частью полевых работ являлись измерения потоков  $\text{CO}_2$  камерным методом с применением портативного инфракрасного анализатора LiCor-6200. Пробный участок размером  $40 \times 40$  см герметично накрывали прозрачной для ФАР камерой. Экспозиция камеры на участке составляла 1-3 мин, по изменению концентрации углекислого газа в камере за время экспозиции с помощью уравнения Клайперона-Менделеева рассчитывали истинную величину его потока. Значения потоков  $\text{CO}_2$  на свету служили оценкой чистого потока (NF), в затемненной камере – валового дыхания экосистемы (GR), а их разность – валовой первичной продукции (GPP). GPP и GR являются разнонаправленными потоками, в настоящей работе им присвоили знак "+" дыханию (экспорт углерода экосистемой) и "-" продукции (импорт углерода). Каждый участок измеряли в течение суток с интервалами 1-2 часа. Суточные потоки были рассчитаны путем интегрирования данных по внутрисуточной динамике потоков. На основе суточных потоков  $\text{CO}_2$  экстраполировались сезонные и годовые оценки. Всего за сезоны полевых работ были измерены величины валовой первичной продукции, валового дыхания и чистого потока  $\text{CO}_2$  на 361 пробных участках. Помимо потоков углерода ( $\text{C-CO}_2$ ) регистрировали температуры воздуха и почвы, фотосинтетически активную радиацию (ФАР), влажность воздуха и почвы и другие экологические параметры. На всех участках было осуществлено описание проективного покрытия видов и групп растений. На тех же участках после окончания измерений были собраны и разобраны по фракциям и взвешены надземные части сосудистых растений, лишайников и мхов.

---

**Геоинформационный подход.** Оценка углеродных параметров российских тундр осуществлена на основе сезонных и географических экстраполяций с применением математического моделирования. Имитационная модель построена по основным принципам геоинформационных систем и состоит из следующих блоков: 1) компьютерная карта тундровых ландшафтов; 2) база данных метеорологических характеристик; 3) модель динамики фитомассы; 4) модель углеродных потоков. Остановимся подробнее на характеристике перечисленных блоков.

Компьютерная карта тундровых ландшафтов была создана на основе ландшафтной карты масштаба 1:4000000 [55]. Карта включает 9 ландшафтных регионов (или 7 крупных административных субъектов РФ) от Кольского полуострова до Чукотско-Анадырской провинции и 21 тип зональных и интразональных ландшафтов от ледников до лесотундры. Общее количество ландшафтов при разделении их на регионы составляет 84 (рис. 2.1).



**Рисунок 2.1.** Карта распределения основных тундровых ландшафтов по ландшафтному региону и субъектам РФ

Сокращения названий ландшафтных выделов:

г. пол. п. – горные полярные пустыни, пол. п. – полярные пустыни, г. т. – горные тундры, а. т. – арктические тундры, т. т. – типичные тундры, ю. т. – южные тундры, л. т. – лесотундры, лед. – ледники, д. т. т. – дальневосточные типичные тундры, д. л. т. – дальневосточные лесотундры, стлан. – стланники. Сокращения названий географических регионов: ВЕ – Восточно-Европейская провинция, ПУ – Полярный Урал, ЗП – Западные острова Ледовитого океана, ЗС – Западная Сибирь, ЦС – Центральная Сибирь, Я – Якутская провинция, ВО – Восточные о-ва острова Ледовитого океана, Ч – Чукотская провинция

База данных метеорологических характеристик характеризовала каждый ландшафт набором метеорологических параметров, включавших среднедекадную температуру воздуха и среднюю за декаду суточную сумму ФАР. Величины были приведены для всех декад года, начиная с 1-ой (1-10 января) и кончая 36-ой (21-31 декабря). Они были получены на основании среднемно-

голетних данных по 135 метеостанциям [56], попадающим в пределы зонального распространения тундрового биома. Исходная информация в справочниках была приведена в виде среднемесячных величин, однако шаг в 1 месяц представляется слишком грубым для моделирования динамики углеродных потоков в теплый период. Декадный ход температур и ФАР был найден с применением метода сплайн-интерполяции.

Модель динамики надземной фитомассы восстанавливала подекадную динамику надземных фракций надземной фитомассы для каждого ландшафта в течение теплого периода. Фракции фитомассы включали древесную и зеленую части кустарников и кустарничков, живые части трав, лишайников и мхов. В качестве источника исходной информации служила собранная ранее база данных [5], включающая сведения по 145 литературным и 15 оригинальным пробным площадям, в частности известную сводку по запасам фитомассы в экосистемах Северной Евразии [20]. Так как источники содержали в основном данные по максимальным значениям фитомассы на пике вегетации, для имитации подекадной динамики зеленых фракций фитомассы была использована симметричная синусоидальная функция. Величины древесных фракций, а также мхов и лишайников условно приняты постоянными для всего теплого (бесснежного) периода.

Модель углеродных потоков была аппроксимирована на основании результатов газиметрических измерений. Характер имитации потоков существенно различался для теплого и холодного периода года. Модель для теплого периода была построена на основе результатов собственных полевых изысканий. Исходные данные были сгруппированы в матрицу, которая включала 361 строку по числу измеренных пробных участков. Столбцы матрицы соответствовали величинам углеродных потоков ( $GPP$ ,  $GR$ ,  $NF$ ), характеристикам фитомассы пробного участка и метеорологическим параметрам в дни измерений.

Предварительный анализ данных выявил наличие значимых связей между углеродными потоками, как зависимыми переменными, и температурой воздуха, ФАР и массой сосудистых, как независимыми. Для аппроксимации этих связей использовали линейные уравнения первого порядка. Оценка параметров проведена с применением процедур пошаговой множественной регрессии (для уровня значимости факторов 0.1). В итоге получены следующие уравнения для валовой первичной продукции ( $GPP$ ,  $гC \cdot м^{-2} \cdot сут^{-1}$ ) и валового дыхания тундровых экосистем ( $GR$ ,  $гC \cdot м^{-2} \cdot сут^{-1}$ ):

$$\begin{aligned} GPP = & 1,14 - 0,106*PAR - 0,097* - 0,0452*GS - \\ & 0,0109*GDS - 0,0237*GG - 0,00197*M, \end{aligned} \quad (2.1)$$

$N = 361, R^2 = 0,694, SE = 1,07429;$

$$\begin{aligned} GR = & -0,660 + 0,034*PAR + 0,164*T_a + 0,0191*GS + 0,0142*GDS + \\ & 0,0106*GG + 0,00126*WS + 0,00151*M - 0,000855*L, \end{aligned} \quad (2.2)$$

$N = 361, R^2 = 0,758, SE = 0,77462;$

где  $PAR$  – суточная сумма ФАР ( $МДж \cdot м^{-2} \cdot сут^{-1}$ ),  $T_a$  – среднесуточная температура воздуха ( $^{\circ}C$ ),  $GS$  – листва кустарников,  $GDS$  – листва

кустарничков,  $GG$  – надземная часть трав,  $WS$  – надземная древесная часть кустарников,  $M$  – масса мхов,  $L$  – масса лишайников (значения фракций фитомассы в г (абс. сух.) · м<sup>-2</sup>).

Как правило, для подобных аппроксимаций используют нелинейные функции, а именно, асимптотические для связи продукции и ФАР [57] или экспоненциальные для связи дыхания и температуры [58]. Однако в нашем случае применение нелинейных выражений не привело к существенному увеличению точности аппроксимации, и потому сочли возможным остановиться на простейших формах уравнений. Полученные уравнения позволяют по величинам ФАР, температуры воздуха и фракций фитомассы позволяющих рассчитать величины суточных потоков углерода для теплого периода.

Процессы обмена углерода имеют место не только в теплый, но и в холодный период года. Как показали исследования, проведенные на Аляске и в Колымской низменности [5, 59-61], эмиссия углекислого газа в тундрах и лесотундрах имеет место и при полном промерзании активного почвенного слоя. Механизм зимней эмиссии CO<sub>2</sub> в настоящее время не совсем ясен (речь о неясности относительных вкладов транспорта более старого по возрасту газа из почвы, и прямого прижизненного выделения с зимним дыханием почвенной биоты). Полная характеристика годового бюджета углерода невозможна без оценки зимней эмиссии, поскольку ее уровень сравним с величиной чистого потока углерода за теплый период, и составляет согласно моделям в среднем около 12% от валового годового дыхания, и часто определяет направление нетто-баланса С.

Для расчета уравнения зимней эмиссии CO<sub>2</sub> в тундрах были использованы литературные данные по измеренным величинам зимней эмиссии в тундрах Аляски и Колымской низменности [60, 61], а также данные для периода схода (восток Большеземельской тундры) и установления (северо-западный Таймыр) снежного покрова, а также прямых измерений зимней эмиссии в Большеземельской тундре [5]. В результате удалось получить следующее формализованное выражение для зимней эмиссии CO<sub>2</sub> ( $WE$ , гС · м<sup>-2</sup> · сут<sup>-1</sup>):

$$WE = 0,639851 + 0,00893 \cdot NOR - 0,002247 \cdot (WD - 18)^2, \quad (2.3)$$
$$N = 37, R^2 = 0,6399;$$

где  $NOR$  – географическая широта (°N),  $WD$  – номер декады, начиная с 1-ой декады сентября.

Уравнение было использовано для оценки величин зимней эмиссии в арктических, горных, типичных и южных тундрах. Для полярных пустынь расчет зимней эмиссии не проводился по причине полного отсутствия исходных данных. В этом случае зимний поток С оценивали через экстраполяцию по географической широте.

#### 2.1.1.2. Метан (CH<sub>4</sub>)

Ранее были получены усредненные показатели выделения метана для различных ландшафтных выделов в пределах тундровой зоны РФ для совре-

менного периода наблюдений (1981-2017 гг.). В качестве основных выводов были получены следующие: 1) два основных С-содержащих газа (метан и углекислый газ) взаимно частично компенсируют друг друга по своему вкладу в парниковый эффект (условно положительный для атмосферы (сток) – со стороны  $\text{CO}_2$ , и условно отрицательный (источник) со стороны метана), но вклад  $\text{CO}_2$  является преобладающим, и превышающим вклад метана, 2) наблюдается широтно-зональная закономерность, как в степени поглощения  $\text{CO}_2$  тундрами (большее поглощение наблюдается в более южных ландшафтах), так и в степени выделения метана (более южные тундровые ландшафты выделяют больше метана), 3) в отличие от баланса углекислого газа выделение метана дополнительно определяется степенью относительного участия гидроморфных и автоморфных элементов в конкретных зональных тундровых ландшафтах, что требует обязательного учета при расчетах. Тем не менее, за рамками геоинформационных оценок, остался вклад в эмиссию метана отдельных регионов российских тундр, что представляет особый практический интерес. Для проведения соответствующей оценки на основе полевых данных необходимо свести имеющуюся информацию на основе данных по потокам метана соответствующим площадям отдельных ландшафтных выделов. Недостаток полевых данных не позволяет в данном случае построить регрессионную модель, аналогичную примененной выше, для потоков метана. Поэтому в данном случае мы использовали усредненные полевые оценки с учетом характерного присутствия гидро- и автоморфных ландшафтов в пределах зональных и интразональных экосистем встречающихся на территории различных субъектов РФ.

### 2.1.1.3. Закись азота ( $\text{N}_2\text{O}$ )

По этому важному биогенному парниковому газу в тундрах, к сожалению, накоплено еще меньше полевых наблюдений, чем по метану. Это связано с очень небольшими по величинам источниками  $\text{N}_2\text{O}$  в криогенных экосистемах, что связано с низкими температурами и малым присутствию в мерзлотных почвах бактерий-денитрификаторов – основных производителей этого газа в почвенных сообществах. Поэтому при оценках вкладов отдельных регионов и субъектов Российской Федерации для закиси азота можно так же, как и для метана, воспользоваться только усредненными оценками по отдельным ландшафтными экосистемам, использованными нами ранее. Как и в случае с метаном, теоретически (и практически) нетто-баланс этого газа может быть не только источником, но и стоком по отношению к экосистемам. Если для метана это связано с характером активности т.н. «метанового фильтра», состоящего из бактерий-метанотрофов в аэробных горизонтах верхнего слоя почвы, то для закиси азота природа стоков этого газа в верхних слоях почвы и растительном пологом остаются не до конца изученными. Среди главных факторов, которые влияют на интенсивность потоков закиси азота, отмечаются увлажненность почвы, ее температура и pH, а также скорость минерализации и общие запасы органического вещества [62]. Как и для других биогенных газов в тундрах, для  $\text{N}_2\text{O}$ , видимо, существует зональность в отно-

---

шении скорости его выделения из почв арктических экосистем с ее усилением с севера на юг. В целом можно принять, что более гидроморфные аналогичные криогенные экосистемы являются источником этого газа за год, тогда как автоморфные, сухие биотопы – обычно являются  $N_2O$ -нейтральными.

### **2.1.2. Расчеты способности тундровых экосистем к чистому поглощению парниковых газов с разбивкой по субъектам Российской Федерации**

#### **2.1.2.1. Диоксид углерода ( $CO_2$ )**

Доля российской тундровой зоны от мирового биома оценивается от 32 до 40% (при общей площади всех тундровых экосистем, включая лесотундры и горные тундры, в РФ равной 2,79 млн  $км^2$ ), в зависимости от использования российской или американской системы оценки, и разных спутниковых и картографических подоснов [5]. Эта доля пропорционально отражает национальный вклад в обмен парниковых газов на этой территории, если не учитывать климатические особенности регионов в рассматриваемый период. Как отмечалось, для 84 ландшафтов тундровой зоны России были восстановлены декадные динамики метеорологических параметров и фракций фитомассы. Эти данные были взяты в качестве исходных для расчетов по найденным уравнениям величин углеродных потоков. В результате были получены среднедекадные значения потоков для каждого из 84 ландшафтов для всех 36 декад года (рис. 2.2, табл. 2.1).

**Проверка результатов моделирования.** Степень доверия результатам моделирования целиком определяется их сходимостью с независимо полученными эмпирическими результатами. Проверка показала, что модельная динамика хорошо отражает ряд существенных особенностей динамики чистого потока в тундрах, обнаруженных в полевых условиях. В период схода снежного покрова наблюдается весенняя эмиссия углекислого газа [63], затем в период разгара вегетации тундра функционирует как сток углерода. В конце вегетационного периода наблюдается осеннее обращение знака углеродного баланса, в сравнении с весной уровень эмиссии выше, а сам период осенней эмиссии продолжительнее [53, 64].

Одним из путей проверки результатов модели является их сравнение с независимыми эмпирическими оценками углеродных параметров тундр. Валовая первичная продукция в различных сообществах тундр Хибин составляет от -49 до -144  $г\ C \cdot м^{-2}$  за вегетационный сезон [65], по результатам модели эта величина для горных тундр Кольского п-ова равна -109  $г\ C \cdot м^{-2}$ . Для тех же сообществ дыхание почвы варьирует от 70 до 109  $г\ C \cdot м^{-2}$  [66], соответственно, по модели оно равно 96,6  $г\ C \cdot м^{-2}$ . Годовое валовое дыхание тундр Колымской низменности составляет 290-320  $г\ C \cdot м^{-2}$ , соответствующая модельная оценка для типичных тундр Якутии равна 283  $г\ C \cdot м^{-2}$ . Следовательно, модельные результаты хорошо согласуются с независимыми оценками годовых углеродных потоков в тундрах России.

---

Представляется интересным сравнение наших оценок с полученными в других работах. Перед таким сравнением необходимо сделать два комментария. Во-первых, в различных работах используются различные величины площади тундрового биома. Это определится использованием различных карт (почвенных, растительных, ландшафтных и т. д.) для оценок площадей. При проведении оценок мы без пересчетов использовали приводимые авторами оценки, отмечая при этом, для какой площади они даны. Во-вторых, в большинстве из цитированных работ приводятся оценки для всей России с делением на природные зоны. Объект нашего исследования значительно уже и относится только в зоне тундр. Поэтому наши результаты следует рассматривать как частичное уточнение более общих оценок, а отмеченные расхождения не ставят под сомнение величины, полученные для России в целом.

Модельная оценка валовой первичной продукции (476,1 МтС) в значительной степени согласуется с оценкой чистой первичной продукции (NPP) 293,0 МтС·год<sup>-1</sup>, полученной на основе независимых данных по весовому методу [12]. Соотношение NPP/GPP составляет 0,615, что близко к литературным данным [65, 67]. Неплохое согласование имеется и с величиной NPP 233,8 МтС·год<sup>-1</sup>, полученной Т.П. Кольчугиной и Т. Винсоном [5] для несколько меньшей площади (214,2 млн га). В то же время оценка GPP тундр по хлорофилльному методу [68] для площади 253,6 млн га, равная 190,2 МтС·год<sup>-1</sup>, оказывается в 2,5 раза меньше нашей оценки GPP и даже меньше отмеченных оценок NPP.

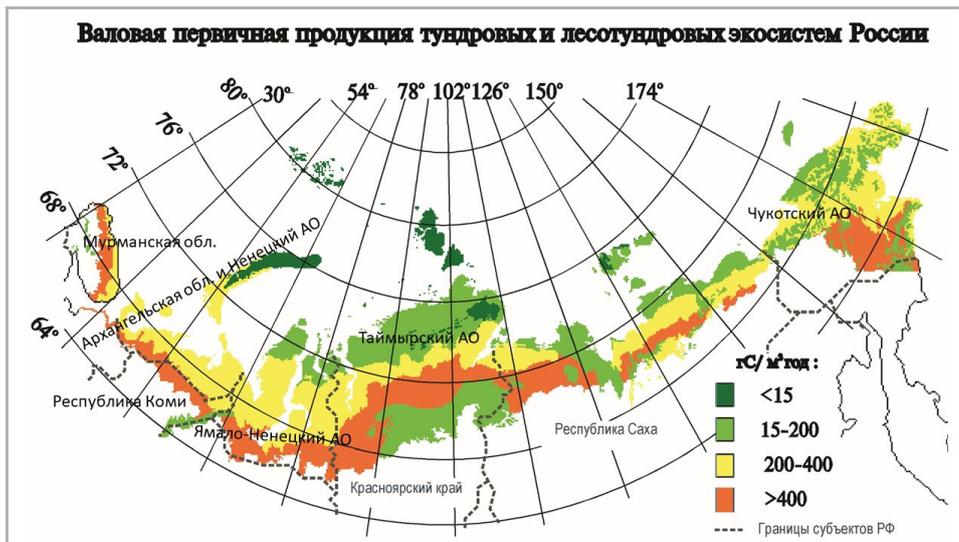
По имеющимся полевым данным [5], собственно дыхание почвы составляет 65% от валового дыхания. Тогда оценка дыхания почвы за вегетационный период будет 265 МтС. Это существенно больше, чем приводимая В.Н. Кудеяровым с соавторами [69] величина 173 МтС для площади 350 млн га. Причина расхождения в разных оценках длин теплого периода, так как в цитированной работе среднее значение дыхания почвы в тундрах за теплый период составляет 2,1 гС·м<sup>-2</sup>·сут<sup>-1</sup>, в то время как у нас всего 1,0 гС·м<sup>-2</sup>·сут<sup>-1</sup>. В то же время наша оценка дыхания гетеротрофов ( $ER+GPP-NPP$ ) 280,1 МтС близка к оценке Т.П. Кольчугиной и Т. Винсона – 229,1 МтС для площади 214,2 млн га [5].

**Годовые параметры углеродного цикла тундр.** Интегрированием сезонной динамики были рассчитаны годовые величины углеродных потоков для 84 ландшафтов тундровой зоны России. Далее, суммированием по всем ландшафтам, получены годовые потоки для тундровой зоны России. Средняя за теплый период (117 дней) валовая продукция российских тундр составляет – 1,73, валовое дыхание – 1,49, чистый поток – -0,24 гС·м<sup>-2</sup>·сут<sup>-1</sup>. Средний уровень эмиссии в холодный период (248 дней) составляет 0,094 гС·м<sup>-2</sup>·сут<sup>-1</sup>. Годовая валовая первичная продукция зоны для площади 235 млн га (без учета лесотундр) оценена в -476,1 МтС, валовое дыхание – в 463,9 МтС, чистый поток – в -12,2 МтС. Эмиссия углерода за холодный период года составляет 54,7 МтС, или 12% от общего дыхания. Таким образом, согласно примененной модели, годовая продукция по модулю незначительно превышает дыхание, годовой сток углерода составляет лишь 2,5% от величины продукции, то есть можно

---

сделать вывод о фактической сбалансированности углеродных потоков в моделируемый период на всей территории тундровой зоны РФ.

Используя в качестве основы карту тундровых ландшафтов, можно по средним величинам углеродных потоков построить карты их распределения по тундровой зоне России. Поскольку потоки С связанные с валовой продукцией и валовым дыханием в значительной степени сбалансированы и поэтому плохо различаются графически, здесь приводится в качестве наглядного примера только карта пространственного распределения валовой первичной продукции (рис. 2.2).



**Рисунок 2.2.** Годовая валовая первичная продукция (GPP) тундровых экосистем на территории субъектов Российской Федерации для периода условной климатической нормы

Можно отметить (рис. 2.2) ярко выраженную широтную зональность годовых потоков. Более южные экосистемы являются и более продуктивными, что связано с суммой получаемого тепла, поскольку тундры относятся к ярко выраженным т.н. «температурно-управляемым» растительным сообществам, т.е. сообществам, для которых низкие температуры являются главным, а в зимний период и ультимативным фактором их функционирования. В соответствии с этим, южнее расположенные лесотундры имеют наибольшие средние величины параметров углеродного обмена, арктические тундры и полярные пустыни – наименьшие. Лучше всего зональность С-обмена прослеживается на п-ве Таймыр (Таймырский Долгано-Ненецкий р-н в составе Красноярского края), обладающем самой большой площадью и наиболее выраженной континентальностью климата. В то же время на том же рисунке хорошо заметны и региональные особенности тундр. В частности, на Кольском п-ве (административно: Мурманская область), расположенном наиболее к западу среди российских тундровых регионов, интенсивность С-обмена в среднем выше, чем следовало бы ожидать из его общих широтных закономерностей, а на Чукотском п-ве (Чукотский АО), расположенном на крайнем вос-

токе, – ниже. В первом случае это связано с тепляющим влиянием Гольфстрима, во втором – с холодным течением Куроисио, при относительно небольших размерах самих полуостровов.

В табл. 2.1 сведена информация, полученная на основе разработанной геоинформационной модели. Приведены площади всех выделенных тундровых ландшафтов РФ и определена их принадлежность к субъектам Федерации, а также рассчитано их относительное площадное и функциональное участие в С-обмене тундровой зоны РФ. Для каждого ландшафтного выдела приведена расчетная оценка чистого (нетто) баланса С-СО<sub>2</sub> для периода условной климатической нормы.

**Таблица 2.1.** Субъекты РФ, на территории которых представлены различные зональные и интразональные тундровые ландшафты, включая лесотундры, и оценки чистого потока С-СО<sub>2</sub> за год для различных периодов наблюдений. Отрицательные значения – сток углерода (С-СО<sub>2</sub>) из атмосферы, положительные – источник. Для периода выраженного потепления в модели использованы реальные значения ФАР и температур воздуха, а также основанный на наблюдениях прогноз по увеличению запасов надземной фитомассы на 20%

Субъекты РФ	Тип тундрового ландшафта	Площадь, млн га	Оценка чистого потока СО <sub>2</sub> , гС м <sup>-2</sup> в год в период условной климатической нормы (1900-1980 гг.)	Оценка чистого потока С-СО <sub>2</sub> , гС м <sup>-2</sup> в год в период выраженного потепления (1981-2017 гг.)
Мурманская обл.	Горные полярные пустыни	0,0488	-11,31	-10,05
Мурманская обл.	Горная тундра	0,4482	40,86	33,45
Мурманская обл.	Болота горной тундры	0,2578	28,82	2,19
Мурманская обл.	Речные долины горной тундры	0,1	-8,01	46,49
Мурманская обл.	Южная тундра	1,9023	109,77	68,24
Мурманская обл.	Лесотундра	3,1153	-142,02	-245,34
Мурманская обл.	Болота лесотундры	0,3184	125,18	75,01
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Ледники	4,36	0	0
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Полярные пустыни	2,18	-10,93	-12,49
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Арктическая тундра	3,8	-20,5	-64,03
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Горная тундра	0,004	-32,59	4,91

Продолжение таблицы 2.1

Субъекты РФ	Тип тундрового ландшафта	Площадь, млн га	Оценка чистого потока CO <sub>2</sub> , гС м <sup>-2</sup> в год в период условной климатической нормы (1900-1980 гг.)	Оценка чистого потока С-CO <sub>2</sub> , гС м <sup>-2</sup> в год в период выраженного потепления (1981-2017 гг.)
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Типичная тундра (т.т.)	4,13	42,19	0,99
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Болота типичной тундры	0,45	85,62	53,29
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Речные долины типичной тундры	0,12	-138,44	-249,59
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Южная тундра	11,5	25,73	-28,21
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Болота южной тундры	1,123	10,59	-40,18
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Речные долины южной тундры	0,64	-231,46	-386,35
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Лесотундра	3	-757,97	-1026,64
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Болота лесотундры	0,4	108,64	55,50
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Речные долины лесотундры	0,13	-211,19	-358,79
Республика Коми	Горные полярные пустыни	0,68	-11,31	-5,31
Республика Коми	Горные тундры	1,82	23,78	-4,35
Республика Коми	Речные долины горных тундр	0,02	-34,99	-83,78
Республика Коми	Типичная тундра	0,42	42,18	3,38
Республика Коми	Речные долины типичных тундр	0,004	-115,06	-83,78
Республика Коми	Южные тундры	1,4	86,43	54,65
Республика Коми	Речные долины южных тундр	0,09	-207,55	-353,30
Республика Коми	Лесотундры	3,46	-426,20	-605,49
Ямало-Ненецкий АО	Горная тундра	0,003	12,64	-26,23

Субъекты РФ	Тип тундрового ландшафта	Площадь, млн га	Оценка чистого потока CO <sub>2</sub> , гС м <sup>-2</sup> в год в период условной климатической нормы (1900-1980 гг.)	Оценка чистого потока С-CO <sub>2</sub> , гС м <sup>-2</sup> в год в период выраженного потепления (1981-2017 гг.)
Ямало-Ненецкий АО	Арктическая тундра	6,495	23,74	1,85
Ямало-Ненецкий АО	Болота арктической тундры	0,682	37,72	7,96
Ямало-Ненецкий АО	Речные долины арктической тундры	0,83	-1,96	-38,35
Ямало-Ненецкий АО	Типичная тундра	10,95	56,14	14,35
Ямало-Ненецкий АО	Болота типичной тундры	0,55	93,93	56,38
Ямало-Ненецкий АО	Речные долины типичной тундры	1,6	-105,40	-215,62
Ямало-Ненецкий АО	Южная тундра	11,096	50,53	8,37
Ямало-Ненецкий АО	Болота южной тундры	0,709	-29,87	-115,49
Ямало-Ненецкий АО	Речные долины южной тундры	2,41	-163,91	-301,04
Ямало-Ненецкий АО	Лесотундра	3,52	-157,08	-273,79
Ямало-Ненецкий АО	Болота лесотундры	0,16	101,25	54,94
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Ледники	1,8	0	0
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Полярные пустыни	4,65	-11,13	-11,41
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Горные полярные пустыни	2,77	-11,31	-10,05
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Горная тундра	13,54	3,52	-40,49
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Болота горной тундры	0,001	37,02	8,56
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Речные долины горной тундры	0,29	-16,81	-63,37

Продолжение таблицы 2.1

Субъекты РФ	Тип тундрового ландшафта	Площадь, млн га	Оценка чистого потока CO <sub>2</sub> , гС м <sup>-2</sup> в год в период условной климатической нормы (1900-1980 гг.)	Оценка чистого потока С-CO <sub>2</sub> , гС м <sup>-2</sup> в год в период выраженного потепления (1981-2017 гг.)
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Арктическая тундра	23,05	15,25	-0,10
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Речные долины арктической тундры	1,98	-34,82	-68,96
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Типичная тундра	17,033	21,57	-33,16
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Болота типичной тундры	0,167	-45,44	-119,60
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Речные долины типичной тундры	2,407	-41,45	-114,80
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Южная тундра	10,801	40,15	9,54
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Болота южной тундры	0,028	-7,83	-74,38
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Речные долины южной тундры	1,24	-270,44	-422,11
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Лесотундра	13,121	13,60	-76,14
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Болота лесотундры	0,11	112,88	65,32
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Речные долины лесотундры	1,86	-120,99	-245,47
Республика Саха	ледники	0,01	0	0
Республика Саха	Полярная пустыня	0,81	-12,43	-13,31
Республика Саха	Горная тундра	9,5	10,47	-11,53
Республика Саха	Речные долины горной тундры	0,56	10,62	-37,62
Республика Саха	Арктическая тундра	13,1	25,43	1,59

Субъекты РФ	Тип тундрового ландшафта	Площадь, млн га	Оценка чистого потока CO <sub>2</sub> , гС м <sup>-2</sup> в год в период условной климатической нормы (1900-1980 гг.)	Оценка чистого потока С-CO <sub>2</sub> , гС м <sup>-2</sup> в год в период выраженного потепления (1981-2017 гг.)
Республика Саха	Болота арктической тундры	0,057	-16,45	-48,00
Республика Саха	Речные долины арктической тундры	3,45	6,69	-33,39
Республика Саха	Типичная тундра	12,39	45,03	-17,35
Республика Саха	Речные долины типичной тундры	2,93	-17,53	-101,81
Республика Саха	Южная тундра	1,309	3,07	-31,64
Республика Саха	Речные долины южной тундры	0,1	-252,10	-392,21
Республика Саха	Лесотундра	7,56	-7,10	-91,92
Республика Саха	Дальневосточная типичная тундра	0,003	23,30	-14,09
Чукотский АО	Горная полярная пустыня	3,3	-11,31	-10,05
Чукотский АО	Горная тундра	12,1	21,93	-22,45
Чукотский АО	Речные долины горной тундры	0,32	-3,78	-53,55
Чукотский АО	Арктическая тундра	1,3	19,51	-7,91
Чукотский АО	Речные долины арктической тундры	0,04	-4,41	-39,72
Чукотский АО	Типичная тундра	0,77	16,41	-44,28
Чукотский АО	Речные долины типичной тундры	0,12	-31,15	-103,84
Чукотский АО	Дальневосточная типичная тундра	20,417	45,87	-2,49
Чукотский АО	Речные долины дальневосточной типичной тундры	2,21	4,33	-73,12
Чукотский АО	Дальневосточная лесотундра	6	-167,13	-293,04
Чукотский АО	Речные долины дальневосточной лесотундры	0,94	-236,98	-378,97

Показатели, характеризующие доли участия различных административных субъектов РФ в общем балансе тундровой зоны страны, отдельно

приведены в табл. 2.2. Заметим, что как средневзвешенные для территории регионов оценки С-баланса, так и доли участия субъектов в общем балансе тундровой зоны РФ не коррелируют с площадями тундровых ландшафтов на их территории. Напротив, для самых крупных тундровых регионов (Таймырский Долгано-Ненецкий р-н и Республика Саха, которые в сумме представляют 52,6% тундровой зоны РФ) характерны низкие величины нетто-баланса, который является слабым источником С для атмосферы. Наибольший региональный вклад наблюдается со стороны Архангельской области (включая Ненецкий АО) и республики Коми (в сумме 62,3%) расположенных на Европейской территории РФ. Этот, казалось бы, парадоксальный результат связан, с одной стороны, с высокой относительной интенсивностью стока С на их территории, что обязано достаточно теплым местным условиям (сравним среднесезонные показатели температур в регионах по табл. 2.2), а с другой стороны, с тем, что самые представительные по площади тундровые регионы находятся в состоянии С-баланса близком к равновесному.

**Таблица 2.2.** Показатели относительного вклада отдельных субъектов Российской Федерации в углеродный (С-СО<sub>2</sub>) годовой баланс российской тундровой зоны согласно расчетам по модели для периода условной климатической нормы (1900-1980 гг.)

Субъект РФ	Среднесезонная температура воздуха за период наблюдений (°С, в среднем за год)	Доля тундровых ландшафтов, % от всей площади тундр РФ; (в скобках – площадь, млн га)	Средневзвешенная по площади субъекта РФ величина чистого потока углерода (нетто-баланса), гС м <sup>-2</sup> в год	Доля участия (%) субъекта в общем нетто С-балансе РФ (в скобках характер участия)
Мурманская обл.	-2,9	2,2 (6,19)	-32,9	3,31 (сток)
Архангельская обл., включая Ненецкий АО	-3,25	11,41 (31,84)	-78,3	40,87 (сток)
Республика Коми	-5,01	2,8 (7,9)	-167,24	21,44 (сток)
Ямало-Ненецкий АО	-8,5	14 (39,01)	4,0	2,56 (источник)
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н (в составе Красноярского края)	-9,8	34 (94,85)	6,99	10,9 (источник)
Республика Саха	-11,4	18,6 (51,78)	17,51	14,9 (источник)
Чукотский АО	-8,11	17 (47,52)	-7,68	5,98 (сток)
Россия в целом	-8,6	100% (279 млн га)	-9,4±7	100% (сток)

**Примечание.** Средневзвешенные по площади субъектов РФ оценки потоков в колонке 4 рассчитываются как суммы произведений удельных потоков ландшафтов в табл. 2.1 (колонка 4) на долевое участие их площадей в пределах тундровой зоны данного субъекта РФ, рассчитанное по колонке 3 табл. 2.1. Для России в целом оценка в последней графе (-9,4±7) получена путем суммирования произведений долей от всей площади тундр РФ в колонке 3 данной таблицы на соответствующие им величины в колонке 4. Вклады отдельных субъектов РФ в

общероссийский баланс  $\text{CO}_2$  (колонка 5 данной таблицы) рассчитываются как произведения абсолютных значений удельных потоков в колонке 4 на соответствующие субъектам РФ доли от общей площади тундр в колонке 3, деленные на сумму этих произведений для всех субъектов РФ.

Тем не менее, выше речь шла о нетто-потоках  $\text{CO}_2$ . Если же рассматривать слагающие их валовые потоки дыхания и продукции, то сравнительный вклад регионов РФ меняется. В табл. 2.3, построенной для собственно тундровых ландшафтов (без вклада лесотундр), приведены крупные ландшафтные регионы, которые в основном совпадают с административными субъектами РФ, за исключением островов арктического бассейна. Табл. 2.3 показывает, что в региональном отношении наибольшее значение в общем углеродном ( $\text{CO}_2$ ) круговороте тундровой зоны РФ имеют тундры Западной и Центральной Сибири (административно сюда входит Ямало-Ненецкий АО и Таймырский Долгано-Ненецкий р-н), дающие в сумме 53% от валовой продукции и 52% от дыхания всей зоны, что согласуется с наибольшими площадями этих регионов (47,3% от всей площади зоны). По интенсивности  $\text{CO}_2$ -обмена, (как в составе продукции, так и дыхания), тем не менее, лидирует Восточно-Европейская тундра (административно разделена между Мурманской областью, Архангельской областью вместе с Ненецким АО, и Республикой Коми), что отражается в существенном повышении ее доли в углеродном цикле (14,9% для GPP и 14,5% для GR) по сравнению с долей по площади (8,7%). Это объясняется преобладанием продуктивных экосистем южных тундр и лесотундр в данном регионе и его собственным более южным положением (рис. 2.2). Дальневосточная тундра (Чукотский АО) формально обладает наиболее южным положением среди всех тундровых регионов РФ (рис. 2.2), однако интенсивность углеродного обмена на ней оказывается наименее высокой среди всех материковых регионов российской тундры. Это связано, с одной стороны, с высокой гористостью чукотских ландшафтов, а с другой, с полуостровным положением этого региона и выраженным местным климатическим влиянием бассейна Северного Ледовитого океана на севере и холодного течения Курисио на юге и востоке. Поэтому среднепогодные температуры воздуха здесь не отличаются от характерных для территории Ямало-Ненецкого АО (табл. 2.3).

**Период наблюдений, к которому относятся модельные оценки.** Результаты, полученные при помощи используемой регрессионной модели, во многом определяются исходными данными. Мы использовали среднепогодные данные по температуре воздуха и приходу солнечной радиации [56]. Периоды наблюдений существенно разнятся для различных метеостанций, однако в целом их можно оценить, как 1900-1960 гг. для температуры и 1945-1960 гг. для солнечной радиации. Сходным образом обстоит дело и с исходными данными по наземной фитомассе. Значительная их часть была получена в 1965-1980 гг. в период разработки Международной Биологической Программы (IBP).

---

**Таблица 2.3.** Площадь (S) и годовые величины валовой первичной продукции (GPP) и валового дыхания (GR) (C-CO<sub>2</sub>) для ландшафтных регионов тундровой зоны России (без лесотундр, но включая зональные горные тундры и интразональные ландшафты)

Регион	S		GPP			GR		
	млн га	%	Общая		Средняя	Общая		Средняя
			МгС	%	гС · м <sup>-2</sup>	МгС	%	гС · м <sup>-2</sup>
Кольский п-ов	2,8	1,2	-8,0	1,7	-289,2	9,5	2,0	344,8
Восточно-Европейская тундра	20,5	8,7	-70,7	14,9	-345,3	67,2	14,5	328,0
Полярный Урал	3,7	1,6	-4,7	1,0	-128,3	5,3	1,1	144,1
Западные острова	12,5	5,3	-4,9	1,0	-39,4	3,8	0,8	30,3
Западная Сибирь	35,3	15,0	-100,7	21,1	-285,0	98,5	21,2	278,8
Центральная Сибирь	76,1	32,3	-149,8	31,5	-196,9	142,2	30,6	186,9
Якутия	40,0	17,0	-71,1	14,9	-177,8	69,7	15,0	174,1
Восточные острова	4,5	1,9	-2,0	0,4	-44,3	1,7	0,4	38,9
Чукотка	39,9	16,9	-64,2	13,5	-161,0	66,0	14,2	165,7
Тундры России	235,2	100,0	-476,1	100,0	-202,4	463,9	100,0	197,2

Таким образом, исходные данные по климату и фитомассе практически не охватывают период с 1981 по 2017 г., то есть период наиболее выраженного глобального и евразийского потепления климата, в том числе на территории тундрового биома. В связи с этим становится понятным полученный с помощью модели вывод о значительной сбалансированности продукции и дыхания зоны тундр. Он просто соответствует равновесному, близкому к климаксу состоянию тундровых экосистем в условиях относительно стабильного климата, характерного для периода первой половины и середины 20 века (1900-1980 гг.).

Тем не менее, сейчас хорошо известно, что текущий баланс углерода тундровой зоны во многом определяется процессами изменения климата и может меняться очень динамично. Для ряда регионов мировой тундры показано [5, 59, 64 и др.], что потепление в тундрах приводит к преобладанию деструкции над продукцией и превращению тундр в источник углерода, с другой стороны, повышение поступления ФАР и рост влажности почвы может усиливать сток С за счет прироста фотосинтезирующей фитомассы [45]. Следовательно, для отдельных регионов российских тундр современный баланс углерода может быть смещен, как в сторону источника, так и стока С для атмосферы.

Несмотря на то, что к настоящему моменту еще не удалось накопить сравнимый с более ранним периодом массив полевых данных по изменениям запасов фитомассы, тем не менее, основываясь на динамике имеющихся мете-

оданных, а также полевых и спутниковых наблюдений за изменениями NDVI или индекса листовой поверхности, можно попытаться с помощью тех же моделей провести прогнозные расчеты современного углеродного баланса.

С этой целью на первом этапе был проведен компьютерный эксперимент, имитирующий влияние температурных изменений на углеродный цикл тундр. В эксперименте изменяли температуры теплого периода, при этом продолжительность теплого периода, величины ФАР и фитомассы оставляли постоянными. Если при имитации похолодания какое-либо температурное значение становилось отрицательным, то ему приписывалось нулевое значение. В результате эксперимента было получено, что как валовая продукция, так и валовое дыхание увеличиваются с ростом температуры, однако согласно эмпирическим уравнениям дыхание растёт несколько быстрее, в связи с чем тундра становится источником углерода для атмосферы. Такой эффект обратимого перехода тундровых экосистем из состояния стока в состояние источника С на уровне суточных нетто-потоков С в результате внутрисезонных флуктуаций температуры воздуха выше среднесуточной температуры +14°C уже отмечался в литературе [70]. Переход границы нулевого баланса современных российских тундр соответствует повышению температуры на 1°C. Однако модель не предсказывает сколько-нибудь значительного высвобождения углерода в атмосферу из тундровой зоны РФ, если будет меняться только один фактор С-баланса – температура воздуха. Даже при повышении температуры на +4°C годовые потери углерода составят лишь 20,1 гС·м<sup>-2</sup> или 48,9 МтС для всей тундровой территории России.

Очевидно, что проведенный выше компьютерный эксперимент не учитывает комплексного воздействия изменений климата при глобальном потеплении, включая такие, как изменения гидрологического режима тундр, соотношений площадей ландшафтов, структуры и биомассы растительных сообществ, изменения выпадения осадков, поступления общей солнечной радиации и ФАР и т.д. В частности, согласно последним данным наблюдения, в тундровом биоме планеты, как и в ряде лесных биомов Северного полушария, с 1982 по 2009 гг. согласно изменениям индекса листовой поверхности, происходит заметное увеличение зеленой массы растений (в среднем в бореальной зоне на 5%, в тундровой зоне до 15%), что связывается с продолжающимся быстрым ростом концентрации СО<sub>2</sub> в атмосфере и потеплением климата. Это подтверждают и последние данные полевых наблюдений в российских тундрах [45]. Кроме того, в ряде тундровых регионов РФ отмечается значительный прирост влажности почвы и поступления ФАР, что приводит к увеличению запасов надземной фитомассы (там же). Поэтому в рамках возможностей регрессионной модели, был проведен следующий компьютерный эксперимент, который имитировал влияние на нетто С-баланс наблюдаемых последствий потепления. При этом за неимением данных полевых наблюдений для всех тундровых регионов и ландшафтов, запасы значимых для модели фракций надземной фитомассы в тундрах (листвы травяных, зеленых и древесных частей кустарничков и кустарников, а также мхов и лишайников) были увеличены во всех типах тундровых экосистем на 20%. Данная оценка

---

опиралась на имеющиеся полевые данные (см. ссылки выше). Данные по температуре воздуха, как и для периода климатической нормы (1981-2017 гг.), были взяты с усреднением по метеостанциям, находящимся на территории соответствующих ландшафтов и регионов на интересующий период. Данные по ФАР были рассчитаны по данным общей облачности и эмпирическому уравнению [5] по тем же метеостанциям, которые были использованы при расчетах климата для периода климатической нормы. При этом среднее изменение температуры составило, по сравнению с периодом условной климатической нормы, прирост на  $+1,5^{\circ}\text{C}$ , а средний прирост ФАР составил 20%.

В результате применения модели получено, что общее состояние С-баланса тундровой зоны РФ сменилось под влиянием потепления на территории России с динамического равновесия  $(-9,4 \pm 7 \text{ гС-CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ в год})$  на выраженный сток из атмосферы величиной  $-66,13 \pm 20 \text{ гС-CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ в год}$ . Это соответствует валовой оценке поглощения С для российской тундровой зоны равной  $-184,5 \pm 45,8 \text{ МтС в год}$ . Полученный для современного периода возросший показатель нетто-баланса тундровой зоны РФ уже характерен для нижней границы диапазона многолетних изменений годового баланса С таежных лесов [71]. Для сравнения, вся современная промышленная и сельскохозяйственная эмиссия углерода России оценивается в  $470 \text{ МтС год}^{-1}$  [72]. Т.о., полученный сток в действительности является огромной величиной, которая способна повлиять на общий национальный и глобальный баланс С. При этом, как показал анализ модели, наибольший вклад в величину прироста стока С оказался со стороны прироста ФАР (положительный), на втором месте – вклад прироста зеленых частей фитомассы (положительный), и на последнем – вклад прироста температуры воздуха (отрицательный).

Участие 7-ми российских тундровых регионов (субъектов РФ) также оказалось неравнозначным и существенно отличающимся от их вклада в С-обмен в период климатической нормы. Хотя наибольшим он остался у двух восточно-европейских регионов (Архангельская обл. и республика Коми), тем не менее, в целом произошла смена лидерства восточно-европейских на сибирские регионы – в сумме вклад первых снизился с 65 до 48%, а сибирских регионов (Ямало-Ненецкого, Таймырского Долгано-Ненецкого р-на, республики Саха и Чукотского АО) возрос с 35 до 52%. Такая смена лидирующих по вкладу в С-баланс регионов по сравнению с периодом условной климатической нормы связано с тем, что по сравнению со стабильными внешними условиями, в которых экосистемы находятся в состоянии близком к балансу, в период изменений климата становится заметнее вклад более представительных по площади регионов. В период же стабильности крупные регионы находятся в более устойчивом равновесии, чем небольшие по площади (европейские, в нашем случае) субъекты, обмен в которых больше зависит от местных особенностей (например, влияние местных океанических течений).

На рис. 2.3 приведено пространственное распределение нетто-потоков С-СО<sub>2</sub> тундровой зоны по субъектам РФ. Для построения карты использована информация из табл. 2.4.

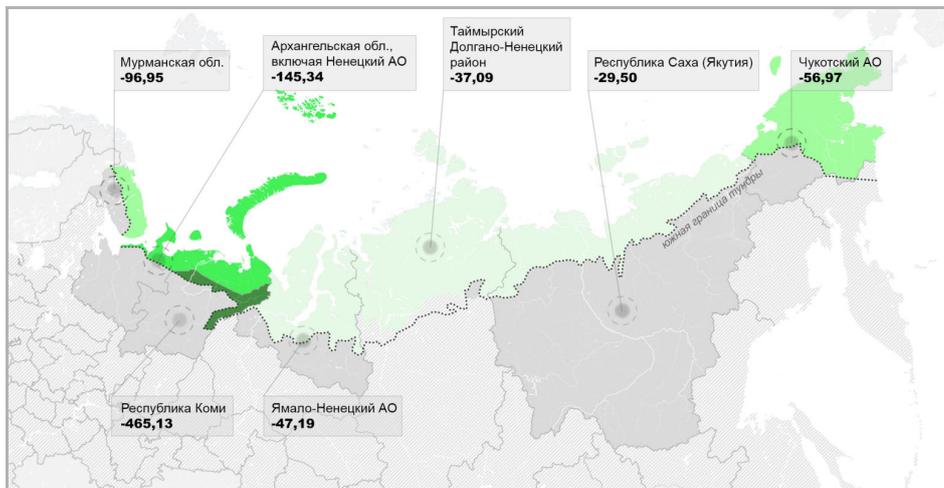
**Таблица 2.4.** Показатели относительного вклада отдельных субъектов Российской Федерации в углеродный (C-CO<sub>2</sub>) годовой баланс российской тундровой зоны согласно расчетам по модели, для периода наиболее выраженного потепления (1981-2017 гг.)

Субъект РФ	Общая площадь субъекта РФ, млн га (% от общей площади региона занимаемый тундрами)	Площадь тундровых ландшафтов млн га (в скобках доля которую они занимают от всей площади тундр РФ)	Средневзвешенная по площади субъекта РФ величина нетто баланса гС м <sup>-2</sup> в год	Доля участия (%) субъекта в общем нетто С-балансе РФ (в скобках - характер участия)
Мурманская обл.	14,49 (42,7%)	6,19 (2,2%)	-96,95	3,2 (сток)
Архангельская обл., включая Ненецкий АО	58,99 (54%)	31,84 (11,41%)	-145,34	25,1 (сток)
Республика Коми	41,59 (19%)	7,9 (2,8%)	-465,13	19,7 (сток)
Ямало-Ненецкий АО	76,93 (50,7%)	39,01 (14%)	-47,19	10,0 (сток)
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н (в составе Красноярского края)	94,85 (100%)	94,85 (34%)	-37,09	19,1 (сток)
Республика Саха	308,4 (16,8%)	51,78 (18,6%)	-29,5	8,3 (сток)
Чукотский АО	73,77 (64,4%)	47,52 (17%)	-56,97	14,6 (сток)
<b>Россия в целом</b>	<b>669,02 (49,66%)</b>	<b>279 (100%)</b>	<b>-66,13±32</b>	<b>100% (сток)</b>

**Примечание.** Средневзвешенные по площади субъектов РФ оценки потоков в колонке 4 рассчитываются как суммы произведений удельных потоков ландшафтов в табл. 2.1 (колонка 5) на долевое участие их площадей в пределах тундровой зоны данного субъекта РФ, табл. 2.1. Для России в целом оценка в последней графе (-66,13±32) получена путем суммирования произведений долей от всей площади тундр РФ в колонке 3 данной таблицы на соответствующие им величины в колонке 4. Вклады отдельных субъектов РФ в общероссийский баланс CO<sub>2</sub> (колонка 5 данной табл.) рассчитываются как произведения абсолютных значений удельных потоков в колонке 4 на соответствующие субъектам РФ доли от общей площади тундр в колонке 3, деленные на сумму этих произведений для всех субъектов РФ.

Настоящее исследование представляет собой функциональное обобщение результатов работ, включавших построение баз данных и компьютерных карт [12], обобщение результатов газиметрических измерений [5, 45, 52-54], а также разработку подходов к моделированию процессов углеродного обмена в тундрах [51, 52, 54]. В итоге с помощью регрессионного моделирования осуществлена характеристика биогенных макропотоков углерода (CO<sub>2</sub>) для тундровой зоны России, отдельных административных единиц, на территории которых встречаются тундровые экосистемы, и ландшафтных регионов. Получено, что за период наиболее выраженного глобального потепления, который оказался наиболее выражен на территории РФ, российский национальный тундровый биом превратился из относительно сбалансированного по потокам углерода (в составе CO<sub>2</sub>), в область его достаточно выраженного стока из атмосферы (-66,13±32 гС-CO<sub>2</sub> м<sup>-2</sup> в год), что соответствует поглоще-

нию  $-184,5 \pm 45,8$  МтС-СО<sub>2</sub> в год для всей территории тундровой зоны РФ (279 млн га). Потенциал российского тундрового биома по поглощению С-СО<sub>2</sub> следует оценить, как достаточно высокий. Наибольший вклад в полученную величину современного поглощения вносят изменения ФАР и зеленых частей фитомассы. Заметим, что эта оценка существенно превышает нашу аналогичную оценку ( $-43,8 \pm 28$  МтС-СО<sub>2</sub> в год), полученную для российских тундровых регионов в 2017 г. Это связано с тем, что в данном случае в модели были использованы увеличенные запасы надземной фитомассы, которые оценивались исходя из доступной полевой информации и экспертных заключений, тогда как прежняя оценка была основана на допущении о стабильном состоянии запасов растительной биомассы.



**Рисунок 2.3.** Распределение средневзвешенных по территории тундровых ландшафтов нетто-потоков CO<sub>2</sub> (гС м<sup>-2</sup> в год) в пределах административных субъектов РФ. Средне-серым цветом выделены части их территории, не относящиеся к тундровой зоне. Градации зеленого цвета соответствуют приведенным в цифрах величинам потоков. Сплошные линии – административные границы, пунктирная – южная граница тундровой зоны. Светло-серой штриховкой даны прочие регионы РФ

Может показаться, что значительная часть факторов и процессов, участвующих во взаимодействии климатических изменений и углеродного цикла тундр, не вошли в регрессионные уравнения и, т.о., остались вне рассмотрения. В первую очередь это касается значимых для С-баланса изменений гидрологического режима мерзлотных почв, прямое влияние повышения концентрации атмосферного CO<sub>2</sub>, нарушения циклов биогенных элементов и другое. Любой из этих факторов в какой-то из периодов глобальных изменений или в каком-то конкретном регионе может выйти на первое место и существенно изменить функционирование тундровых экосистем и их С-баланса. Тем не менее, такой относительно простой генерализованный подход позволяет учесть и эти параметры в неявном (опосредованном) виде, в частности, роль изменений гидрологического режима и роста концентрации CO<sub>2</sub> косвенно учитывается здесь через динамику надземной зеленой и древесной фитомассы, которая входит в состав независимых переменных модели.

### 2.1.2.2. Метан (CH<sub>4</sub>)

Как было указано в разделе 2.1.1, в настоящее время основным подходом к анализу эмиссионного потенциала больших областей в отношении метана является экстраполяция данных, полученных для конкретных экосистем, на большие территории с учетом знаний о площадях, занимаемых различными типами ландшафтов в пределах исследуемой области.

Результаты проведенного анализа представлены в табл. 2.5. Заметим, что поскольку в приведенных значениях потоков метана в данном случае уже учтены доли гидро- и автоморфных элементов в пределах региональных ландшафтов, то показатели зональных и соответствующих им интразональных элементов (болота и речные долины) в пределах зональных экосистем в таблице совпадают.

**Таблица 2.5.** Субъекты РФ, на территории которых представлены различные зональные и интразональные тундровые ландшафты, включая лесотундры, и усредненные оценки эмиссии метана за год для периода выраженного потепления (1980-2017 гг.). Для пересчета парникового эффекта молекул метана в эффект от молекул CO<sub>2</sub> везде используется коэффициент 25. Знаки «+» означают источник для атмосферы

Субъекты РФ	Тип тундрового ландшафта	Площадь, млн га	Оценка чистого потока (эмиссии) метана, в экв. гС-CO <sub>2</sub> м <sup>2</sup> в год
Мурманская обл.	Горные полярные пустыни	0,0488	6,80
Мурманская обл.	Горная тундра	0,4482	42,31
Мурманская обл.	Болота горной тундры	0,2578	42,31
Мурманская обл.	Речные долины горной тундры	0,1	42,31
Мурманская обл.	Южная тундра	1,9023	69,77
Мурманская обл.	Лесотундра	3,1153	83,93
Мурманская обл.	Болота лесотундры	0,3184	83,93
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Ледники	4,36	0,00
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Полярные пустыни	2,18	29,23
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Арктическая тундра	3,8	29,23
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Горная тундра	0,004	42,31
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Типичная тундра	4,13	57,02

Продолжение таблицы 2.5

Субъекты РФ	Тип тундрового ландшафта	Площадь, млн га	Оценка чистого потока (эмиссии) метана, в экв. $\text{гC-CO}_2 \text{ м}^{-2}$ в год
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Болота типичной тундры	0,45	57,02
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Речные долины типичной тундры	0,12	57,02
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Южная тундра	11,5	69,77
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Болота южной тундры	1,123	69,77
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Речные долины южной тундры	0,64	69,77
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Лесотундра	3	83,93
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Болота лесотундры	0,4	83,93
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Речные долины лесотундры	0,13	83,93
Республика Коми	Горные полярные пустыни	0,68	6,80
Республика Коми	Горные тундры	1,82	42,31
Республика Коми	Речные долины горных тундр	0,02	42,31
Республика Коми	Типичная тундра	0,42	57,02
Республика Коми	Речные долины типичных тундр	0,004	57,02
Республика Коми	Южные тундры	1,4	69,77
Республика Коми	Речные долины южных тундр	0,09	69,77
Республика Коми	Лесотундры	3,46	83,93
Ямало-ненецкий АО	Горная тундра	0,003	42,31
Ямало-ненецкий АО	Арктическая тундра	6,495	29,23
Ямало-ненецкий АО	Болота арктической тундры	0,682	29,23
Ямало-ненецкий АО	Речные долины арктической тундры	0,83	29,23
Ямало-ненецкий АО	Типичная тундра	10,95	57,02

Субъекты РФ	Тип тундрового ландшафта	Площадь, млн га	Оценка чистого потока (эмиссии) метана, в экв. ГС-СО <sub>2</sub> м <sup>2</sup> в год
Ямало-ненецкий АО	Болота типичной тундры	0,55	57,02
Ямало-ненецкий АО	Речные долины типичной тундры	1,6	57,02
Ямало-ненецкий АО	Южная тундра	11,096	69,77
Ямало-ненецкий АО	Болота южной тундры	0,709	69,77
Ямало-ненецкий АО	Речные долины южной тундры	2,41	69,77
Ямало-ненецкий АО	Лесотундра	3,52	83,93
Ямало-ненецкий АО	Болота лесотундры	0,16	83,93
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Ледники	1,8	0,00
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Полярные пустыни	4,65	29,23
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Горные полярные пустыни	2,77	6,80
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Горная тундра	13,54	42,31
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Болота горной тундры	0,001	42,31
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Речные долины горной тундры	0,29	42,31
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Арктическая тундра	23,05	29,23
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Речные долины арктической тундры	1,98	29,23
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Типичная тундра	17,033	57,02
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Болота типичной тундры	0,167	57,02
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Речные долины типичной тундры	2,407	57,02
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Южная тундра	10,801	69,77
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Болота южной тундры	0,028	69,77
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Речные долины южной тундры	1,24	69,77
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Лесотундра	13,121	83,93
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Болота лесотундры	0,11	83,93

Продолжение таблицы 2.5

Субъекты РФ	Тип тундрового ландшафта	Площадь, млн га	Оценка чистого потока (эмиссии) метана, в экв. $\text{гC-CO}_2 \text{ м}^{-2}$ в год
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Речные долины лесотундры	1,86	83,93
Республика Саха	ледники	0,01	0,00
Республика Саха	Полярная пустыня	0,81	29,23
Республика Саха	Горная тундра	9,5	42,31
Республика Саха	Речные долины горной тундры	0,56	42,31
Республика Саха	Арктическая тундра	13,1	29,23
Республика Саха	Болота арктической тундры	0,057	29,23
Республика Саха	Речные долины арктической тундры	3,45	29,23
Республика Саха	Типичная тундра	12,39	57,02
Республика Саха	Речные долины типичной тундры	2,93	57,02
Республика Саха	Южная тундра	1,309	69,77
Республика Саха	Речные долины южной тундры	0,1	69,77
Республика Саха	Лесотундра	7,56	83,93
Республика Саха	Дальневосточная типичная тундра	0,003	57,02
Чукотский автономный округ	Горная полярная пустыня	3,3	6,80
Чукотский автономный округ	Горная тундра	12,1	42,31
Чукотский автономный округ	Речные долины горной тундры	0,32	42,31
Чукотский автономный округ	Арктическая тундра	1,3	29,23
Чукотский автономный округ	Речные долины арктической тундры	0,04	29,23
Чукотский автономный округ	Типичная тундра	0,77	57,02
Чукотский автономный округ	Речные долины типичной тундры	0,12	57,02
Чукотский автономный округ	Дальневосточная типичная тундра	20,417	57,02
Чукотский автономный округ	Речные долины дальневосточной типичной тундры	2,21	57,02
Чукотский автономный округ	Дальневосточная лесотундра	6	83,93
Чукотский автономный округ	Речные долины дальневосточной лесотундры	0,94	83,93

**Примечание.** Список литературных источников на основе которых произведена оценка потоков метана для российских тундровых ландшафтов в приведенной таблице:

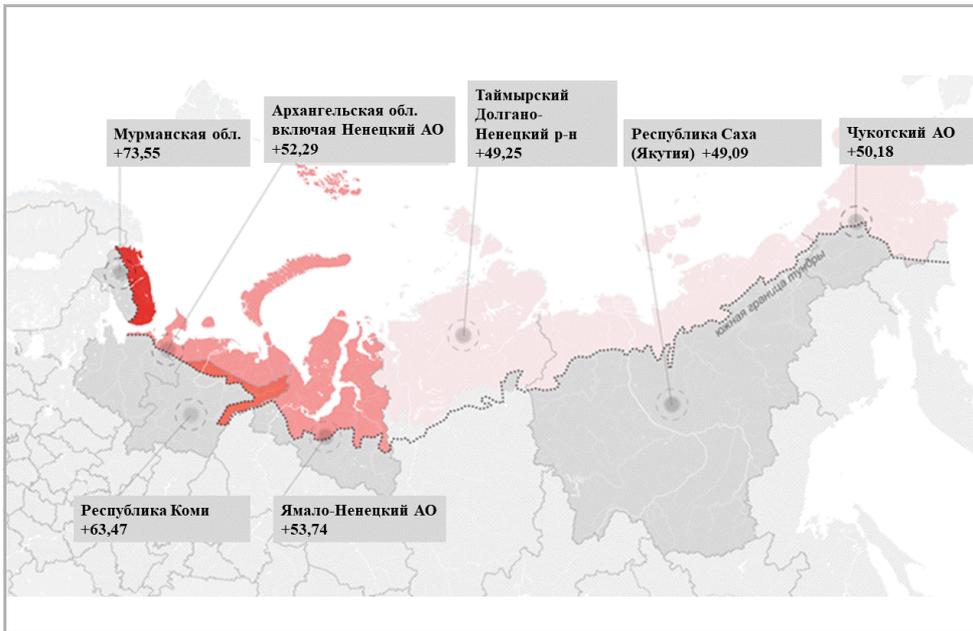
[5, 73-88]. Также использованы неопубликованные данные Карелина Д.В. и коллег, по полярным пустыням, арктическим и типичным тундрам и лесотундрам европейской части, а также арктическим островам РФ и архипелага Шпицберген, собранные с 2014 по 2017 гг.

**Таблица 2.6.** Показатели относительного вклада отдельных субъектов Российской Федерации в годовой баланс метана на территории российской тундровой зоны для периода наиболее выраженного потепления (1981-2017 гг.). Для пересчета парникового эффекта молекул метана в эффект от молекул CO<sub>2</sub> используется коэффициент 25  
«+» означает источник для атмосферы

Субъекты РФ	Общая площадь субъекта РФ, млн га (% от общей площади региона занимаемый тундрами)	Площадь тундровых ландшафтов млн га на территории субъекта РФ (в скобках доля которую они занимают от всей площади тундр РФ)	Средневзвешенная по площади субъекта РФ величина эмиссии метана в экв. гС-CO <sub>2</sub> м <sup>-2</sup> в год	Доля участия (%) субъекта РФ в общей эмиссии метана с территории тундровой зоны России
Мурманская обл.	14,49 (42,7%)	6,19 (2,2%)	73,55	3,15
Архангельская обл., включая Ненецкий автономный округ	58,99 (54%)	31,84 (11,41%)	52,29	11,63
Республика Коми	41,59 (19%)	7,9 (2,8%)	63,47	3,46
Ямало-Ненецкий автономный округ	76,925 (50,7%)	39,01 (14%)	53,74	14,67
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н (в составе Красноярского края)	94,85 (100%)	94,85 (34%)	49,25	32,65
Республика Саха	308,4 (16,8%)	51,78 (18,6%)	49,09	17,80
Чукотский автономный округ	73,77 (64,4%)	47,52 (17%)	50,18	16,63
<b>Россия в целом</b>	<b>669,02 (49,66%)</b>	<b>279 (100%)</b>	<b>51,29±14,6</b>	<b>100% (источник)</b>

**Примечание.** Средневзвешенные по площади субъектов РФ оценки потоков в колонке 4 рассчитываются как суммы произведений удельных потоков ландшафтов в табл. 2.5 (колонка 4) на долевое участие их площадей в пределах тундровой зоны данного субъекта РФ, рассчитанное по колонке 3 табл. 2.5. Для России в целом оценка в последней графе (**51,29±14,6**) получена путем суммирования произведений долей от всей площади тундр РФ в колонке 3 на соответствующие им величины в колонке 4. Вклады отдельных субъектов РФ в общероссийский баланс метана (колонка 5) рассчитываются как произведения абсолютных значений удельных потоков в колонке 4 на соответствующие субъектам РФ доли от общей площади тундр в колонке 3, деленные на сумму этих произведений для всех субъектов РФ.

Пространственное распределение региональных оценок эмиссии метана на территории тундрового биота России представлены на рис. 2.4.



**Рисунок 2.4.** Распределение средневзвешенных по территории тундровых ландшафтов нетто-потоков метана (в экв. гС-СО<sub>2</sub> м<sup>-2</sup> в год) в пределах административных субъектов РФ. Средне-серым цветом выделены части их территории, не относящиеся к тундровой зоне. Градации красного цвета соответствуют приведенным в цифрах величинам потоков. Сплошные линии – административные границы, пунктирная – южная граница тундровой зоны. Светло-серой штриховкой даны прочие регионы РФ

Как видно из полученных результатов, европейские регионы РФ (Мурманская, Архангельская обл. и республика Коми) по уровням удельной эмиссии метана превышают средневзвешенную оценку по всем российским тундрам, тогда как большие по площади сибирские регионы (за исключением переходного по этим показателям Ямало-Ненецкого АО) – демонстрируют показатели эмиссии ниже средней оценки. Однако в целом, сибирские регионы близки по удельной эмиссии метана к среднему значению для РФ, что определяется их огромной площадью (ок. 84% от всей тундровой зоны). Т.о., в данном случае, в отличие от ситуации с диоксидом углерода, наблюдаемый вклад региона целиком определяется сложением его тундровых ландшафтов и относительной площадью. Общий вклад европейских регионов составляет лишь 18,25%, тогда как сибирских – 81,75% при преобладающем участии Таймырского Долгано-Ненецкого р-на, который поставляет около трети российской эмиссии метана из тундр.

Полученная в табл. 2.6 средневзвешенная по площадям ландшафтов оценка потоков метана в год для тундровой зоны России (**51,29±14,6** экв. гС-СО<sub>2</sub> м<sup>-2</sup> в год) трансформируется в оценку валовой суммарной эмиссии: **143,11±40,7** экв. МтС-СО<sub>2</sub> в год. По сравнению с полученной в предыдущем разделе оценкой стока СО<sub>2</sub> равной **-184,5±45,8** экв. МтС-СО<sub>2</sub> в год, с учетом статистической погрешности, это значение от нее по абсолютной величине не отличается (t-тест,  $P < 0,05$ ). Полученное здесь значение хорошо соответствует

оценке годовой эмиссии метана для криолитозоны в целом [5]. Т.о., согласно результатам геоинформационного моделирования, сток С связанный с обменом углекислого газа практически компенсирует эмиссию метана на территории тундрового биома РФ. Однако следует отметить, что степень неопределенности в отношении оценки потоков метана существенно выше по сравнению с оценкой потоков CO<sub>2</sub>, что связано с недостатком полевых данных и отсутствием аналогичных вышеописанным для потоков CO<sub>2</sub> регрессионных моделей для потоков метана в тундровой зоне.

Отдельно выполнена оценка выбросов метана от навоза выпасаемых северных оленей в тундрах. В табл. 2.7 приведены оценки годового выброса метана от навоза выпасаемых оленей на территории тундровых экосистем с разбивкой по субъектам РФ.

**Таблица 2.7.** Выбросы CH<sub>4</sub> от навоза выпасаемых оленей на территории тундровых экосистем, тыс. т в год и тыс. т CO<sub>2</sub> экв. в год

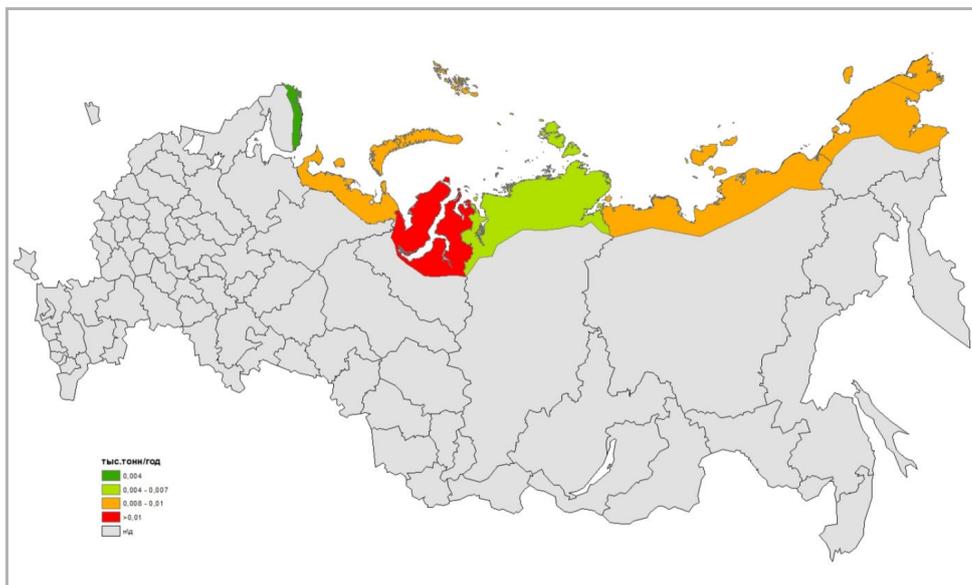
Субъекты РФ	Выбросы CH <sub>4</sub> , тыс. т в год	Выбросы CH <sub>4</sub> , тыс. т CO <sub>2</sub> экв. в год
Архангельская область	0,01	0,30
Мурманская область	0,00	0,10
Ямало-Ненецкий автономный округ	0,05	1,25
Красноярский край	0,01	0,20
Республика Саха (Якутия)	0,01	0,26
Чукотский автономный округ	0,01	0,27

Наибольшие значения выброса метана на территории тундровых экосистем отмечаются в Ямало-Ненецком автономном округе (1,25 тыс. т CO<sub>2</sub> экв.). Причиной такого большого количества выбросов на территории данного автономного округа является высокая численность поголовья северных оленей, выпасаемых на пастбищах. По данным Росстата на 1 января 2016 года поголовье северных оленей на территории Ямало-Ненецкого автономного округа составило 733,5 тыс. голов, что значительно превышает средние значения поголовья оленей в остальных регионах РФ.

На втором месте по количеству выбросов метана от навоза выпасаемых животных на территории тундровых экосистем выделяются регионы Северо-западного и Дальневосточного федеральных округов. Так, на территории Архангельской области выбросы метана составили 0,30 тыс. т CO<sub>2</sub> экв., а на территориях Республики Саха (Якутии) и Чукотского автономного округа – 0,27 тыс. т CO<sub>2</sub> экв.

В Чукотском автономном округе выбросы метана от навоза выпасаемых оленей составляют 99,9% от общих выбросов метана во всем округе. Таким образом, олени пастбища можно относить к основным источникам выбросов метана для данного региона.

На рис. 2.5 представлено распределение выбросов метана от навоза выпасаемых животных на территории тундровых экосистем.



**Рисунок 2.5.** Распределение выбросов  $\text{CH}_4$  (тыс. т) от навоза северных оленей в тундрах

### 2.1.2.3. Закись азота ( $\text{N}_2\text{O}$ )

В табл. 2.8 сведены данные по балансу закиси азота в тундровом биоме для современного периода (1981-2017 гг.) по различным регионам. Из-за недостатка данных нам пришлось использовать все имеющиеся полевые оценки потоков этого газа в аналогичных тундровых ландшафтах, т.е. не только полученные на территории России, но и в других арктических областях. Как известно, закись азота обладает одним из самых высоких радиационных потенциалов среди всех ПГ (1 моль  $\text{N}_2\text{O}$  оказывает такое же действие, как 298 молей  $\text{CO}_2$ ). При пересчете сезонной эмиссии  $\text{N}_2\text{O}$  в эквиваленте  $\text{C-CO}_2$  было обнаружено, что сезонная эмиссия закиси азота из влажных торфяников по степени влияния на парниковый эффект оказалась сопоставима с годовой эмиссией  $\text{CO}_2$  в тундровых экосистемах. В остальных случаях потенциальное влияние на парниковый эффект потоков закиси азота, выделяемых из почв тундр России, оказывается настолько меньше такового для диоксида углерода, что им можно пренебречь. Для оценки общего вклада потоков закиси азота в парниковый эффект для отдельных тундровых ландшафтов на территории РФ рассчитывали площади торфяных территорий. Автоморфным территориям была в расчетах приписана нулевая эмиссия. Зимний период при расчетах за год также был принят  $\text{N}_2\text{O}$ -нейтральным.

Так же, как и в случае с потоками метана отмечается превышение средней по РФ величины удельных потоков закиси азота в тундрах в западных (европейских) тундровых регионах, и более низкие, чем в среднем, их величины в сибирской (восточной) части (табл. 2.9).

**Таблица 2.8.** Субъекты РФ, на территории которых представлены различные зональные и интразональные тундровые ландшафты, включая лесотундры, и усредненные оценки эмиссии закиси азота за год для современного периода выраженного потепления (1981-2017 гг.). Для пересчета парникового эффекта молекул закиси азота в парниковый эффект от молекул CO<sub>2</sub> используется пересчетный коэффициент 298.

Знаки «+» означают источник для атмосферы

Субъекты РФ	Тип тундрового ландшафта	Площадь, млн га	Оценка чистого потока (эмиссии) закиси азота в экв. гC-CO <sub>2</sub> м <sup>-2</sup> в год
Мурманская обл.	Горные полярные пустыни	0,0488	0
Мурманская обл.	Горная тундра	0,4482	0
Мурманская обл.	Болота горной тундры	0,2578	0
Мурманская обл.	Речные долины горной тундры	0,1	0
Мурманская обл.	Южная тундра	1,9023	37,40
Мурманская обл.	Лесотундра	3,1153	46,75
Мурманская обл.	Болота лесотундры	0,3184	+3
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Ледники	4,36	0
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Полярные пустыни	2,18	0
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Арктическая тундра	3,8	18,70
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Горная тундра	0,004	0
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Типичная тундра	4,13	28,05
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Болота типичной тундры	0,45	0
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Речные долины типичной тундры	0,12	0
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Южная тундра	11,5	37,40
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Болота южной тундры	1,123	3
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Речные долины южной тундры	0,64	0

Продолжение таблицы 2.8

Субъекты РФ	Тип тундрового ландшафта	Площадь, млн га	Оценка чистого потока (эмиссии) закиси азота в экв. гС-СО <sub>2</sub> м <sup>-2</sup> в год
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Лесотундра	3	46,75
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Болота лесотундры	0,4	3
Архангельская обл. и Ненецкий автономный округ	Речные долины лесотундры	0,13	0
Республика Коми	Горные полярные пустыни	0,68	0
Республика Коми	Горные тундры	1,82	0
Республика Коми	Речные долины горных тундр	0,02	0
Республика Коми	Типичная тундра	0,42	28,05
Республика Коми	Речные долины типичных тундр	0,004	0
Республика Коми	Южные тундры	1,4	37,40
Республика Коми	Речные долины южных тундр	0,09	0
Республика Коми	Лесотундры	3,46	46,75
Ямало-ненецкий автономный округ	Горная тундра	0,003	0
Ямало-ненецкий автономный округ	Арктическая тундра	6,495	18,70
Ямало-ненецкий автономный округ	Болота арктической тундры	0,682	0
Ямало-ненецкий автономный округ	Речные долины арктической тундры	0,83	0
Ямало-ненецкий автономный округ	Типичная тундра	10,95	28,05
Ямало-ненецкий автономный округ	Болота типичной тундры	0,55	2
Ямало-ненецкий автономный округ	Речные долины типичной тундры	1,6	0
Ямало-ненецкий автономный округ	Южная тундра	11,096	37,40
Ямало-ненецкий автономный округ	Болота южной тундры	0,709	2
Ямало-ненецкий автономный округ	Речные долины южной тундры	2,41	0
Ямало-ненецкий автономный округ	Лесотундра	3,52	46,75

Субъекты РФ	Тип тундрового ландшафта	Площадь, млн га	Оценка чистого потока (эмиссии) закиси азота в экв. гС-СО <sub>2</sub> м <sup>-2</sup> в год
Ямало-ненецкий автономный округ	Болота лесотундры	0,16	4
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Ледники	1,8	0
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Полярные пустыни	4,65	0
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Горные полярные пустыни	2,77	0
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Горная тундра	13,54	0
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Болота горной тундры	0,001	0
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Речные долины горной тундры	0,29	0
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Арктическая тундра	23,05	18,70
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Речные долины арктической тундры	1,98	0
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Типичная тундра	17,033	28,05
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Болота типичной тундры	0,167	2
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Речные долины типичной тундры	2,407	0
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Южная тундра	10,801	37,40
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Болота южной тундры	0,028	3
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Речные долины южной тундры	1,24	0
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Лесотундра	13,121	46,75
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Болота лесотундры	0,11	4
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	Речные долины лесотундры	1,86	0
Республика Саха	ледники	0,01	0
Республика Саха	Полярная пустыня	0,81	0
Республика Саха	Горная тундра	9,5	0
Республика Саха	Речные долины горной тундры	0,56	0
Республика Саха	Арктическая тундра	13,1	18,70

Продолжение таблицы 2.8

Субъекты РФ	Тип тундрового ландшафта	Площадь, млн га	Оценка чистого потока (эмиссии) закиси азота в экв. гС-СО <sub>2</sub> м <sup>-2</sup> в год
Республика Саха	Болота арктической тундры	0,057	0
Республика Саха	Речные долины арктической тундры	3,45	0
Республика Саха	Типичная тундра	12,39	28,05
Республика Саха	Речные долины типичной тундры	2,93	0
Республика Саха	Южная тундра	1,309	37,40
Республика Саха	Речные долины южной тундры	0,1	0
Республика Саха	Лесотундра	7,56	46,75
Республика Саха	Дальневосточная типичная тундра	0,003	28,05
Чукотский автономный округ	Горная полярная пустыня	3,3	0
Чукотский автономный округ	Горная тундра	12,1	0
Чукотский автономный округ	Речные долины горной тундры	0,32	0
Чукотский автономный округ	Арктическая тундра	1,3	18,70
Чукотский автономный округ	Речные долины арктической тундры	0,04	0
Чукотский автономный округ	Типичная тундра	0,77	28,05
Чукотский автономный округ	Речные долины типичной тундры	0,12	0
Чукотский автономный округ	Дальневосточная типичная тундра	20,417	28,05
Чукотский автономный округ	Речные долины дальневосточной типичной тундры	2,21	0
Чукотский автономный округ	Дальневосточная лесотундра	6	46,75
Чукотский автономный округ	Речные долины дальневосточной лесотундры	0,94	0

**Примечание.** Список литературных источников на основе которых произведена оценка потоков закиси азота для российских тундровых ландшафтов в приведенной таблице: [92, 97, 98]. Также использованы неопубликованные данные Карелина Д.В. и коллег, по полярным пустыням, арктическим и типичным тундрам и лесотундрам европейской части, а также арктическим островам РФ и архипелага Шпицберген с 2014 по 2017 гг.

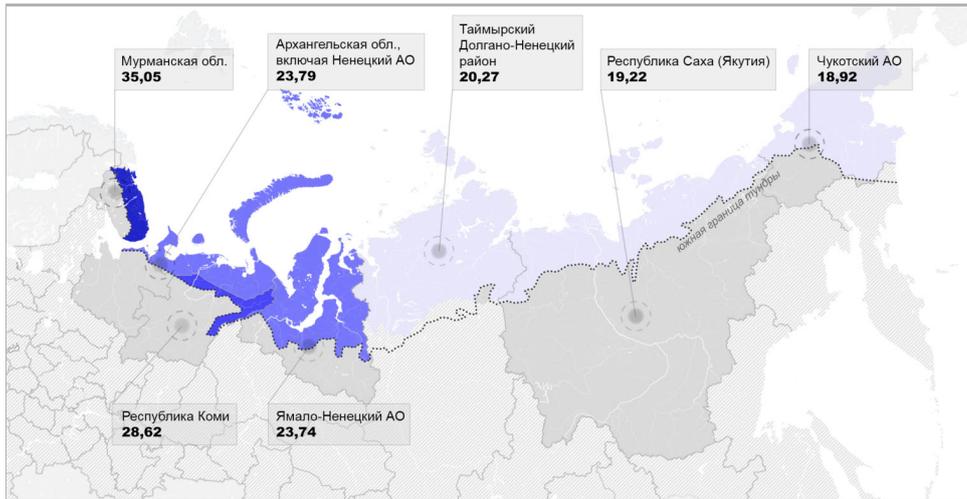
В целом, полученная оценка соответствует слабому источнику для атмосферы. Полученные удельные величины эмиссии закиси азота в разных тундровых регионах РФ в табл. 2.9 определяются, главным образом, представленностью в них торфяников, как наиболее значительных источников  $N_2O$ . Поскольку доля торфяников примерно одинакова от типичных и южных тундр до лесотундры, это приводит к близким показателям удельных потоков этого газа в основных зональных тундровых ландшафтах и крупных регионах, как это видно из табл. 2.9. Тем не менее, обращает на себя внимание некоторое плавное снижение потоков закиси азота в регионах РФ с запада на восток. Вероятнее всего, это связано с общим снижением температур воздуха и возрастанием мощности многолетней мерзлоты в Евразии с запада на восток в тундровой зоне, а также сухости климата, что отражает возрастающую в этом направлении континентальность климата. Присутствие торфяников в регионах с запада на восток также несколько снижается. На рис. 2.6 приведено площадное распределение удельных региональных потоков закиси азота, которое демонстрирует эту тенденцию.

**Таблица 2.9.** Показатели относительного вклада отдельных субъектов Российской Федерации в годовой баланс  $N_2O$  на территории российской тундровой зоны для периода наиболее выраженного потепления (1981-2017 гг.). Для пересчета парникового эффекта молекул закиси азота в эффект от молекул  $CO_2$  в таблице используется пересчетный коэффициент 298.  
«+» означает источник для атмосферы

Субъект РФ на территории которого встречаются тундровые ландшафты	Общая площадь субъекта РФ, млн га (% от общей площади региона занимаемый тундрами)	Площадь тундровых ландшафтов млн га (в скобках доля, которую они занимают от всей площади тундр РФ)	Средневзвешенная по площади субъекта РФ величина эмиссии $N_2O$ в экв. гС- $CO_2$ м <sup>-2</sup> в год	Доля участия (%) субъекта РФ в общей эмиссии $N_2O$ на тундровой территории РФ
Мурманская обл.	14,49 (42,7%)	6,19 (2,2%)	35,05	3,62
Архангельская обл., включая Ненецкий автономный округ	58,99 (54%)	31,84 (11,41%)	23,79	12,75
Республика Коми	41,59 (19%)	7,9 (2,8%)	28,62	3,76
Ямало-Ненецкий автономный округ	76,925 (50,7%)	39,01 (14%)	23,74	15,61
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	94,85 (100%)	94,85 (34%)	20,27	32,37
Республика Саха	308,4 (16,8%)	51,78 (18,6%)	19,22	16,79
Чукотский автономный округ	73,77 (64,4%)	47,52 (17%)	18,92	15,10
<b>Россия в целом</b>	<b>669,02 (49,66%)</b>	<b>279 (100%)</b>	<b>21,73±11</b>	<b>100% (источник)</b>

**Примечание.** Средневзвешенные по площади субъектов РФ оценки потоков в колонке 4 рассчитываются как суммы произведений удельных потоков ландшафтов в

табл. 2.8 (колонка 4) на долевое участие их площадей в пределах тундровой зоны данного субъекта РФ, рассчитанное по колонке 3 табл. 2.8. Для России в целом оценка в последней графе ( $21,73 \pm 11$ ) получена путем суммирования произведений долей от всей площади тундр РФ в колонке 3 на соответствующие им величины в колонке 4. Вклады отдельных субъектов РФ в общероссийский баланс  $N_2O$  (колонка 5) рассчитываются как произведения абсолютных значений удельных потоков в колонке 4 на соответствующие субъектам РФ доли от общей площади тундр в колонке 3, деленные на сумму этих произведений для всех субъектов РФ.



**Рисунок 2.6.** Распределение средневзвешенных по территории тундровых ландшафтов нетто-потоков метана (в экв.  $гС-CO_2 м^{-2}$  в год) в пределах административных субъектов РФ. Средне-серым цветом выделены части их территории, не относящиеся к тундровой зоне. Градации синего цвета соответствуют приведенным в цифрах величинам потоков. Сплошные линии – административные границы, пунктирная – южная граница тундровой зоны. Светло-серой штриховкой даны прочие регионы РФ

Полученная здесь уточненная оценка для суммарной эмиссии закиси азота ( $60,63 \pm 35$  млн экв.  $гС-CO_2$  в год для всей площади российской тундровой зоны)<sup>1)</sup> несколько превышает полученную в предыдущем отчете аналогичную максимальную оценку для потоков  $N_2O$  российских тундр:  $46,8 \pm 4,6$  млн  $гС-CO_2$  экв.  $год^{-1}$ , хотя статистически приведенные средние значимо не различаются (t-тест,  $P < 0,05$ ). Это связано с введенными в настоящей работе уточнениями, касающимися площадей торфяников и новыми полевыми оценками потоков  $N_2O$ , полученными в наименее продуктивных арктических экосистемах. Степень неопределенности оценки в случае с закисью азота, по сравнению с диоксидом углерода и метаном, тем не менее, самая высокая, что является прямым следствием недостатка данных по этому редкому атмосферному газу.

<sup>1)</sup> Рассчитана как произведение общей площади тундровой зоны РФ (279 млн га) и величины средневзвешенной по площадям ландшафтов удельной величины эмиссии  $N_2O$  из табл. 2.9 ( $21,73 \pm 11$  экв.  $гС-CO_2 м^{-2}$  в год)

Сравнение вкладов отдельных тундровых регионов РФ в общие потоки основных биогенных парниковых газов за современный период наблюдений (табл. 2.10) показывает, что ведущими в этом отношении являются Таймырский Долгано-Ненецкий р-н и Республика Коми, которые в сумме обеспечивают около половины потоков биогенных парниковых газов в тундрах РФ. На втором по вкладам месте находятся Архангельская обл. (с Ненецким АО) и Республика Саха, которые в сумме отвечают за 35% потоков парниковых газов. Вклад остальных 3-х регионов незначителен. При этом суммарный сток парниковых газов обеспечивают только 2 восточно-европейских региона: Архангельская обл. и Республика Коми, все сибирские регионы являются источниками парниковых газов.

**Таблица 2.10.** Итоговое сравнение суммарных вкладов отдельных субъектов РФ в потоки трех основных биогенных ПГ (CO<sub>2</sub>, метан, закись азота) на территории российского тундрового биома в период наиболее выраженного потепления (1981-2017 гг.)

Субъект РФ на территории которого встречаются тундровые ландшафты	Общая площадь субъекта РФ, млн га (% от общей площади региона занимаемый тундрами)	Доля тундровых ландшафтов (%) на территории субъекта от всей площади тундр РФ (в скобках абсолютная площадь тундр на территории региона в млн га)	Средневзвешенная по площади субъекта РФ величина потоков трех биогенных ПГ в экв. гС-CO <sub>2</sub> м <sup>-2</sup> в год (знак означает направление потока)	Доля участия (%) субъекта в общей эмиссии трех ПГ на тундровой территории РФ (в скобках итоговое направление баланса ПГ)
Мурманская обл.	14,49 (42,7%)	2,2 (6,19)	11,75	0,6 (источник)
Архангельская обл., включая Ненецкий АО	58,99 (54%)	11,41 (31,84)	-69,19	18,3 (сток)
Республика Коми	41,59 (19%)	2,8 (7,9)	-372,96	24,2 (сток)
Ямало-Ненецкий автономный округ	76,925 (50,7%)	14 (39,01)	30,36	9,8 (источник)
Таймырский Долгано-Ненецкий р-н	94,85 (100%)	34 (94,85)	32,50	25,6 (источник)
Республика Саха	308,4 (16,8%)	18,6 (51,78)	38,88	16,7 (источник)
Чукотский автономный округ	73,77 (64,4%)	17 (47,52)	12,20	4,8 (источник)
<b>Россия в целом</b>	<b>669,02 млн га (49,66%)</b>	<b>100% (279 млн га)</b>	<b>6,53±5</b>	<b>100% (источник)</b>

**Примечание.** Средневзвешенные по площадям оценки в 4-ой колонке таблицы получены как суммы оценок для каждого из трех газов по табл. 2.4, 2.6, 2.9 для каждого субъекта РФ, выраженных в эквивалентах парникового эффекта для CO<sub>2</sub>. Для России в целом оценка в последней графе (6,53±5) получена путем суммирования произведений долей от всей площади тундр РФ в колонке 3 на соответствующие величины в колонке 4. Вклады отдельных субъектов РФ в

---

общероссийский баланс трех ПГ (колонка 5) рассчитываются как произведения абсолютных значений удельных потоков в колонке 4 на соответствующие субъектам РФ доли от общей площади тундр в колонке 3, деленные на сумму этих произведений для всех субъектов РФ.

Согласно уточненным оценкам, выполненным в настоящей работе, сравнение среднегодовой за современный период наблюдений (1981-2017 гг.) эмиссии закиси азота (**60,63±35 экв. МтС-СО<sub>2</sub>** в год) с аналогичными значениями нетто-потоков СО<sub>2</sub> (**-184,50±45,8 МтС-СО<sub>2</sub>** в год,) и метана (**143,11±40,7 экв. МтС-СО<sub>2</sub>** в год) показывает, что для тундровой зоны РФ в целом, в современных условиях диоксид углерода с высокой вероятностью компенсирует, за счет наблюдаемого нетто-стока СО<sub>2</sub> из атмосферы, суммарный парниковый вклад эмиссии метана и N<sub>2</sub>O, или современные тундры России являются слабым источником биогенных природных парниковых газов для атмосферы **6,53±5 экв. гС-СО<sub>2</sub> м<sup>-2</sup>** в год. Это соответствует валовому выделению всех трех биогенных ПГ **18,22±11 экв. МтС-СО<sub>2</sub>** в год с площади тундровой зоны РФ. Такая эмиссия из этих природных экосистем пока незначительна, и дальнейшее усиление поглощения диоксида углерода, связанное с продолжающимся потеплением, может ее компенсировать. Дальнейшее потепление климата, если оно будет иметь место, будет воздействовать на тундровые экосистемы в том же направлении, прежде всего, за счет таяния мерзлоты и усиления микробного выделения СО<sub>2</sub> с почвенным дыханием [89]. Это влияние будет определяться, главным образом, повышением температуры и ростом концентрации СО<sub>2</sub> в атмосфере (там же).

В то же время, за счет высвобождения запасов газогидратов, состоящих, в основном, из метана, потепление может способствовать усилению его эмиссии. Кроме того, дальнейший рост антропогенного вмешательства (в основном через добычу углеводородов) в этот, пока еще слабо затронутый человеческой наземной активностью, биом, без сомнения будет способствовать общему усилению эмиссии парниковых газов. Прежде всего, этому способствует деградация растительного покрова и почв, что приведет к таянию мерзлоты, снижению стока СО<sub>2</sub> и усилению выделения метана.

Как уже подчеркивалось в этом исследовании, основное биосферное значение тундр как природного биома, в том числе на территории России, которая благодаря своей огромной площади заслуживает обозначения биома, – служить в качестве одного из самых больших и компактных «складов» органического углерода на планете в слое многолетней и сезонно-талой мерзлоты. Что касается наблюдаемых потоков биогенных парниковых газов, которые связаны с тундрой, то, в целом, они на порядок меньше, чем в лесах, и кроме того, в отличие от них не поддаются управлению со стороны человека (если исключить его обратное глобальное влияние на климат), и почти исключительно зависят от климатических и погодных флуктуаций.

Отдельно выполнена оценка выбросов закиси азота от навоза выпасаемых северных оленей в тундрах. В целом выбросы закиси азота варьируют от 3,83 т N<sub>2</sub>O в год для регионов Дальневосточного федерального округа (Республика Саха (Якутия) и Чукотский автономный округ) до 17,98 т N<sub>2</sub>O в год (Ямало-

---

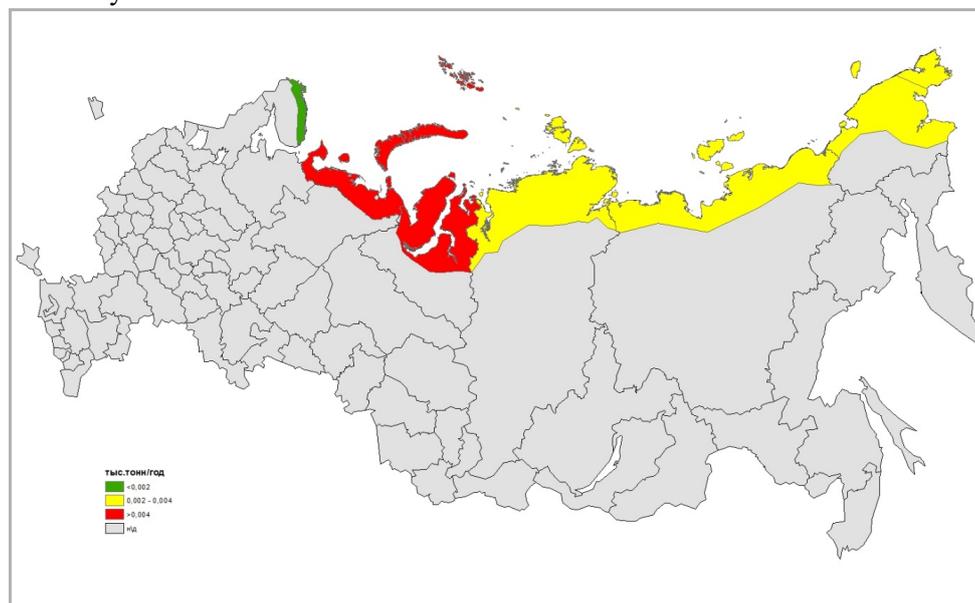
Ненецкий автономный округ). Наименьшие значения выбросов  $N_2O$  характерны для Мурманской области и составляют 1,38 т  $N_2O$  в год.

В табл. 2.11 приведены оценки годового выброса закиси азота от навоза выпасаемых оленей на территории тундровых экосистем с разбивкой по субъектам РФ.

**Таблица 2.11.** Выбросы  $N_2O$  от навоза выпасаемых оленей на территории тундровых экосистем, тыс. т и тыс. т  $CO_2$  экв. в год

Регион	Выбросы $N_2O$ , т в год	Выбросы $N_2O$ , т $CO_2$ -экв. в год
Архангельская область	4,40	1309,85
Мурманская область	1,38	410,94
Ямало – Ненецкий автономный округ	17,98	5359,35
Красноярский край	2,85	849,95
Республика Саха (Якутия)	3,83	1139,93
Чукотский автономный округ	3,83	1140,85

На рис. 2.7 представлена схема распределения значений выбросов  $N_2O$  от навоза выпасаемых оленей на территории тундровых экосистем с разбивкой по субъектам РФ.



**Рисунок 2.7.** Распределение выбросов  $N_2O$  (тыс. т) от навоза северных оленей в тундрах

#### 2.1.2.4. Выбросы $CH_4$ и $N_2O$ от пожаров в тундрах

На территории тундровых экосистем выбросы  $CH_4$  и  $N_2O$  варьируют в зависимости от площади, пройденной пожарами за рассматриваемый год. В настоящем исследовании рассчитаны выбросы парниковых газов от пожаров

на основе площадей, представленных в Информационной системе дистанционного мониторинга (ИСДМ-Рослесхоз [90]) за 2016 год (табл. 2.13).

Наибольшие значения выбросов парниковых газов отмечаются для Красноярского края и Республики Саха (Якутия). В Красноярском крае выбросы составили 43531 т CO<sub>2</sub>-экв. для метана и 4,7 т CO<sub>2</sub>-экв. для закиси азота. Подобные высокие значения выбросов в 2016 году связаны со значительной площадью, пройденной пожарами на территории тундровых экосистем Красноярского края, которая составила 75,71 тыс. га, что соответствует 82,6 % от общей площади пожаров в регионе в рассматриваемом году.

В Республике Саха (Якутия) выбросы метана составили 5468,64 т CO<sub>2</sub>-экв., а выбросы N<sub>2</sub>O – 0,595 т CO<sub>2</sub>-экв. Площадь, пройденная пожарами на территории тундровых экосистем, в республике составила 9,51 тыс. га, что соответствует 72,5% от общей площади, пройденной пожарами в регионе (13,11 тыс. га).

Для остальных регионов выбросы метана на территории тундровых экосистем находятся в пределах от 0,02 до 0,6 тыс. т CO<sub>2</sub>, а выбросы N<sub>2</sub>O – 0,002 до 0,06 млн т CO<sub>2</sub>-экв.

В табл. 2.12 приведены значения выбросов метана и закиси азота от травяных пожаров на территории тундровых ландшафтов.

**Таблица 2.12.** Выбросы CH<sub>4</sub> и N<sub>2</sub>O от травяных пожаров, а также площади, пройденные пожарами на территории тундровых экосистем

Субъекты РФ	Площадь, пройденная пожарами, тыс. га	Выбросы парниковых газов, т год <sup>-1</sup>		Выбросы парниковых газов, т CO <sub>2</sub> -экв. год <sup>-1</sup>	
		CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Архангельская область	0,46	10,54	0,000	263,59	0,029
Мурманская область	0,03	0,72	0,000	17,96	0,002
Республика Коми	0,18	4,06	0,000	101,50	0,011
Ямало-Ненецкий автономный округ	1,08	24,93	0,000	623,21	0,068
Красноярский край	75,71	1741,25	0,016	43531,35	4,738
Республика Саха (Якутия)	9,51	218,75	0,002	5468,64	0,595
Чукотский автономный округ	0,33	7,68	0,0001	191,91	0,021

### 2.1.3. Научно обоснованные предложения по определению методов, по которым возможно оценить способность тундровых экосистем, находящихся на территории Российской Федерации, к чистому поглощению диоксида углерода

Несмотря на то, что полевые наблюдения и связанные с ними современные инструментальные методы определения потоков этих газов, продолжают быть необходимы для верификации моделей любого уровня, крупномасштабные оценки баланса (и способности к поглощению) биогенных

газов для такой малодоступной и огромной по площади ландшафтной системы, как тундровый биом, не могут обойтись без математического моделирования, как основного метода исследования. Однако объем накопленных к настоящему моменту полевых данных позволяет сделать это с достаточной степенью доверия только в отношении  $\text{CO}_2$ . Что касается метана и оксида диазота, то пока мы располагаем лишь неполным набором данных по их нетто-потокам в различных тундровых ландшафтах, которых недостаточно для выявления количественных зависимостей и построения уравнений. Из этого следует, что мы способны давать площадные оценки изменения потоков  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$  (например, при сокращении площадей тех или иных биотопов), но не способны прогнозировать, как будут меняться потоки этих газов при изменениях климата или других ключевых переменных. Тем не менее, уже имеющаяся в нашем распоряжении карта площадей тундровых ландшафтных выделов, позволит проводить по мере накопления данных все более точные оценки, а в будущем применить по отношению к ней регрессионные или имитационные модели. Наличие такой подробной карты ландшафтных выделов позволяет точнее оценить изменения потоков любых газов на объединенной территории, в том числе для субъектов РФ.

#### 2.1.3.1. Диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ )

Для реализации такой методики необходимы следующие компоненты (все они были реализованы выше в монографии):

**Газиметрические исследования в естественных полевых условиях** (не менее нескольких (4-5) круглосуточных измерений за сезон в каждом из 84 тундровых ландшафтных выделов РФ, в течение не более 3-х лет). Для таких оценок могут быть использованы камерные методы с инфракрасными газоанализаторами закрытого типа, а также установки открытого или закрытого типа по методу «эдди-ковариенс» (там же). При этом один и тот же прибор или установка по мере завершения измерений могут мобильно перемещаться между выделами. Помимо измерений собственно  $\text{CO}_2$ -потоков, должна проводиться фиксация сопутствующих (значимых для величин потоков продукции и/или дыхания) переменных. К ним относятся (минимальный набор): температура воздуха, температура и влажность почвы в слое 0-10 см, поток ФАР и (или) нетто-радиации, поток почвенного тепла, динамика глубины протаивания мерзлоты, уровень верховодки. В качестве важнейших независимых переменных необходимо оценивать внутрисезонное изменение запасов наземной фитомассы растений (древесных и зеленых частей деревьев, кустарников, кустарничков, фитомассы травяных, мхов и лишайников).

**Геоинформационный подход:** *включает имитационную модель*, построенную по основным принципам геоинформационных систем. Модель состоит из следующих блоков: а) компьютерная карта тундровых ландшафтов; б) база данных метеорологических характеристик; в) модель динамики наземной фитомассы; г) модель углеродных потоков. Сама модель может быть построена в виде автоматической электронной таблицы (Excel и проч.).

---

- 
- а) компьютерная карта тундровых ландшафтов. Основой на текущий момент является ландшафтная карта масштаба 1:4 000 000 [55]. Карта включает 9 ландшафтных регионов (или 7 крупных административных субъектов РФ) 21 тип зональных и интразональных ландшафтов от ледников до лесотундры. Общее количество ландшафтов при разделении их на регионы составляет 84. Карта и границы выделов могут быть уточнены с применением актуальных спутниковых снимков аналогичного исходной карте или большего разрешения;
- б) база данных метеорологических характеристик. Для каждого ландшафта находится набор метеорологических параметров, включавших среднедекадную температуру воздуха и среднюю за декаду суточную сумму ФАР для всех 1-36 декад моделируемого года. Усредненные данные для каждого ландшафтного выдела устанавливаются по метеостанциям, расположенным в его пределах. Декадный ход температур и ФАР находится с применением метода сплайн-интерполяции. Сейчас уже не обязательно искать стационарные метеостанции, тем более что в тундровой зоне они крайне редки. Можно использовать или мобильные полевые портативные метеостанции, которые привозятся на один сезон, или метеорологические модели, которые хорошо себя зарекомендовали для зональных ландшафтов (для горных ландшафтов они не подходят), по крайней мере для оценок температуры воздуха, ФАР и осадков;
- в) модель динамики надземной фитомассы. Модель восстанавливает подекадную динамику надземных фракций фитомассы для каждого тундрового ландшафта в течение теплого периода. Фракции надземной фитомассы включают древесную и зеленую части деревьев, кустарников и кустарничков, живые части трав, лишайников и мхов. Можно использовать или 1) собственные данные внутрисезонных площадочных укосов фитомассы с ее последующей сушкой до постоянной массы, или 2) использовать уравнения зависимости запаса фракций от проективного покрытия растений, или 3) использовать данные только по максимальным внутрисезонным значениям запасов фитомассы на пике вегетации, который в тундровой зоне РФ ограничен сроками между 25 июля и 5 августа. В последнем случае, для имитации подекадной динамики зеленых фракций фитомассы рекомендуется симметричная синусоидальная функция. Величины древесных фракций, а также мхов и лишайников для годового интервала наблюдений принимаются постоянными;
- г) модель углеродных потоков. Рекомендуется использовать множественный линейный регрессионный анализ с пошаговым вводом независимых переменных. Отдельно строится система из 2-х уравнений для расчета: 1) валовой первичной продукции (GPP,  $\text{гС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$ ) и 2) валового дыхания тундровых экосистем (GR,  $\text{гС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$ ). Такой подход зарекомендовал себя лучше по сравнению с использо-
-

ванием одного уравнения для нетто-потока  $\text{CO}_2$ . Для построения уравнений используются значимые независимые переменные (см. выше): гидро- и метеоданные, глубина сезонного оттаивания мерзлоты, динамика запасов фракций фитомассы (или проективного покрытия), и др. Помимо этого, отдельно для зимнего периода (определяется в тундрах по наличию устойчивого снежного покрова, или по наступлению устойчивого периода с среднесуточными температурами воздуха ниже нуля) рассчитывается уравнение зависимости потоков  $\text{CO}_2$  от температуры воздуха, или широты и календарного дня.

Как показала проверка на независимых данных, в отношении диоксида углерода можно считать, что имеющиеся регрессионные модели и геоинформационная система, использованные в данной работе, позволяют с достаточной точностью производить оценки нетто-потоков этого важнейшего биогенного и парникового газа. Поэтому использованный методический подход может быть рекомендован для проведения крупно-масштабных расчетов нетто-баланса  $\text{CO}_2$  в тундровой зоне (а в будущем, по мере накопления полевых данных, и для других биогенных газов).

#### 2.1.3.2. Метан ( $\text{CH}_4$ )

Сразу заметим, что значимое поглощение метана почвами, в том числе в тундрах, фиксируется нечасто, и лишь на более аэрированных автоморфных повышениях разного уровня (Д.В. Карелин, личное сообщение). При этом, сами эти случаи поглощения на повышениях приурочены к разгару вегетационного сезона и бореальной зоне, а кроме того, по величине редко превышают  $-1 \text{ мг } \text{CH}_4 \text{ м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$  [91], и из литературы неизвестны такого рода нетто-оценки (поглощение метана из атмосферы) за год для тундр, что связано со значительным зимним периодом, когда происходит только медленная эмиссия метана. Все известные оценки годового баланса метана в тундрах говорят о его эмиссии в атмосферу. Поэтому говорить о способности тундр к поглощению метана можно только по отношению к эффективности поверхностного «метанового фильтра», состоящего из метанотрофных бактерий. Климатические изменения в сторону потепления (и увлажнения почвы) приводят к усилению эмиссии, поскольку активнее становятся метаногены, однако преобразование человеком территорий в тундре в сумме, как ни удивительно, воздействует положительно: при строительстве дорог и поселков преобладает дренаж, который способствует поглощению метана, видимо, за счет активизации метанотрофов [92].

Теперь адаптируем приведенную выше схему методических приемов, разработанную для оценки нетто-потоков диоксида углерода, для крупно-масштабных региональных оценок нетто-потоков метана:

***Газиметрические исследования в естественных полевых условиях.*** Измерение потоков метана методом «эдди-ковариенс» – очень дорого, и кроме того в тундрах вообще сложно организовать автоматический режим измерений. Измерения метана автоматическим камерами более доступно, но также

---

стоит достаточно дорого и сложно с логистической точки зрения, поэтому хорошей альтернативой «эдди-ковариенс» и суточным измерениям в камерах являются 2-4 часовые экспозиции накопительных непрозрачных изоляторов (камер) в нужных ландшафтах для отбора газовых проб с их последующим анализом на хроматографе в лаборатории. При этом шприцами отбираются пробы на открытом воздухе, затем через герметичную крышку через 1 ч и через 2(3) часа. Для оценки суточных потоков отбор таких проб достаточно в случае метана проводить 1 раз днем и 1 раз ночью. Такой метод сбора данных позволяет быстро и дешево получить множественную информацию по потокам метана. Следует также проводить измерения метана в ландшафтных парах автоморфных повышений и гидроморфных понижений для каждого типа рельефа.

***Геоинформационный подход:***

- а) компьютерная карта тундровых ландшафтов. Имеющаяся карта ландшафтов, включающая болота и речные долины, которая была использована для оценки потоков  $\text{CO}_2$ , полностью отвечает требованиям оценки потоков метана на больших территориях. Для оценки потоков этого газа нужны дополнительно только общие площади озер внутри данного типа ландшафтного выдела, т.к. из озер в тундрах фиксируется круглый год очень небольшое, но значимое и почти круглогодичное выделение метана образующегося в осадках.
  - б) база данных метеорологических характеристик. Для метана используется более ограниченный набор метео- и сопутствующих параметров: температура воздуха,  $T$  почвы на глубине 10 см, и ее объемная влажность в слое 0-10 см (уровень грунтовых вод летом), глубину протаивания и температуру мерзлоты. Для расчетов влажности почвы можно использовать сумму выпадающих осадков, а для восстановления температуры почвы – температуру воздуха. Однако обычно для этого используют почвенные таблетки-термографы, помещенные на нужную глубину.
  - в) модель динамики надземной фитомассы. Эти параметры используются в моделях потоков метана редко. Как правило, в моделях применяют в качестве независимой переменной запас органического вещества (углерода) в 1 (0,5) м слое почвы.
  - г) модель углеродных потоков. Особенностью существующих моделей нетто-потоков метана (в том числе в тундрах) является учет транспортной составляющей этого газа в почве, что требует расчетов скорости диффузии [93]. Это связано с большей глубиной почвенных источников метана, по сравнению с  $\text{CO}_2$ . В случае с метаном авторами чаще используются процессно-ориентированные модели с такими параметрами, как температура воздуха,  $T$  и влажность почвы на глубинах от 0 до 20 см, плотность почвы в профиле от 0 до 20 см, запасы органического в-ва в том же слое почвы, и рН [91, 93]. Однако
-

для тундр такие доверительные модели нетто-потоков метана с большим разрешением еще не построены. Кроме того, для ряда необходимых переменных (рН, запас органики, влажность почвы) моделей метана сложно находить пространственно-распределенные данные для конкретных ландшафтов. Если же воспользоваться существующими атмосферными моделями потоков метана в Арктике, то они пока имеют достаточно грубое разрешение, не позволяют проводить тонкие пространственные оценки по ландшафтам и регионам, и плохо прогнозируют поведение сложных растительных сообществ. Поэтому в данном исследовании использовали усредненные оценки потоков метана, отдельно для автоморфных и гидроморфных вариантов (при наличии) для каждого ландшафтного выдела. Затем по их относительным площадям рассчитывались средневзвешенные оценки для выделов.

### 2.1.3.3. Закись азота ( $N_2O$ )

Значимое и длительное поглощение закиси азота в тундрах также отмечается редко, и только в разгар вегетационного сезона. Кроме того, для этого газа пока вообще плохо известны его естественные стоки в почве и растительном пологе. На уровне современных знаний можно предположить, что повышение температуры и влажности повысит эмиссию этого газа из тундр. Также, согласно наблюдениям, можно предположить, что антропогенное нарушение тундровых ландшафтов приведет к усилению эмиссии [92]. Отсюда наиболее вероятным сценарием для почти всех наиболее вероятных изменений климата и антропогенных воздействий в тундрах является усиление эмиссии  $N_2O$ , а не его поглощение.

Адаптируем, как и в случае с метаном, схему методических приемов, разработанную для оценки нетто-потоков диоксида углерода, для крупно-масштабных региональных оценок нетто-потоков диоксида азота:

*Газиметрические исследования в естественных полевых условиях.* Измерение потоков  $N_2O$  методом «эдди-ковариенс», или в автоматических камерах, в лесах и тундрах практически не проводится, поскольку это слишком редкий атмосферный газ, а его портативные анализаторы очень дороги. Кроме того, как уже отмечалось, длительные автоматические измерения в тундре требуют сложной организации. Отсюда, как и в случае с метаном, для сбора первичных или проверочных данных по потокам хорошей альтернативой автоматическим измерениям являются 2-4 ч экспозиции накопительных непрозрачных изоляторов для отбора газовых проб с их анализом на хроматографе. Методика отбора проб при оценках нетто-потоков аналогична описанной выше для метана. Такой метод сбора данных позволяет быстро и дешево получить множественную информацию по потокам этих газов. Желательно, как и для метана, проводить измерения  $N_2O$  в ландшафтных парах автоморфных повышений и гидроморфных понижений для каждого типа рельефа. Впрочем, обычно отобранные при такой методике газовые пробы использу-

---

ются для определения потоков обоих газов. Еще следует обратить внимание на то, есть ли в изучаемом тундровом ландшафте торфяники (обычно это наиболее активные источники этого газа) и произвести в них оценки суточных потоков (1 измерение днем и 1 – ночью).

***Геоинформационный подход:***

- а) компьютерная карта тундровых ландшафтов. Имеющаяся электронная карта ландшафтов, включающая болота и речные долины, которая была использована для оценки потоков  $\text{CO}_2$ , вполне отвечает требованиям оценки потоков  $\text{N}_2\text{O}$  на больших территориях. Но для более точной оценки потоков этого газа нужно дополнительно оценить общие площади торфяников внутри каждого типа ландшафтного выдела, т.к. эти биотопы известны, как наиболее активные источники диоксида азота в северных экосистемах.
  - б) база данных метеорологических характеристик. В отличие от двух предыдущих биогенных газов, для нетто-потоков  $\text{N}_2\text{O}$  набор значимых метеорологических и сопутствующих факторов в тундрах еще не формализован. Тем не менее, при самостоятельном сборе данных по потокам следует фиксировать температуру воздуха,  $T$  почвы на глубине 10 см, ее объемную влажность в слое 0-10 см (уровень грунтовых вод летом), глубину оттаивания мерзлоты. Для расчетов влажности почвы можно использовать сумму выпадающих осадков, а для восстановления температуры почвы – температуру воздуха.
  - в) модель динамики наземной фитомассы. Эти параметры для оценок нетто-потоков диоксида азота в тундрах прямо не используются. Однако при самостоятельном сборе данных по потокам  $\text{N}_2\text{O}$  можно рекомендовать проводить оценки следующих потенциальных факторов, связанных с растительностью: проективное покрытие ее отдельных фракций, суммарный индекс листовой поверхности, оценки запасов наземной фитомассы по ее основным фракциям, общий запас подземной фитомассы, запас подстилки и органического вещества (углерода) в 1 (0,5) м слое почвы.
  - г) модель углеродных потоков. В применении к  $\text{N}_2\text{O}$ , молекула которого не содержит углерода, речь здесь может идти о процессно-ориентированных моделях нетто-потока этого газа. Однако для диоксида азота в тундрах такие модели с высоким пространственным разрешением еще не разработаны. Поэтому в данном исследовании использовали имеющиеся в литературе и у авторов работы усредненные полевые оценки потоков  $\text{N}_2\text{O}$ . Отдельно проводили усреднение для площадей торфяников в пределах каждого ландшафтного выдела, поскольку они оказались наиболее значимыми источниками газа в тундрах. Для площадей озер и болот, а также для зимнего периода величины потоков с единицы площади были приняты равными нулю. Затем, как и в случае с метаном, по вкладам относительных площа-
-

дей указанных элементов рассчитывались средневзвешенные площадные оценки для выделов в целом.

Расчет выбросов метана и закиси азота от навоза выпасаемых северных оленей в тундрах проводится по методике, описанной в разделе 2.4.3 монографии.

Расчет выбросов метана и закиси азота от пожаров в тундрах проводилась по уравнению (2.4).

$$L_{\text{пожар}} = A * MB * Cf * Gef * 10^{-3} \quad (2.4)$$

Где:  $L_{\text{пожар}}$  – количество выбросов от пожара, т  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$ ;  $A$  – площадь, пройденная пожаром, га;  $MB * Cf$  – произведение массы доступного для горения топлива и коэффициента сгорания = потребление топливной массы (мертвое органическое вещество плюс живая биомасса) при пожаре, т сухого вещества  $\text{га}^{-1}$ ;  $Gef$  – коэффициент выбросов;  $\text{г кг}^{-1}$  сжигаемого сухого вещества.

При расчете площади, пройденной пожарами в тундрах, используются данные официальной статистики Росреестра о площади земельных участков с тундровой растительностью. Расчеты производились по уравнению (2.5):

$$S_{\text{пожары тундр}} = (S_{\text{тундр}} / S_{\text{общ.}}) * S_{\text{пожары}} \quad (2.5)$$

где:  $S_{\text{пожары тундр}}$  – площадь, пройденная пожаром на территории нелесных участков тундровых экосистем;  $S_{\text{тундр}}$  – площадь тундровых ландшафтов на территории региона;  $S_{\text{общ.}}$  – общая площадь, покрытая тундровой растительностью (рассчитывается с использованием уравнения (2.6));  $S_{\text{пожары}}$  – площадь, пройденная пожарами на нелесных территориях.

$$S_{\text{общ.}} = S_{\text{тундровых ландшафтов на территории региона}} + S_{\text{земельного участка с тундровой растительностью не вошедшего в другие уголья}} \quad (2.6)$$

## 2.2. Лесные экосистемы

### 2.2.1. Аналитические и картографические материалы по проведению оценки способности лесных экосистем к чистому поглощению парниковых газов с разбивкой по субъектам Российской Федерации

#### 2.2.1.1. Диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ )

Леса России – по преимуществу бореальные (86%) [94]. В составе лесов, входящих в лесной фонд, по площади преобладают древостои с доминированием хвойных пород (лиственница, сосна обыкновенная, ель, пихта, сосна кедровая) – 68,1%, а также мягколиственных пород (береза, осина, ольха и др.) – 19,7% от площади земель, занятых лесными насаждениями.

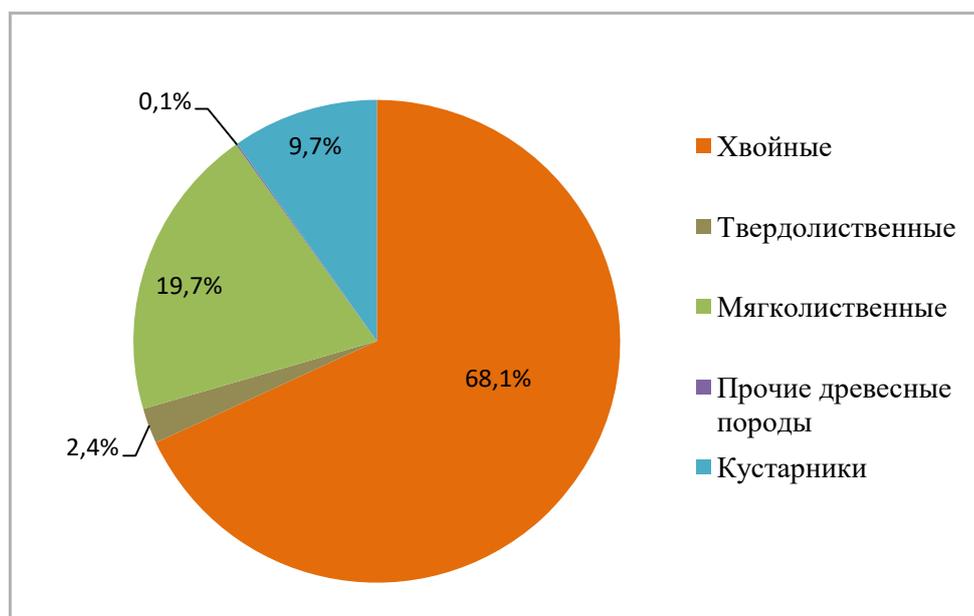
---

Основными лесобразующими породами являются лиственница, сосна, ель, кедр (сосна кедровая), пихта, каменная береза, дуб, бук, береза, осина (табл. 2.13). Они занимают около 90% земель, покрытых лесной растительностью. Прочие древесные породы (груша, каштан, орех грецкий, орех маньчжурский и др.) составляют менее 1% земель, остальная площадь (9,7%) представлена кустарниками (кедровый стланик, береза кустарниковая и др.). Древостоями лиственницы занято 35,7%, сосны – 15,4%, ели – 10,1%, березы – 15,3% площади лесопокрытых земель (табл. 2.13, рис. 2.8).

**Таблица 2.13.** Распределение площадей насаждений по преобладающим породам и группам возраста (по данным Рослесхоза на 01.01.2017)

Древесные породы и кустарники	Площади, тыс. га							Доля площади, %
	Молодняки 1 класса	Молодняки 2 класса	Средневозрастные	Припевающие	Спелые	Перестойные	Всего	
<b>Хвойные</b>	<b>42643,8</b>	<b>50400,0</b>	<b>119670,1</b>	<b>53546,8</b>	<b>136709,1</b>	<b>121470,5</b>	<b>524440,3</b>	<b>68,1</b>
Сосна	12914,8	14397,1	29448,4	12322,2	27992,3	21874,8	118949,6	15,4
Ель	6957,5	6664,6	8583,5	6162,2	21095,5	27952,6	77415,9	10,1
Пихта	1052,1	808,3	2680,3	2130,6	5099,2	2531,5	14302,0	1,9
Лиственница	19847,5	26871,2	63010,8	20388,3	76213,5	68618,8	274950,1	35,7
Кедр (сосна кедровая)	1871,9	1658,5	15946,6	12543,1	6307,4	492,6	38820,1	5,0
Можжевельник древовидный	0,0	0,3	0,5	0,4	1,2	0,2	2,6	0,0
<b>Твердолиственные</b>	<b>562,8</b>	<b>1054,9</b>	<b>4662,0</b>	<b>2268,3</b>	<b>6709,6</b>	<b>2995,0</b>	<b>18252,6</b>	<b>2,4</b>
Дуб высокоствольный	143,3	287,9	1686,3	590,5	831,0	181,0	3720,0	0,5
Дуб низкоствольный	110,5	220,2	1168,3	542,1	825,8	271,6	3138,5	0,4
Береза каменная	212,9	395,9	846,1	803,0	4476,2	2211,4	8945,5	1,2
Прочие твердолиственные	96,1	150,9	961,3	332,7	576,6	331,0	2448,6	0,3
<b>Мягколиственные</b>	<b>12327,3</b>	<b>12743,5</b>	<b>50574,2</b>	<b>17994,9</b>	<b>32184,6</b>	<b>25871,7</b>	<b>151696,2</b>	<b>19,7</b>
Береза	9221,3	9731,2	43104,2	13657,4	24561,9	17813,5	524440,3 118089,5	15,3
Осина	2799,4	2467,8	4122,8	2660,1	5141,4	7011,9	24203,4	3,1
Прочие мягколиственные	306,6	544,5	3347,2	1677,4	2481,3	1046,3	9403,3	1,2
<b>Итого по основным лесобразующим породам</b>	<b>55533,9</b>	<b>64198,4</b>	<b>174906,3</b>	<b>73810,0</b>	<b>175603,3</b>	<b>150337,2</b>	<b>694389,1</b>	<b>90,2</b>

Древесные породы и кустарники	Площади, тыс. га							Доля площади, %
	Молодняки 1 класса	Молодняки 2 класса	Средневозрастные	Припевающие	Спелые	Перестойные	Всего	
<i>Прочие древесные породы</i>	9,6	25,1	667,2	22,0	22,0	15,7	761,6	0,1
<b>Кустарники</b>	<b>1017,1</b>	<b>12067,1</b>	<b>39064,8</b>	<b>8091,5</b>	<b>13188,5</b>	<b>1456,3</b>	<b>74885,3</b>	<b>9,7</b>
Березы кустарниковые	605,3	7921,5	15423,5	1262,1	1329,1	597,2	27138,7	3,5
Кедровый стланик	349,3	2182,6	18441,6	6286,9	10507,7	472,2	38240,3	5,0
Другие кустарники	62,5	1963,0	5199,7	542,5	1351,7	386,9	9506,3	1,2
<b>Всего по древесным породам и кустарникам</b>	<b>56560,6</b>	<b>76290,6</b>	<b>214638,3</b>	<b>81923,5</b>	<b>188813,8</b>	<b>151809,2</b>	<b>770036,0</b>	<b>100,0</b>



**Рисунок 2.8.** Соотношение площади, занятых лесными насаждениями, по группам преобладающих пород (по данным Рослесхоза на 01.01.2017)

Значительную долю площади составляют спелые и перестойные насаждения, которые составляют 49% хвойных лесов, 53% лесов с преобладанием твердолиственных пород и 38% лесов с преобладанием мягколиственных пород (табл. 2.13).

На севере Европейской части России преобладают ель, сосна и береза, на территории Сибири – лиственница, сосна, береза, пихта и сосна сибирская (кедр), на юге – широколиственные породы (дуб, вяз, бук, липа), сосна и

береза. На Дальнем Востоке на территории Магаданской области, Камчатского края и Чукотского автономного округа характерны значительные площади, занятые кедровым стланником. В Приморском крае и в южной части Хабаровского края преобладают дубовые, кедровые (с сосной корейской) и еловые леса (рис. 2.9).

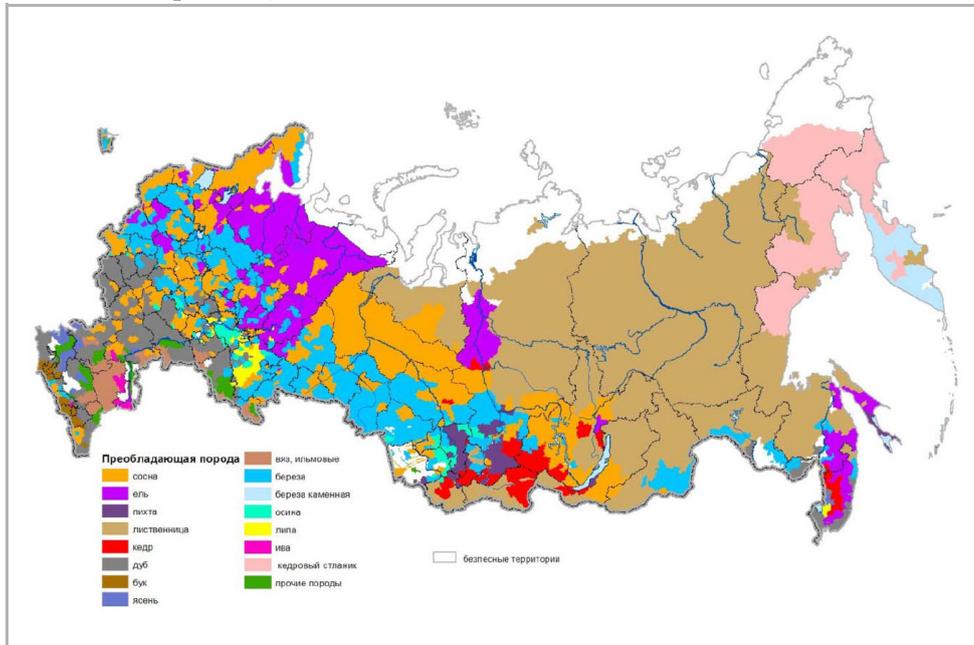


Рисунок 2.9. Распределение преобладающих пород по территории Российской Федерации [94]

В следующих разделах приведены аналитические и картографические материалы по проведению оценки способности лесных экосистем, расположенных на землях разной ведомственной принадлежности, к чистому поглощению углерода с разбивкой по субъектам РФ.

#### 2.2.1.1.1. Защитные и эксплуатационные леса лесного фонда

В этом разделе представлены результаты расчета баланса  $\text{CO}_2$  защитных и эксплуатационных лесов лесного фонда по методике количественного определения объёмов поглощения парниковых газов, утверждённой распоряжением Минприроды России от 30.06.2017 № 20-р. По данным Рослесхоза площадь, занятая лесными насаждениями рассматриваемой части лесного фонда составила 601,3 млн га (табл. 2.14), что составляет 73,2% лесов России. Баланс парниковых газов складывается из поглощения диоксида углерода лесами в объеме 1 238,5 млн т  $\text{CO}_2$  год<sup>-1</sup> (табл. 2.14) и выбросов диоксида углерода в результате деструктивных пожаров и прочих причин гибели древостоев (295,3 млн т  $\text{CO}_2$  год<sup>-1</sup>) (табл. 2.15), а также в результате сплошных рубок (291,8 млн т  $\text{CO}_2$  год<sup>-1</sup>) (табл. 2.16). В результате чистое поглощение диоксида углерода защитными и эксплуатационными лесами лесного фонда составило 651,5 млн т  $\text{CO}_2$  год<sup>-1</sup> (табл. 2.17).

**Таблица 2.14.** Поглощение диоксида углерода защитными и эксплуатационными лесами  
лесного фонда

Федеральные округа и субъекты РФ	Пло- щадь лесных земель	Пло- щадь, занятые лесными насажде- ниями, тыс. га	Поглощение диоксида углерода, $10^3$ т CO <sub>2</sub> год <sup>-1</sup>				
			Фито- масса древос- тоя	Мерт- вая дре- весина	Под- стилка	Почва	Итого
<b>Российская Федерация</b>	<b>665556,2</b>	<b>601260,5</b>	<b>893344</b>	<b>127014</b>	<b>37629</b>	<b>180552</b>	<b>1238539</b>
<b>Центральный федеральный округ</b>	<b>21626,9</b>	<b>20966,0</b>	<b>67553</b>	<b>17058</b>	<b>1313</b>	<b>4394</b>	<b>90319</b>
Белгородская область	222,3	218,6	1009	201	2	9	1222
Брянская область	1157,4	1122,3	4467	1321	72	224	6084
Владимирская область	1407,4	1334,9	4846	1394	97	320	6658
Воронежская область	372,8	339,9	1205	331	15	50	1600
Ивановская область	994,8	959,1	2968	815	54	192	4029
Калужская область	1220,9	1197,1	3934	905	51	165	5054
Костромская область	4492,3	4401,5	13430	3095	312	1076	17913
Курская область	224,5	219,9	676	183	4	14	877
Липецкая область	168,2	157,3	610	182	9	32	833
Московская область	1825,4	1765,9	6018	1720	102	310	8150
Орловская область	98,5	94,6	372	75	4	13	463
Рязанская область	837,1	756,8	2615	595	57	231	3498
Смоленская область	1939,3	1908,4	6669	1560	132	434	8795
Тамбовская область	349,1	340,6	1266	371	25	88	1750
Тверская область	4529,5	4424,8	12264	3172	290	960	16686
Тульская область	270,9	267,1	1041	182	5	18	1245
Ярославская область	1516,5	1457,2	4163	956	82	260	5461
<b>Северо-Западный федеральный округ</b>	<b>86731,0</b>	<b>85106,9</b>	<b>117907</b>	<b>5660</b>	<b>7284</b>	<b>15208</b>	<b>146058</b>
Республика Карелия	9480,2	9267,1	12630	2560	1115	1426	17731
Республика Коми	28963,9	28692,8	29266	-1947	2069	4694	34082
Архангельская область	22226,3	21800	24258	-3409	2251	4556	27656
Вологодская область	10162,5	9835,9	20995	2234	892	1773	25894

Продолжение таблицы 2.14

Федеральные округа и субъекты РФ	Площадь лесных земель	Площади, занятые лесными насаждениями, тыс. га	Поглощение диоксида углерода, 10 <sup>3</sup> т CO <sub>2</sub> год <sup>-1</sup>				
			Фитомасса древостоя	Мертвая древесина	Подстилка	Почва	Итого
Калининградская область	242,6	238	888	216	10	32	1146
Ленинградская область	4730,9	4542,3	12089	2781	324	1014	16208
Мурманская область	5185,8	5136,1	2871	205	299	628	4002
Новгородская область	3443,5	3332,7	9169	1717	203	683	11772
Псковская область	2104,8	2071,5	5754	1383	122	400	7658
Ненецкий автономный округ	190,5	190,5	-14	-80	1	2	-90
<b>Южный федеральный округ</b>	<b>2335,8</b>	<b>2205,3</b>	<b>5798</b>	<b>1092</b>	<b>101</b>	<b>327</b>	<b>7319</b>
Республика Адыгея	227,8	227,2	647	79	5	17	748
Республика Калмыкия	28,3	16,1	8	1	0	4	13
Краснодарский край	1199,6	1194,5	3471	644	30	97	4242
Астраханская область	100,6	93,4	102	16	4	20	141
Волгоградская область	529,4	461,5	1036	230	49	150	1465
Ростовская область	250,1	212,6	534	122	13	39	709
<b>Северо-Кавказский федеральный округ</b>	<b>1553,1</b>	<b>1523,4</b>	<b>3572</b>	<b>437</b>	<b>19</b>	<b>92</b>	<b>4119</b>
Республика Дагестан	375,2	362,7	776	150	4	19	948
Республика Ингушетия	80,1	78,7	176	18	0	1	195
Кабардино-Балкарская республика	180,7	178,8	462	34	3	15	514
Карачаево-Черкесская республика	374,9	373,9	785	105	3	10	903
Республика Северная Осетия-Алания	162,9	161,6	431	24	1	4	460
Чеченская республика	283,6	276	661	59	4	16	740
Ставропольский край	95,7	91,7	280	47	5	28	360

Федеральные округа и субъекты РФ	Площадь лесных земель	Площади, занятые лесными насаждениями, тыс. га	Поглощение диоксида углерода, 10 <sup>3</sup> т CO <sub>2</sub> год <sup>-1</sup>				
			Фитомасса древостоя	Мертвая древесина	Подстилка	Почва	Итого
<b>Приволжский федеральный округ</b>	<b>37033,6</b>	<b>35846,5</b>	<b>99739</b>	<b>21075</b>	<b>3731</b>	<b>9200</b>	<b>133745</b>
Республика Башкортостан	5307,4	5189	10130	1716	322	1101	13269
Республика Марий Эл	1154,3	1092,3	3748	993	83	302	5126
Республика Мордовия	654,9	641,9	2642	647	42	155	3486
Республика Татарстан	1180,3	1157,9	3691	801	72	252	4816
Удмуртская республика	1969,7	1914,9	6779	2024	190	562	9556
Чувашская республика	567,6	553,2	2085	461	52	180	2778
Кировская область	7785,2	7489,1	21165	3807	1051	2031	28053
Нижегородская область	3613,9	3407,4	11789	3209	257	890	16145
Оренбургская область	461	426,4	1169	241	30	140	1581
Пензенская область	879,6	861,8	2825	694	66	236	3821
Пермский край	11370,8	11101	27007	4756	1412	2817	35993
Самарская область	543,1	527,9	1472	367	26	98	1962
Саратовская область	611,9	578,3	1495	374	45	142	2057
Ульяновская область	933,9	905,4	3739	986	84	294	5103
<b>Уральский федеральный округ</b>	<b>69543,7</b>	<b>67065,6</b>	<b>95230</b>	<b>15364</b>	<b>4486</b>	<b>13405</b>	<b>128486</b>
Курганская область	1608,9	1518,9	5512	1381	110	519	7522
Свердловская область	12937	12678,5	28717	5486	1654	2910	38767
Тюменская область	7059,8	6882,1	11484	1472	167	904	14028
Челябинская область	2423,4	2344,3	6663	1651	125	452	8891
Ханты-Мансийский автономный округ	28372,3	28084,9	31800	3553	1790	3973	41116
Ямало-Ненецкий автономный округ	17142,3	15556,9	11053	1821	640	4647	18161

Продолжение таблицы 2.14

Федеральные округа и субъекты РФ	Площадь лесных земель	Площади, занятые лесными насаждениями, тыс. га	Поглощение диоксида углерода, 10 <sup>3</sup> т CO <sub>2</sub> год <sup>-1</sup>				
			Фитомасса древостоя	Мертвая древесина	Подстилка	Почва	Итого
<b>Сибирский федеральный округ</b>	<b>222545,9</b>	<b>206860,4</b>	<b>301428</b>	<b>38280</b>	<b>10446</b>	<b>67761</b>	<b>417914</b>
Республика Алтай	3982,8	3691,4	4283	273	45	326	4927
Республика Бурятия	15885,8	15256,6	20102	3545	1051	6679	31377
Республика Тыва	2992,8	2847,1	2514	205	65	549	3334
Республика Хакасия	3080,1	2853,5	4016	677	72	603	5368
Алтайский край	3932,9	3759,8	6744	1122	167	849	8882
Красноярский край	85895,8	74567,5	84478	7615	3949	25661	121703
Иркутская область	46174,7	44884,5	83086	11415	2262	15020	111783
Кемеровская область	5192,4	5049,3	8627	892	154	847	10520
Новосибирская область	4719,7	4650,3	7536	798	117	660	9111
Омская область	4682,2	4547,9	11326	1561	195	1068	14150
Томская область	19673,6	19352,3	32161	5581	638	3549	41929
Забайкальский край	26333,1	25400,2	36554	4597	1730	11949	54831
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	<b>224186,2</b>	<b>181686,4</b>	<b>202119</b>	<b>28048</b>	<b>10247</b>	<b>70166</b>	<b>310579</b>
Республика Саха (Якутия)	99882,4	79872,8	76409	12355	5163	37040	130967
Приморский край	11631,4	11472,2	16514	1639	111	792	19056
Хабаровский край	36409,3	32591,2	50067	4873	1756	10277	66973
Амурская область	24683,9	22086,2	26033	3512	1297	9160	40002
Камчатский край	7192	6703,6	11702	1296	131	914	14043
Магаданская область	26738,5	16728	8906	1539	1188	8207	19840
Сахалинская область	6238,6	5766,2	8877	2184	183	898	12142
Еврейская автономная область	1621,2	1559,9	2612	339	29	201	3180
Чукотский автономный округ	9788,9	4906,3	1000	310	390	2677	4377

**Таблица 2.15.** Выбросы диоксида углерода от деструктивных пожаров и прочих причин гибели древостоев в защитных и эксплуатационных лесах лесного фонда

Федеральные округа и субъекты РФ	Выбросы диоксида углерода, 10 <sup>3</sup> т CO <sub>2</sub> год <sup>-1</sup>				
	Фитомасса древостоя	Мертвая древесина	Подстилка	Почва	Итого
<b>Российская Федерация</b>	<b>-184446</b>	<b>-32142</b>	<b>-10319</b>	<b>-68384</b>	<b>-295292</b>
<b>Центральный федеральный округ</b>	<b>-2514</b>	<b>-567</b>	<b>-89</b>	<b>-314</b>	<b>-3484</b>
Белгородская область	-8	-1	0	-1	-11
Брянская область	-29	-7	-1	-3	-40
Владимирская область	-326	-81	-13	-43	-462
Воронежская область	-154	-32	-5	-15	-205
Ивановская область	-120	-28	-5	-17	-170
Калужская область	-30	-6	-1	-4	-41
Костромская область	-35	-8	-1	-5	-49
Курская область	0	0	0	0	0
Липецкая область	-18	-4	-1	-2	-24
Московская область	-158	-38	-5	-18	-219
Орловская область	-16	-3	0	-1	-20
Рязанская область	-1038	-230	-35	-125	-1428
Смоленская область	-39	-8	-1	-6	-55
Тамбовская область	-8	-2	0	-1	-11
Тверская область	-141	-34	-6	-20	-201
Тульская область	-50	-9	-1	-4	-64
Ярославская область	-343	-78	-14	-49	-484
<b>Северо-Западный федеральный округ</b>	<b>-2304</b>	<b>-529</b>	<b>-207</b>	<b>-498</b>	<b>-3538</b>
Республика Карелия	-227	-66	-31	-38	-361
Республика Коми	-353	-79	-48	-115	-594
Архангельская область	-397	-84	-45	-104	-630
Вологодская область	-126	-30	-9	-16	-181
Калининградская область	-30	-6	-1	-3	-40
Ленинградская область	-169	-44	-7	-24	-245
Мурманская область	-101	-24	-31	-68	-224
Новгородская область	-888	-195	-35	-129	-1247
Псковская область	-12	-3	0	-2	-16
Ненецкий автономный округ	0	0	0	0	0
<b>Южный федеральный округ</b>	<b>-713</b>	<b>-124</b>	<b>-42</b>	<b>-161</b>	<b>-1040</b>
Республика Адыгея	0	0	0	0	0

Продолжение таблицы 2.15

Федеральные округа и субъекты РФ	Выбросы диоксида углерода, 10 <sup>3</sup> т CO <sub>2</sub> год <sup>-1</sup>				
	Фитомасса дровостоя	Мертвая древесина	Подстилка	Почва	Итого
Республика Калмыкия	-16	-2	-2	-17	-37
Краснодарский край	-25	-4	-1	-2	-31
Астраханская область	-12	-2	-1	-4	-19
Волгоградская область	-412	-71	-25	-90	-597
Ростовская область	-249	-45	-14	-48	-356
<b>Северо-Кавказский федеральный округ</b>	<b>-67</b>	<b>-11</b>	<b>-2</b>	<b>-7</b>	<b>-87</b>
Республика Дагестан	-19	-4	-1	-3	-26
Республика Ингушетия	0	0	0	0	0
Кабардино-Балкарская республика	-8	-1	0	-1	-10
Карачаево-Черкесская республика	-11	-2	0	-1	-14
Республика Северная Осетия-Алания	0	0	0	0	0
Чеченская республика	-16	-2	0	-1	-20
Ставропольский край	-13	-2	0	-2	-17
<b>Приволжский федеральный округ</b>	<b>-4238</b>	<b>-948</b>	<b>-188</b>	<b>-603</b>	<b>-5977</b>
Республика Башкортостан	-50	-9	-2	-7	-69
Республика Марий Эл	-648	-149	-27	-93	-917
Республика Мордовия	-52	-11	-2	-6	-71
Республика Татарстан	-22	-4	-1	-3	-29
Удмуртская республика	-56	-14	-2	-8	-80
Чувашская республика	-103	-20	-4	-13	-140
Кировская область	-115	-29	-8	-15	-166
Нижегородская область	-2190	-501	-90	-319	-3099
Оренбургская область	-249	-43	-10	-38	-341
Пензенская область	-25	-5	-1	-3	-34
Пермский край	-397	-97	-29	-55	-578
Самарская область	-75	-15	-3	-9	-102
Саратовская область	-145	-26	-6	-21	-198
Ульяновская область	-111	-25	-4	-13	-153
<b>Уральский федеральный округ</b>	<b>-7548</b>	<b>-1555</b>	<b>-700</b>	<b>-2673</b>	<b>-12476</b>
Курганская область	-695	-144	-30	-123	-991
Свердловская область	-724	-175	-55	-97	-1051
Тюменская область	-1019	-192	-45	-245	-1501

Продолжение таблицы 2.15

Федеральные округа и субъекты РФ	Выбросы диоксида углерода, 10 <sup>3</sup> т CO <sub>2</sub> год <sup>-1</sup>				
	Фитомасса дровостоя	Мертвая древесина	Подстилка	Почва	Итого
Челябинская область	-446	-95	-17	-68	-626
Ханты-Мансийский автономный округ	-1353	-301	-190	-456	-2298
Ямало-Ненецкий автономный округ	-3311	-649	-364	-1684	-6009
<b>Сибирский федеральный округ</b>	<b>-51688</b>	<b>-9296</b>	<b>-2209</b>	<b>-12977</b>	<b>-76170</b>
Республика Алтай	-566	-90	-15	-102	-773
Республика Бурятия	-3137	-657	-148	-822	-4764
Республика Тыва	-2409	-394	-72	-659	-3533
Республика Хакасия	-1204	-194	-33	-287	-1718
Алтайский край	-234	-56	-10	-52	-352
Красноярский край	-30259	-5244	-1391	-7830	-44723
Иркутская область	-7386	-1472	-248	-1498	-10604
Кемеровская область	-38	-8	-2	-10	-57
Новосибирская область	-273	-49	-13	-73	-408
Омская область	-590	-96	-24	-135	-844
Томская область	-1560	-284	-61	-370	-2275
Забайкальский край	-4032	-751	-194	-1138	-6116
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	<b>-115375</b>	<b>-19112</b>	<b>-6881</b>	<b>-51152</b>	<b>-192519</b>
Республика Саха (Якутия)	-50978	-8319	-3064	-21478	-83839
Приморский край	-2574	-429	-81	-632	-3716
Хабаровский край	-36004	-5840	-1643	-8534	-52021
Амурская область	-7669	-1189	-370	-2063	-11291
Камчатский край	-888	-141	-31	-244	-1304
Магаданская область	-10293	-1905	-888	-9618	-22704
Сахалинская область	-1496	-322	-70	-369	-2257
Еврейская автономная область	-75	-12	-3	-20	-109
Чукотский автономный округ	-5398	-956	-731	-8194	-15278

**Таблица 2.16.** Выбросы диоксида углерода от сплошных рубок в защитных и эксплуатационных лесах лесного фонда

Федеральные округа и субъекты РФ	Выбросы диоксида углерода, 10 <sup>3</sup> т CO <sub>2</sub> год <sup>-1</sup>				
	Фитомасса древостоя	Мертвая древесина	Подстилка	Почва	Итого
<b>Российская Федерация</b>	<b>-205878</b>	<b>-41100</b>	<b>-9767</b>	<b>-35032</b>	<b>-291776</b>
<b>Центральный федеральный округ</b>	<b>-17135</b>	<b>-3896</b>	<b>-491</b>	<b>-1897</b>	<b>-23419</b>
Белгородская область	-27	-5	-1	-2	-35
Брянская область	-679	-143	-17	-69	-909
Владимирская область	-1635	-384	-45	-172	-2237
Воронежская область	-742	-142	-17	-67	-969
Ивановская область	-1084	-229	-31	-128	-1472
Калужская область	-671	-131	-17	-72	-891
Костромская область	-3804	-923	-116	-437	-5280
Курская область	-40	-8	-1	-3	-53
Липецкая область	-234	-52	-5	-19	-310
Московская область	-1605	-387	-43	-165	-2200
Орловская область	-25	-4	0	-2	-32
Рязанская область	-1256	-278	-33	-130	-1697
Смоленская область	-1018	-204	-28	-116	-1365
Тамбовская область	-259	-58	-7	-25	-350
Тверская область	-2889	-690	-94	-349	-4022
Тульская область	-63	-11	-1	-5	-81
Ярославская область	-1103	-245	-34	-135	-1518
<b>Северо-Западный федеральный округ</b>	<b>-44183</b>	<b>-11930</b>	<b>-3083</b>	<b>-6778</b>	<b>-65974</b>
Республика Карелия	-4429	-1454	-348	-483	-6715
Республика Коми	-3838	-1152	-477	-1192	-6659
Архангельская область	-12830	-3615	-1114	-2623	-20182
Вологодская область	-15284	-3644	-857	-1517	-21303
Калининградская область	-78	-15	-2	-7	-101
Ленинградская область	-5246	-1484	-187	-618	-7535
Мурманская область	-70	-21	-20	-47	-159
Новгородская область	-1640	-375	-53	-200	-2268
Псковская область	-767	-169	-24	-92	-1053
Ненецкий автономный округ	0	0	0	0	0
<b>Южный федеральный округ</b>	<b>-1259</b>	<b>-216</b>	<b>-60</b>	<b>-290</b>	<b>-1826</b>
Республика Адыгея	0	0	0	0	0
Республика Калмыкия	-54	-4	-7	-48	-113
Краснодарский край	-60	-9	-1	-3	-73

Федеральные округа и субъекты РФ	Выбросы диоксида углерода, 10 <sup>3</sup> т CO <sub>2</sub> год <sup>-1</sup>				
	Фито- масса дре- востоя	Мертвая древесина	Подстилка	Почва	Итого
Астраханская область	-20	-3	-2	-10	-34
Волгоградская область	-838	-163	-37	-147	-1185
Ростовская область	-288	-37	-14	-81	-420
<b>Северо-Кавказский федеральный округ</b>	<b>-106</b>	<b>-14</b>	<b>-3</b>	<b>-10</b>	<b>-132</b>
Республика Дагестан	-16	-3	-1	-2	-21
Республика Ингушетия	0	0	0	0	0
Кабардино-Балкарская республика	-17	-2	0	-1	-20
Карачаево-Черкесская республика	0	0	0	0	0
Республика Северная Осе- тия-Алания	-11	-1	0	-1	-13
Чеченская республика	-6	0	0	0	-7
Ставропольский край	-56	-8	-1	-5	-71
<b>Приволжский федеральный округ</b>	<b>-31657</b>	<b>-7890</b>	<b>-1420</b>	<b>-3373</b>	<b>-44340</b>
Республика Башкортостан	-1960	-409	-70	-261	-2700
Республика Марий Эл	-941	-215	-30	-107	-1293
Республика Мордовия	-193	-37	-4	-18	-252
Республика Татарстан	-427	-79	-12	-48	-567
Удмуртская республика	-1419	-367	-44	-158	-1987
Чувашская республика	-375	-80	-11	-39	-504
Кировская область	-12330	-3226	-643	-1209	-17408
Нижегородская область	-4026	-880	-116	-459	-5481
Оренбургская область	-132	-24	-4	-19	-179
Пензенская область	-430	-89	-12	-45	-576
Пермский край	-8238	-2238	-442	-884	-11802
Самарская область	-102	-21	-3	-11	-137
Саратовская область	-450	-95	-14	-51	-610
Ульяновская область	-632	-132	-16	-64	-844
<b>Уральский федеральный округ</b>	<b>-14726</b>	<b>-3528</b>	<b>-1128</b>	<b>-2636</b>	<b>-22018</b>
Курганская область	-1281	-284	-43	-179	-1786
Свердловская область	-8075	-2040	-499	-938	-11552
Тюменская область	-1340	-226	-57	-305	-1928
Челябинская область	-992	-213	-33	-138	-1377

Продолжение таблицы 2.16

Федеральные округа и субъекты РФ	Выбросы диоксида углерода, 10 <sup>3</sup> т CO <sub>2</sub> год <sup>-1</sup>				
	Фитомасса дровостоя	Мертвая древесина	Подстилка	Почва	Итого
Ханты-Мансийский автономный округ	-2865	-736	-479	-999	-5079
Ямало-Ненецкий автономный округ	-172	-30	-17	-78	-297
<b>Сибирский федеральный округ</b>	<b>-65059</b>	<b>-9873</b>	<b>-2357</b>	<b>-13359</b>	<b>-90647</b>
Республика Алтай	-1263	-152	-36	-210	-1661
Республика Бурятия	-3558	-472	-147	-711	-4887
Республика Тыва	-488	-80	-14	-110	-692
Республика Хакасия	-2066	-288	-49	-420	-2824
Алтайский край	-1447	-269	-54	-281	-2050
Красноярский край	-14243	-1928	-631	-3525	-20328
Иркутская область	-28736	-4515	-854	-5105	-39211
Кемеровская область	-939	-134	-39	-214	-1325
Новосибирская область	-598	-82	-26	-144	-850
Омская область	-1718	-190	-66	-371	-2345
Томская область	-5575	-1217	-249	-1338	-8379
Забайкальский край	-4427	-547	-193	-929	-6096
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	<b>-31753</b>	<b>-3753</b>	<b>-1225</b>	<b>-6689</b>	<b>-43420</b>
Республика Саха (Якутия)	-2895	-355	-151	-1038	-4440
Приморский край	-3364	-467	-99	-750	-4680
Хабаровский край	-9173	-1093	-365	-1658	-12288
Амурская область	-14361	-1552	-539	-2610	-19061
Камчатский край	-491	-73	-15	-128	-706
Магаданская область	-264	-45	-14	-201	-524
Сахалинская область	-318	-62	-12	-64	-456
Еврейская автономная область	-849	-101	-28	-187	-1165
Чукотский автономный округ	-38	-7	-3	-53	-100

**Таблица 2.17.** Чистое (нетто) поглощение диоксида углерода защитными  
и эксплуатационными лесами лесного фонда

Федеральные округа и субъекты РФ	Чистое (нетто) поглощение диоксида углерода <sup>а)</sup> , 10 <sup>3</sup> т СО <sub>2</sub> год <sup>-1</sup>				
	Фито- масса дре- востоя	Мертвая древесина	Под- стилка	Почва	Итого
<b>Российская Федерация</b>	<b>503021</b>	<b>53771</b>	<b>17543</b>	<b>77136</b>	<b>651472</b>
<b>Центральный федеральный округ</b>	<b>47903</b>	<b>12595</b>	<b>734</b>	<b>2184</b>	<b>63416</b>
Белгородская область	974	194	2	6	1176
Брянская область	3759	1170	54	152	5135
Владимирская область	2885	929	40	105	3959
Воронежская область	309	157	-7	-32	427
Ивановская область	1763	558	18	48	2387
Калужская область	3233	767	33	89	4123
Костромская область	9592	2164	195	633	12584
Курская область	636	175	3	11	824
Липецкая область	357	126	3	12	499
Московская область	4255	1296	54	126	5731
Орловская область	332	67	3	9	411
Рязанская область	321	87	-11	-24	373
Смоленская область	5612	1348	102	312	7375
Тамбовская область	998	311	18	62	1389
Тверская область	9234	2449	191	591	12464
Тульская область	927	163	2	8	1100
Ярославская область	2716	633	34	76	3459
<b>Северо-Западный федеральный округ</b>	<b>71420</b>	<b>-6799</b>	<b>3994</b>	<b>7931</b>	<b>76546</b>
Республика Карелия	7974	1040	736	905	10655
Республика Коми	25075	-3178	1544	3387	26829
Архангельская область	11031	-7108	1092	1829	6844
Вологодская область	5584	-1440	25	240	4410
Калининградская область	781	195	7	22	1005
Ленинградская область	6674	1254	129	372	8428
Мурманская область	2699	160	247	513	3619
Новгородская область	6641	1147	115	355	8258
Псковская область	4976	1210	97	306	6589
Ненецкий автономный округ	-14	-80	1	2	-90
<b>Южный федеральный округ</b>	<b>3826</b>	<b>752</b>	<b>-1</b>	<b>-124</b>	<b>4453</b>
Республика Адыгея	647	79	5	17	748

Продолжение таблицы 2.17

Федеральные округа и субъекты РФ	Нетто-поглощение диоксида углерода <sup>a)</sup> , 10 <sup>3</sup> т CO <sub>2</sub> год <sup>-1</sup>				
	Фито-масса дровостоя	Мертвая древесина	Подстилка	Почва	Итого
Республика Калмыкия	-62	-5	-8	-61	-137
Краснодарский край	3386	631	29	92	4138
Астраханская область	71	11	1	5	88
Волгоградская область	-214	-4	-13	-87	-317
Ростовская область	-2	40	-15	-90	-67
<b>Северо-Кавказский федеральный округ</b>	<b>3398</b>	<b>412</b>	<b>14</b>	<b>75</b>	<b>3900</b>
Республика Дагестан	741	143	3	14	901
Республика Ингушетия	176	18	0	1	195
Кабардино-Балкарская республика	437	32	2	13	484
Карачаево-Черкесская республика	774	103	3	9	888
Республика Северная Осетия-Алания	420	23	1	4	447
Чеченская республика	639	56	3	14	712
Ставропольский край	211	37	3	21	272
<b>Приволжский федеральный округ</b>	<b>63844</b>	<b>12237</b>	<b>2123</b>	<b>5224</b>	<b>83429</b>
Республика Башкортостан	8120	1298	250	832	10500
Республика Марий Эл	2160	629	26	101	2916
Республика Мордовия	2397	599	35	131	3163
Республика Татарстан	3242	717	60	201	4220
Удмуртская республика	5305	1644	143	396	7488
Чувашская республика	1607	361	37	128	2134
Кировская область	8720	552	399	807	10479
Нижегородская область	5573	1828	51	113	7565
Оренбургская область	788	173	16	83	1062
Пензенская область	2370	600	53	188	3211
Пермский край	18373	2421	941	1878	23614
Самарская область	1294	331	21	77	1723
Саратовская область	900	253	25	70	1249
Ульяновская область	2996	829	64	217	4106
<b>Уральский федеральный округ</b>	<b>72956</b>	<b>10281</b>	<b>2658</b>	<b>8096</b>	<b>93991</b>
Курганская область	3536	953	38	218	4745
Свердловская область	19918	3271	1100	1875	26163

Федеральные округа и субъекты РФ	Нетто-поглощение диоксида углерода <sup>a)</sup> , 10 <sup>3</sup> т CO <sub>2</sub> год <sup>-1</sup>				
	Фито- масса дре- востоя	Мертвая древесина	Под- стилка	Почва	Итого
Тюменская область	9125	1055	66	354	10600
Челябинская область	5225	1343	75	247	6889
Ханты-Мансийский авто- номный округ	27582	2517	1121	2518	33739
Ямало-Ненецкий автоном- ный округ	7570	1142	258	2885	11856
<b>Сибирский федеральный округ</b>	<b>184681</b>	<b>19111</b>	<b>5880</b>	<b>41425</b>	<b>251097</b>
Республика Алтай	2454	31	-5	13	2493
Республика Бурятия	13408	2416	756	5146	21726
Республика Тыва	-383	-268	-21	-220	-892
Республика Хакасия	746	194	-10	-104	827
Алтайский край	5063	797	104	516	6480
Красноярский край	39976	443	1927	14306	56652
Иркутская область	46964	5428	1160	8417	61969
Кемеровская область	7650	750	114	624	9138
Новосибирская область	6665	666	78	443	7852
Омская область	9018	1275	106	562	10960
Томская область	25026	4080	329	1841	31276
Забайкальский край	28095	3299	1343	9881	42618
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	<b>54992</b>	<b>5183</b>	<b>2141</b>	<b>12325</b>	<b>74640</b>
Республика Саха (Якутия)	22536	3681	1947	14524	42689
Приморский край	10576	743	-69	-591	10660
Хабаровский край	4889	-2060	-252	86	2664
Амурская область	4003	771	388	4488	9650
Камчатский край	10323	1082	85	542	12033
Магаданская область	-1651	-411	286	-1612	-3388
Сахалинская область	7063	1801	101	464	9429
Еврейская автономная область	1688	227	-3	-7	1905
Чукотский автономный округ	-4436	-652	-344	-5570	-11001

<sup>a)</sup> Положительные значения в этой таблице относятся к поглощению CO<sub>2</sub>,  
отрицательные – к выбросу CO<sub>2</sub>.



**Рисунок 2.10.** Чистое поглощение  $\text{CO}_2$  (тыс. т  $\text{CO}_2$  год<sup>-1</sup>) защитными и эксплуатационными лесами лесного фонда

Чистое поглощение  $\text{CO}_2$  лесами зависит от соотношения накопления углерода различными пулами (фитомасса, мертвая древесина, подстилка и почва) и потерь углерода в результате деструктивных нарушений (сплошные рубки, верховые пожары). Анализ способности защитных и эксплуатационных лесов к чистому поглощению  $\text{CO}_2$  (табл. 2.17, рис. 2.10) показывает, что максимальные объемы поглощения  $\text{CO}_2$  приходятся на Красноярский край, Иркутскую область, Республику Саха (Якутию), Республику Бурятия и Ханты-Мансийский автономный округ, обладающие большими площадями лесов. Леса нескольких субъектов РФ, расположенных на юге Европейской части России (Волгоградская и Ростовская области, Республика Калмыкия), а также на юге Сибири (Республика Тыва) и на севере Дальнего Востока (Магаданская область, Чукотский автономный округ), выступали в качестве нетто-источника диоксида углерода в связи с высокими потерями углерода в результате деструктивных нарушений (рубки и пожары) в сочетании низкими значениями поглощения  $\text{CO}_2$ .

#### **2.2.1.1.2. Леса на землях ООПТ**

В этом разделе представлены результаты расчета чистого поглощения  $\text{CO}_2$  лесами на землях особо охраняемых территорий и объектов. По данным Рослесхоза площадь, занятая лесными насаждениями на этих землях составила 16,8 млн га (табл. 2.18), что составляет 2,0% лесов России. В связи с отсутствием детальных данных по породно-возрастному составу лесов на землях особо охраняемых территорий и объектов, были использованы удельные значения чистого поглощения диоксида углерода защитными и эксплуатационными лесами лесного фонда (без учета потерь углерода в результате сплошных рубок, которые здесь законодательно запрещены), вычисленные по

методике количественного определения объёмов поглощения парниковых газов, утверждённой распоряжением Минприроды России от 30.06.2017 № 20-р. Расчеты показали, что лесные экосистемы, расположенные на землях особо охраняемых территорий и объектов, обеспечивали поглощение диоксида углерода в количестве 26,4 млн т CO<sub>2</sub> год<sup>-1</sup> (табл. 2.18, рис. 2.11).

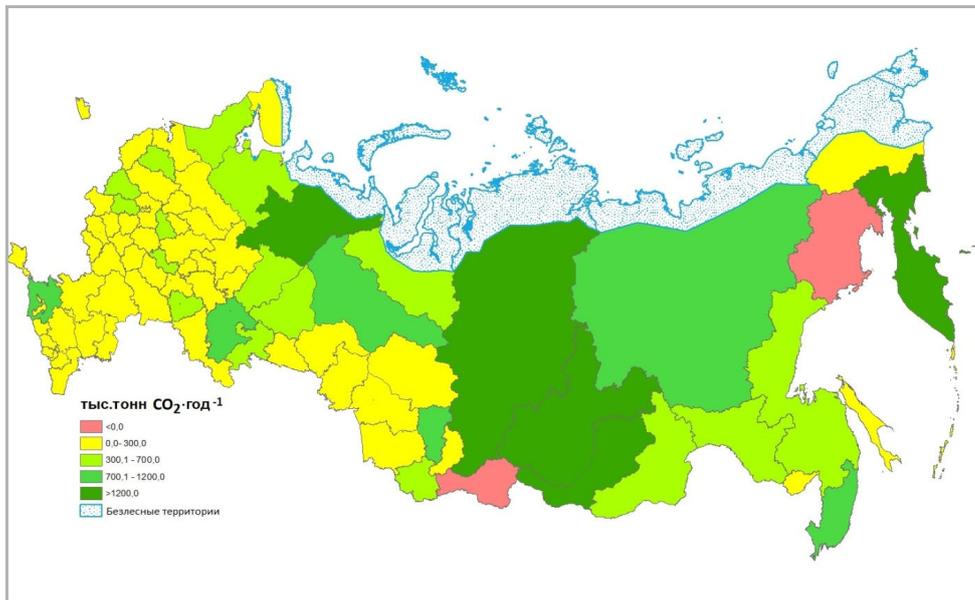
**Таблица 2.18.** Чистое поглощение диоксида углерода лесными экосистемами на землях особо охраняемых территорий и объектов

Федеральные округа и субъекты РФ	Площади, занятые лесными насаждениями, тыс. га	Поглощение диоксида углерода, 10 <sup>3</sup> т CO <sub>2</sub> год <sup>-1</sup>				
		Фитомасса древостоя	Мертвая древесина	Подстилка	Почва	Итого
<b>Российская Федерация</b>	<b>16756,1</b>	<b>20217,6</b>	<b>2530,5</b>	<b>688,5</b>	<b>2988,4</b>	<b>26425,0</b>
<b>Центральный федеральный округ</b>	<b>612,6</b>	<b>1909,9</b>	<b>475,6</b>	<b>32,6</b>	<b>110,8</b>	<b>2528,9</b>
Белгородская область	1,3	6,0	1,2	0,0	0,0	7,2
Брянская область	11,3	44,7	13,2	0,7	2,2	60,9
Владимирская область	87,4	295,9	86,0	5,6	18,2	405,7
Воронежская область	29,4	90,9	25,9	0,9	3,0	120,7
Калужская область	91	296,8	68,3	3,8	12,2	381,1
Костромская область	58,4	177,7	41,0	4,1	14,2	237,0
Курская область	2,2	6,8	1,8	0,0	0,1	8,8
Липецкая область	12,7	47,8	14,4	0,7	2,5	65,3
Московская область	12	39,8	11,4	0,7	2,0	53,9
Орловская область	29,3	110,5	22,2	1,1	3,5	137,3
Рязанская область	78,5	163,5	37,8	2,4	11,0	214,7
Смоленская область	107,9	374,9	87,7	7,4	24,2	494,2
Тамбовская область	7,9	29,2	8,6	0,6	2,0	40,3
Тверская область	53,5	146,6	37,9	3,4	11,4	199,3
Тульская область	0,8	3,0	0,5	0,0	0,0	3,5
Ярославская область	29	76,0	17,5	1,4	4,2	99,0
<b>Северо-Западный федеральный округ</b>	<b>2612</b>	<b>3054,9</b>	<b>20,6</b>	<b>200,3</b>	<b>425,0</b>	<b>3700,7</b>
Республика Карелия	232,3	310,9	62,5	27,2	34,8	435,4
Республика Коми	1599	1611,3	-112,9	112,6	255,2	1866,2
Архангельская область	324,7	355,4	-52,0	32,9	66,3	402,5
Вологодская область	97,6	207,1	21,9	8,8	17,4	255,1
Калининградская область	4,3	15,5	3,8	0,2	0,5	20,0

Продолжение таблицы 2.18

Федеральные округа и субъекты РФ	Площади, занятые лесными насаждениями, тыс. га	Поглощение диоксида углерода, 10 <sup>3</sup> т CO <sub>2</sub> год <sup>-1</sup>				
		Фитомасса древесности	Мертвая древесина	Подстилка	Почва	Итого
Ленинградская область	20,3	53,3	12,2	1,4	4,4	71,3
Мурманская область	172,3	92,9	6,1	9,0	18,8	126,7
Новгородская область	136,4	338,9	62,3	6,9	22,7	430,8
Псковская область	25,1	69,6	16,7	1,5	4,8	92,6
<b>Южный федеральный округ</b>	<b>345,8</b>	<b>993,1</b>	<b>174,7</b>	<b>8,5</b>	<b>27,4</b>	<b>1203,7</b>
Республика Адыгея	53,8	153,2	18,8	1,2	4,0	177,1
Краснодарский край	290,7	838,6	155,8	7,3	23,2	1024,9
Астраханская область	1,3	1,3	0,2	0,0	0,2	1,7
<b>Северо-Кавказский федеральный округ</b>	<b>54,6</b>	<b>126,6</b>	<b>12,2</b>	<b>0,4</b>	<b>2,0</b>	<b>141,3</b>
Республика Кабардино-Балкария	12,5	31,8	2,3	0,2	1,0	35,2
Республика Карачаево-Черкесия	29,3	60,7	8,0	0,2	0,7	69,6
Республика Северная Осетия - Алания	12,8	34,1	1,9	0,1	0,4	36,4
Приволжский федеральный округ	1006,5	2505,9	533,3	73,9	219,8	3333,0
Республика Башкортостан	340	660,5	111,8	21,0	71,6	864,9
Республика Марий Эл	54,4	154,4	42,0	2,8	10,4	209,6
Республика Мордовия	62,8	253,4	62,2	3,9	14,6	334,1
Республика Татарстан	26	82,4	17,9	1,6	5,6	107,5
Республика Удмуртия	16,5	57,9	17,3	1,6	4,8	81,6
Чувашская республика	32,1	115,0	25,6	2,8	9,7	153,1
Кировская область	4,9	13,8	2,5	0,7	1,3	18,2
Нижегородская область	42,1	118,6	33,5	2,1	7,1	161,2
Оренбургская область	50	107,9	23,2	2,4	12,0	145,5

Федеральные округа и субъекты РФ	Площади, занятые лесными насаждениями, тыс. га	Поглощение диоксида углерода, 10 <sup>3</sup> т CO <sub>2</sub> год <sup>-1</sup>				
		Фитомасса древесной	Мертвая древесина	Подстилка	Почва	Итого
Пензенская область	7,4	24,0	5,9	0,6	2,0	32,5
Пермский край	218,4	523,5	91,7	27,2	54,3	696,8
Самарская область	128,3	339,4	85,5	5,8	21,5	452,1
Саратовская область	23,6	55,1	14,2	1,6	5,0	75,9
<b>Уральский федеральный округ</b>	<b>1439,3</b>	<b>1695,7</b>	<b>287,1</b>	<b>69,5</b>	<b>235,2</b>	<b>2287,4</b>
Свердловская область	143,6	317,1	60,2	18,1	31,9	427,2
Челябинская область	179	474,7	118,8	8,3	29,4	631,1
Ханты-Мансийский автономный округ	593,7	643,6	68,8	33,8	74,4	820,6
Ямало-Ненецкий автономный округ	523	260,3	39,4	9,3	99,6	408,5
<b>Сибирский федеральный округ</b>	<b>6046,5</b>	<b>6721,1</b>	<b>750,1</b>	<b>233,7</b>	<b>1544,4</b>	<b>9249,2</b>
Республика Алтай	419,3	422,2	20,8	3,5	25,4	471,8
Республика Бурятия	1398,6	1555,3	264,7	82,8	536,9	2439,6
Республика Тыва	325,5	12,1	-21,6	-0,8	-12,5	-22,8
Республика Хакасия	133,7	131,8	22,6	1,9	14,8	171,0
Алтайский край	33,1	57,3	9,4	1,4	7,0	75,1
Красноярский край	1731,3	1258,9	55,1	59,4	414,0	1787,3
Иркутская область	1169	1971,6	259,0	52,5	352,2	2635,2
Кемеровская область	574,5	977,2	100,6	17,3	95,3	1190,5
Забайкальский край	261,5	334,8	39,6	15,8	111,3	501,5
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	<b>4638,8</b>	<b>3210,5</b>	<b>276,9</b>	<b>69,6</b>	<b>423,8</b>	<b>3980,8</b>
Республика Саха (Якутия)	1215,1	386,9	61,4	31,9	236,8	717,0
Приморский край	750,9	912,4	79,2	2,0	10,5	1004,1
Хабаровский край	1120	483,3	-33,2	3,9	59,9	513,8
Амурская область	244,7	203,5	25,7	10,3	78,6	318,1
Камчатская область	641	1034,0	110,5	9,5	64,1	1218,1
Магаданская область	504,9	-41,9	-11,0	9,1	-42,6	-86,4
Сахалинская область	90,8	116,2	29,3	1,8	8,3	155,7
Еврейская автономная область	71,4	116,1	15,0	1,2	8,3	140,5



**Рисунок 2.11.** Чистое поглощение  $\text{CO}_2$  (тыс. т  $\text{CO}_2$  год<sup>-1</sup>) лесами на землях особо охраняемых территорий и объектов

Анализ способности лесов на землях особо охраняемых территорий и объектов к чистому поглощению диоксида углерода (табл. 2.18, рис. 2.11) показывает, что максимальные объемы поглощения  $\text{CO}_2$  приходятся на Красноярский край, Иркутскую область, Республику Бурятия, Камчатский край, Республику Коми, обладающие большими по площади лесными заповедниками и национальными парками. Леса Магаданской области и Республики Тыва, выступали в качестве нетто-источника диоксида углерода в связи с высокими потерями углерода в результате деструктивных пожаров, приводящих к гибели древостоев, в сочетании низкими значениями поглощения  $\text{CO}_2$ .

#### *2.2.1.1.3. Леса на землях обороны и безопасности*

В этом разделе представлены результаты расчета чистого поглощения  $\text{CO}_2$  лесами на землях обороны и безопасности. По данным Рослесхоза площадь, занятая лесными насаждениями на этих землях составила 3,7 млн га (табл. 2.19), что составляет 0,45% лесов России. В связи с отсутствием детальных данных по породно-возрастному составу лесов на землях обороны и безопасности были использованы удельные значения чистого поглощения диоксида углерода защитными и эксплуатационными лесами лесного фонда (без учета потерь углерода в результате сплошных рубок), вычисленные по методике количественного определения объемов поглощения парниковых газов, утверждённой распоряжением Минприроды России от 30.06.2017 № 20-р. Расчеты показали, что лесные экосистемы, расположенные на землях обороны и безопасности, обеспечивали поглощение диоксида углерода в количестве 8,7 млн т  $\text{CO}_2$  год<sup>-1</sup> (табл. 2.19).

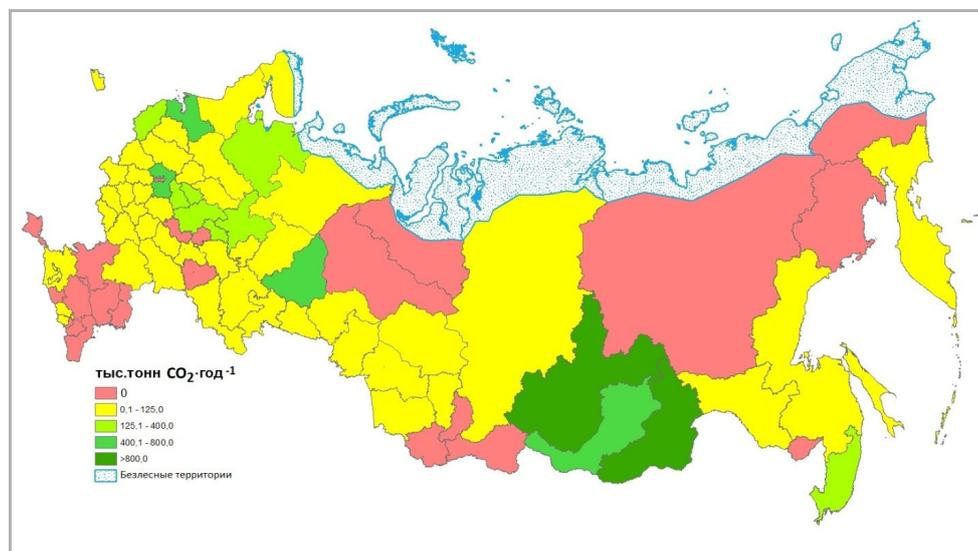
**Таблица 2.19.** Чистое поглощение диоксида углерода лесными экосистемами  
на землях обороны и безопасности

Федеральные округа и субъекты РФ	Площади, занятые лесными насаждениями, тыс. га	Поглощение диоксида углерода, 10 <sup>3</sup> т CO <sub>2</sub> год <sup>-1</sup>				
		Фитомасса древостоя	Мертвая древесина	Подстилка	Почва	Итого
<b>Российская Федерация</b>	<b>3696,6</b>	<b>6382,0</b>	<b>1100,4</b>	<b>230,2</b>	<b>999,6</b>	<b>8712,1</b>
<b>Центральный федеральный округ</b>	<b>301,0</b>	<b>969,0</b>	<b>263,9</b>	<b>16,0</b>	<b>55,5</b>	<b>1304,3</b>
Белгородская область	1,1	5,0	1,0	0,0	0,0	6,1
Брянская область	5,4	21,4	6,3	0,4	1,0	29,1
Владимирская область	59,7	201,4	59,1	4,4	13,1	278,0
Воронежская область	2	6,2	1,8	0,1	0,2	8,2
Ивановская область	31,5	93,6	25,4	1,2	5,8	125,9
Калужская область	5,2	17,0	3,8	0,2	0,8	21,7
Костромская область	14,1	42,9	9,8	1,0	3,6	57,4
Курская область	2,6	8,0	2,2	0,1	0,2	10,5
Липецкая область	0,4	1,5	0,5	0,0	0,1	2,1
Московская область	94	310,2	89,6	3,4	13,8	417,0
Орловская область	0,4	1,5	0,3	0,0	0,0	1,9
Рязанская область	5,3	11,1	2,5	0,2	0,8	14,6
Смоленская область	18,7	65,1	15,1	1,4	4,1	85,7
Тамбовская область	13,8	51,1	15,2	1,0	3,5	70,8
Тверская область	30,5	83,9	21,2	2,2	6,7	114,1
Тульская область	6,1	22,6	4,0	0,0	0,2	26,8
Ярославская область	10,2	26,6	6,0	0,4	1,5	34,4
<b>Северо-Западный федеральный округ</b>	<b>651,3</b>	<b>1175,0</b>	<b>177,4</b>	<b>50,8</b>	<b>121,6</b>	<b>1524,9</b>
Республика Карелия	56,1	76,1	14,4	6,2	8,2	104,9
Республика Коми	3,7	3,7	-0,3	0,3	0,5	4,2
Архангельская область	159,3	175,2	-23,4	17,5	35,0	204,4
Вологодская область	44,3	94,2	9,7	3,2	8,1	115,3
Калининградская область	18,3	65,8	16,1	0,7	2,0	84,5
Ленинградская область	209,9	554,1	123,1	15,4	46,2	738,8
Мурманская область	105,9	58,2	3,9	3,9	11,6	77,7
Новгородская область	7,8	19,4	3,4	0,3	1,4	24,6
Псковская область	46	128,2	30,4	3,4	8,4	170,4

Продолжение таблицы 2.19

Федеральные округа и субъекты РФ	Площади, занятые лесными насаждениями, тыс. га	Поглощение диоксида углерода, 10 <sup>3</sup> т CO <sub>2</sub> год <sup>-1</sup>				
<b>Южный федеральный округ</b>	<b>30,7</b>	<b>86,9</b>	<b>15,6</b>	<b>1,1</b>	<b>2,3</b>	<b>105,9</b>
Республика Адыгея	5,7	16,3	2,1	0,2	0,4	19,0
Краснодарский край	23,8	68,9	13,1	0,9	1,7	84,6
Волгоградская область	1,2	1,6	0,4	0,0	0,2	2,2
<b>Северо-Кавказский федеральный округ</b>	<b>4,7</b>	<b>12,5</b>	<b>0,7</b>	<b>0,0</b>	<b>0,2</b>	<b>13,4</b>
Республика Кабардино-Балкария	0,3	0,8	0,1	0,0	0,0	0,8
Республика Северная Осетия - Алания	4,4	11,8	0,6	0,0	0,2	12,6
<b>Приволжский федеральный округ</b>	<b>272,4</b>	<b>753,0</b>	<b>178,7</b>	<b>21,5</b>	<b>60,6</b>	<b>1013,9</b>
Республика Башкортостан	5	9,7	1,7	0,4	1,1	12,8
Республика Марий Эл	55,9	157,8	43,0	2,0	10,2	213,2
Республика Татарстан	1,4	4,4	1,0	0,1	0,3	5,8
Республика Удмуртия	3,3	11,6	3,5	0,4	1,0	16,5
Кировская область	69,1	195,1	35,5	10,1	17,7	258,4
Нижегородская область	63,9	180,4	51,5	2,3	11,7	246,0
Оренбургская область	9,4	20,3	4,5	0,3	2,4	27,6
Пензенская область	11,3	36,9	9,1	0,8	2,9	49,7
Пермский край	29,4	70,1	11,9	3,2	7,5	92,7
Саратовская область	17	39,9	10,0	1,2	3,7	54,9
Ульяновская область	6,7	26,8	7,1	0,5	2,0	36,4
<b>Уральский федеральный округ</b>	<b>247,4</b>	<b>558,7</b>	<b>107,5</b>	<b>24,2</b>	<b>53,0</b>	<b>743,4</b>
Курганская область	14	44,1	11,3	0,5	3,6	59,5
Свердловская область	210,6	463,3	84,9	23,2	46,3	617,8
Тюменская область	7,9	11,9	1,4	0,0	0,9	14,2
Челябинская область	14,9	39,3	9,8	0,5	2,2	51,9
<b>Сибирский федеральный округ</b>	<b>1761,8</b>	<b>2338,5</b>	<b>298,9</b>	<b>111,9</b>	<b>671,1</b>	<b>3420,4</b>
Республика Бурятия	375	412,5	68,8	27,5	137,5	646,3

Федеральные округа и субъекты РФ	Площади, занятые лесными насаждениями, тыс. га	Поглощение диоксида углерода, 10 <sup>3</sup> т CO <sub>2</sub> год <sup>-1</sup>				
Алтайский край	6	10,3	1,8	0,2	1,3	13,6
Красноярский край	43,7	32,0	1,6	1,6	11,2	46,5
Иркутская область	382,4	645,0	84,1	14,0	112,2	855,3
Кемеровская область	8,8	14,8	1,6	0,3	1,6	18,4
Новосибирская область	9,5	15,0	1,4	0,3	1,0	17,8
Омская область	1,5	3,5	0,5	0,1	0,3	4,4
Томская область	18,7	29,5	4,8	0,7	2,7	37,7
Забайкальский край	916,2	1175,8	134,4	67,2	403,1	1780,5
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	<b>427,3</b>	<b>488,4</b>	<b>57,6</b>	<b>4,6</b>	<b>35,2</b>	<b>585,8</b>
Приморский край	198,8	240,5	21,9	0,0	0,0	262,4
Хабаровский край	42	18,5	-1,5	0,0	1,5	18,5
Амурская область	69,1	58,3	7,6	2,5	22,8	91,2
Камчатская область	61,9	99,9	11,3	0,0	6,8	118,0
Сахалинская область	55,5	71,2	18,3	2,0	4,1	95,6



**Рисунок 2.12.** Чистое поглощение CO<sub>2</sub> (тыс. т CO<sub>2</sub> год<sup>-1</sup>) лесами на землях обороны и безопасности. Красным цветом обозначены субъекты РФ, где нет лесов на землях обороны и безопасности

Анализ способности лесов на землях обороны и безопасности к чистому поглощению диоксида углерода (табл. 2.19, рис. 2.12) показывает, что максимальные объемы поглощения CO<sub>2</sub> приходятся на Иркутскую область и Забайкальский край, обладающие наибольшими площадями лесов этой категории.

#### 2.2.1.1.4 Леса на землях населенных пунктов (городские леса)

В этом разделе рассматриваются оценки чистого поглощения диоксида углерода применительно к городским лесам, расположенным в населенных пунктах. Оценка чистого поглощения проводилась на основе данных Рослесхоза по площади покрытых лесной растительностью земель населенных пунктов, а также расчетных данных по нетто-поглощению CO<sub>2</sub> на единицу площади (без учёта выбросов от деструктивных пожаров и сплошных рубок в связи с отсутствием этих видов деструктивных нарушений на землях населенных пунктов). По данным Рослесхоза площадь городских лесов в 2016 году составляла 1161,7 тыс. га, что составляет 0,1% от общей площади лесов России. Несмотря на относительно небольшую площадь, городские леса имеют важное экологическое значение, обеспечивая чистое поглощение в объеме 3,4 млн т CO<sub>2</sub> год<sup>-1</sup> (табл. 2.20).

Таблица 2.20. Чистое (нетто) поглощение диоксида углерода городскими лесами

Федеральные округа и субъекты РФ	Площади, занятые лесными насаждениями (покрытые лесной растительностью), тыс. га	Чистое (нетто) поглощение CO <sub>2</sub> разными пулами углерода, тыс. т CO <sub>2</sub> год <sup>-1</sup>				
		Биомасса	Мертвая древесина	Подстилка	Почва	Итого
<b>Российская Федерация</b>	<b>1215,4</b>	<b>2567,9</b>	<b>487,2</b>	<b>83,6</b>	<b>273,9</b>	<b>3412,5</b>
<b>Центральный федеральный округ</b>	<b>117,4</b>	<b>406,1</b>	<b>110,1</b>	<b>6,1</b>	<b>19,2</b>	<b>541,5</b>
Белгородская область	5,7	26,3	5,2	0,1	0,2	31,9
Брянская область	4,2	16,7	4,9	0,3	0,8	22,8
Владимирская область	0,4	1,5	0,4	0,0	0,1	2,0
Воронежская область	0,1	0,4	0,1	0,0	0,0	0,5
Ивановская область	2,0	6,2	1,7	0,1	0,4	8,4
Калужская область	5,2	17,1	3,9	0,2	0,7	22,0
Курская область	9,0	27,7	7,5	0,2	0,6	35,9
Липецкая область	5,2	20,2	6,0	0,3	1,1	27,5
Московская область	17,6	60,0	17,1	1,0	3,1	81,2
Орловская область	0,5	2,0	0,4	0,0	0,1	2,4
Рязанская область	0,3	1,0	0,2	0,0	0,1	1,4
Смоленская область	5,8	20,3	4,7	0,4	1,3	26,7
Тверская область	4,8	13,3	3,4	0,3	1,0	18,1
Тульская область	2,2	8,6	1,5	0,0	0,1	10,3
Ярославская область	0,7	2,0	0,5	0,0	0,1	2,6
г. Москва	53,7	183,0	52,3	3,1	9,4	247,8
<b>Северо-Западный федеральный округ</b>	<b>73,3</b>	<b>156,2</b>	<b>27,3</b>	<b>5,6</b>	<b>14,8</b>	<b>203,9</b>

Федеральные округа и субъекты РФ	Площади, занятые лесными насаждениями (покрытые лесной растительностью), тыс. га	Нетто-поглощение CO <sub>2</sub> разными пулами углерода, тыс. т CO <sub>2</sub> год <sup>-1</sup>				
		Биомасса	Мертвая древесина	Подстилка	Почва	Итого
Республика Карелия	0,7	1,0	0,2	0,1	0,1	1,3
Республика Коми	5,9	6,0	-0,4	0,4	1,0	7,0
Архангельская область	16,2	18,0	-2,5	1,7	3,4	20,6
Калининградская область	5,1	19,0	4,6	0,2	0,7	24,6
Ленинградская область	20,9	55,6	12,8	1,5	4,7	74,6
г. Санкт-Петербург	19,2	51,1	11,8	1,4	4,3	68,5
Мурманская область	4,2	2,3	0,2	0,2	0,5	3,3
Псковская область	1,1	3,1	0,7	0,1	0,2	4,1
<b>Южный федеральный округ</b>	<b>47,0</b>	<b>127,9</b>	<b>25,2</b>	<b>2,1</b>	<b>6,5</b>	<b>161,6</b>
Краснодарский край	1,9	5,5	1,0	0,0	0,2	6,7
Астраханская область	0,4	0,4	0,1	0,0	0,1	0,6
Волгоградская область	7,1	15,9	3,5	0,7	2,3	22,5
Ростовская область	8,4	21,1	4,8	0,5	1,5	28,0
г. Севастополь	29,2	84,8	15,7	0,7	2,4	103,7
<b>Северо-Кавказский федеральный округ</b>	<b>25,1</b>	<b>70,0</b>	<b>8,6</b>	<b>0,7</b>	<b>4,0</b>	<b>83,4</b>
Республика Дагестан	0,4	0,9	0,2	0,0	0,0	1,0
Кабардино-Балкарская республика	0,3	0,8	0,1	0,0	0,0	0,9
Карачаево-Черкесская республика	2,4	5,0	0,7	0,0	0,1	5,8
Республика Северная Осетия-Алания	9,9	26,4	1,5	0,1	0,3	28,2
Ставропольский край	12,1	36,9	6,3	0,7	3,7	47,5
<b>Приволжский федеральный округ</b>	<b>195,8</b>	<b>526,4</b>	<b>112,4</b>	<b>19,6</b>	<b>49,8</b>	<b>708,2</b>
Республика Башкортостан	27,4	53,5	9,1	1,7	5,8	70,1
Республика Марий Эл	2,4	8,2	2,2	0,2	0,7	11,3
Республика Мордовия	0,7	2,9	0,7	0,0	0,2	3,8

Продолжение таблицы 2.20

Федеральные округа и субъекты РФ	Площади, занятые лесными насаждениями (покрытые лесной растительностью), тыс. га	Нетто-поглощение CO <sub>2</sub> разными пулами углерода, тыс. т CO <sub>2</sub> год <sup>-1</sup>				
		Биомасса	Мертвая древесина	Подстилка	Почва	Итого
Республика Татарстан	3,5	11,2	2,4	0,2	0,8	14,6
Удмуртская республика	12,9	45,7	13,6	1,3	3,8	64,4
Чувашская республика	1,0	3,8	0,8	0,1	0,3	5,0
Кировская область	11,6	32,8	5,9	1,6	3,1	43,5
Нижегородская область	21,9	75,8	20,6	1,7	5,7	103,8
Оренбургская область	7,6	20,8	4,3	0,5	2,5	28,2
Пензенская область	9,6	31,5	7,7	0,7	2,6	42,6
Пермская область	83,6	203,4	35,8	10,6	21,2	271,1
Самарская область	5,6	15,6	3,9	0,3	1,0	20,8
Саратовская область	7,6	19,7	4,9	0,6	1,9	27,0
Ульяновская область	0,4	1,7	0,4	0,0	0,1	2,3
<b>Уральский федеральный округ</b>	<b>370,2</b>	<b>724,8</b>	<b>136,1</b>	<b>33,1</b>	<b>74,7</b>	<b>968,7</b>
Курганская область	33,9	123,0	30,8	2,5	11,6	167,9
Свердловская область	151,6	343,4	65,6	19,8	34,8	463,5
Тюменская область	12,1	20,2	2,6	0,3	1,6	24,7
Челябинская область	26,5	75,3	18,7	1,4	5,1	100,5
Ханты-Мансийский автономный округ	140,2	158,7	17,7	8,9	19,8	205,3
Ямало-Ненецкий автономный округ	5,9	4,2	0,7	0,2	1,8	6,9
Сибирский федеральный округ	280,9	436,2	52,0	11,5	71,2	570,8
Республика Алтай	3,7	4,3	0,3	0,0	0,3	4,9
Республика Бурятия	26,4	34,8	6,1	1,8	11,6	54,3
Алтайский край	8,4	15,1	2,5	0,4	1,9	19,8
Красноярский край	50,7	57,4	5,2	2,7	17,4	82,7
Иркутская область	44,8	82,9	11,4	2,3	15,0	111,6
Кемеровская область	35,8	61,2	6,3	1,1	6,0	74,6
Новосибирская область	94,9	153,8	16,3	2,4	13,5	185,9

Федеральные округа и субъекты РФ	Площади, занятые лесными насаждениями (покрытые лесной растительностью), тыс. га	Нетто-поглощение CO <sub>2</sub> разными пулами углерода, тыс. т CO <sub>2</sub> год <sup>-1</sup>				
		Биомасса	Мертвая древесина	Подстилка	Почва	Итого
Томская область	5,9	9,8	1,7	0,2	1,1	12,8
Читинская область	8,3	11,9	1,5	0,6	3,9	17,9
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	<b>105,7</b>	<b>120,4</b>	<b>15,5</b>	<b>4,8</b>	<b>33,8</b>	<b>174,4</b>
Республика Саха (Якутия)	25,4	24,3	3,9	1,6	11,8	41,6
Приморский край	28,4	40,9	4,1	0,3	2,0	47,2
Хабаровский край	4,6	7,1	0,7	0,2	1,5	9,5
Амурская область	19,2	22,6	3,1	1,1	8,0	34,8
Камчатская область	5,8	10,1	1,1	0,1	0,8	12,1
Магаданская область	19,1	10,2	1,8	1,4	9,4	22,7
Сахалинская область	1,1	1,7	0,4	0,0	0,2	2,3
Еврейская автономная область	2,1	3,5	0,5	0,0	0,3	4,3

#### 2.2.1.1.5 Неуправляемые леса, включая резервные леса лесного фонда

##### 2.2.1.1.5.1 Резервные леса лесного фонда

По данным Рослесхоза, на 01.01.2016 площадь лесных земель резервных лесов России составила 198,98 млн га (в том числе площадь, занятая лесными насаждениями – 168,9 млн га), что составляет 22,2% от общей площади лесных земель страны. В национальном кадастре парниковых газов резервные леса рассматриваются в качестве неуправляемых лесов и поэтому не учитываются в углеродном балансе страны. Наибольшие площади резервных лесов сосредоточены в труднодоступных районах Сибирского и Дальневосточного федеральных округов (табл. 2.21, рис. 2.13). Значительную долю площади резервные леса занимают в Республике Тыва, Хабаровском крае, Камчатском крае, Иркутской области, Красноярском крае и Республике Бурятия.

Оценка углеродного баланса резервных лесов России за 2016 гг. по методике количественного определения объемов поглощения парниковых газов, утверждённой распоряжением Минприроды России от 30.06.2017 № 20-р, показали, что поглощение диоксида углерода превышает его потери от пожарных нарушений во всех регионах Сибирского и Дальневосточного федеральных округов, за исключением Республики Тыва (табл. 2.22, рис. 2.14, 2.15, 2.16).

Резервные леса России обеспечивали поглощение диоксида углерода в объёме 190,1 млн т CO<sub>2</sub> год<sup>-1</sup>. Максимальное поглощение обеспечивают пулы фитомассы и органического вещества почв. Наибольшие объёмы поглощения

обеспечивали резервные леса Республики Саха (Якутия), Красноярского края, Иркутской области и Хабаровского края.

**Таблица 2.21.** Площадь резервных лесов по федеральным округам и субъектам РФ по состоянию на 01.01.2017

Федеральные округа и субъекты РФ	Общая площадь лесных земель (по данным Росреестра), тыс. га	Площадь лесных земель резервных лесов, тыс. га	Доля площади резервных лесов от общей площади лесных земель, %
<b>Российская Федерация</b>	<b>897 012</b>	<b>198 981,5</b>	<b>22,2</b>
<b>Сибирский федеральный округ</b>	<b>302 915</b>	<b>66 508,7</b>	<b>22,0</b>
Республика Бурятия	23 881	5 627,2	23,6
Республика Тыва	9 117	5 596,8	61,4
Красноярский край	124 122	33 565,4	27,0
Иркутская область	66 316	18 545,6	28,0
Кемеровская область	6 239	63,7	1,0
Забайкальский край	31 280	3 110,0	9,9
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	<b>348 035</b>	<b>132 472,8</b>	<b>38,1</b>
Республика Саха (Якутия)	166 700	96 843,5	58,1
Хабаровский край	59 804	21 508,0	36,0
Амурская область	26 405	799,6	3,0
Камчатский край	27 116	13321,7	49,1



**Рисунок 2.13.** Доля площади, занимаемой резервными лесами, в процентах от общей площади лесных земель

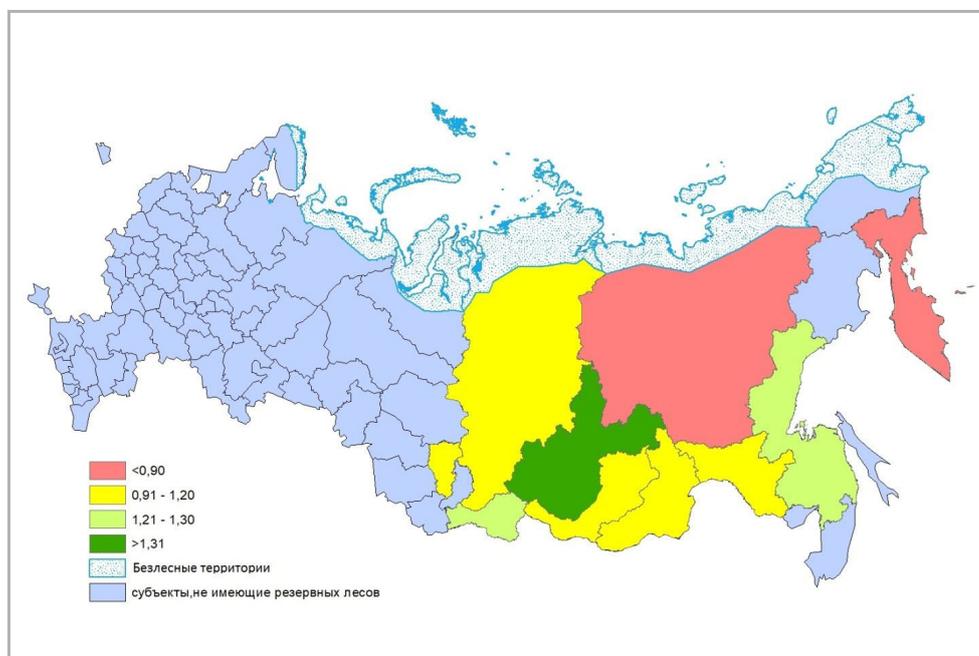
Выбросы диоксида углерода от пожаров составили 87,9 млн т CO<sub>2</sub> год<sup>-1</sup>. Основной причиной выбросов диоксида углерода являются пожары (табл. 2.22, рис. 2.15). Наибольшие потери углерода в резервных лесах приходятся на Республику Саха (Якутия), Хабаровский край, Республику Тыва и Красноярский край.

Таблица 2.22. Показатели углеродного баланса резервных лесов РФ

Федеральные округа и субъекты РФ	Поглощение (+)/ потери (-) углерода по пулам, тыс. т CO <sub>2</sub> год <sup>-1</sup>				
	Фито-масса древесины	Мёртвая древесина	Подстилка	Почва	Итого
<b>Поглощение</b>					
<b>Российская Федерация</b>	<b>107091</b>	<b>16180</b>	<b>8820</b>	<b>57968</b>	<b>190058</b>
<b>Сибирский федеральный округ</b>	<b>51770</b>	<b>6079</b>	<b>4050</b>	<b>25628</b>	<b>87526</b>
Республика Бурятия	3301	647	262	1803	6012
Республика Тыва	4277	313	198	1718	6506
Красноярский край	18218	2110	1661	10793	32781
Иркутская область	24204	2799	1745	10219	38966
Кемеровская область	60	-2	1	3	62
Забайкальский край	1708	213	183	1093	3198
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	<b>55321</b>	<b>10101</b>	<b>4770</b>	<b>32340</b>	<b>102532</b>
Республика Саха (Якутия)	30248	5727	4012	27423	67410
Хабаровский край	18025	3212	358	2076	23671
Амурская область	631	112	18	117	877
Камчатский край	6416	1051	383	2724	10573
<b>Потери от деструктивных пожаров</b>					
<b>Российская Федерация</b>	<b>-52881</b>	<b>-8392</b>	<b>-3513</b>	<b>-23078</b>	<b>-87864</b>
<b>Сибирский федеральный округ</b>	<b>-11338</b>	<b>-1714</b>	<b>-511</b>	<b>-3810</b>	<b>-17373</b>
Республика Бурятия	-288	-53	-17	-94	-452
Республика Тыва	-7379	-1057	-219	-2253	-10908
Красноярский край	-2964	-479	-235	-1239	-4916
Иркутская область	-261	-46	-14	-78	-399
Кемеровская область	0	0	0	0	0
Забайкальский край	-446	-79	-26	-146	-697
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	<b>-41543</b>	<b>-6679</b>	<b>-3002</b>	<b>-19267</b>	<b>-70491</b>
Республика Саха (Якутия)	-28804	-4564	-2333	-15331	-51032
Хабаровский край	-12076	-1999	-650	-3721	-18446
Амурская область	-1	0	0	0	-2
Камчатский край	-662	-115	-19	-215	-1011

Продолжение таблицы 2.22

Федеральные округа и субъекты РФ	Поглощение (+)/ потери (-) углерода по пулам, тыс. т CO <sub>2</sub> год <sup>-1</sup>				
	Фито-масса дровостоя	Мёртвая древесина	Подстилка	Почва	Итого
<b>Нетто-поглощение</b>					
<b>Российская Федерация</b>	<b>54209</b>	<b>7788</b>	<b>5307</b>	<b>34890</b>	<b>102194</b>
<b>Сибирский федеральный округ</b>	<b>40432</b>	<b>4366</b>	<b>3539</b>	<b>21818</b>	<b>70154</b>
Республика Бурятия	3014	594	245	1709	5560
Республика Тыва	-3102	-744	-20	-536	-4402
Красноярский край	15254	1631	1426	9554	27865
Иркутская область	23943	2752	1731	10141	38567
Кемеровская область	60	-2	1	3	62
Забайкальский край	1262	134	157	947	2501
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	<b>13778</b>	<b>3422</b>	<b>1768</b>	<b>13073</b>	<b>32041</b>
Республика Саха (Якутия)	1445	1162	1679	12092	16379
Хабаровский край	5949	1213	-292	-1645	5225
Амурская область	629	112	18	117	875
Камчатский край	5755	936	363	2509	9562



**Рисунок 2.14.** Удельные значения поглощения диоксида углерода резервными лесами (в т CO<sub>2</sub> га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup>)



**Рисунок 2.15.** Удельные значения потерь углерода от деструктивных пожаров в резервных лесах (в т  $\text{CO}_2 \text{ га}^{-1} \text{ год}^{-1}$ )



**Рисунок 2.16.** Удельные значения чистого (нетто) поглощения углерода резервными лесами (в т  $\text{CO}_2 \text{ га}^{-1} \text{ год}^{-1}$ )

Чистое поглощение диоксида углерода резервными лесами составило 102,2 млн т  $\text{CO}_2 \text{ год}^{-1}$ . Резервные леса Республики Тыва в отличие от резервных лесов других регионов выступали источником диоксида углерода в связи с большими потерями в результате пожаров, превышающими объем поглощения этого газа лесными экосистемами. Наибольшие объемы чистого поглоще-

ния диоксида углерода обеспечивали резервные леса Красноярского края, Иркутской области и Республики Саха (Якутия).

#### 2.2.1.1.5.2 Прочие неуправляемые леса

В этом разделе рассматриваются суммарные оценки чистого поглощения CO<sub>2</sub> применительно к неуправляемым лесам, расположенным вне земель лесного фонда, земель ООПТ и земель обороны и безопасности, а также вне населенных пунктов.

Оценка чистого поглощения проводилась на основе данных Росреестра по площади покрытых лесной растительностью земель, которые не входят в состав земель лесного фонда, земель ООПТ, земель обороны и безопасности, земель населенных пунктов, а также удельных значений по нетто-поглощению С на единицу площади без учёта выбросов от сплошных рубок, полученных по методике количественного определения объёмов поглощения парниковых газов, утверждённой распоряжением Минприроды России от 30.06.2017 № 20-р. По состоянию на 01.01.2017, площадь таких лесов составляла 41,8 млн га. Чистое поглощение прочими неуправляемыми лесами оценивается в 21,6 млн т CO<sub>2</sub> год<sup>-1</sup> (табл. 2.23).

Таблица 2.23. Площади и чистое (нетто) поглощение CO<sub>2</sub> прочими неуправляемыми лесами

Федеральные округа и субъекты РФ	Площадь земель, занятых лесными насаждениями, тыс. га	Удельные значения нетто-поглощения, т С га <sup>-1</sup>	Чистое (нетто) поглощение, тыс. т CO <sub>2</sub>
<b>Российская Федерация</b>	<b>41794,7</b>	<b>0,30</b>	<b>21598,8</b>
<b>Центральный федеральный округ</b>	<b>2834,7</b>	<b>0,82</b>	<b>8603,9</b>
Белгородская область	102,3	1,47	550,5
Брянская область	129,2	1,25	591,2
Владимирская область	117,2	0,81	347,6
Воронежская область	237,8	0,34	298,5
Ивановская область	71,6	0,68	178,2
Калужская область	83,8	0,94	288,6
Костромская область	101,1	0,78	289,0
Курская область	79,2	1,02	296,9
Липецкая область	71,9	0,87	228,1
Московская область	111,4	0,89	361,5
Орловская область	148,3	1,19	644,5
Рязанская область	244	0,13	120,2
Смоленская область	448,8	1,05	1734,4
Тамбовская область	101,9	1,11	415,7
Тверская область	380,6	0,77	1072,1
Тульская область	128,5	1,12	529,3
Ярославская область	277,1	0,65	657,7
г. Москва	0	0,89	0,0

Федеральные округа и субъекты РФ	Площадь земель, занятых лесными насаждениями, тыс. га	Удельные значения нетто-поглощения, т С га <sup>-1</sup>	Нетто-поглощение, тыс. т CO <sub>2</sub>
<b>Северо-Западный федеральный округ</b>	<b>5822,2</b>	<b>0,25</b>	<b>2861,1</b>
Республика Карелия	0	0,31	0,0
Республика Коми	200,8	0,26	187,8
Архангельская область	430,2	0,09	135,1
Вологодская область	612,4	0,12	274,5
Калининградская область	41	1,15	173,1
Ленинградская область	87,2	0,51	161,8
Мурманская область	483,4	0,19	340,6
Новгородская область	126,8	0,68	314,2
Псковская область	834,9	0,87	2655,8
г. Санкт-Петербург	16	0,51	29,7
Ненецкий автономный округ	2989,5	-0,13	-1411,5
<b>Южный федеральный округ</b>	<b>1040,3</b>	<b>0,55</b>	<b>1107,3</b>
Республика Адыгея	9,4	0,90	30,9
Республика Калмыкия	43,1	-2,31	-365,7
Республика Крым	292,8	0,94	1014,3
Краснодарский край	176,6	0,94	611,8
Астраханская область	20,4	0,26	19,3
Волгоградская область	178,4	-0,19	-122,7
Ростовская область	314,1	-0,09	-99,6
г. Севастополь	5,5	0,94	19,1
<b>Северо-Кавказский федеральный округ</b>	<b>544,4</b>	<b>0,70</b>	<b>1436,8</b>
Республика Дагестан	220,7	0,68	548,2
Республика Ингушетия	22,1	0,68	54,9
Кабардино-Балкарская Республика	16,4	0,74	44,4
Карачаево-Черкесская Республика	30,2	0,65	71,7
Республика Северная Осетия	25	0,75	69,2
Чеченская Республика	87,6	0,70	226,0
Ставропольский край	142,4	0,81	422,5
<b>Приволжский федеральный округ</b>	<b>2134,1</b>	<b>0,63</b>	<b>5675,0</b>
Республика Башкортостан	258,5	0,55	523,1
Республика Марий Эл	120,6	0,73	322,0
Республика Мордовия	58,2	1,34	286,8
Республика Татарстан	95,2	0,99	346,9

Продолжение таблицы 2.23

Федеральные округа и субъекты РФ	Площадь земель, занятых лесными насаждениями, тыс. га	Удельные значения нетто-поглощения, т С га <sup>-1</sup>	Нетто-поглощение, тыс. т CO <sub>2</sub>
Удмуртская Республика	116,7	1,07	456,4
Чувашская Республика	24	1,05	92,6
Пермский край	150,5	0,58	320,1
Кировская область	333,1	0,38	466,1
Нижегородская область	250	0,61	555,0
Оренбургская область	283,2	0,68	705,0
Пензенская область	111,8	1,02	416,6
Самарская область	109,3	0,89	356,8
Саратовская область	77,3	0,59	166,9
Ульяновская область	145,7	1,24	660,7
<b>Уральский федеральный округ</b>	<b>6003,8</b>	<b>0,38</b>	<b>5720,1</b>
Курганская область	155,4	0,85	485,4
Свердловская область	215,2	0,56	444,1
Тюменская область	197	0,42	303,4
Челябинская область	158,2	0,80	464,9
Ханты-Мансийский автономный округ	0	0,33	0,0
Ямало-Ненецкий автономный округ	5278	0,21	4022,3
<b>Сибирский федеральный округ</b>	<b>8495,7</b>	<b>0,33</b>	<b>7461,7</b>
Республика Алтай	73,8	0,18	49,8
Республика Бурятия	409,8	0,39	583,6
Республика Тыва	39,9	-0,09	-12,5
Республика Хакасия	0	0,08	0,0
Алтайский край	210,3	0,47	362,4
Забайкальский край	150,5	0,46	252,5
Красноярский край	7232,7	0,21	5495,0
Иркутская область	0	0,38	0,0
Кемеровская область	42	0,49	76,0
Новосибирская область	217	0,46	366,4
Омская область	119,7	0,66	288,5
Томская область	0	0,44	0,0
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	<b>14919,5</b>	<b>0,11</b>	<b>-11267,2</b>
Республика Саха (Якутия)	0	0,15	0,0
Камчатский край	0	0,49	0,0
Приморский край	814,1	0,25	756,4
Хабаровский край	1228	0,02	100,4

Федеральные округа и субъекты РФ	Площадь земель, занятых лесными насаждениями, тыс. га	Удельные значения нетто-поглощения, т С га <sup>-1</sup>	Нетто-поглощение, тыс. т CO <sub>2</sub>
Амурская область	2679,3	0,12	1170,7
Магаданская область	3693,8	-0,06	-748,1
Сахалинская область	374,1	0,45	611,7
Еврейская автономный округ	169,5	0,33	207,0
Чукотский автономный округ	5960,7	-0,61	-13365,3

По результатам проведённых расчетов чистого поглощения неуправляемых лесов можно сделать следующие выводы: а) неуправляемые леса выступают в качестве стока парниковых газов; чистое поглощение составляет  $121,3 \pm 25,5$  млн т CO<sub>2</sub> год<sup>-1</sup>; б) для более точных оценок вклада неуправляемых лесов необходимо провести их инвентаризацию, включающую уточнения площадей, занятых лесной растительностью, а также дополнительную информацию о породно-возрастном составе этих лесов.

#### 2.2.1.2. Метан (CH<sub>4</sub>) и закись азота (N<sub>2</sub>O)

Основными источниками метана и закиси азота в лесных экосистемах являются пожары и осушение органических почв [95, 96]. Данные о поглощении этих парниковых газов лесными почвами отсутствуют. Имеющиеся данные свидетельствуют о небольших эмиссиях CH<sub>4</sub> и N<sub>2</sub>O из лесных почв, однако их недостаточно для выполнения расчетов.

Оценка выбросов метана и закиси азота от пожаров выполнена по методике количественного определения объёмов поглощения парниковых газов, утверждённой распоряжением Минприроды России от 30.06.2017 № 20-р. В качестве исходных данных для расчетов послужили площади пожаров разных типов на лесных землях за 2016 год, предоставленные Информационной системой дистанционного мониторинга лесов (ИСДМ-Рослесхоз) (табл. 2.24). Выбросы метана и закиси азота от пожаров разных типов представлены в табл. 2.24.

Максимальные значения выбросов метана и закиси азота от пожаров на лесных землях характерны для Красноярского края, Иркутской области, Республики Бурятия и Забайкальского края, Амурской области, Камчатского края, Ямало-Ненецкого автономного округа, что связано с большими площадями верховых и низовых пожаров.

Незначительные выбросы метана и закиси азота характерны для регионов Северо-Западного, Центрального, Южного, Северо-Кавказского, Приволжского и Уральского (за исключением Ямало-Ненецкого АО) федеральных округов, которые относятся к зоне наземного мониторинга пожаров и проводятся активные мероприятия по предотвращению и тушению пожаров.

В связи с отсутствием данных по осушению органических лесных почв в разрезе субъектов РФ, расчеты выбросов CH<sub>4</sub> и N<sub>2</sub>O выполнены в целом по Российской Федерации согласно методике количественного определения объёмов

ёмов поглощения парниковых газов, утверждённой распоряжением Минприроды России от 30.06.2017 № 20-р. По данным национального доклада о кадастре парниковых газов (2018) площадь осушенных лесных земель в 2016 году оценивается в 1950,2 тыс. га. Выбросы метана от осушенных органических почв в 2016 году составили 478,4 тыс. т  $\text{CO}_2$ -эquiv., выбросы закиси азота – 1561,7 тыс. т  $\text{CO}_2$ -эquiv.



Рисунок 2.17. Распределение выбросов метана от пожаров на лесных землях субъектов РФ (тыс. т  $\text{CO}_2$ -эquiv. год<sup>-1</sup>)

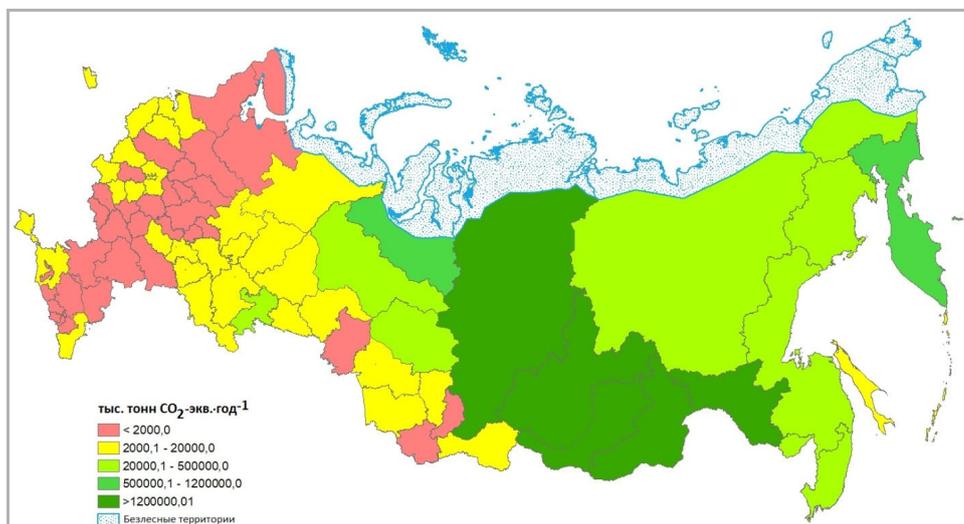


Рисунок 2.18. Распределение выбросов закиси азота от пожаров на лесных землях субъектов РФ (тыс. т  $\text{CO}_2$ -эquiv. год<sup>-1</sup>)

Таблица 2.24. Площади пожаров в 2016 году (по данным ИСДМ-Рослесхоз) и оценка выбросов парниковых газов (метана и закиси азота)

Федеральные округа и субъекты РФ	Низовые пожары на землях, покрытых лесной растительностью			Верховые пожары			Низовые пожары на непокрытых лесной растительностью лесных землях		
	площадь, тыс. га	Выброс CH <sub>4</sub> , т	Выброс N <sub>2</sub> O, т	Площадь, тыс. га	Выброс CH <sub>4</sub> , т	Выброс N <sub>2</sub> O, т	Площадь, тыс. га	Выброс CH <sub>4</sub> , т	Выброс N <sub>2</sub> O, т
<b>Российская Федерация</b>	<b>4325,7</b>	<b>307098,7</b>	<b>16988,4</b>	<b>1204,8</b>	<b>249497,4</b>	<b>13802,0</b>	<b>5015,3</b>	<b>87650,1</b>	<b>8002,8</b>
<i>Северо-Западный федеральный округ</i>	<b>8,9</b>	<b>874,4</b>	<b>48,4</b>	<b>0,2</b>	<b>53,9</b>	<b>3,0</b>	<b>27,2</b>	<b>524,9</b>	<b>47,9</b>
Архангельская область	0,3	28,3	1,6	0	0,0	0,0	1,1	26,6	2,4
Вологодская область	0,1	11,1	0,6	0	0,0	0,0	0,4	8,1	0,7
Калининградская область	1,2	151,4	8,4	0	0,0	0,0	7,1	159,7	14,6
Ленинградская область	2,1	221,1	12,2	0,1	30,2	1,7	1,7	32,1	2,9
Мурманская область	0,3	16,1	0,9	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
Ненецкий автономный округ	0,2	16,5	0,9	0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0
Новгородская область	0,8	80,6	4,5	0	0,0	0,0	9,4	151,6	13,8
Псковская область	1,9	183,4	10,1	0	0,0	0,0	4	75,8	6,9
Республика Карелия	0,1	8,4	0,5	0	0,0	0,0	0,1	2,5	0,2
Республика Коми	1,9	157,4	8,7	0,1	23,7	1,3	2,5	68,5	6,3
<b>Центральный федеральный округ</b>	<b>5,7</b>	<b>646,8</b>	<b>35,8</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>30,7</b>	<b>613,7</b>	<b>56,0</b>
Белгородская область	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,3	6,4	0,6
Брянская область	0,9	104,9	5,8	0	0,0	0,0	3,8	84,9	7,7
Владимирская область	0,1	11,2	0,6	0	0,0	0,0	0,4	8,0	0,7
Воронежская область	0,2	22,2	1,2	0	0,0	0,0	1,3	23,2	2,1
Ивановская область	0,1	10,7	0,6	0	0,0	0,0	0,6	10,7	1,0
Калужская область	0,3	34,5	1,9	0	0,0	0,0	1,7	34,7	3,2

Продолжение таблицы 2.24

Федеральные округа и субъекты РФ	Низовые пожары на землях, покрытых лесной растительностью			Верховые пожары			Низовые пожары на непокрытых лесной растительностью лесных землях		
	площадь, тыс. га	Выброс CH <sub>4</sub> , т	Выброс N <sub>2</sub> O, т	Площадь, тыс. га	Выброс CH <sub>4</sub> , т	Выброс N <sub>2</sub> O, т	Площадь, тыс. га	Выброс CH <sub>4</sub> , т	Выброс N <sub>2</sub> O, т
Костромская область	0,1	10,4	0,6	0	0,0	0,0	0,1	1,8	0,2
Курская область	0,2	24,8	1,4	0	0,0	0,0	1,8	44,5	4,1
Липецкая область	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,8	16,1	1,5
Московская область	1,2	151,5	8,4	0	0,0	0,0	1,8	36,5	3,3
Орловская область	0,2	25,2	1,4	0	0,0	0,0	3,9	84,2	7,7
Рязанская область	0,1	10,9	0,6	0	0,0	0,0	1,4	20,8	1,9
Смоленская область	1	97,6	5,4	0	0,0	0,0	5,1	94,5	8,6
Тамбовская область	0,1	11,7	0,6	0	0,0	0,0	1,3	29,4	2,7
Тверская область	0,8	81,5	4,5	0	0,0	0,0	1	19,1	1,7
Тульская область	0,2	28,8	1,6	0	0,0	0,0	4,6	84,6	7,7
Ярославская область	0,2	20,8	1,2	0	0,0	0,0	0,8	14,4	1,3
<b>Южный федеральный округ</b>	<b>1,2</b>	<b>136,1</b>	<b>7,5</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>9,5</b>	<b>165,6</b>	<b>15,1</b>
Волгоградская область	0,1	5,5	0,3	0	0,0	0,0	0,7	11,4	1,0
Краснодарский край	0,7	90,8	5,0	0	0,0	0,0	1,5	31,3	2,9
Республика Адыгея	0,2	26,8	1,5	0	0,0	0,0	0,3	7,6	0,7
Республика Калмыкия	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	4,1	64,5	5,9
Ростовская область	0,2	13,0	0,7	0	0,0	0,0	2,9	50,8	4,6
<b>Северо-Кавказский федеральный округ</b>	<b>0,50</b>	<b>54,52</b>	<b>3,02</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>9,90</b>	<b>169,61</b>	<b>15,49</b>
Ингушская Республика	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,1	1,7	0,2

Продолжение таблицы 2.24

Федеральные округа и субъекты РФ	Низовые пожары на землях, покрытых лесной растительностью			Верховые пожары			Низовые пожары на непокрытых лесной растительностью лесных землях		
	площадь, тыс. га	Выброс CH <sub>4</sub> , т	Выброс N <sub>2</sub> O, т	Площадь, тыс. га	Выброс CH <sub>4</sub> , т	Выброс N <sub>2</sub> O, т	Площадь, тыс. га	Выброс CH <sub>4</sub> , т	Выброс N <sub>2</sub> O, т
Кабардино-Балкарская Республика	0,2	24,8	1,4	0,0	0,0	0,0	0,9	18,4	1,7
Карачаево-Черкесская Республика	0,1	12,9	0,7	0,0	0,0	0,0	0,8	14,2	1,3
Республика Дагестан	0,2	16,8	0,9	0,0	0,0	0,0	6,2	102,0	9,3
Республика Северная Осетия	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	5,7	0,5
Ставропольский край	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	21,5	2,0
Чеченская Республика	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	5,9	0,5
<b>Приволжский федеральный округ</b>	<b>8,1</b>	<b>797,0</b>	<b>44,1</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>72,1</b>	<b>1401,3</b>	<b>127,9</b>
Кировская область	0,5	53,3	2,9	0,0	0,0	0,0	4,1	86,4	7,9
Нижегородская область	0,3	29,9	1,7	0,0	0,0	0,0	0,1	1,7	0,2
Оренбургская область	0,2	15,7	0,9	0,0	0,0	0,0	3,6	61,4	5,6
Пензенская область	0,2	20,2	1,1	0,0	0,0	0,0	6	120,3	11,0
Пермский край	1,9	187,2	10,4	0,0	0,0	0,0	7,3	146,0	13,3
Республика Башкортостан	1,3	113,6	6,3	0,0	0,0	0,0	29,4	567,1	51,8
Республика Марий-Эл	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	9,8	0,9
Республика Мордовия	0,1	10,4	0,6	0,0	0,0	0,0	1,5	32,6	3,0
Республика Татарстан	0,3	30,5	1,7	0,0	0,0	0,0	2,7	59,7	5,4
Самарская область	0,6	54,8	3,0	0,0	0,0	0,0	2,5	43,5	4,0
Саратовская область	0,1	7,3	0,4	0,0	0,0	0,0	1,4	24,5	2,2
Удмуртская Республика	1,5	157,4	8,7	0	0,0	0,0	5,1	107,7	9,8

Продолжение таблицы 2.24

Федеральные округа и субъекты РФ	Низовые пожары на землях, покрытых лесной растительностью			Верховые пожары			Низовые пожары на непокрытых лесной растительностью землях		
	площадь, тыс. га	Выброс CH <sub>4</sub> , т	Выброс N <sub>2</sub> O, т	Площадь, тыс. га	Выброс CH <sub>4</sub> , т	Выброс N <sub>2</sub> O, т	Площадь, тыс. га	Выброс CH <sub>4</sub> , т	Выброс N <sub>2</sub> O, т
Ульяновская область	0,9	97,9	5,4	0	0,0	0,0	6,8	123,8	11,3
Чувашская Республика	0,2	18,8	1,0	0	0,0	0,0	1	16,9	1,5
<b>Уральский федеральный округ</b>	<b>155,2</b>	<b>10258,4</b>	<b>567,5</b>	<b>23,8</b>	<b>4197,2</b>	<b>232,2</b>	<b>638,2</b>	<b>14780,0</b>	<b>1349,5</b>
Курганская область	1,7	142,8	7,9	0	0,0	0,0	11,7	173,3	15,8
Свердловская область	3,3	358,2	19,8	0,1	31,1	1,7	9,9	220,1	20,1
Тюменская область	1,7	141,0	7,8	0	0,0	0,0	4,2	63,4	5,8
<b>Ханты-Мансийский автономный округ</b>	<b>21,4</b>	<b>1826,6</b>	<b>101,0</b>	<b>0,6</b>	<b>146,8</b>	<b>8,1</b>	<b>15,3</b>	<b>373,9</b>	<b>34,1</b>
Челябинская область	2	196,7	10,9	0	0,0	0,0	33,5	595,6	54,4
Ямало-Ненецкий автономный округ	125,1	7593,1	420,0	23,1	4019,3	222,3	563,6	13353,7	1219,3
Сибирский федеральный округ	2189,3	169853,3	9396,1	923,8	206521,4	11424,6	2486,0	43364,9	3959,4
Алтайский край	0,7	59,9	3,3	0	0,0	0,0	6,3	111,2	10,2
Забайкальский край	560,6	37542,7	2076,8	122,5	23517,2	1301,0	177	2820,2	257,5
Иркутская область	454,5	43743,2	2419,8	199,9	55152,6	3051,0	230,9	3097,5	282,8
Кемеровская область	2	147,1	8,1	0	0,0	0,0	14,6	247,1	22,6
Красноярский край	526,4	41531,1	2297,5	198	44781,7	2477,3	1685,9	31507,7	2876,8
Новосибирская область	1,1	81,4	4,5	0	0,0	0,0	7,4	116,8	10,7
Омская область	0,6	49,2	2,7	0	0,0	0,0	1	15,4	1,4
Республика Алтай	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,4	6,8	0,6

Продолжение таблицы 2.24

Федеральные округа и субъекты РФ	Низовые пожары на землях, покрытых лесной растительностью			Верховые пожары			Низовые пожары на непокрытых лесной растительностью лесных землях		
	площадь, тыс. га	Выброс CH <sub>4</sub> , т	Выброс N <sub>2</sub> O, т	Площадь, тыс. га	Выброс CH <sub>4</sub> , т	Выброс N <sub>2</sub> O, т	Площадь, тыс. га	Выброс CH <sub>4</sub> , т	Выброс N <sub>2</sub> O, т
Республика Бурятия	600,5	43092,8	2383,9	401	82492,2	4563,4	324,1	4903,4	447,7
Республика Тыва	3,8	316,8	17,5	0,5	119,5	6,6	1,1	15,7	1,4
Республика Хакасия	0,1	8,3	0,5	0	0,0	0,0	0,1	1,5	0,1
Томская область	39	3280,9	181,5	1,9	458,2	25,3	37,2	521,7	47,6
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	<b>1956,8</b>	<b>124478,1</b>	<b>6886,0</b>	<b>257,0</b>	<b>38724,9</b>	<b>2142,2</b>	<b>1741,7</b>	<b>26630,1</b>	<b>2431,4</b>
Амурская область	1667,9	107555,6	5949,9	84,6	15639,1	865,1	610,6	9978,9	911,1
Еврейская автономная область	12,7	962,6	53,3	0	0,0	0,0	101,3	1592,3	145,4
Камчатский край	148,9	8706,3	481,6	73,6	12336,6	682,4	443,5	6501,9	593,7
Магаданская область	38,8	1392,8	77,1	68,7	7069,7	391,1	146,2	2275,7	207,8
Приморский край	19,9	1806,5	99,9	0	0,0	0,0	13,9	225,7	20,6
Республика Саха (Якутия)	15,7	838,7	46,4	6,5	995,4	55,1	100,7	1722,9	157,3
Сахалинская область	0,6	44,8	2,5	0,1	21,4	1,2	2,9	45,1	4,1
Хабаровский край	32,9	2516,9	139,2	3,2	701,8	38,8	250,9	3332,6	304,3
Чукотский автономный округ	19,4	653,7	36,2	20,3	1960,9	108,5	71,7	954,8	87,2

## 2.2.2. Расчеты способности лесных экосистем к чистому поглощению парниковых газов с разбивкой по субъектам Российской Федерации

### 2.2.2.1. Диоксид углерода (CO<sub>2</sub>)

Сводные результаты расчетов способности лесных экосистем к чистому поглощению CO<sub>2</sub> с разбивкой по субъектам РФ приведены в табл. 2.25. Согласно оценкам, выполненным в ходе выполнения темы, лесные экосистемы РФ обеспечивали чистое поглощение диоксида углерода в объеме 811,0 млн т CO<sub>2</sub> год<sup>-1</sup>. Наибольший вклад (80,3%) в чистое поглощение диоксида углерода вносят защитные и эксплуатационные леса лесного фонда, которые рассматриваются в качестве управляемых в национальном кадастре парниковых газов [96].

Несмотря на то, что резервные леса занимают 20,6% площади лесов России, их вклад в чистое поглощение CO<sub>2</sub> составляет лишь 12,3%. Это связано с географическим положением и низкой продуктивностью лесных экосистем, поскольку основные площади резервных лесов сосредоточены в районах распространения вечной мерзлоты, которая характерна для северных регионов Сибири и Дальнего Востока.

Вклад лесов, расположенных на землях особо охраняемых территорий и объектов, землях обороны и безопасности, землях населенных пунктов составляет 3,3%, 1,1% и 0,4% соответственно, что несколько превышает доли площади, занятые лесами на этих категориях земель (2,0%, 0,5%, 0,1%, соответственно). Это связано с отсутствием (сплошные рубки) или с меньшей величиной деструктивных нарушений на этих землях.



Рисунок 2.19. Анализ способности лесов РФ к чистому поглощению CO<sub>2</sub>

Чистое поглощение CO<sub>2</sub> лесами зависит от соотношения накопления углерода различными пулами (фитомасса, мертвая древесина, подстилка и почва) и потерь углерода в результате деструктивных нарушений (сплошные рубки, верховые пожары). Анализ способности лесов РФ к чистому поглоще-

нию CO<sub>2</sub> (табл. 2.25, рис. 2.19) показывает, что максимальные объемы поглощения CO<sub>2</sub> приходятся на Красноярский край, Иркутскую область и Республику Саха (Якутию), а также на Республику Коми, Пермский край, Свердловскую, Томскую области, Ямало-Ненецкий и Ханты-Мансийский автономные округа, Республику Бурятия, Забайкальский край, Камчатский край, обладающие обширными лесными ресурсами.

Таблица 2.25. Чистое поглощение диоксида углерода лесными экосистемами

Федеральные округа и субъекты РФ	Лесные земли, тыс. га		Чистое поглощение диоксида углерода лесными землями, тыс. т CO <sub>2</sub> год <sup>-1</sup>
	всего	в том числе занятые лесными насаждениями	
<b>Российская Федерация</b>	<b>870705,5</b>	<b>820864,5</b>	<b>811079,5</b>
<b>Центральный федеральный округ</b>	<b>23623,7</b>	<b>24831,7</b>	<b>76147,0</b>
Белгородская область	241,9	329	1772,0
Брянская область	1183,6	1272,4	5839,2
Владимирская область	1581,8	1599,6	4992,1
Воронежская область	476,8	609,2	854,6
Ивановская область	1047,8	1064,2	2700,0
Калужская область	1376,9	1382,3	4836,2
Костромская область	4574,2	4575,1	13167,3
Курская область	249,2	312,9	1176,3
Липецкая область	190,7	247,5	821,9
Московская область	1998,1	2000,9	6644,3
Орловская область	203,1	273,1	1197,2
Рязанская область	1065,9	1084,9	723,7
Смоленская область	2168	2489,6	9715,9
Тамбовская область	371,7	464,2	1916,4
Тверская область	4742,2	4894,2	13867,3
Тульская область	372,4	404,7	1670,1
Ярославская область	1725,7	1774,2	4252,7
г. Москва	53,7	53,7	247,8
<b>Северо-Западный федеральный округ</b>	<b>92639,6</b>	<b>90307,8</b>	<b>84836,7</b>
Республика Карелия	9850,2	9556,2	11196,3
Республика Коми	31093,5	30502,2	28893,8
Архангельская область	22948,6	22730,4	7606,3
Вологодская область	10456,4	10590,2	5054,6
Калининградская область	295,1	306,7	1307,1
Ленинградская область	5015,8	4880,6	9474,8
Мурманская область	5383,6	5901,9	4167,7
Новгородская область	3582,2	3603,7	9027,2

Продолжение таблицы 2.25

Федеральные округа и субъекты РФ	Лесные земли		Чистое поглощение диоксида углерода лесными землями, тыс. т CO <sub>2</sub> год <sup>-1</sup>
	всего	в том числе занятые лесными насаждениями	
Псковская область	2249	2978,6	9512,1
Ненецкий автономный округ	1740,8	3180	-1501,4
<b>Южный федеральный округ</b>	<b>3148</b>	<b>3669,1</b>	<b>7031,3</b>
Республика Адыгея	288,8	296,1	975,0
Республика Калмыкия	32,5	59,2	-502,3
Республика Крым	266,2	292,8	1014,3
Краснодарский край	1541,4	1687,5	5865,9
Астраханская область	104,2	115,5	109,9
Волгоградская область	591	648,2	-415,2
Ростовская область	293	535,1	-139,1
г. Севастополь	30,9	34,7	122,8
<b>Северо-Кавказский федеральный округ</b>	<b>1966,1</b>	<b>2152,2</b>	<b>5574,5</b>
Республика Дагестан	585	583,8	1450,3
Республика Ингушетия	101	100,8	250,3
Кабардино-Балкарская Республика	196,8	208,3	565,1
Карачаево-Черкесская Республика	431,2	435,8	1035,4
Республика Северная Осетия	205,9	213,7	593,5
Чеченская Республика	336	363,6	937,9
Ставропольский край	110,2	246,2	742,0
<b>Приволжский федеральный округ</b>	<b>39096,7</b>	<b>39455,3</b>	<b>94158,8</b>
Республика Башкортостан	5765,6	5819,9	11971,1
Республика Марий Эл	1339,1	1325,6	3672,0
Республика Мордовия	726,1	763,6	3787,5
Республика Татарстан	1199,1	1284	4694,5
Удмуртская Республика	2019,1	2064,3	8107,2
Чувашская Республика	603,7	610,3	2384,6
Пермский край	11749,2	11582,9	24994,2
Кировская область	7948,9	7907,8	11265,0
Нижегородская область	3816,8	3785,3	8630,8
Оренбургская область	618,5	776,6	1967,8
Пензенская область	975,8	1001,9	3752,6
Самарская область	685,6	771,1	2553,2
Саратовская область	614,2	703,8	1573,1

Федеральные округа и субъекты РФ	Лесные земли		Чистое поглощение диоксида углерода лесными землями, тыс. т CO <sub>2</sub> год <sup>-1</sup>
	всего	в том числе заня- тые лесными насаждениями	
Ульяновская область	1035	1058,2	4805,0
<b>Уральский федеральный округ</b>	<b>72667,2</b>	<b>75126,3</b>	<b>103710,7</b>
Курганская область	1759,5	1722,2	5457,4
Ханты-Мансийский авто- номный округ	28693,7	28818,8	34764,9
Ямало-Ненецкий автоном- ный округ	18763,5	21363,8	16293,5
<b>Сибирский федеральный округ</b>	<b>297286,4</b>	<b>284982,1</b>	<b>340236,5</b>
Республика Алтай	4357,7	4188,2	3019,3
Республика Бурятия	23660,6	22709	30998,8
Республика Тыва	8667,2	8413,2	-5565,2
Республика Хакасия	3288,9	2987,2	997,6
Алтайский край	4029,3	4017,6	6950,8
Забайкальский край	30782,9	29611,1	47662,0
Красноярский край	120936,8	114097,4	91705,4
Иркутская область	66080,7	64172	102900,8
Кемеровская область	6075,5	5766,7	10559,2
Новосибирская область	4799,2	4971,7	8422,4
Омская область	4667,7	4671,1	11259,3
Томская область	19939,9	19376,9	31326,1
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	<b>340277,8</b>	<b>309103,6</b>	<b>99384,0</b>
Республика Саха (Якутия)	164862,1	157106	59086,8
Камчатский край	26810	19694,5	22954,4
Приморский край	13024	13240,6	12691,9
Хабаровский край	59571,8	53319	8548,3
Амурская область	26136,5	25840,1	12117,4
Магаданская область	28467,2	20945,8	-4200,0
Сахалинская область	6607,9	6287,7	10294,5
Еврейская автономный округ	1783,2	1802,9	2257,1
Чукотский автономный округ	13015,1	10867	-24366,3

Леса нескольких субъектов РФ, расположенных на юге Европейской части России (Волгоградская и Ростовская области, Республика Калмыкия), а также на юге Сибири (Республика Тыва) и на севере Дальнего Востока (Магаданская область, Чукотский автономный округ), выступали в качестве нетто-источника диоксида углерода в связи с высокими потерями углерода в резуль-

тате деструктивных нарушений (рубки и пожары) в сочетании низкими значениями поглощения  $\text{CO}_2$  лесами.

Относительно небольшие объемы чистого поглощения диоксида углерода характерны преимущественно для малолесных регионов Южного, Северо-Кавказского и Приволжского федеральных округов. Помимо этих регионов небольшой вклад в чистое поглощение  $\text{CO}_2$  характерен для Мурманской области, а также Республик Алтай и Хакассия и Еврейской автономной области.

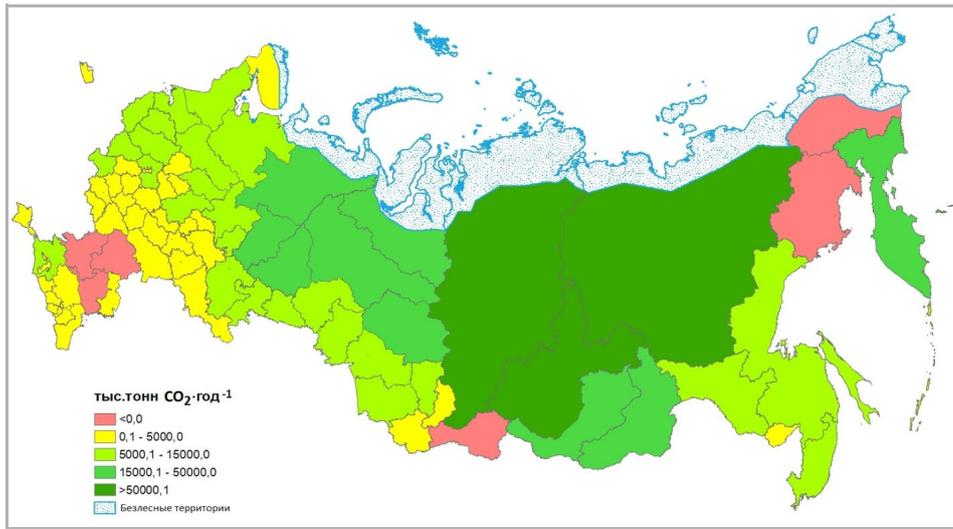


Рисунок 2.20. Чистое поглощение парниковых газов всеми лесами субъектами РФ

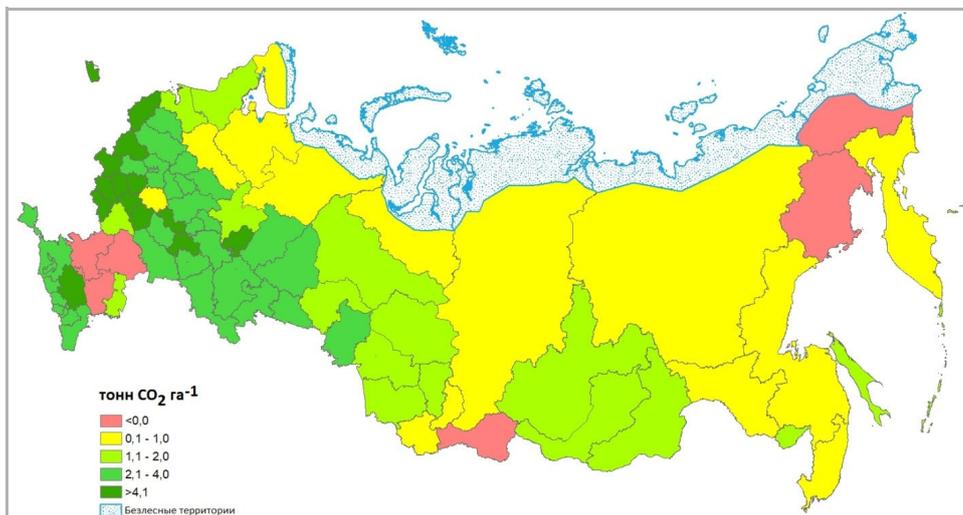
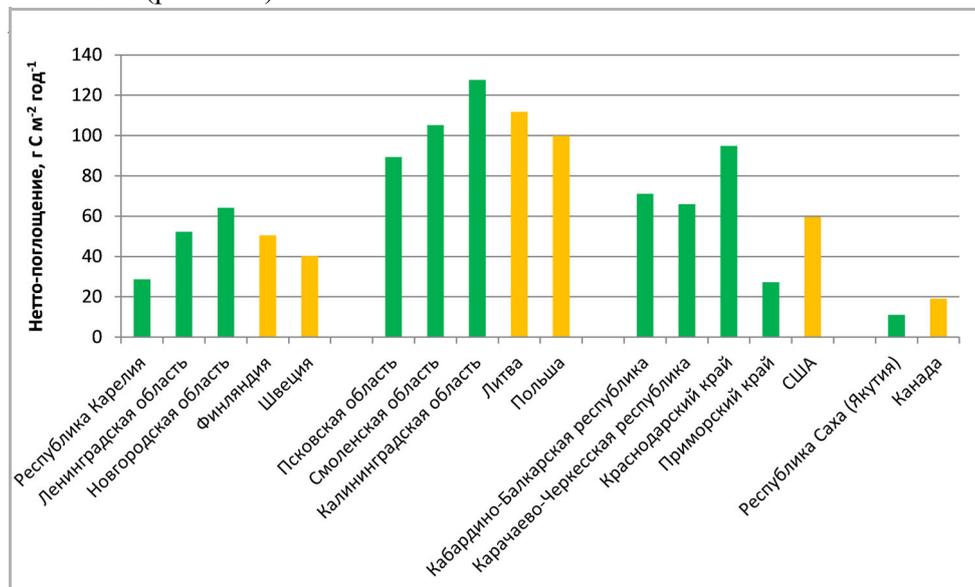


Рисунок 2.21. Удельные значения чистого поглощения парниковых газов ( $\text{т CO}_2 \text{ га}^{-1}$ ) всех лесов на территории субъектов РФ

Для сравнения удельных значений углеродного баланса субъектов РФ с другими странами были использованы национальные доклады о кадастрах 2018 года, размещенные на официальном сайте РКИК ООН: <https://unfccc.int/process-and-meetings/transparency-and-reporting/reporting-and-review-under-the-convention/greenhouse-gas-inventories-annex-i-parties/national-inventory-submissions-2018> (рис. 2.22).



**Рисунок 2.22.** Сравнение углеродного баланса лесов некоторых субъектов РФ и зарубежных стран со сходными природно-климатическими условиями

Для расчета удельных значений чистого поглощения диоксида углерода, полученные в рамках выполнения данной темы, были использованы таблицы общего формата данных с информацией по площадям и нетто-поглощению CO<sub>2</sub> постоянными лесными землями за 2016 год. Результаты были пересчитаны в г С м<sup>-2</sup> год<sup>-1</sup>. Сравнение удельных значений углеродного баланса лесов показывает, что этот показатель для Карелии, Ленинградской и Новгородской областей близок к аналогичному показателю для Финляндии и Швеции. По удельным значениям углеродного баланса леса Литвы и Польши сопоставимы с лесами Псковской, Новгородской и Калининградской областей, леса США – с лесами Кавказа, леса Канады – с лесами Якутии.

#### 2.2.2.2. Метан (CH<sub>4</sub>) и закись азота (N<sub>2</sub>O)

Оценка суммарных выбросов метана и закиси азота в CO<sub>2</sub>-эквиваленте от пожаров на лесных землях представлена в табл. 2.26. Максимальные значения выбросов метана и закиси азота от пожаров на лесных землях характерны для Красноярского края, Иркутской области, Республики Бурятия и Забайкальского края, Амурской области, Камчатского края, Ямало-Ненецкого автономного округа, что связано с большими площадями верховых и низовых пожаров. Незначительные выбросы метана и закиси азота характерны для регионов Северо-Западного, Центрального, Южного, Северо-Кавказского, При-

волжского и Уральского (за исключением Ямало-Ненецкого АО) федеральных округов, которые относятся к зоне наземного мониторинга пожаров и проводятся активные мероприятия по предотвращению и тушению пожаров.

**Таблица 2.26.** Суммарные выбросы метана и закиси азота от пожаров на лесных землях в 2016 году (тыс. т CO<sub>2</sub>-экв. год<sup>-1</sup>)

Федеральные округа и субъекты РФ	Выбросы, тыс. т CO <sub>2</sub> -экв. год <sup>-1</sup>		
	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub> + N <sub>2</sub> O
<b>Российская Федерация</b>	<b>16106,2</b>	<b>11560,4</b>	<b>27666,5</b>
<b>Северо-Западный федеральный округ</b>	<b>36,3</b>	<b>29,6</b>	<b>65,9</b>
Архангельская область	1,4	1,2	2,6
Вологодская область	0,5	0,4	0,9
Калининградская область	7,8	6,8	14,6
Ленинградская область	7,1	5,0	12,1
Мурманская область	0,4	0,3	0,7
Ненецкий автономный округ	0,4	0,3	0,7
Новгородская область	5,8	5,5	11,3
Псковская область	6,5	5,1	11,6
Республика Карелия	0,3	0,2	0,5
Республика Коми	6,2	4,8	11,1
<b>Центральный федеральный округ</b>	<b>31,5</b>	<b>27,4</b>	<b>58,9</b>
Белгородская область	0,2	0,2	0,3
Брянская область	4,7	4,0	8,8
Владимирская область	0,5	0,4	0,9
Воронежская область	1,1	1,0	2,1
Ивановская область	0,5	0,5	1,0
Калужская область	1,7	1,5	3,2
Костромская область	0,3	0,2	0,5
Курская область	1,7	1,6	3,4
Липецкая область	0,4	0,4	0,8
Московская область	4,7	3,5	8,2
Орловская область	2,7	2,7	5,4
Рязанская область	0,8	0,7	1,5
Смоленская область	4,8	4,2	9,0
Тамбовская область	1,0	1,0	2,0
Тверская область	2,5	1,9	4,4
Тульская область	2,8	2,8	5,6
Ярославская область	0,9	0,7	1,6

Федеральные округа и субъекты РФ	Выбросы, тыс. т CO <sub>2</sub> -экв. год <sup>-1</sup>		
	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub> + N <sub>2</sub> O
<b>Южный федеральный округ</b>	<b>7,5</b>	<b>6,7</b>	<b>14,3</b>
Волгоградская область	0,4	0,4	0,8
Краснодарский край	3,1	2,3	5,4
Республика Калмыкия	1,6	1,8	3,4
Ростовская область	1,6	1,6	3,2
<b>Северо-Кавказский федеральный округ</b>	<b>5,6</b>	<b>5,5</b>	<b>11,1</b>
Ингушская Республика	0,0	0,0	0,1
Кабардино-Балкарская Республика	1,1	0,9	2,0
Карачаево-Черкесская Республика	0,7	0,6	1,3
Республика Дагестан	3,0	3,1	6,0
Республика Северная Осетия	0,1	0,2	0,3
Ставропольский край	0,5	0,6	1,1
Чеченская Республика	0,1	0,2	0,3
<b>Приволжский федеральный округ</b>	<b>55,0</b>	<b>51,3</b>	<b>106,2</b>
Кировская область	3,5	3,2	6,7
Нижегородская область	0,8	0,5	1,3
Оренбургская область	1,9	1,9	3,9
Пензенская область	3,5	3,6	7,1
Пермский край	8,3	7,1	15,4
Республика Башкортостан	17,0	17,3	34,3
Республика Марий-Эл	0,2	0,3	0,5
Республика Мордовия	1,1	1,1	2,1
Республика Татарстан	2,3	2,1	4,4
Самарская область	2,5	2,1	4,5
Саратовская область	0,8	0,8	1,6
Удмуртская Республика	6,6	5,5	12,2
Ульяновская область	5,5	5,0	10,5
Чувашская Республика	0,9	0,8	1,7
<b>Уральский федеральный округ</b>	<b>730,9</b>	<b>640,4</b>	<b>1371,3</b>
Курганская область	7,9	7,1	15,0
Свердловская область	15,2	12,4	27,6
Тюменская область	5,1	4,1	9,2
Ханты-Мансийский автономный округ	58,7	42,7	101,4
Челябинская область	19,8	19,4	39,3

Продолжение таблицы 2.26

Федеральные округа и субъекты РФ	Выбросы, тыс. т CO <sub>2</sub> -экв. год <sup>-1</sup>		
	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub> + N <sub>2</sub> O
Ямало-Ненецкий автономный округ	624,2	554,8	1178,9
<b>Сибирский федеральный округ</b>	<b>10493,5</b>	<b>7384,5</b>	<b>17878,0</b>
Забайкальский край	1597,0	1083,3	2680,3
Иркутская область	2549,8	1714,6	4264,4
Кемеровская область	9,9	9,1	19,0
Красноярский край	2945,5	2280,2	5225,7
Новосибирская область	5,0	4,5	9,5
Омская область	1,6	1,2	2,8
Республика Алтай	0,2	0,2	0,4
Республика Бурятия	3262,2	2203,7	5465,9
Республика Тыва	11,3	7,6	18,9
Республика Хакасия	0,2	0,2	0,4
Томская область	106,5	75,8	182,4
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	<b>4745,8</b>	<b>3415,0</b>	<b>8160,8</b>
Амурская область	3329,3	2302,4	5631,7
Еврейская автономная область	63,9	59,2	123,1
Камчатский край	688,6	523,8	1212,4
Магаданская область	268,5	201,4	469,9
Приморский край	50,8	35,9	86,7
Республика Саха (Якутия)	88,9	77,1	166,0
Сахалинская область	2,8	2,3	5,1
Хабаровский край	163,8	143,7	307,5
Чукотский автономный округ	89,2	69,1	158,3

## 2.3 Степные экосистемы

### 2.3.1. Аналитические и картографические материалы по проведению оценки способности степных экосистем к чистому поглощению парниковых газов с разбивкой по субъектам Российской Федерации

#### 2.3.1.1. Диоксид углерода (CO<sub>2</sub>)

##### 2.3.1.1.1. Экспериментальные оценки NPP в степных экосистемах

Оценка первичной (биологической) продукции (Net Primary Production, NPP) степных экосистем в России большинством исследователей проводилась методом прямого определения связывания атмосферного углерода в

составе наземной и подземной фитомассы [20, 100-105, 9]. Данные вышеперечисленных авторов легли в основу баз данных (БД) по оценке NPP в степных экосистемах России (63 записи), в пределах которой все степные экосистемы были отнесены к одному из следующих подтипов [18]: луговые, настоящие, засушливые, сухие и опустыненные. Основные статистические параметры, характеризующие вариабельность NPP в различных подтипах степных экосистем, приведены в табл. 2.27.

**Таблица 2.27.** Основные статистические параметры, характеризующие вариабельность NPP (т С/га/год) в различных подтипах степных экосистем РФ

Параметр	Все степи	Степная экосистема				
		Луговая	Настоящая	Засушливая	Сухая	Опустыненная
n	63	17	16	8	15	7
Среднее	6,40	8,13	7,03	6,08	5,41	3,28
mediana	6,32	8,12	7,46	5,92	5,42	2,56
min	2,09	5,02	3,72	2,64	2,63	2,09
max	10,5	10,5	9,96	9,16	10,1	4,85
амплитуда/среднее	1,33	0,69	0,89	1,07	1,38	0,84
STD	2,26	1,62	1,67	2,16	1,94	1,17
SE	0,29	0,39	0,42	0,76	0,50	0,44
CV, %	35	20	24	35	36	36

Анализ созданной БД по оценке NPP в степных экосистемах РФ показал, что средняя величина NPP в степных экосистемах России составляет  $6,40 \pm 0,29$  т С/га/год и к ней очень близко медианное значение NPP ( $6,32$  т С/га<sup>2</sup>/год), что говорит о том, что имеющаяся совокупность данных имеет распределение, близкое к нормальному. В зависимости от подтипа, NPP в степных экосистемах изменяется от  $8,13 \pm 0,99$  т С/га/год в зоне луговых степей до  $3,28 \pm 0,44$  т С/га/год – в опустыненных степях. Соотношение между амплитудой значений NPP и ее средней величиной было самым высоким в подтипе сухих степей, указывая на высокий размах варьирования имеющихся данных в пределах этого подтипа. Самым однородной совокупностью можно считать подтип луговых степей, для которого CV = 20% (табл. 2.27).

### *2.3.1.1.2. Оценка первичной продукции (NPP) степных экосистем в различных субъектах Российской Федерации*

Оценка первичной продукции степных экосистем в субъектах РФ была получена на основе базы данных эмпирически полученных значений этой величины [20, 106, 105, 9]. Для решения поставленной задачи была использована пространственная сетка с разрешением  $0,5^\circ \cdot 0,5^\circ$  географической широты и долготы. Тип степной растительности в каждой ячейке сетки определяли по карте растительности, составленной Н.И. Базилевич [20]. В соответствии с

типом степных фитоценозов, их географическим расположением и данными экспериментальных измерений NPP для этих фитоценозов в ячейках сетки для степной зоны России были заданы значения NPP и, таким образом, создана электронная карта распределения значений первичной биологической продукции степных экосистем.

В каждого субъекта Российской Федерации рассчитывались значения NPP для экосистем луговых, настоящих, сухих и опустыненных степей и площади этих степей в границах отдельных субъектов РФ. Затем вычислялись средневзвешенные значения NPP для степных территорий отдельных регионов и соответствующие им стандартные отклонения. Данный метод расчета применяется исследователями для оценки потоков биогенных элементов для разных по площади территориях [107-111]. Для перевода значений NPP, выраженных через массу сухого вещества, в углеродные единицы были использованы коэффициенты, полученные на основе аналитических данных по содержанию азота (N) и соотношению C/N в фитомассе рассматриваемых типов экосистем [112]. Выполненные расчеты показали, что в субъектах Российской Федерации неопределенность полученных оценок NPP для степных экосистем на основе вышеизложенного метода составляет 6,6-13,2% (табл. 2.28).

Значения NPP в степных экосистемах РФ, согласно выполненным оценкам, изменяются от 3,21-3,44 т С/га/год в Калмыкии и Астраханской области до 7,53-7,85 т С/га/год - в Орловской и Омской областях (рис. 2.23). Среднее значение NPP в степных экосистемах РФ составляет  $5,81 \pm 0,21$  т С/га/год, варьируя от  $4,86 \pm 0,23$  т С/га/год в Крыму и республиках Северного Кавказа до  $6,32 \pm 0,36$  т С/га/год – в Азиатской части РФ (табл. 2.28). Полученная величина близка к полученному нами ранее среднему значению NPP на основании экспериментальных данных – 6,40 т С/га/год. Размах варьирования величины NPP в степных биомех Европейской и Азиатской частей был примерно одинаковый (4,32-4,44 т С/га/год) и почти в 2 раза превышал таковой в горных степях Крыма и Северного Кавказа. Коэффициент вариации значений NPP в пределах всей степной зоны России составляет 23%, изменяясь от 12,5 до 22,7% в ее отдельных частях. Распределение значений NPP в степных биомех (т С/га/год) на территории отдельных субъектов Российской Федерации представлено на рис. 2.31.

**Таблица 2.28.** Статистическая оценка значений NPP (т С/га/год) в степных экосистемах различных регионов в пределах РФ

Регион	Мин	Макс	Амплитуда	Среднее	SE*	CV, %
Европейская часть	3,21	7,53	4,32	5,79	0,28	22,7
Азиатская часть	3,41	7,85	4,44	6,32	0,36	21,5
Крым и Кавказские республики	4,01	6,43	2,42	4,86	0,23	12,6
Все степные регионы РФ	3,21	7,85	4,64	5,81	0,21	23,0

\*SE – стандартная ошибка; CV – коэффициент вариации

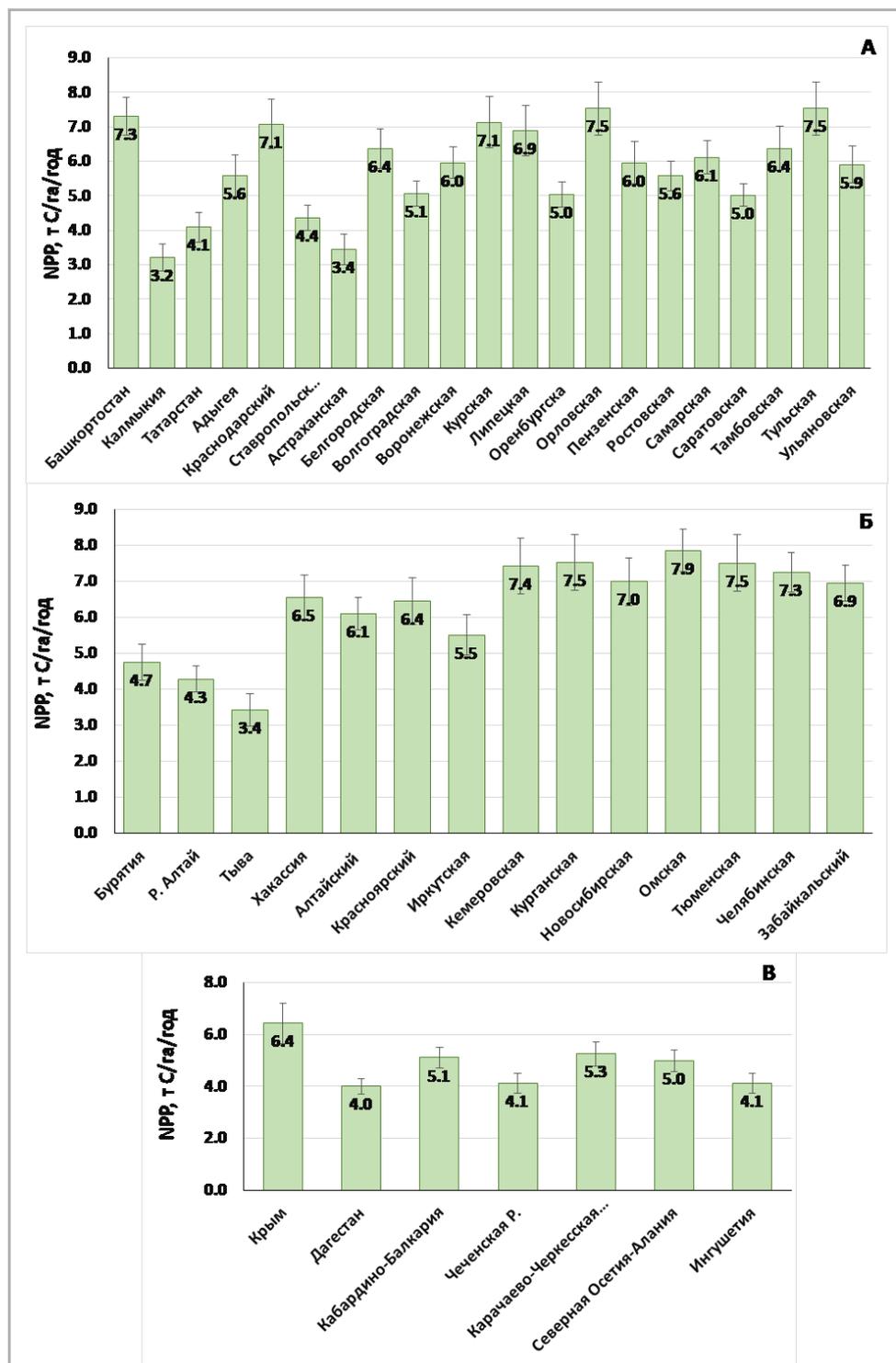
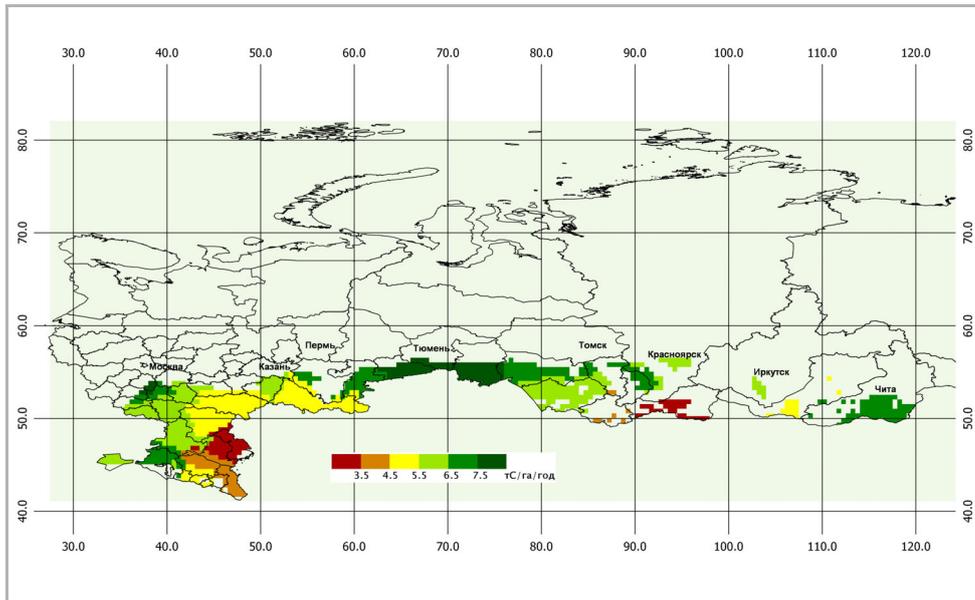


Рисунок 2.23. Оценка первичной продуктивности (NPP, т С/га/год) степных экосистем в отдельных регионах Европейской (А) и Азиатской (Б) частей РФ, республиках Северного Кавказа и Крым (В) (вертикальные линии показывают величину STD)



**Рисунок 2.24.** Первичная продукция степных биомов (т С/га/год) в субъектах Российской Федерации

### *2.3.1.1.3. Оценка суммарной первичной продукции степных экосистем в регионах (субъектах) Российской Федерации*

Получение количественных оценок способности степных экосистем к депонированию диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ), выражающемуся через первичную продуктивность (NPP), или оценка потерь С в результате микробного дыхания (MR), а также чистое поглощение диоксида углерода (или баланс С) на территории Российской Федерации выполнено нами с применением метода аппроксимации или book-keeping моделей (BK-App). Такой подход является типичным для расчета годовых выбросов  $\text{CO}_2$  и других парниковых газов в любом масштабе – от регионального до национального или глобального уровней [113, 114]. Два типа информации необходимы для использования BK-App: площадь региона (в нашем случае – площадь занятая степными экосистемами) и средние удельные (выраженные на единицу площади) значения потоков  $\text{CO}_2$  в экосистеме (NEE, NPP и MR). Эти модели, как правило, рассматривают только потоки парниковых газов в экосистемах и не учитывают косвенные последствия, вызванные деятельностью человека, такие как изменения климата, концентрации  $\text{CO}_2$ , или антропогенные выпадения азота.

Таким образом, суммарная первичная продукция (NPP) степных экосистем в отдельных субъектах РФ оценивалась на основе величин NPP, выраженных на единицу площади (рис. 2.23, табл. 2.29) и суммарной площади естественных и восстановленных степей в каждом субъекте (табл. 1.5 и 2.29). Согласно выполненным расчетам, суммарное поглощение С растительностью степных биомов составляет  $289 \pm 5$  т С/год.

**Таблица 2.29.** Величина чистой первичной продукции (NPP) в естественных и восстановленных степных экосистемах в различных субъектах Российской Федерации

Субъект РФ	Площадь, млн га	NPP, т С/га/год		NPP, млн т С/ год		CV, %
		среднее	STD	среднее	STD	
Степная зона (всего)	54,3	5,8	0,2	289	4,8	1,7
Европейская часть (всего)	24,9	5,8	0,3	120	3,5	2,9
Республика Башкортостан	1,09	7,3	0,6	7,9	0,6	7,5
Республика Калмыкия	6,33	3,2	0,4	20,3	2,5	12,5
Республика Татарстан	0,26	4,1	0,4	1,1	0,1	10,5
Республика Адыгея	0,05	5,6	0,6	0,3	0,0	10,7
Краснодарский край	0,52	7,1	0,7	3,7	0,4	10,2
Ставропольский край	0,89	4,4	0,4	3,9	0,3	8,5
Астраханская область	1,79	3,4	0,5	6,1	0,8	13,1
Белгородская область	0,34	6,4	0,6	2,1	0,2	9,0
Волгоградская область	3,56	5,1	0,4	18,0	1,3	7,1
Воронежская область	0,17	6,0	0,5	1,0	0,1	7,6
Курская область	0,24	7,1	0,7	1,7	0,2	10,4
Липецкая область	0,10	6,9	0,7	0,7	0,1	10,4
Оренбургская область	3,53	5,0	0,4	17,8	1,3	7,2
Орловская область	0,27	7,5	0,8	2,0	0,2	10,4
Пензенская область	0,63	6,0	0,6	3,8	0,4	10,4
Ростовская область	1,23	5,6	0,4	6,8	0,5	7,7
Самарская область	0,55	6,1	0,5	3,3	0,3	7,9
Саратовская область	1,74	5,0	0,3	8,7	0,6	6,6
Тамбовская область	0,30	6,4	0,6	1,9	0,2	9,9
Тульская область	0,74	7,5	0,8	5,5	0,6	10,4
Ульяновская область	0,58	5,9	0,5	3,4	0,3	9,2
Кавказские республики и Крым (всего)	2,8	4,9	0,2	13,5	0,6	4,7
Республика Крым	0,64	6,4	0,8	4,1	0,5	12,1
Республика Дагестан	1,05	4,0	0,3	4,2	0,3	7,2
Кабардино-Балкарская Республика	0,25	5,1	0,4	1,3	0,1	7,6
Чеченская Республика	0,54	4,1	0,4	2,2	0,2	9,2
Карачаево-Черкесская республика	0,13	5,3	0,5	0,7	0,1	9,1
Республика Северная Осетия	0,12	5,0	0,4	0,6	0,1	8,6
Азиатская часть (всего)	26,6	6,3	0,4	156	4,4	2,8
Республика Бурятия	2,02	4,7	0,5	9,6	1,0	10,8

Продолжение таблицы 2.29

Субъект РФ	Площадь, млн га	NPP, т С/га/год		NPP, млн т С/ год		CV, %
		среднее	STD	среднее	STD	
Республика Алтай	1,30	4,3	0,4	5,5	0,5	8,4
Республика Тыва	5,37	3,4	0,5	18,3	2,4	13,2
Республика Хакассия	1,38	6,5	0,6	9,0	0,9	9,6
Алтайский край	1,67	6,1	0,5	10,1	0,8	7,4
Красноярский край	1,75	6,4	0,7	11,2	1,1	10,1
Иркутская область	1,79	5,5	0,6	9,9	1,0	10,4
Кемеровская область	1,14	7,4	0,8	8,5	0,9	10,4
Курганская область	1,16	7,5	0,8	8,7	0,9	10,4
Новосибирская область	1,96	7,0	0,7	13,7	1,3	9,6
Омская область	1,09	7,9	0,6	8,5	0,6	7,5
Тюменская область	0,59	7,5	0,8	4,4	0,5	10,4
Челябинская область	1,64	7,3	0,6	11,9	0,9	7,6
Забайкальский край	3,76	6,9	0,5	26,1	1,8	7,1

Если сравнивать между собой отдельные субъекты РФ (табл. 2.29), то максимальное количество углерода накапливают степные экосистемы Забайкальского края (26,1 млн т С/га/год), Республики Калмыкия (20,3 млн т С/год), Республики Тыва, Волгоградской и Оренбургской областей (17,8-18,3 млн т С/год), что обусловлено, главным образом, самой значительной площадью, которую занимают в этих регионах естественные и восстановленные степные биомы (5,5-6,3 млн га).



Рисунок 2.25. Распределение первичной продуктивности степных биомов на территории РФ

На основании выполненных расчетов, можно заключить, что степные экосистемы Азиатской части аккумулируют 156 млн т С/год или около 54% общего количества первичной продукции, сосредоточенной в степных регионах РФ. Степные биомы Европейской части депонируют 120 млн С/год или около 41% общего количества суммарной NPP в степных регионах России. На долю степных биомов в автономных республиках Кавказа и Крым приходится 5% общей биологической продукции (рис. 2.25).

#### 2.3.1.1.4. Оценка эмиссии CO<sub>2</sub> из почв степных экосистем в субъектах Российской Федерации

##### 2.3.1.1.4.1. Оценка общего дыхания почв (Total Soil Respiration, TSR) степной зоны на основе экспериментальных данных

Экспериментальных данных по оценке дыхания почв (или эмиссии CO<sub>2</sub> из почв) естественных степных экосистем очень мало. Большая часть исследований проводилась еще в прошлом столетии [115-121]. В настоящее время в степных экосистемах ведутся только единичные исследования по определению TSR [105,122-125]. В соответствии с опубликованными данными, в течение года из почв степных экосистем может теряться в виде CO<sub>2</sub> от 194 до 3269 г С/м<sup>2</sup>/год. Такой разброс величин годовых потоков CO<sub>2</sub> из почв природных степных экосистем связан прежде всего с большим разнообразием почвенного и растительного покрова степей, различием в климатических характеристиках конкретных лет, когда проводились исследования, с разницей в частоте и длительности измерений, а также с различиями в методах, которые использовались для измерения TSR. Средний годовой поток CO<sub>2</sub> из почв степных ценозов составляет 869±174 г С/м<sup>2</sup>/год, а коэффициент вариабельности величины TSR в степях достигает 87% (табл. 2.30).

**Таблица 2.30.** Основные статистические параметры, характеризующие вариабельность общего дыхания почв и его составляющих (г С/м<sup>2</sup>/год) в степных экосистемах РФ

Параметр	TSR (летнее)	TSR (годовое)	RR (годовое)	MR (годовое)
n	17	19	19	19
Среднее	491	869	391	478
mediana	301	516	232	284
min	112	194	87	107
max	1372	3269	1471	1798
амплитуда/среднее	2,56	3,54	3,54	3,54
STD	377	757	340	416
SE	91	174	78	95
CV, %	77	87	87	87

TSR – общее дыхание почв; MR – микробное дыхание; RR – корневое дыхание.

#### 2.3.1.1.4.2 Параметризация и оценка точности T&P модели

Для оценки общего дыхания почв в отдельных регионах (субъектах) РФ мы использовали T&P модель [126], которая позволяет оценивать среднемесячную интенсивность выделения CO<sub>2</sub> из почв ( $SRm$ , г С м<sup>-2</sup>сут<sup>-1</sup>) на основе среднемесячной температуры воздуха ( $Ta$ , °С) и суммы осадков за соответствующий месяц ( $P$ , см):

$$SRm = R_0 \cdot e^{Q \cdot Ta} \cdot (P / (K + P)) \quad (2.7)$$

где  $R_0$  (г С м<sup>-2</sup>сут<sup>-1</sup>) – дыхание почвы при 0°С в отсутствии лимитирования влаги;  $Q$  (°С<sup>-1</sup>) – экспоненциальное отношение между почвенным дыханием и температурой и  $K$  (см) – константа полунасыщения в гиперболическом отношении между  $SR$  и месячным количеством осадков. Первоначально были предложены следующие параметры модели (T&P-1):  $R_0 = 1,334$  г С м<sup>-2</sup>сут<sup>-1</sup>,  $Q = 0,040$  °С<sup>-1</sup> и  $K = 1,636$  см [126]. В следующей версии (T&P-2) использовались несколько иные параметры:  $R_0 = 1,25$  г С м<sup>-2</sup>сут<sup>-1</sup>,  $Q = 0,055$  °С<sup>-1</sup> и  $K = 4,26$  см [127].

Оценка точности этих моделей проводилась на основе многолетних рядов экспериментальных данных, полученных в различных экосистемах южной части Московской области. Обе версии T&P модели (T&P-1p и T&P-2p), параметризованные по  $R_0$  ( $R_{0-p} = 1.96$ ) хорошо показали себя для численной оценки эмиссии CO<sub>2</sub> из дерново-подзолистых и серых лесных почв естественных (лесных и луговых) экосистем [128, 129]. Коэффициенты несоответствия Тэйла ( $T$ ) составляли 0,16-0,26 и описывали 63-67% вариабельности месячных потоков CO<sub>2</sub> из почв.

Для целей настоящего исследования T&P модель была параметризована на основе 20-ти и 14-ти летних рядов экспериментальных данных, включающих метеорологические параметры и результаты круглогодичных еженедельных определений общего дыхания почв двух луговых ценозов<sup>2)</sup> Московской области. Один из них был расположен на дерново-подзолистой супесчаной почве, другой – на серой лесной суглинистой почве. Исследования охватывали временные периоды с 1998 по 2017 год для дерново-подзолистой почвы и с 2004 по 2018 гг. для серой лесной почвы, в течение которых встречались самые разнообразные условия по тепло- и влаго- обеспеченности. Основными климатическими трендами этого периода в регионе исследований являлись увеличение среднегодовых и среднесезонных температур воздуха и усиление аридности климата, выражающейся не только в проявлении засухливости летнего периода, но и в уменьшении продолжительности и высоты снежного покрова [130]. Подбор параметров для T&P модели осуществлялся в программе RStudio (R Core Team. 2013). В табл. 2.31 приведены исходные

---

<sup>2)</sup> Ввиду отсутствия экспериментальных данных по определению TSR в экосистемах степей, параметризация T&P модели проводилась на основе данных полученных для 2-х луговых экосистем Московской области, которые с некоторыми допущениями можно рассматривать как экосистемы близкие к остепненным лугам.

параметры для 2-х версий T&P модели, которые были предложены ее авторами [126,127], и параметры, рассчитанные на основе наших экспериментальных данных для 2-х луговых ценозов (версии T&P-2p, T&P-G1 и T&P-G2).

Авторские значения параметра  $R_0$  были на 26-47% меньше, чем предложенные нами для луговых ценозов. Они больше соответствуют интенсивности дыхания луговых почв при 5°C (апрель или октябрь), а не при 0°C, как предлагают авторы модели. Параметр  $Q$ , отвечающий за температурную чувствительность дыхания почв, рассчитанный на основе наших экспериментальных данных получился на 3-19% ниже, чем в исходной 2-й версии T&P модели. Наиболее значительно отличались предложенные нами значения параметра  $K$ , отвечающего за соотношение между интенсивностью дыхания почв и влагообеспеченностью (табл. 2.31). Рассчитанные нами значения  $K$  были в 1,6-2 раза ниже, чем в версии T&P-1 и в 1,3-1,5 раз выше, чем в версии T&P-2.

**Таблица 2.31.** Параметры T&P модели для оценки месячных потоков C-CO<sub>2</sub> из почв

Версия модели	$R_0$ , г C м <sup>-2</sup> сут <sup>-1</sup>	$Q$ , °C <sup>-1</sup>	$K$ , см	Источник
T&P-1	1,334	0,040	1,636	[126]
T&P-2	1,25	0,055	4,26	[127]
T&P-1	1,96	0,040	1,636	[128, 131]
T&P-2p	1,96	0,055	4,26	
T&P-G1 (Дерново-подзолистая супесчаная почва; луговая экосистема)	1,687	0,0569	2,203	Экспериментальные данные ИФХиБПП РАН, г. Пушкино, Московская область
T&P-G2 (Серая лесная суглинистая почва; луговая экосистема)	1,843	0,0654	2,745	

Оценка точности различных версий T&P модели (T&P-2, T &P-2p, T&P-1G и T&P-2G) проводилась на основе расчетных и экспериментальных данных месячных потоков CO<sub>2</sub> из почв 2-х луговых ценозов южного Подмосковья за 14-ти и 20-ти летней периоды. Необходимые климатические данные для расчетов были предоставлены Станцией фонового мониторинга (п. Данки, Московская обл.). Точность моделирования оценивали методом наименьших квадратов ( $R^2$  и коэффициент регрессии,  $a$ ) и с помощью «коэффициента несовпадения» Тейла ( $T$ ) в соответствии с формулой [132]:

$$T = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_{реал} - X_{модел})^2}}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{реал}^2} + \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{модел}^2}} \quad (2.8)$$

где  $X_{real}$  – реальные (измеренные) значения месячных потоков  $CO_2$ , а  $X_{модель}$  – смоделированные (рассчитанные) величины TSR. Значения коэффициента  $T$  лежат в диапазоне  $[0;1]$ , и чем ближе коэффициент  $T$  к нулю, тем точнее моделирование. При исследовании природных процессов порог его значимости составляет 0,3 [133]. Т.е. при  $T \leq 0.3$  результаты моделирования следует признать правомерными.

Оценка точности работы 4-х различных версий T&P модели (T&P-2, T&P-2p, T&P-1G и T&P-2G) показала, что значимыми можно признать результаты моделирования с использованием 3-х версий T&P модели: T&P-2p, T&P-1G и T&P-2G (табл. 2.32). При этом наилучшие результаты моделирования общего дыхания дерново-подзолистой почвы под луговым ценозом показали версии T&P-2p и T&P-1G ( $T=0.194-0.208$ ), а для серой лесной почвы под лугом – T&P-1G и T&P-2G ( $T=0.174-0.202$ ).

**Таблица 2.32.** Оценка точности разных версий T&P модели для расчета месячных потоков  $C-CO_2$  из почв луговых ценозов (Московская обл.)

Показатель	Дерново-подзолистая супесчаная				Серая лесная суглинистая			
	T&P-2	T&P-2p	T&P-1G	T&P-2G	T&P-2	T&P-2p	T&P-1G	T&P-2G
$R^2$	0,62	0,62	0,62	0,62	0,65	0,69	0,70	0,70
a	1,65	1,06	1,01	1,23	2,05	1,37	1,31	1,03
SE	0,075	0,056	0,054	0,064	0,118	0,079	0,07	0,07
T	0,348	0,208	0,194	0,259	0,405	0,230	0,202	0,174

Таким образом, для оценки месячных величин общего дыхания почв степных экосистем в отдельных регионах степной зоны мы будем использовать 3 версии T&P модели (T&P-2p, T&P-1G и T&P-2G), которые показали значимые результаты моделирования на 2-х типах почв под луговыми ценозами южной части Московской области.

#### 2.3.1.1.4.3. Сравнение годовых потоков, полученных на основе использования разных версий T&P моделей и экспериментальных измерений

На основе выполненных нами модельных расчетов месячных потоков  $CO_2$  из почв 2-х луговых ценозов были оценены (простым суммированием) годовые величины дыхания почв и определено его среднее значение за все годы наблюдений (табл. 2.33).

Сравнение расчетных величин TSR со средними многолетними данными, полученными на основе экспериментальных оценок, показало, что в зависимости от использованной версии T&P модель может давать недооценку годовых потоков  $CO_2$  из почв на 1,2-26,2%. Среднее значение годового потока  $CO_2$  из почв луговых ценозов, полученное на основе 3-х версий модели, показало среднюю недооценку расчетной величины TSR по сравнению с экспериментальными данными на 11-12% (табл. 2.32), что явля-

ется допустимой погрешностью. В связи с этим, для оценки годовых потоков  $\text{CO}_2$  из почв степных экосистем предлагается использовать среднюю величину, полученную суммированием расчетных значений месячных величин TSR, выполненных на базе 3 версии T&P модели (T&P-2p, T&P-1G и T&P-2G).

**Таблица 2.33.** Оценка точности разных версий T&P модели для расчета месячных потоков C- $\text{CO}_2$  из почв луговых ценозов (Московская обл.)

Показатель	Результаты моделирования TSR, г C/м <sup>2</sup> /год				Эксперимент, г C/м <sup>2</sup> /год
	T&P-2p	T&P-1G	T&P-2G	среднее	
<i>Дерново-подзолистая супесчаная (1998-2017 гг)</i>					
TSR	611	692	500	601	677
Ошибка, %	-9,8	2,1	-26,2	-11,3	
<i>Серая лесная суглинистая (2004-2018 гг.)</i>					
TSR	616	698	786	700.1	796
Ошибка, %	-22,6	-12,2	-1,2	-12,0	

#### 2.3.1.1.4.4 Оценка чувствительности T&P модели для оценки годовых потоков $\text{CO}_2$ из почв

Нами была также оценена чувствительность величины годовых потоков  $\text{CO}_2$  из почв (TSR-year), выполненных на основе T&P модели, к каждому из параметров (рис. 2.26) и выявлено, что наибольшее и симметричное влияние на результаты моделирования оказывает параметр  $R_0$ . Уменьшение или увеличение этого параметра на определенную величину вызывает равное и симметричное изменение значений TSR-year. Влияние параметра  $Q$  на величину TSR-year было слабее, чем влияние параметра  $R_0$  и не являлось симметричным: увеличение параметра  $Q$  сказывалось на результатах моделирования сильнее, чем его уменьшение (рис. 2.26). Влияние параметра  $K$  было слабее других ( $R_0$  и  $Q$ ) и носило реверсный характер: его увеличение приводило к уменьшению результатов моделирования, а увеличение значений  $K$  вызывало уменьшение величины TSR-year.

Таким образом, мы показали, что результаты моделирования в первую очередь определяются параметром  $R_0$ , величина которого в параметризованных нами версиях примерно соответствуют интенсивности дыхания почв луговых ценозов при 5°C (апрель или октябрь), а не при 0°C, как предлагают авторы модели. Для более точной оценки месячных и годовых величин TSR в степных экосистемах необходимы экспериментальные исследования, позволяющие получить дифференцированную оценку  $R_0$  для почв степных биомов в различных регионах.

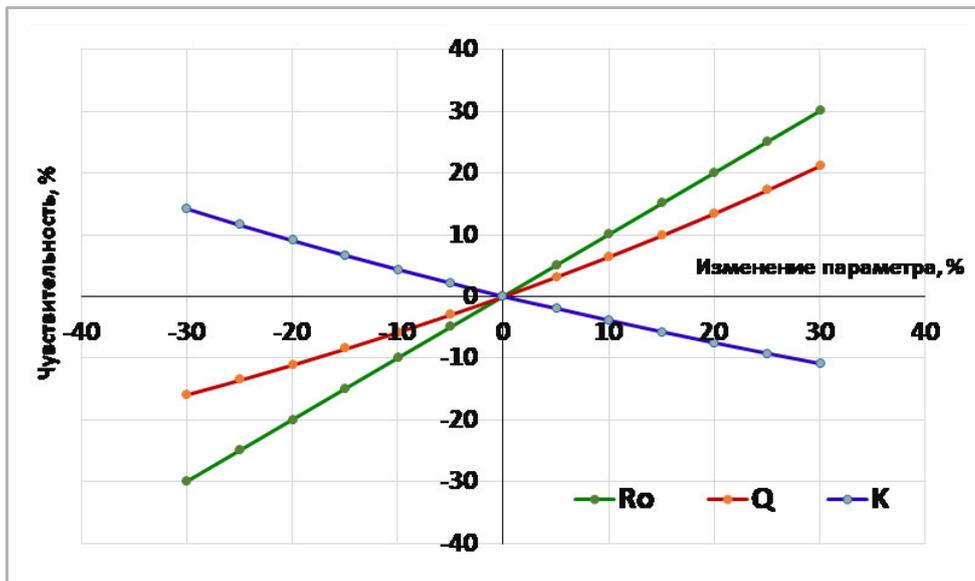


Рисунок 2.26. Оценка чувствительности величины годовых потоков CO<sub>2</sub> из почв, выполненных на основе T&P модели, к изменению основных параметров

#### 2.3.1.1.4.5. Климатические данные для субъектов РФ

Для работы T&P модели, как отмечалось выше, необходимы следующие переменные: среднемесячная температура воздуха ( $T_a$ , °C) и сумма осадков за соответствующий месяц ( $P$ , см). Эти климатические данные (месячное разрешение) для субъектов РФ были получены путем использования базы данных WorldClim (Version2), находящейся в открытом доступе [134]. Набор климатических данных WorldClim представляет собой совокупность пространственных данных в виде растровых изображений, в каждой ячейке которых содержится информация о значении того или иного климатического показателя. Это минимальная, максимальная, средняя температура и сумма осадков по каждому месяцу, солнечная радиация, давление пара и скорость ветра. При создании набора WorldClim в качестве исходной информации были использованы результаты наблюдений за 1950-2000 гг. на метеорологических станциях (от 9000 до 60 000), расположенных по всему миру [134]. С помощью интерполяции среднемесячные значения метеозаписей в отдельных точках (на метеостанциях) были пересчитаны на регулярную сетку и сгруппированы по целевому временному диапазону для 1970-2000 годов. Для каждого из 42 субъектов РФ, имеющих на своей территории степные биомы, климатические переменные загружались с пространственным разрешением 30 секунд (~ 1 км<sup>2</sup>). Манипуляции со слоями ГИС проводились в программах «Quantum GIS» [135].

На рис. 2.27 представлены обобщенные данные по среднегодовым температурам воздуха и суммарному количеству осадков для отдельных регионов и сгруппированные для Европейской и Азиатской частей РФ, Крыма и республикам Северного Кавказа.

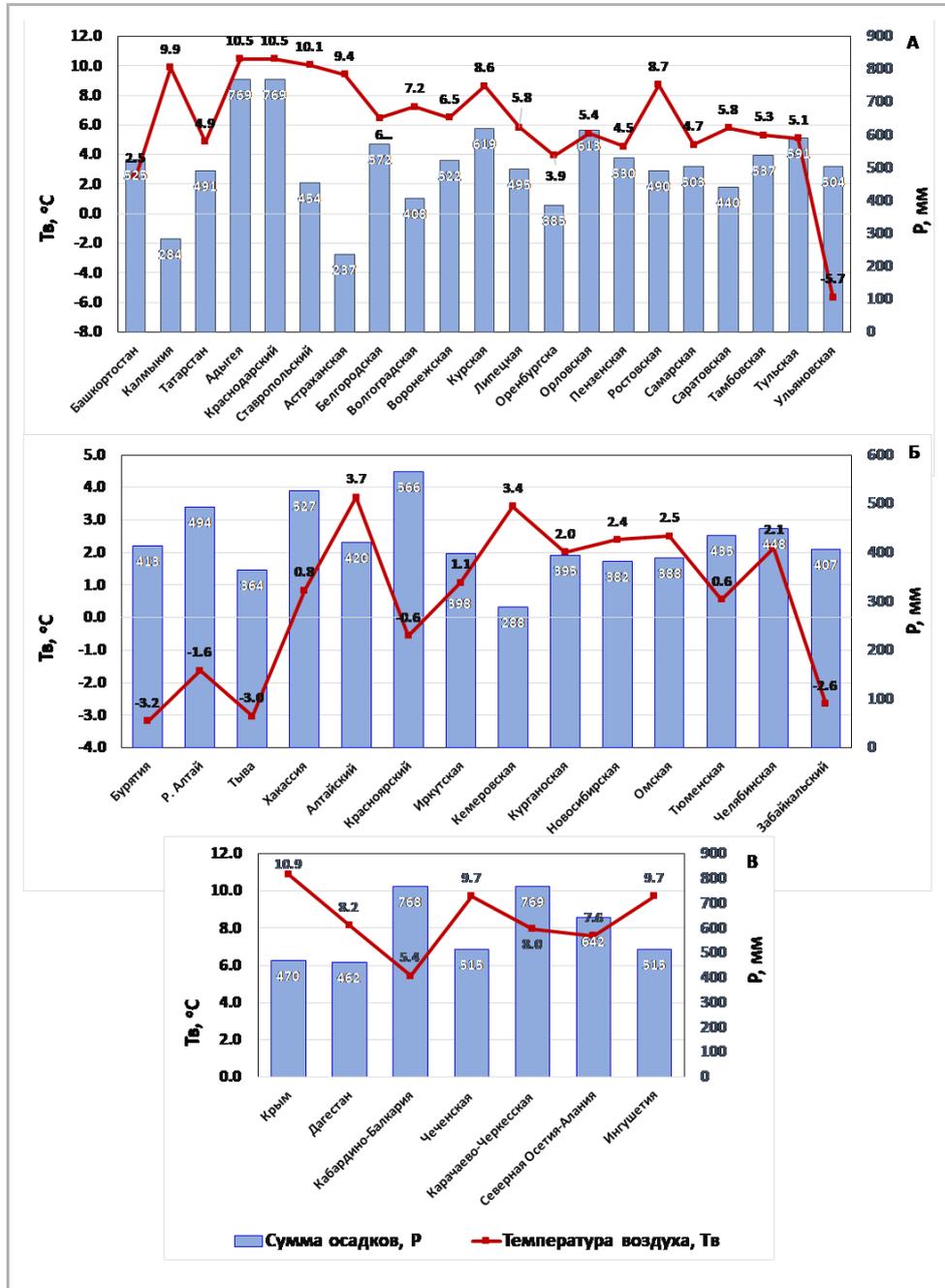


Рисунок 2.27. Среднегодовые температуры воздуха и суммарное количество осадков, в степных регионах Европейской (А) и Азиатской (Б) частях, Крыму и республикам Северного Кавказа (В)

Наличие широтно-зонального градиента и градиента континентальности в пределах степной зоны РФ обуславливает сильную изменчивость климатических характеристик степных экосистем, которые в регионе степей значительно превосходят таковые в лесной зоне умеренных широт (табл. 2.34).

**Таблица 2.34.** Климатические характеристики степных регионов в пределах РФ

Регион	Температура воздуха, Тв (°С)			Сумма осадков, Р (мм)		
	мин	макс	амплитуда	мин	макс	амплитуда
Европейская часть	2,5	10,5	8,0	237	769	532
Азиатская часть	-3,2	3,7	6,9	288	566	278
Крым и Кавказские республики	5,4	10,9	5,4	462	769	306
Все степные регионы РФ	-3,2	10,9	14,1	237	769	532

Так, осредненные по субъектам значения среднегодовой температуры воздуха в степных регионах изменяются от  $-3,0 \div -3,2^{\circ}\text{C}$  в республиках Бурятия и Тыва до  $10,5-10,9^{\circ}\text{C}$  в Краснодарском крае, Адыгее и в Крыму (рис. 2.27). Осредненная сумма осадков в степной зоне варьирует от 237 мм/год в Астраханской области до 768-769 мм/год в Краснодарском крае, Адыгее и Карачаево-Черкессии. Наибольший размах температур ( $8,0^{\circ}\text{C}$ ) и годового количества осадков (532 мм/год) характерен для степных регионов Европейской части России (табл. 2.34).

#### 2.3.1.1.4.6 Оценка общего дыхания почв в отдельных субъектах Российской Федерации

Для определения величины TSR были использованы три версии T&P модели, показавшие наибольшую точность при оценке месячных потоков  $\text{CO}_2$  из почв луговых экосистем южной части Московской области. На основе полученных среднемесячных потоков простым суммированием с учетом продолжительности каждого месяца были рассчитаны годовые потоки  $\text{CO}_2$  из почв всех степных регионов России. Неопределенность полученных величин общего годового дыхания почв оценивалась с помощью величины SE и коэффициента вариации (CV,%), который в зависимости от субъекта РФ изменялся от 4,4% (Республика Алтай) до 10,6% (Астраханская область).

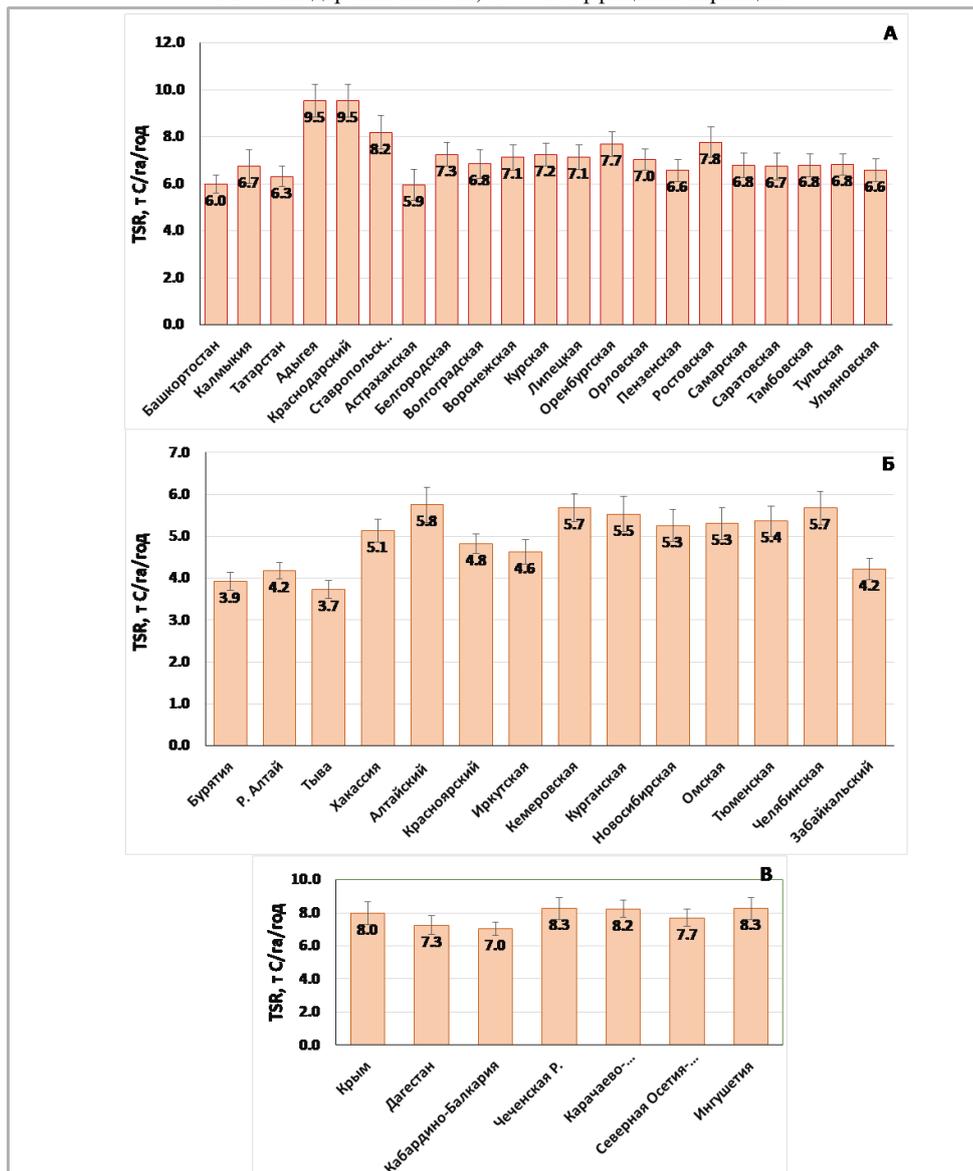
Значения величины годового дыхания почв степных регионов, согласно нашим расчетам, изменяются от 3,73-3,93 т С/га/год в республиках Бурятия и Тыва до 9,53 т С/га/год - в Краснодарском крае и Адыгее (рис. 2.28). Среднее значение TSR в степных экосистемах РФ составляет  $6,54 \pm 0,22$  т С/га/год, варьируя от  $4,94 \pm 0,19$  т С/га/год в Азиатской части до  $7,82 \pm 0,19$  т С/га/год – Крыму и республиках Северного Кавказа (табл. 2.35). Наибольший размах варьирования величины TSR (3,59 т С/га/год) характерен для степных регионов Европейской части России. Коэффициент вариации (CV) значений TSR в пределах всей степной зоны России составляет 22%, а в ее отдельных частях он существенно ниже – 6,4-14%.

Учитывая результаты проверки точности модели на реальных экспериментальных данных, можно допустить, что приведенные величины TSR могут быть приблизительно на 10% ниже реальных.

**Таблица 2.35.** Статистическая оценка величины TSR в степных экосистемах различных регионов в пределах РФ

Регион	Мин	Макс	Амплитуда	Среднее	SE*	CV, %
Европейская часть	5,94	9,53	3,59	7,17	0,21	13,3
Азиатская часть	3,73	5,76	2,02	4,94	0,19	14,0
Крым и Кавказские республики	7,03	8,26	1,23	7,82	0,19	6,4
Все степные регионы РФ	3,73	9,53	5,80	6,54	0,22	21,8

\*SE – стандартная ошибка; CV – коэффициент вариации.



**Рисунок 2.28.** Оценка общего дыхания почв (TSR, т С/га/год) в степных регионах Европейской (А) и Азиатской (Б) частях, Крыму и республиках Северного Кавказа (В) на основе 3-х версий T&P модели (вертикальные линии показывают величину SE)

2.3.1.1.4.7. Оценка микробного дыхания почв степных экосистем в субъектах Российской Федерации

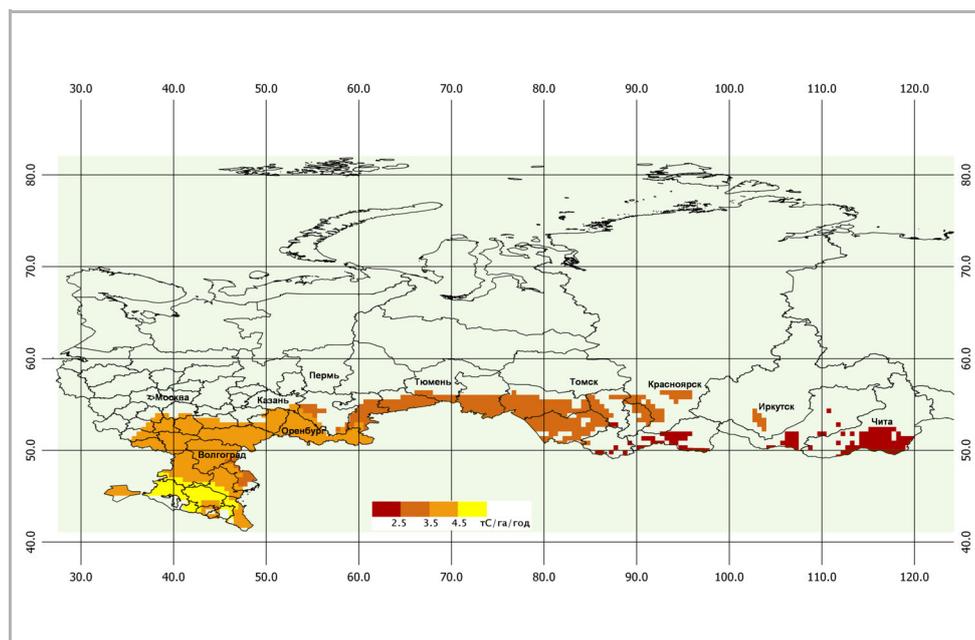
Общее почвенное дыхание представляет собой суммарный поток двух основных компонентов: дыхание корней и связанной с ними ризосферы (RR) и дыхание почвенной микрофлоры (MR). Было найдено, что доля корневого дыхания в общем потоке CO<sub>2</sub> из почв в зависимости от типа растительности и времени исследований колеблется в очень широких пределах – от 6% до 95% [136,137]. Имеющиеся данные были объединены в пять различных групп и соответствовали следующим категориям земель: тундра, леса северной и южной тайги, луга и агроценозы. Для оценки величины MR в общем потоке CO<sub>2</sub> из почв степных экосистем предлагается использовать определенное нами ранее соотношение для почв луговых ценозов, в соответствии с которым [137]  $MR = 0,55 \text{ TSR}$ .

Пространственное распределение величины MR на территории степной зоны Российской Федерации представлено на рис. 2.29. Поскольку MR оценивалась, как равная доля от величины TSR, то статистические характеристики, полученные выше для величины общего почвенного дыхания, показывают абсолютно те же самые закономерности (табл. 2.37). Среднее значение MR в степных экосистемах РФ составляет  $3,59 \pm 0,12$  т С/га/год, варьируя от  $2,72 \pm 0,10$  т С/га/год в Азиатской части до  $4,30 \pm 0,11$  т С/га/год – в Крыму и республиках Северного Кавказа (табл. 2.36). Минимальные значения микробного дыхания были характерны для степных почв в республиках Бурятия и Тыва ( $2,05$ - $2,16$  т С/га/год), а максимальные – в Краснодарском крае и Адыгее –  $5,24$  т С/га/год (рис. 2.30), что закономерно объясняется благоприятностью климатических условий в регионах.

**Таблица 2.36.** Статистическая оценка величины MR в степных экосистемах различных регионов в пределах РФ

Регион	Мин	Макс	Амплитуда	Среднее	SE*	CV, %
Европейская часть	3,27	5,24	1,97	3,94	0,12	13,3
Азиатская часть	2,05	3,17	1,11	2,72	0,10	16,7
Крым и Кавказские республики	3,87	4,54	0,68	4,30	0,11	11,0
Все степные регионы РФ	2,05	5,24	3,19	3,59	0,12	21,8

\*SE – стандартная ошибка; CV – коэффициент вариации



**Рисунок 2.29.** Микробное дыхание почв степных биомов (т С/га/год) в отдельных субъектах Российской Федерации

Величину микробного дыхания почв степных экосистем в отдельных субъектах РФ оценивали на основе величин MR, выраженных на единицу площади (рис. 2.30, табл. 2.37), и суммарной площади естественных и восстановленных степей в каждом субъекте (табл. 1.5 и 2.37). Суммарное микробное дыхание почв степных биомов, согласно нашим расчетам, составляет  $176 \pm 7,5$  млн т С/год.

В соответствии с выполненными расчетами, степные экосистемы Европейской части в результате микробного дыхания теряют 95 млн т С/год или около 54% общего количества С-СО<sub>2</sub>, выделяющегося из почв степных регионов РФ (рис. 2.31). Степные биомы Азиатской части выделяют в процессе микробного дыхания 68 млн т С/год или около 39% суммарной величины MR в степных регионах России. На долю степных биомов в автономных республиках Кавказа и Крыму приходится 7% от общих потерь С-СО<sub>2</sub> (рис. 2.31).

Если сравнивать между собой отдельные субъекты РФ, то максимальное количество углерода в процессе микробного дыхания теряли степные экосистемы Республики Калмыкия (23,4 млн т С/год), Оренбургской (15,0 млн т С/год) и Волгоградской (13,4 млн т С/год) областей, что обусловлено, главным образом, самой значительной площадью, которую занимают в этих регионах естественные и восстановленные степные биомы (3,5-6,3 млн га).

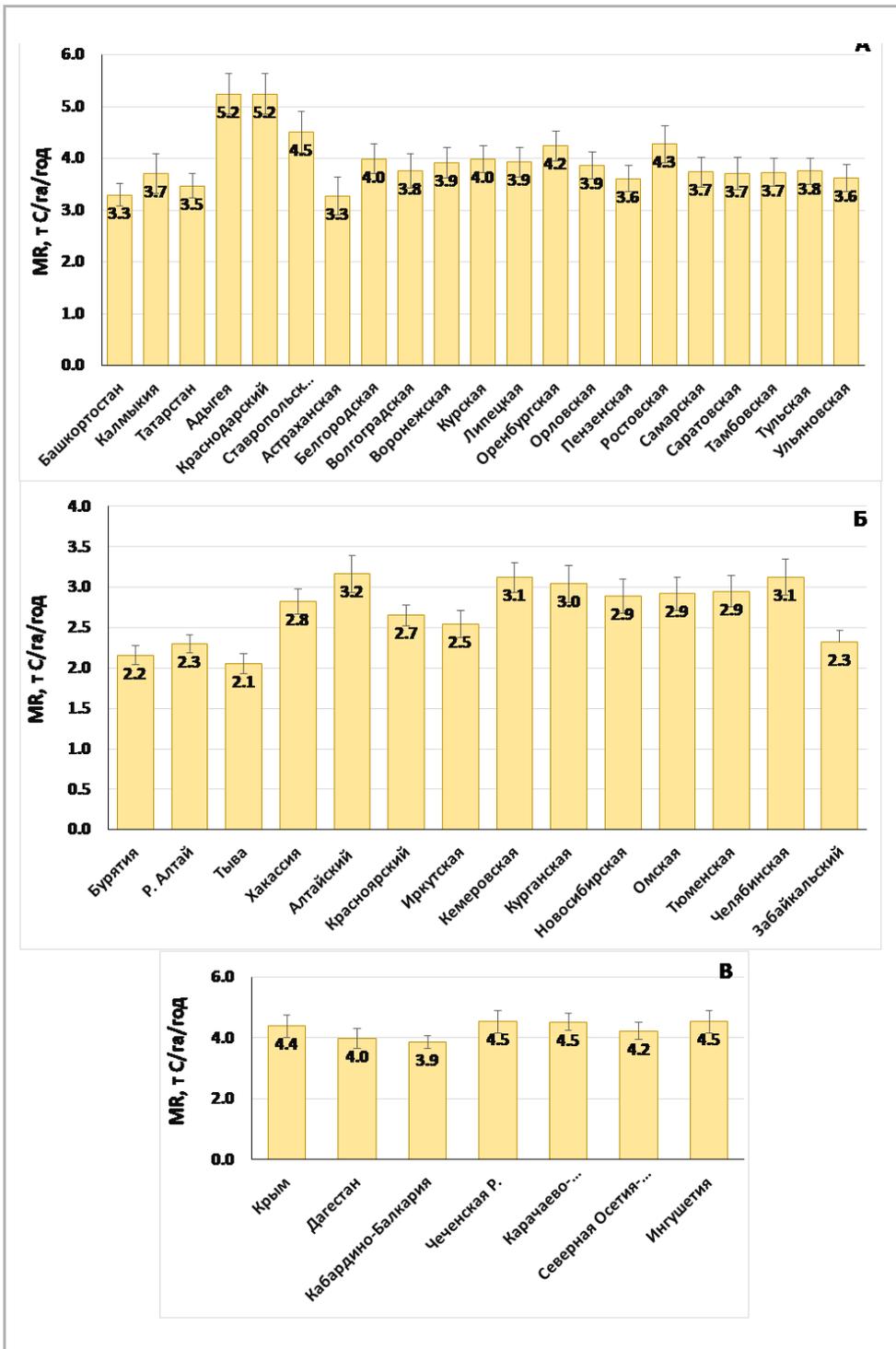


Рисунок 2.30. Оценка микробного дыхания почв (MR, т С/га/год) в степных регионах Европейской (А) и Азиатской (Б) частях, Крыму и республиках Северного Кавказа (В) на основе 3-х версий T&P модели (вертикальные линии показывают величину SE)

**Таблица 2.37.** Величина микробного дыхания почв (MR) в естественных и восстановленных степных экосистемах в различных субъектах Российской Федерации

Субъект РФ	Площадь, млн га	MR, т С/га/год		MR, т С/ год		CV, %
		среднее	STD	среднее	STD	
Степная зона (всего)	54,3	3,59	0,12	176	7,5	3,4
Европейская часть (всего)	24,9	3,94	0,12	95	5,4	3,0
Республика Башкортостан	1,09	3,29	0,38	3,57	0,41	11,5
Республика Калмыкия	6,33	3,71	0,67	23,45	4,26	18,2
Республика Татарстан	0,26	3,47	0,41	0,89	0,11	11,9
Республика Адыгея	0,05	5,24	0,67	0,25	0,03	12,8
Краснодарский край	0,52	5,24	0,67	2,74	0,35	12,8
Ставропольский край	0,89	4,50	0,68	3,99	0,61	15,2
Астраханская область	1,79	3,27	0,63	5,84	1,12	19,3
Белгородская область	0,34	3,99	0,49	1,34	0,17	12,4
Волгоградская область	3,56	3,76	0,57	13,38	2,04	15,2
Воронежская область	0,17	3,91	0,51	0,66	0,09	13,1
Курская область	0,24	3,98	0,46	0,95	0,11	11,6
Липецкая область	0,10	3,92	0,49	0,41	0,05	12,4
Оренбургская область	3,53	4,24	0,50	14,98	1,75	11,7
Орловская область	0,27	3,86	0,44	1,04	0,12	11,4
Пензенская область	0,63	3,61	0,44	2,28	0,28	12,3
Ростовская область	1,23	4,28	0,62	5,25	0,76	14,5
Самарская область	0,55	3,74	0,50	2,04	0,27	13,3
Саратовская область	1,74	3,70	0,54	6,45	0,93	14,5
Тамбовская область	0,30	3,73	0,46	1,10	0,14	12,4
Тульская область	0,74	3,75	0,43	2,76	0,32	11,4
Ульяновская область	0,58	3,62	0,46	2,10	0,27	12,6
Кавказские республики и Крым (всего)	2,8	4,30	0,11	13,0	0,81	2,5
Республика Крым	0,64	4,39	0,66	2,83	0,42	15,0
Республика Дагестан	1,05	3,99	0,55	4,21	0,58	13,8
Кабардино-Балкарская Республика	0,25	3,87	0,36	0,95	0,09	9,4
Чеченская Республика	0,54	4,54	0,64	2,44	0,34	14,1
Карачаево-Черкесская республика	0,13	4,53	0,50	0,61	0,07	11,0
Республика Северная Осетия	0,12	4,23	0,49	0,52	0,06	11,6
Республика Ингушетия	0,09	4,54	0,64	0,40	0,06	14,1

Продолжение таблицы 2.37

Субъект РФ	Площадь, млн га	MR, т С/га/год		MR, т С/год		CV, %
		среднее	STD	среднее	STD	
Республика Бурятия	2,02	2,16	0,20	4,36	0,41	9,4
Республика Алтай	1,30	2,30	0,18	2,98	0,24	8,0
Республика Тыва	5,37	2,05	0,20	11,03	1,09	9,9
Республика Хакассия	1,38	2,82	0,27	3,89	0,37	9,4
Алтайский край	1,67	3,17	0,40	5,28	0,67	12,6
Красноярский край	1,75	2,65	0,22	4,64	0,39	8,4
Иркутская область	1,79	2,55	0,28	4,57	0,51	11,1
Кемеровская область	1,14	3,12	0,31	3,56	0,36	10,1
Курганская область	1,16	3,04	0,40	3,54	0,46	13,1
Новосибирская область	1,96	2,89	0,36	5,68	0,71	12,6
Омская область	1,09	2,92	0,36	3,18	0,40	12,5
Тюменская область	0,59	2,95	0,34	1,73	0,20	11,6
Челябинская область	1,64	3,12	0,38	5,12	0,62	12,2
Забайкальский край	3,76	2,32	0,24	8,74	0,91	10,4

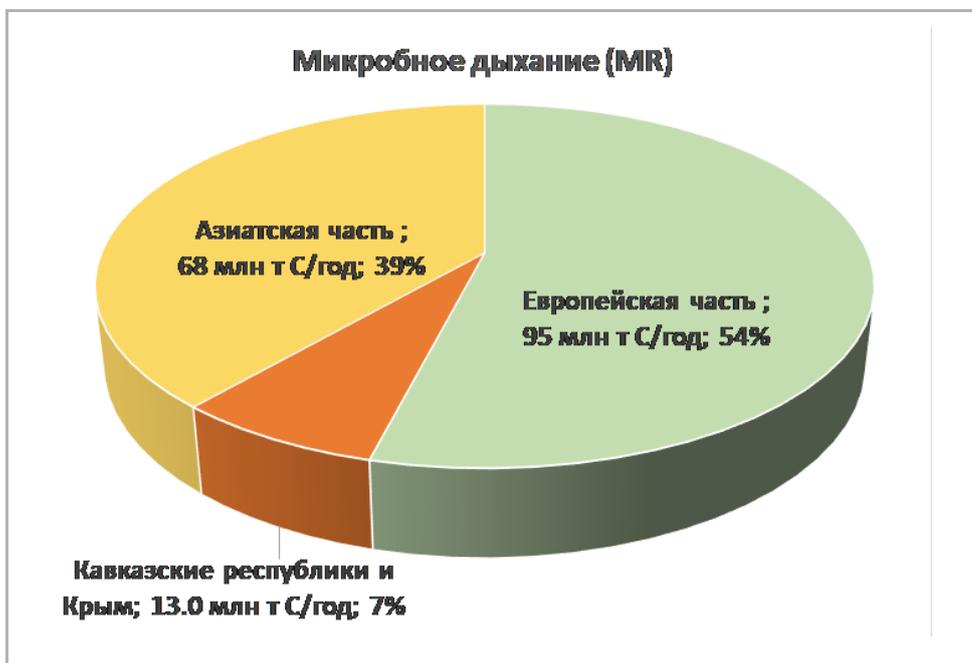


Рисунок 2.31. Потери углерода в процессе микробного дыхания почв в степных биомах различных регионов на территории РФ

### 2.3.1.2. Метан (CH<sub>4</sub>)

#### 2.3.1.2.1 Экспериментальная оценка чистого поглощения метана в почвах степных экосистем

Из-за слабого проявления процессов образования и потребления CH<sub>4</sub> в почвах естественных степных экосистем информация по определению в них потоков метана в полевых экспериментах, имеющаяся в литературе на сегодняшний день, очень фрагментарна. Это связано, прежде всего, с тем, что в литературе крайне недостаточно фактических данных по размерам эмиссии /поглощения метана в реальных полевых условиях, что позволяет сделать только весьма приблизительные оценки скоростей потребления/образования метана почвами естественных автоморфных ландшафтов и степей в частности как на территории России, так и в других регионах мира (табл. 2.38).

**Таблица 2.38.** Прямые экспериментальные оценки поглощения "-" /эмиссии "+" метана из почв степей

Регион	Растительность	Почва	Показатель	мг С-CH <sub>4</sub> /га /сут	мг С-CH <sub>4</sub> /га /вег. пер.	Источник
Московская обл.	Луг Рыхлокустовые и корневищные злаки	Серая лесная	среднее	-0,46	-69	[138]
			SE	0,04	-5,8	
Челябинская обл.	Лес Береза повислая, степная вишня	Серая лесная	среднее	-2,01	-302	[139]
			SE	0,83	124	
	Пастбище (склон) Ковыль, типчак, полынь	Чернозем обыкновенный	среднее	-1,34	-201	
			SE	0,29	43	
	Пастбище (у реки) Спирея и карагана	Чернозем обыкновенный	среднее	-0,99	-148	
			SE	0,48	72	
			среднее	-1,20	-180	
			SE	-0,33	-49	
Автоморфные луга			среднее*		-1,74	[140]
			SE		-1,28	
Автоморфные луга			среднее*		-1,78	[141]

\* данные представлены в кг С-CH<sub>4</sub>/га/год

Продолжение таблицы 2.38

Регион	Растительность	Почва	Показатель	мг С-СН <sub>4</sub> /га/сут	мг С-СН <sub>4</sub> /га/вег. пер.	Источник
Засушливые степи Монголии	Степи без выпаса Пастбища		среднее*		-3,58	[142]
			SE		-0,06	
			среднее*		-1,91	
<b>Среднее SE</b>					<b>-2,25 0,44</b>	

Имеющиеся в литературе данные показали, что в вегетационный период луговые и степные экосистемы автоморфных ландшафтов на территории России выступали слабым стоком метана: скорость поглощения почвами варьировала от  $0,46 \pm 0,04$  до  $2,01 \pm 0,83$  мг С-СН<sub>4</sub>/га/сут, в среднем составляя  $1,20 \pm 0,83$  мг С-СН<sub>4</sub>/га/сут. За вегетацию средняя скорость поглощения СН<sub>4</sub> в почвах степных экосистем составила  $180 \pm 49$  мг С-СН<sub>4</sub>/га. Это очень маленькие величины, которые не оказывают серьезного влияния на баланс углерода и общее поглощение парниковых газов в степных экосистемах.

Более существенное поглощение метана было зафиксировано в автоморфных экосистемах степной зоны (луга, пастбища) в исследованиях западных ученых [140-142]. В среднем оно составило  $2,25 \pm 0,44$  кг С-СН<sub>4</sub>/га/год. Учитывая высокую периодичность проводимых наблюдений и привлечение большого числа исследований в обзорных работах, по-видимому, эти величины можно считать более правдоподобными.

### 2.3.1.3. Закись азота (N<sub>2</sub>O)

Из-за слабого проявления процессов образования и потребления N<sub>2</sub>O в почвах естественных степных экосистем информация по определению в них потоков закиси азота в полевых экспериментах, имеющаяся в литературе на сегодняшний день, очень скудная. Это связано, прежде всего, с тем, что в литературе крайне недостаточно фактических данных по размерам эмиссии / поглощения закиси азота в реальных полевых условиях, что позволяет сделать только весьма приблизительные оценки скоростей потребления/образования N<sub>2</sub>O почвами естественных автоморфных ландшафтов и степей в частности (табл. 2.39).

Имеющиеся в литературе данные показали, что в вегетационный период степные экосистемы могут выступать как слабым стоком закиси азота ( $1,17-1,58$  мг N-N<sub>2</sub>O /га/сут), так и его источником ( $0,02-1,47$  мг N-N<sub>2</sub>O/га/сут). В связи с этим, средний поток (поглощение) закиси азота из почв степей оценивается с очень высокой степенью неопределенности:  $-0,32 \pm 0,69$  мг N-N<sub>2</sub>O/га/сут. За вегетацию средняя скорость поглощения N<sub>2</sub>O в почвах степных экосистем составила  $47 \pm 103$  мг N-N<sub>2</sub>O/га/год. Это совершенно ничтожные величины, которые не оказывают серьезного влияния на поглотительную способность степных автоморфных почв по отношению к закиси азота.

**Таблица 2.39.** Прямые экспериментальные оценки поглощения "-"/эмиссии "+" закиси азота из почв степей.

Регион	Растительность	Почва	Показатель	мг N-N <sub>2</sub> O / га/сут	мг N-N <sub>2</sub> O / га/ вег. пер.	Источник
Московская обл.	Луг злаковый	Серая лесная	среднее	0,021	3,2	[138]
			SE	0,009	1.3	
Челябинская обл.	Лес смешанный	Серая лесная	среднее	-1,58	-237	[139]
			SE	0,79	119	
	Пастбище (склон) Ковыль, типчак, полынь	Чернозем обыкновенный	среднее	-1,17	-175	
			SE	0,68	102	
	Пастбище (у реки), спирея и карагана	Чернозем обыкновенный	среднее	1,47	220	
			SE	0,72	107	
			среднее	<b>-0,32</b>	<b>-47</b>	
			SE	<b>-0,69</b>	<b>-103</b>	

### 2.3.2. Расчеты способности степных экосистем к чистому поглощению парниковых газов с разбивкой по экосистемам субъектов Российской Федерации

#### 2.3.2.1. Диоксид углерода (CO<sub>2</sub>)

Функция любой наземной экосистемы в качестве источника или стока CO<sub>2</sub> определяются балансом между первичной продукцией, сформированной в экосистеме (Net Primary Production, NPP) и выделением CO<sub>2</sub> при разложении органического вещества почв (Microbial Respiration, MR), и характеризуются величиной чистой экосистемной продукции/обмена (NEP или NEE, C/м<sup>2</sup>/год):

$$NEP = NPP - MR \quad (2.9)$$

Обычно считается, что положительные значения NEP указывают на сток углерода в компоненты экосистемы, отрицательные – на преобладание в экосистеме эмиссии CO<sub>2</sub> над его поглощением (источник).

##### 2.3.2.1.1. Прямые экспериментальные оценки баланса C между поглощением и эмиссией CO<sub>2</sub> в степных экосистемах

На основе прямых измерений баланса между поглощением и эмиссией CO<sub>2</sub> (экосистемный обмен, NEE) микрометеорологическим методом (eddy covariance) было найдено, что естественная степная экосистема (Хакассия, юг Красноярского края) в течение вегетационного сезона поглощает углерод

в количестве  $1,52 \pm 0,37$  т С/га. Восстановленные степные экосистемы (или залежи), сформированные на бывших пахотных черноземах в степной зоне Хакасии также выступали абсолютным стоком углерода с величиной NEE, равной  $1,14-2,01$  т С/га за вегетацию [143?144]. Степные экосистемы Казахстана, которые по своим условиям формирования близки к степным биомам Сибири, также являются стоком  $CO_2$  с близкими величинами NEE – от  $0,43$  до  $1,73$  т С/га /год. В Западной Европе травяные и луговые экосистемы могут быть как значительным стоком ( $>6,53$  т С/га/год), так и источником  $CO_2$ , с величиной NEE =  $-1,64$  т С/га/год. Из 19 изученных травяных экосистем, 15 функционировали как сток, а потери  $CO_2$  наблюдались преимущественно на богатых органических почвах, при выпасе или при тепловом стрессе [145]. В американских прериях разброс величины NEE так же был весьма существенным – от  $3,44$  т С/га/год (сток) до  $-1,73$  т С/га/год (источник), в зависимости от различных факторов – климатических, наличия выпаса или весенних палов.

Таким образом, использование прямого метода определения баланса С в экосистемах степей показывает, что результирующий поток  $CO_2$  из степных экосистем может сильно варьировать (табл. 48): от довольно существенного стока до источника диоксида углерода – в зависимости от года исследования, климатического потенциала территории и антропогенной нагрузки на степные экосистемы (выпас, сенокошение или весенние палы), в среднем составляя  $1,52 \pm 0,37$  т С/га/год.

Оценка баланса С разностным методом ( $NEP = NPP - MR$ ) дала очень сходный результат – средняя величина стока С- $CO_2$  в природные экосистемы степей составила  $1,62 \pm 0,99$  т С/га/год (табл. 2.40), с той лишь разницей, что точность определения NEE прямым методом была почти в 3 раза выше, чем оценка баланса С- $CO_2$  по разности.

**Таблица 2.40.** Оценка способности степных экосистем различных регионов мира к чистому поглощению диоксида углерода (NEE, т С/га/год) на основе прямого и разностного методов (отрицательные значения NEE – источник  $CO_2$ , положительные – сток)

Регион мира	Прямое определение		Разностный метод
	Целина/залежи	Пастбища/выпас	Целина
Россия*	$1,51 \pm 0,37 / 1,46 \div 2,01$		$1,62 \pm 0,99$
Казахстан	$0,42 \div 1,73$	$-0,04 \div 1,46$	
Европейские страны	$-1,73 \div 6,53$		
Северная Америка	$-1,46 \div 1,09$	$-0,69 \div +1,41$	

\* - т С/ га/вегетационный период

**2.3.2.1.2. Оценка баланса углерода (экосистемной продукции, NEP)  
степных экосистем в отдельных субъектах  
Российской Федерации**

Оценка способности степных экосистем к чистому поглощению диоксида углерода (или определение баланса между поглощением и эмиссией CO<sub>2</sub>) для отдельных регионов выполнялась нами разностным методом:  $NEP = NPP - MR$  на основе региональных оценок для NPP и MR представленных выше.

Согласно нашим расчетам, значения NEP в степных экосистемах Калмыкии, Ставрополья, Чеченской и Ингушской республик были отрицательными (-0,2 ÷ 0,5 т С/га/год), свидетельствуя о том, что степные биомы этих регионов выступают слабым источником CO<sub>2</sub> в атмосферу (рис. 2.32). Самый значительный сток углерода (4,5-4,9 т С/га/год) наблюдался в степных экосистемах Сибирского региона (Омская, Тюменская, Курганская области и Забайкалье), где на фоне невысоких величин MR довольно значительной была первичная биологическая продукция (рис. 2.32). Среднее значение NEP в степных экосистемах РФ составляет 2,21±0,24 т С/га/год, варьируя от 3,60±0,29 т С/га/год в Азиатской части до 0,56±0,34 т С/га/год – Крыму и республиках Северного Кавказа (табл. 2.41). Наибольший размах варьирования величины NEP (4,51 т С/га/год), превышающий среднее значение по региону, характерен для степных регионов Европейской части России. Коэффициент вариации (CV) значений NEP в пределах всей степной зоны России составляет 49%, а в ее отдельных частях он изменяется от 36 до 271%.

**Таблица 2.41.** Статистическая оценка величины NEP в степных экосистемах различных регионов в пределах РФ

Регион	Мин	Макс	Амплитуда	Среднее	SE*	CV, %
Европейская часть	-0,50	4,02	4,51	1,84	0,35	85
Азиатская часть	1,36	4,93	3,57	3,60	0,29	36
Крым и Кавказские республики	-0,41	2,04	2,45	0,56	0,34	271
Все степные регионы РФ	-0,50	4,93	5,43	2,21	0,24	49

\*SE – стандартная ошибка; CV – коэффициент вариации.

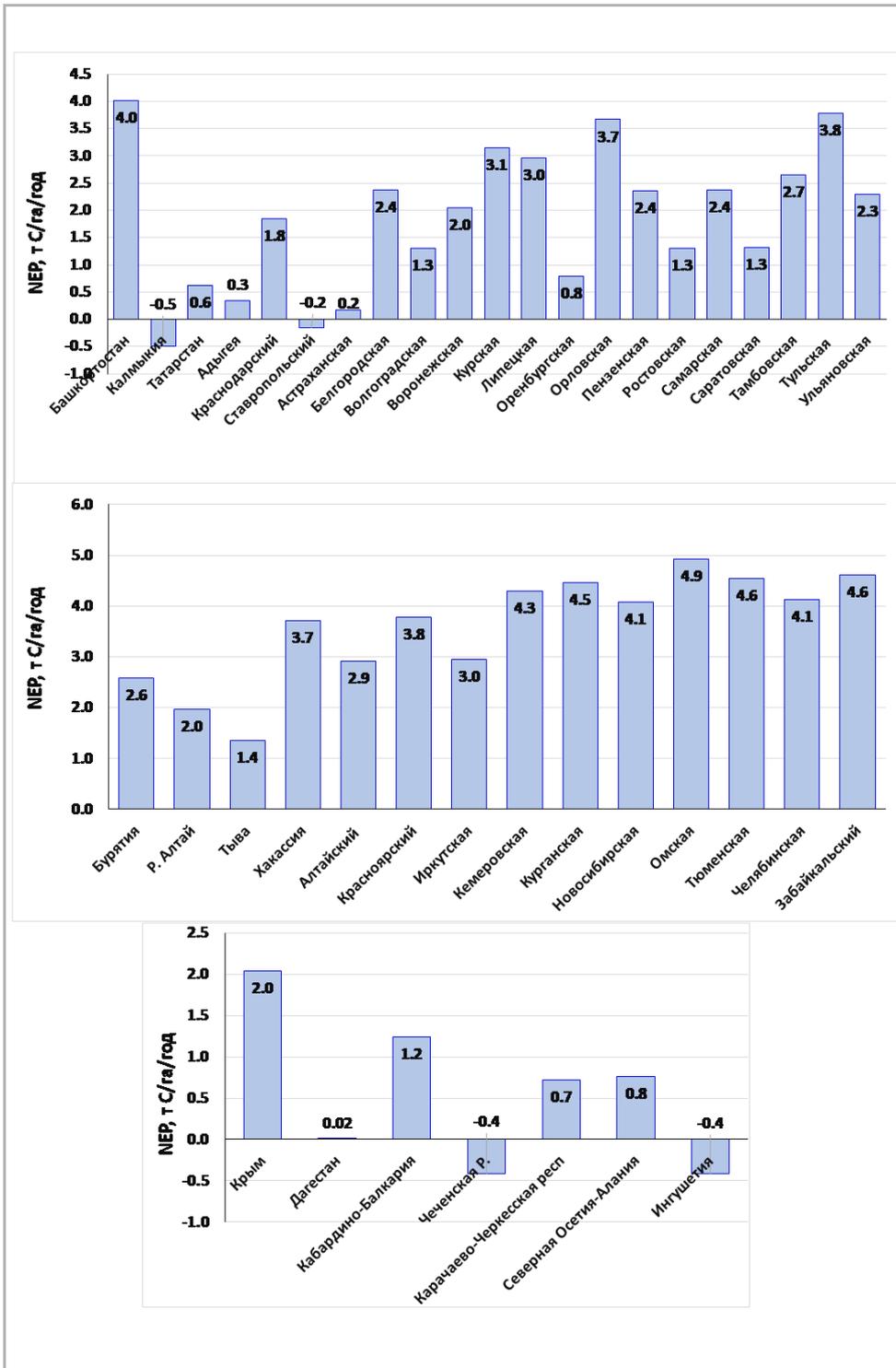


Рисунок 2.32. Оценка экосистемной продукции (NEP, т С/га/год) в степных регионах Европейской (А) и Азиатской (Б) частях, Крыму и республиках Северного Кавказа (В)

2.3.2.1.3. Оценка суммарной экосистемной продукции степных экосистем в регионах (субъектах) Российской Федерации

Суммарная экосистемная продукция (NEP) степных экосистем в субъектах РФ оценивалась идентично другим компонентам углеродного баланса (NPP и MR), а именно на основе величин NEP, выраженных на единицу площади (рис. 2.33, табл. 2.42) и суммарной площади естественных и восстановленных степей в каждом субъекте (табл. 1.5 и 2.42). Выполненные расчеты показали, что степные экосистемы РФ выступают безусловным стоком CO<sub>2</sub> атмосферы с величиной суммарной экосистемной продукции в размере 114±13 млн т C/год или 416 млн т CO<sub>2</sub> год.

**Таблица 2.42.** Величина чистой первичной продукции (NPP) в естественных и восстановленных степных экосистемах в различных субъектах Российской Федерации

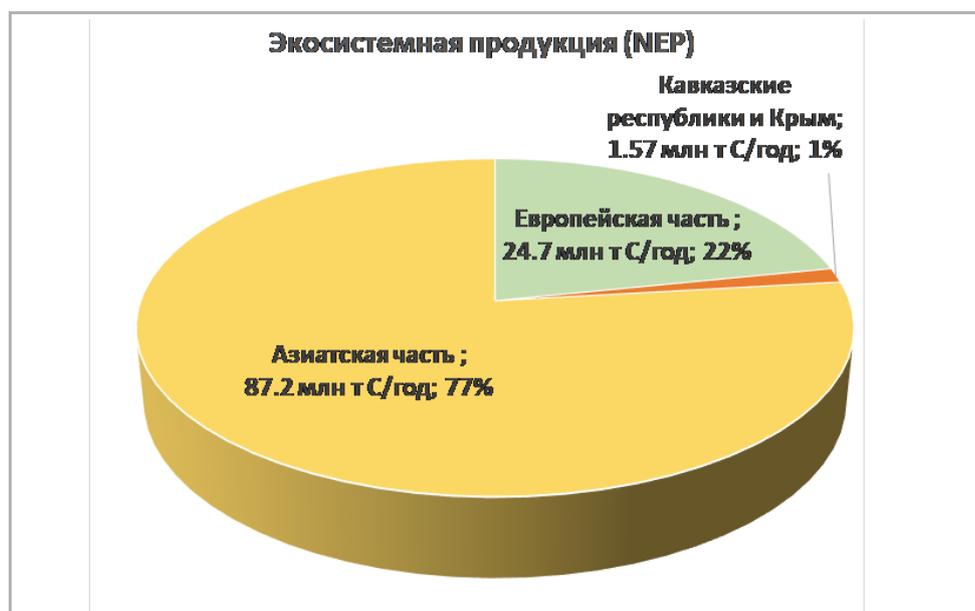
Субъект РФ	Площадь, млн га	NEP, т C/га/год		NEP, млн т C/год		NEP, млн т CO <sub>2</sub> /год
		среднее	STD	среднее	STD	
Степная зона (всего)	54,3	2,21	0,24	114	13	416
Европейская часть (всего)	24,9	1,84	0,35	-25	8,7	91
Республика Башкортостан	1,09	4,02	0,67	4,36	0,73	16,0
Республика Калмыкия	6,33	-0,50	0,78	-3,14	4,96	-11,5
Республика Татарстан	0,26	0,62	0,60	0,16	0,15	0,6
Республика Адыгея	0,05	0,35	0,90	0,02	0,04	0,1
Краснодарский край	0,52	1,84	0,98	0,96	0,51	3,5
Ставропольский край	0,89	-0,15	0,78	-0,14	0,69	-0,5
Астраханская область	1,79	0,17	0,77	0,31	1,38	1,1
Белгородская область	0,34	2,37	0,75	0,79	0,25	2,9
Волгоградская область	3,56	1,30	0,68	4,61	2,41	16,9
Воронежская область	0,17	2,05	0,68	0,34	0,11	1,3
Курская область	0,24	3,15	0,87	0,75	0,21	2,7
Липецкая область	0,10	2,97	0,87	0,31	0,09	1,1
Оренбургская область	3,53	0,79	0,61	2,80	2,16	10,3
Орловская область	0,27	3,67	0,90	0,99	0,24	3,6
Пензенская область	0,63	2,35	0,76	1,49	0,48	5,5
Ростовская область	1,23	1,30	0,75	1,60	0,93	5,9
Самарская область	0,55	2,37	0,69	1,30	0,38	4,8
Саратовская область	1,74	1,32	0,63	2,29	1,10	8,4
Тамбовская область	0,30	2,65	0,78	0,79	0,23	2,9
Тульская область	0,74	3,78	0,89	2,78	0,66	10,2
Ульяновская область	0,58	2,29	0,71	1,33	0,41	4,9

Продолжение таблицы 2.42

Субъект РФ	Площадь, млн га	NEP, т С/га/год		NEP, млн т С/год		NEP, млн т CO <sub>2</sub> /год
Кавказские республики и Крым (всего)	2,8	0,56	0,34	1,57	0,97	5,8
Республика Крым	0,64	2,04	1,02	1,32	0,66	4,8
Республика Дагестан	1,05	0,02	0,62	0,02	0,66	0,1
Кабардино-Балкарская Республика	0,25	1,24	0,53	0,31	0,13	1,1
Чеченская Республика	0,54	-0,41	0,75	-0,22	0,40	-0,8
Карачаево-Черкесская республика	0,13	0,72	0,69	0,10	0,09	0,4
Республика Северная Осетия	0,12	0,76	0,65	0,09	0,08	0,3
Республика Ингушетия	0,09	-0,41	0,75	-0,04	0,06	-0,1
Азиатская часть (всего)	26,6	3,60	0,29	87,23	7,67	320
Республика Бурятия	2,02	2,58	0,55	5,21	1,11	19,1
Республика Алтай	1,30	1,97	0,40	2,56	0,53	9,4
Республика Тыва	5,37	1,36	0,49	7,28	2,65	26,7
Республика Хакасия	1,38	3,72	0,68	5,12	0,94	18,8
Алтайский край	1,67	2,91	0,60	4,86	1,00	17,8
Красноярский край	1,75	3,78	0,69	6,61	1,20	24,2
Иркутская область	1,79	2,95	0,64	5,30	1,14	19,4
Кемеровская область	1,14	4,30	0,83	4,90	0,95	18,0
Курганская область	1,16	4,47	0,88	5,20	1,02	19,1
Новосибирская область	1,96	4,09	0,76	8,03	1,50	29,4
Омская область	1,09	4,93	0,69	5,37	0,75	19,7
Тюменская область	0,59	4,55	0,85	2,67	0,50	9,8
Челябинская область	1,64	4,13	0,67	6,76	1,10	24,8
Забайкальский край	3,76	4,62	0,55	17,38	2,05	63,7

Если сравнивать между собой отдельные субъекты РФ (рис. 2.32), то максимальное количество углерода (17.8-20.3 т С/год) поглощают степные экосистемы Забайкальского края (17.4 млн т С/га/год), Новосибирской области (8.0 млн т С/год) и Республики Тыва (7.3 млн т С/год).

Сток углерода в степные экосистемы Азиатской части составляет 87 млн т С/год или 77% общего количества NEP, сосредоточенной в степных регионах РФ. В степных биомах Европейской части России сток углерода существенно ниже – 24.7 млн т С/год или 22% общего количества суммарной NEP в степных регионах России. Доля степных биомов в автономных республиках Кавказа и Крыму пренебрежимо мала и составляет 1% общей экосистемной продукции (рис. 2.33).



**Рисунок 2.33.** Распределение экосистемной продукции (NEP) в степных биомах на территории РФ

Таким образом, наши расчеты показали, что естественные и восстановленные на месте залежей степные экосистемы РФ являются стоком  $\text{CO}_2$  с величиной 114 млн т С/год, что согласуется с полученными нами ранее предварительными оценками (82-148 млн т С- $\text{CO}_2$  в год).

#### 2.3.2.1.4. Оценка связи между компонентами углеродного баланса и климатическими параметрами в степных экосистемах различных регионов Российской Федерации

На основе полученных величин NPP, MR и NEP в различных субъектах РФ в пределах степной зоны нами были оценены множественные регрессионные связи ( $R^2$ ) между каждым из этих параметров и осредненными климатическими параметрами (среднегодовая  $T$  воздуха и количество осадков) в тех же регионах, также полученными в ходе настоящего исследования (табл. 2.43).

**Таблица 2.43.** Множественные регрессионные связи между компонентами углеродного баланса и климатическими параметрами в степных экосистемах различных регионов Российской Федерации

Компонент С баланса	Европа (n = 21)		Азия (n = 14)		Кавказ (n = 7)		РФ (n = 42)	
	$R^2$	p	$R^2$	p	$R^2$	p	$R^2$	p
NPP	<b>0,70</b>	<0,001	<b>0,45</b>	0,035	0,25	ns	0,12	ns
TSR	<b>0,70</b>	<0,001	<b>0,90</b>	<0,001	<b>0,83</b>	0,029	<b>0,91</b>	<0,001
NEP	<b>0,61</b>	<0,001	0,26	ns	0,1	ns	<b>0,41</b>	<0,001

Показано, что в Европейской части России наблюдались тесные значимые ( $p < 0.001$ ) множественные корреляции между всеми компонентами в уравнении углеродного баланса и климатическими параметрами, объясняющие 61-70% вариабельности этих величин (табл. 2.44). Влияние климата было статистически значимым на величины NPP и TSR в Азиатской части и только на величину TSR в горных степях Северного Кавказа и в Крыму. Для всей территории России значимые ( $p < 0.001$ ) множественные корреляции наблюдались между климатическими параметрами и значениями NEP и TSR (табл. 51). Примечательно, что только в пределах РФ в целом и ее Европейской части рост температуры негативно отражался на величинах NEE и NEP. Связи климатических параметров ожидаемо были самыми тесными с величиной TSR и объясняли 70-93% вариабельности этого показателя.

### 2.3.2.2. Метан (CH<sub>4</sub>) и закись азота (N<sub>2</sub>O)

Анализ экспериментальных данных, опубликованных в литературе, показал, что почвы степных экосистем являются поглотителями метана и закиси азота со средними величинами, составляющими 2.25 кг C-CH<sub>4</sub>/га/год и 0.047 г N-N<sub>2</sub>O/га/год (удельные скорости поглощения). Суммарные потоки метана и закиси азота в степных экосистемах Российской Федерации были получены на основе этих средних удельных скоростей поглощения и площади занятой степными экосистемами в каждом из субъектов РФ (табл. 2.44). Суммарное поглощение метана почвами степных экосистем на территории России составляет небольшую величину – 163 тыс. т в год. Поглощение закиси азота оценивается совсем незначительной величиной – 4,0 т N<sub>2</sub>O/год. Доля каждого из субъектов РФ в общем поглощении метана и закиси азота определяется исключительно площадью степных экосистем в каждого из регионов. Таким образом, вклад Европейской и Азиатской частей в общее поглощение CH<sub>4</sub> и N<sub>2</sub>O почвами степных экосистем в РФ является примерно одинаковым (табл. 2.44).

**Таблица 2.44.** Суммарные потоки (поглощение) метана и закиси азота в степных экосистемах отдельных регионов РФ

Субъект РФ	Площадь, млн га	CH <sub>4</sub> , тыс. т/год	N <sub>2</sub> O, т/год
<b>Степная зона (всего)</b>	<b>54,3</b>	<b>-162,6</b>	<b>-4,01</b>
<b>Европейская часть (всего)</b>	<b>24,9</b>	<b>-74,5</b>	<b>-1,84</b>
Республика Башкортостан	1,09	-3,2	-0,08
Республика Калмыкия	6,33	-18,9	-0,47
Республика Татарстан	0,26	-0,8	-0,02
Республика Адыгея	0,05	-0,1	0,00
Краснодарский край	0,52	-1,6	-0,04

Субъект РФ	Площадь, млн га	CH <sub>4</sub> , тыс. т/год	N <sub>2</sub> O, т/год
Ставропольский край	0,89	-2,6	-0,07
Астраханская область	1,79	-5,3	-0,13
Белгородская область	0,34	-1,0	-0,02
Волгоградская область	3,56	-10,6	-0,26
Воронежская область	0,17	-0,5	-0,01
Курская область	0,24	-0,7	-0,02
Липецкая область	0,10	-0,3	-0,01
Оренбургская область	3,53	-10,6	-0,26
Орловская область	0,27	-0,8	-0,02
Пензенская область	0,63	-1,9	-0,05
Ростовская область	1,23	-3,7	-0,09
Самарская область	0,55	-1,6	-0,04
Саратовская область	1,74	-5,2	-0,13
Тамбовская область	0,30	-0,9	-0,02
Тульская область	0,74	-2,2	-0,05
Ульяновская область	0,58	-1,7	-0,04
<b>Кавказские республики и Крым (всего)</b>	<b>2,8</b>	<b>-8,5</b>	<b>-0,21</b>
Республика Крым	0,64	-1,9	-0,05
Республика Дагестан	1,05	-3,2	-0,08
Кабардино-Балкарская Республика	0,25	-0,7	-0,02
Чеченская Республика	0,54	-1,6	-0,04
Карачаево-Черкесская республика	0,13	-0,4	-0,01
Республика Северная Осетия	0,12	-0,4	-0,01
Республика Ингушетия	0,09	-0,3	-0,01
<b>Азиатская часть (всего)</b>	<b>26,6</b>	<b>-79,7</b>	<b>-1,96</b>
Республика Бурятия	2,02	-6,0	-0,15
Республика Алтай	1,30	-3,9	-0,10
Республика Тыва	5,37	-16,1	-0,40
Республика Хакассия	1,38	-4,1	-0,10
Алтайский край	1,67	-5,0	-0,12
Красноярский край	1,75	-5,2	-0,13
Иркутская область	1,79	-5,4	-0,13
Кемеровская область	1,14	-3,4	-0,08

Продолжение таблицы 2.44

Субъект РФ	Площадь, млн га	CH <sub>4</sub> , тыс. т/год	N <sub>2</sub> O, т/год
Курганская область	1,16	-3,5	-0,09
Новосибирская область	1,96	-5,9	-0,14
Омская область	1,09	-3,3	-0,08
Тюменская область	0,59	-1,8	-0,04
Челябинская область	1,64	-4,9	-0,12
Забайкальский край	3,76	-11,3	-0,28

### 2.3.3. Научно обоснованные предложения по определению методов, по которым возможно оценить способность степных экосистем, находящихся на территории Российской Федерации, к чистому поглощению парниковых газов

#### 2.3.3.1. Диоксид углерода (CO<sub>2</sub>)

Оценку способности степных экосистем к чистому поглощению диоксида углерода (или определение баланса между поглощением и эмиссией CO<sub>2</sub>) можно проводить **прямым измерением баланса CO<sub>2</sub>** в экосистеме или **разностным методом**, экспериментально определяя (или оценивая с помощью моделей) основные составляющие баланса - NPP и MR.

На сегодняшний день **микрометеорологический метод турбулентной ковариации** (метод турбулентных пульсаций или eddy-covariance) является практически единственным методом, позволяющим напрямую оценивать величину углеродного баланса (обмена) в экосистеме в целом [145-150]. Это один из самых точных и теоретически обоснованных методов для измерений потоков парниковых газов и мониторинга эмиссий с территорий различного размера - от нескольких сотен до миллионов кв. м [151]. К недостаткам данного метода следует отнести высокую стоимость оборудования, что сдерживает его широкое применение. Именно из-за его высокой стоимости, на территории России этот метод имеет весьма ограниченное применение [151]. В степных экосистемах России измерения методом eddy-covariance проводились только в Красноярском крае (Хакасия) в 2002-2004 гг. в рамках международного проекта «Сибирь-2» [143,144,152].

Поэтому, для определения способности степных экосистем на территории Российской Федерации к чистому поглощению диоксида углерода единственно возможным является разностный метод оценки баланса (обмена) CO<sub>2</sub> в системе атмосфера – экосистема. Он включает параллельное определение чистой первичной продукции (NPP, или поглощение CO<sub>2</sub> из атмосферы) и общего почвенного дыхания (TSR), которое является мерой эмиссионных потерь CO<sub>2</sub> из почв (выделение CO<sub>2</sub> в атмосферу).

### ***Методические подходы по определению NPP в зоне степей***

Определение NPP в зоне степей можно проводить различными методами:

- (1) Прямой учет фитомассы с последующей оценкой продуктивности с помощью балансовых уравнений;
- (2) Газометрическое определение на базе использования интегральных расчетов прямых измерений концентрации CO<sub>2</sub> в закрытых прозрачных камерах в разные периоды с учётом сезонной и суточной динамики.
- (3) Методы дистанционного зондирования (МДЗ), позволяющие с высокой периодичностью и при хорошем пространственном разрешении оценивать величину вегетационного индекса (NDVI). Однако, спутниковые данные информативны лишь при сомкнутости растительного покрова менее 50%, т.е. при существовании контраста растительность почва [153]. Это условие характерно для аридных и полуаридных регионов, а также для районов с развитым растительным покровом в начале вегетационного периода. Для зоны луговых и настоящих степей этот метод имеет ряд существенных ограничений и не отличается высокой точностью.
- (4) Хлорофилльный метод считается одним из самых перспективных для оценки биопродуктивности растительного покрова [27, 154]. Метод требует лишь знания величины проективного содержания хлорофилла. При этом неточность определения первичной биологической продуктивности составляет 15-25%. Использование хлорофилльного индекса хорошо зарекомендовало себя в степной зоне. Однако, для оценки NPP в степных экосистемах различных регионов России нет достаточного покрытия территории по величине проективного содержания хлорофилла, что ограничивает применение этого метода.

Таким образом, несмотря на существование самых разных подходов для оценки NPP, в зоне степей наиболее надежным и распространенным в меру его доступности является прямой учет фитомассы (как надземной, так и подземной) с последующей оценкой NPP с помощью балансовых уравнений [9, 100, 101, 102, 155]. На сегодняшний день основные данные по оценке NPP во всех типах экосистем России, включая степные, получены именно биометрическим способом [20, 106]. Имеющиеся на сегодняшний момент данные непосредственного учета первичной продуктивности в сочетании с геоинформационным подходом позволят количественно оценить связывание атмосферного углерода в составе живой и мертвой биомассы для отдельных субъектов Российской Федерации.

### ***Методические подходы по определению эмиссии CO<sub>2</sub> из почв в зоне степей.***

Эмиссионный поток CO<sub>2</sub> из почв любых ценозов (или общее почвенное дыхание, TSR) в отличие от высокой внутригодовой и межгодовой изменчи-

---

востью [156-159], поэтому для получения адекватных оценок величины годовой эмиссии  $\text{CO}_2$  из почв необходимы многолетние круглогодичные наблюдения [160-162].

Для определения общего потока  $\text{CO}_2$  из почв сегодня чаще всего используют **прямые методы** с использованием закрытых или открытых камер. В России наиболее распространено применение закрытых (непроточных) камер [161], хотя результаты, полученные при их применении, дают недооценку величины потоков  $\text{CO}_2$  из почвы по сравнению с открытыми камерами в среднем на 10% [163].

Особую значимость для оценки эмиссионной составляющей углеродного цикла в последние годы приобретают методы статистического и математического моделирования. Существует большое число моделей, которые позволяют с разной степенью точности оценивать величину TSR из почв степных экосистем: CENTURY, RothC, DNDC и др. [164]. Базируясь на эмпирических данных, проводится параметризация и верификация этих моделей, а затем рассчитывается величина потока  $\text{CO}_2$  из почв. Поскольку основными абиотическими факторами, влияющими на эмиссию  $\text{CO}_2$  из почв, являются температура почвы (или воздуха), а также увлажнение почв, которое обычно выражают через количество осадков, то практически для всех моделей, используемых для предсказания эмиссионных потерь  $\text{CO}_2$  из почв, в качестве входных параметров необходима самая простая климатическая информация, которая сегодня является доступной на сайте Росгидромета [165].

Один из подходов, позволяющих на основе климатических параметров описывать глобальное распределение TSR на месячном уровне осреднения, был предложен американскими исследователями Райхом и Поттером в 1995 г. Это так называемая T&P модель [126], которая позволяет оценивать среднемесячную интенсивность выделения  $\text{CO}_2$  из почв на основе среднемесячной температуры воздуха и суммы осадков за соответствующий месяц [126]. Эта простая модель хорошо показала себя для численной оценки эмиссии  $\text{CO}_2$  из дерново-подзолистых и серых лесных почв под лесными и луговыми ценозами [128]. Вторая версия этой модели, репараметризованная нами для луговых ценозов, может быть рекомендована для прогнозных оценок эмиссии  $\text{CO}_2$  из почв степных экосистем.

Итак, анализ существующих методов оценки способности различных типов природных экосистем к чистому поглощению диоксида углерода показал, что для степных экосистем наиболее подходящим является разностный метод определения чистого поглощения  $\text{CO}_2$ , основанный на биометрическом определении первичной продуктивности и расчетных величин эмиссионных потерь  $\text{CO}_2$  из почв на основе применения T&P модели.

### 2.3.3.2. Метан ( $\text{CH}_4$ )

Методы, позволяющие количественно оценить чистое поглощение или эмиссию  $\text{CH}_4$  в почвах степных экосистем, базируются, как и в случае  $\text{CO}_2$ , либо на экспериментальном определении потоков этих газов, либо на исполь-

зовании модельных расчетов. Как и в случае с диоксидом углерода, для прямого определения потоков  $\text{CH}_4$  применяется микрометеорологический метод вихревых пульсаций (eddy-covariance) с использованием специальных датчиков [166] или камерный метод [138]. Но если приборная база для определения атмосферных концентраций диоксида углерода в России имеется во многих научных организациях, то для определения  $\text{CH}_4$  выбор приборов сильно ограничен.

Для количественной оценки потоков  $\text{CH}_4$  в экосистемах степей можно использовать процесс-ориентированную модель DNDC [167]. Входные параметры модели включают: климатические условия (среднесуточные максимальные и минимальные температуры и количество осадков), характеристики почвенного покрова (глинистость, плотность, рН, полевая влагемкость, а также содержание углерода в слое 0-10 см и деление его на фракции). Но помимо определения большого числа параметров, необходимых для ее работы в степных экосистемах, необходимы экспериментальные данные для верификации и оценки точности моделирования.

Из-за слабого проявления процессов образования и потребления  $\text{CH}_4$  в почвах естественных степных экосистем информация по определению в них потоков метана в полевых экспериментах, имеющаяся в литературе на сегодняшний день, очень фрагментарна и ненадежна. Это связано, прежде всего, с тем, что в литературе крайне недостаточно фактических данных по размерам эмиссии /поглощения метана в реальных полевых условиях, что позволяет сделать только весьма приблизительные оценки скоростей потребления/образования метана почвами естественных автоморфных ландшафтов и степей, в частности. Поэтому, оценка общего поглощения  $\text{CH}_4$  автоморфными почвами степной зоны должна базироваться на методе аппроксимации. Он основан на умножении площади степных экосистем на среднюю величину поглощения  $\text{CH}_4$  почвами автоморфных степных или травяных экосистем, определенную экспериментальным способом в полевых условиях.

### 2.3.3.3. Закись азота ( $\text{N}_2\text{O}$ )

Методы, позволяющие количественно оценить чистое поглощение или эмиссию  $\text{N}_2\text{O}$  в почвах степных экосистем, базируются, как и в случае  $\text{CO}_2$ , либо на экспериментальном определении потоков закиси азота, либо на использовании модельных расчетов. Как и в случае с диоксидом углерода или метаном, для прямого определения потоков  $\text{N}_2\text{O}$  применяется микрометеорологический метод вихревых пульсаций (eddy-covariance) с использованием специальных датчиков [169] или камерный метод [138]. Но если приборная база для определения атмосферных концентраций диоксида углерода в России имеется во многих научных организациях, то определение атмосферных (очень низких) концентраций  $\text{N}_2\text{O}$  требует оснащения приборами высокой точности (например, японской фирмы Shimadzu), которые в России имеются в весьма ограниченном количестве.

---

Для количественной оценки поглощения или эмиссии  $N_2O$  как и в случае с  $CH_4$ , можно использовать процесс-ориентированную модель DNDC [167, 168], которая помимо определения большого числа параметров, необходимых для ее работы в степных экосистемах, необходимы экспериментальные данные для ее верификации и оценки точности моделирования. За неимением таких данных, основанных на регулярных наблюдениях по определению поглощения закиси азота в степных экосистемах, единственно приемлемым способом определения общего поглощения  $N_2O$  в степной зоне является аппроксимационный метод. Он основан на умножении площади степных экосистем на среднюю величину поглощения  $N_2O$  почвами автоморфных степных или травяных экосистем, определенную экспериментальным способом в полевых условиях. Однако, из-за слабого проявления процессов образования и потребления  $N_2O$  в почвах естественных степных экосистем информация по определению в них потоков закиси азота в полевых экспериментах, имеющаяся в литературе на сегодняшний день, очень скудная. Это связано, прежде всего, с тем, что в литературе крайне недостаточно фактических данных по размерам эмиссии /поглощения закиси азота в реальных полевых условиях, что позволяет сделать только весьма приблизительные оценки скоростей потребления/образования  $N_2O$  почвами естественных степных экосистем.

## **2.4. Луговые экосистемы**

### **2.4.1. Аналитические и картографические материалы по проведению оценки способности луговых экосистем к чистому поглощению диоксида углерода с разбивкой по субъектам Российской Федерации**

#### **2.4.1.1. Диоксид углерода ( $CO_2$ )**

На основании полученных оценок поступления и выноса углерода почв составлен общий баланс углерода на луговых экосистемах с разбивкой по субъектам РФ по состоянию на 2016 год. Положительные величины показывают поступление углерода в почвы и поглощение  $CO_2$  из атмосферы, а отрицательные – его потери и выбросы  $CO_2$  в атмосферу. Значения баланса углерода почв луговых экосистем с разбивкой по субъектам РФ представлены в таблице 2.45.

Ежегодные изменения запасов углерода других резервуаров углерода (надземной и подземной биомассы, а также мертвого органического вещества) принимаются равными нулю, учитывая, что в сформированных луговых сообществах среднегодовая продуктивность биомассы меняется незначительно.

Суммарный годовой баланс углерода на территории луговых экосистем с разбивкой по субъектам РФ положительный и составил 1,7 млн т С в год, что соответствует 6,14 млн т  $CO_2$  в год.

---

**Таблица 2.45.** Баланс углерода почв луговых экосистем

Регион	Поступление углерода, млн т С	Вынос углерода, млн т С	Баланс углерода, млн т С	Выбросы (-) / поглощение (+), млн т CO <sub>2</sub> год <sup>-1</sup>
Белгородская область	0,97	1,29	-0,31	-1,15
Брянская область	1,73	1,85	-0,12	-0,45
Владимирская область	0,77	0,74	0,03	0,12
Воронежская область	2,90	2,97	-0,08	-0,28
Ивановская область	0,56	0,53	0,03	0,11
Калужская область	1,08	1,02	0,06	0,22
Костромская область	0,60	0,54	0,06	0,23
Курская область	1,46	1,48	-0,02	-0,06
Липецкая область	1,10	1,08	0,02	0,06
Московская область	0,89	0,88	0,01	0,03
г. Москва	0,04	0,59	-0,55	-2,01
Орловская область	1,19	1,21	-0,02	-0,08
Рязанская область	2,64	2,58	0,06	0,21
Смоленская область	1,38	1,35	0,03	0,11
Тамбовская область	1,66	1,64	0,01	0,04
Тверская область	2,08	1,97	0,12	0,43
Тульская область	0,75	0,76	-0,01	-0,05
Ярославская область	0,78	0,70	0,08	0,28
Республика Карелия	0,14	0,11	0,03	0,10
Республика Коми	0,37	0,32	0,06	0,20
Архангельская область	0,74	0,58	0,16	0,58
Вологодская область	0,93	0,80	0,13	0,48
Калининградская область	0,92	1,03	-0,11	-0,41
Ленинградская область	0,64	0,66	-0,02	-0,06
Мурманская область	0,01	0,01	0,00	0,00
Новгородская область	0,54	0,51	0,03	0,13
Псковская область	1,27	1,24	0,03	0,11
Республика Адыгея	0,22	0,35	-0,12	-0,46
Республика Калмыкия	15,96	19,86	-3,90	-14,30
Республика Крым	0,71	1,07	-0,37	-1,35
Краснодарский край	1,29	2,00	-0,71	-2,60
Астраханская область	8,35	11,17	-2,82	-10,32

Продолжение таблицы 2.45

Регион	Поступление углерода, млн т С	Вынос углерода, млн т С	Баланс углерода, млн т С	Выбросы (-) / поглощение (+), млн т CO <sub>2</sub> год <sup>-1</sup>
Волгоградская область	8,46	9,59	-1,13	-4,13
Ростовская область	7,67	10,03	-2,36	-8,67
Республика Дагестан	9,58	15,92	-6,35	-23,28
Республика Ингушетия	0,23	0,81	-0,58	-2,11
Кабардино-Балкарская Республика	0,52	0,81	-0,29	-1,05
Карачаево-Черкесская Республика	1,37	1,98	-0,61	-2,24
Республика Северная Осетия-Алания	0,37	0,56	-0,20	-0,73
Чеченская Республика	1,66	2,68	-1,01	-3,72
Ставропольский край	5,48	7,01	-1,53	-5,60
Республика Башкортостан	11,18	9,67	1,51	5,55
Республика Марий Эл	0,43	0,45	-0,02	-0,09
Республика Мордовия	1,48	1,41	0,07	0,26
Республика Татарстан	3,50	3,36	0,15	0,54
Удмуртская Республика	1,21	1,02	0,19	0,71
Чувашская Республика	0,58	0,56	0,02	0,08
Пермский край	1,45	1,28	0,18	0,64
Кировская область	1,52	1,30	0,22	0,81
Нижегородская область	2,33	2,17	0,15	0,57
Оренбургская область	14,07	13,27	0,80	2,92
Пензенская область	1,76	1,76	-0,00	-0,01
Самарская область	2,58	2,45	0,13	0,49
Саратовская область	7,43	7,65	-0,22	-0,81
Ульяновская область	1,14	1,08	0,06	0,23
Курганская область	3,37	2,76	0,60	2,22
Свердловская область	1,56	1,39	0,17	0,62
Тюменская область (без автономных округов)	4,19	3,32	0,87	3,21
Ханты-Мансийский автономный округ - Югра	0,46	0,32	0,14	0,52

Регион	Поступление углерода, млн т С	Вынос углерода, млн т С	Баланс углерода, млн т С	Выбросы (-) / поглощение (+), млн т CO <sub>2</sub> год <sup>-1</sup>
Ямало-Ненецкий автономный округ	0,15	0,05	0,10	0,38
Челябинская область	5,26	4,53	0,73	2,69
Республика Алтай	3,18	2,82	0,36	1,32
Республика Бурятия	4,66	3,00	1,66	6,10
Республика Тыва	3,50	2,97	0,53	1,94
Республика Хакасия	3,03	2,45	0,58	2,12
Алтайский край	11,18	9,56	1,62	5,94
Забайкальский край	15,11	9,83	5,28	19,37
Красноярский край	5,24	3,66	1,57	5,76
Иркутская область	2,31	1,63	0,69	2,52
Кемеровская область	2,62	2,06	0,56	0,16
Новосибирская область	12,41	9,59	2,83	10,36
Омская область	6,39	5,26	1,13	4,14
Томская область	1,33	1,05	0,29	1,05
Республика Саха (Якутия)	2,18	1,47	0,71	2,60
Камчатский край	0,13	0,28	-0,15	-0,54
Приморский край	1,41	1,27	0,14	0,52
Хабаровский край	0,39	0,28	0,11	0,42
Амурская область	1,75	1,19	0,56	2,05
Магаданская область	0,05	0,02	0,03	0,13
Сахалинская область	0,10	0,11	-0,01	-0,03
Еврейская Автономная область	0,29	0,20	0,09	0,32
Чукотский автономный округ	0,02	0,00	0,02	0,08
<b>Всего</b>			<b>1,68</b>	<b>6,14</b>

На рис. 2.34 представлено схематическое распределение выбросов CO<sub>2</sub> на луговых экосистемах по субъектам РФ.

На основе значений рассчитанного баланса углерода для почв луговых экосистем можно отметить наибольшие значения поглощения CO<sub>2</sub> почвами луговых экосистем в Забайкальском крае (19,37 млн т CO<sub>2</sub>), Новосибирской области (10,36 млн т CO<sub>2</sub>) и Республики Бурятия (6,10 млн т CO<sub>2</sub>). Подобные высокие значения в данных регионах связаны с высокими значениями аккумуляции углерода в почвах и небольшими объемами сенокошения и заготовки пастбищных кормов в регионах.



**Рисунок 2.34.** Схема распределения чистого поглощения CO<sub>2</sub> в луговых экосистемах с разбивкой по субъектам РФ, млн т/год  
*Положительные величины показывают поглощение CO<sub>2</sub>, отрицательные – его выбросы в атмосферу*

На втором месте по значению выбросов CO<sub>2</sub> отмечаются регионы Южного Федерального округа: Астраханская область (-10,23 млн т CO<sub>2</sub>) и Волгоградская область (- 8,67 млн т CO<sub>2</sub>). Данные низкие значения выбросов можно объяснить высоким выносом углерода с земель луговых экосистем при покосе и потреблении пастбищных кормов.

Для Республик Калмыкии и Дагестана значения выбросов CO<sub>2</sub> в год составили -14,30 млн т CO<sub>2</sub> и -23,28 млн т CO<sub>2</sub>, соответственно. Это связано с относительно высокими значениями выноса углерода с территорий луговых экосистем в результате потребления пастбищных кормов. В этих регионах отмечаются наибольшие значения поголовья сельскохозяйственных животных по сравнению с другими регионами РФ.

Для всех остальных регионов РФ значения выбросов/поглощения CO<sub>2</sub> находятся в пределах от -5,60 млн т CO<sub>2</sub> в год (Ставропольский край) до 5,94 млн т CO<sub>2</sub> (Алтайский край).

#### 2.4.1.2. Метан (CH<sub>4</sub>)

Основным источником метана в луговых экосистемах является навоз выпасаемых животных. Разложение навоза в анаэробных условиях (т.е. в отсутствии кислорода) приводит к образованию CH<sub>4</sub>. Условия для этого легче всего создаются тогда, когда значительное количество животных содержится на ограниченной площади (например, площадки выпаса и откормочные площадки для мясных пород скота), а также при разложении навоза, оставленного животными на местах выпаса на территории луговых экосистем.

Результаты расчетов выбросов метана от навоза, оставленного на луговых экосистемах, представлены в табл. 2.46. Расчеты выполнены по состоянию на 2016 год. Учитывая относительно стабильное поголовье выпасаемых животных в регионах РФ в течение последних 15 лет, можно считать полученные данные репрезентативными при оценке среднегодового потока метана от навоза выпасаемых животных.

В 2016 году суммарные выбросы  $\text{CH}_4$  составили 29,23 тыс. т в год или 730,79 тыс. т  $\text{CO}_2$ -экв. в год в целом для РФ.

**Таблица 2.46.** Выбросы  $\text{CH}_4$  от навоза выпасаемых животных на территории луговых экосистем, тыс. т и тыс. т  $\text{CO}_2$ -экв. в год

Регион	Выбросы $\text{CH}_4$ , тыс. т в год	Выбросы $\text{CH}_4$ , тыс. т $\text{CO}_2$ -экв. в год
<b>Россия</b>	<b>29,23</b>	<b>730,79</b>
<b>Центральный федеральный округ</b>	<b>1,78</b>	<b>44,61</b>
Белгородская область	0,04	1,07
Брянская область	0,65	16,17
Владимирская область	0,03	0,86
Воронежская область	0,09	2,34
Ивановская область	0,06	1,55
Калужская область	0,15	3,65
Костромская область	0,04	0,96
Курская область	0,09	2,33
Липецкая область	0,01	0,32
Московская область	0,05	1,14
г. Москва	0,03	0,84
Орловская область	0,09	2,35
Рязанская область	0,11	2,77
Смоленская область	0,12	3,04
Тамбовская область	0,03	0,82
Тверская область	0,10	2,52
Тульская область	0,05	1,27
Ярославская область	0,03	0,64
<b>Северо-Западный федеральный округ</b>	<b>0,42</b>	<b>10,41</b>
Республика Карелия	0,00	0,12
Республика Коми	0,03	0,78
Архангельская область	0,03	0,83
Вологодская область	0,07	1,81
Калининградская область	0,20	4,89

Продолжение таблицы 2.46

Регион	Выбросы CH <sub>4</sub> , тыс. т в год	Выбросы CH <sub>4</sub> , тыс. т CO <sub>2</sub> -экв. в год
Ленинградская область	0,02	0,55
Мурманская область	0,00	0,01
Новгородская область	0,02	0,59
Псковская область	0,03	0,83
<b>Южный федеральный округ</b>	<b>4,96</b>	<b>123,95</b>
Республика Адыгея	0,11	2,67
Республика Калмыкия	2,37	59,35
Республика Крым	0,18	4,59
Краснодарский край	0,25	6,37
Астраханская область	1,10	27,42
Волгоградская область	0,60	14,99
Ростовская область	0,34	8,50
г. Севастополь	0,00	0,06
<b>Северо-Кавказский федеральный округ</b>	<b>5,72</b>	<b>143,01</b>
Республика Дагестан	3,63	90,65
Республика Ингушетия	0,07	1,70
Кабардино-Балкарская Республика	0,38	9,43
Карачаево-Черкесская Республика	0,56	13,90
Республика Северная Осетия-Алания	0,18	4,60
Чеченская Республика	0,21	5,17
Ставропольский край	0,70	17,57
<b>Приволжский федеральный округ</b>	<b>6,06</b>	<b>151,41</b>
Республика Башкортостан	1,71	42,70
Республика Марий Эл	0,08	2,02
Республика Мордовия	0,10	2,49
Республика Татарстан	1,00	25,06
Удмуртская Республика	0,23	5,64
Чувашская Республика	0,34	8,49
Пермский край	0,30	7,53
Кировская область	0,11	2,82
Нижегородская область	0,16	4,02
Оренбургская область	1,14	28,61
Пензенская область	0,12	3,07
Самарская область	0,19	4,64

Регион	Выбросы CH <sub>4</sub> , тыс. т в год	Выбросы CH <sub>4</sub> , тыс. т CO <sub>2</sub> -экв. в год
Саратовская область	0,37	9,36
Ульяновская область	0,20	4,97
<b>Уральский федеральный округ</b>	<b>0,71</b>	<b>17,87</b>
Курганская область	0,17	4,32
Свердловская область	0,11	2,86
Тюменская область (без автономных округов)	0,26	6,54
Ханты-Мансийский автономный округ - Югра	0,02	0,43
Ямало-Ненецкий автономный округ	0,00	0,01
Челябинская область	0,15	3,71
Сибирский федеральный округ	8,76	218,93
Республика Алтай	0,98	24,56
Республика Бурятия	1,48	36,89
Республика Тыва	0,64	16,07
Республика Хакасия	0,42	10,42
Алтайский край	1,04	25,93
Забайкальский край	1,86	46,39
Красноярский край	0,54	13,40
Иркутская область	0,37	9,17
Кемеровская область	0,30	7,48
Новосибирская область	0,72	17,93
Омская область	0,31	7,79
Томская область	0,12	2,90
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	<b>0,82</b>	<b>20,61</b>
Республика Саха (Якутия)	0,61	15,36
Камчатский край	0,02	0,41
Приморский край	0,07	1,87
Хабаровский край	0,02	0,40
Амурская область	0,05	1,33
Магаданская область	0,00	0,11
Сахалинская область	0,03	0,67
Еврейская Автономная область	0,02	0,45
Чукотский автономный округ	0,00	0,00

Наибольшие значения выбросов отмечаются для Республики Дагестан (3,63 тыс. т) и Республики Калмыкия (2,37 тыс. т). Одна из причин подобных высоких значений – лидирующая позиция данных регионов в Российской Федерации в области животноводства. Согласно [170] одной из глобальных

проблем Калмыкии, на сегодняшний день, является перегрузка пастбищ скотом, в связи с чем к одной из необходимых мер относится поиск методов рационального использования и сохранения биологического разнообразия естественных кормовых угодий. По данным Росстата на 1 января 2016 года поголовье крупного рогатого скота (КРС) в Республике Калмыкия составило 506,7 тыс. голов, коров – 362,02 тыс. голов, овец – 2360,46 тыс. голов и коз 53,29 тыс. голов. В Республике Дагестан КРС – 1007,86 тыс. голов, коров – 483,61 тыс. голов, овец – 5102,89 тыс. голов, коз – 203,45 тыс. голов. Данные значения выше, чем средние значения поголовья животных в остальных регионах РФ.

На втором месте по значению выбросов метана от навоза, оставленного на лугах, находятся республики Приволжского Федерального автономного округа: Республика Башкортостан – 1,71 тыс. т  $\text{CH}_4$  в год, Республика Татарстан – 1,00 тыс. т; Оренбургская область – 1,14 тыс. т и Сибирского Федерального автономного округа: Республика Бурятия – 1,48 тыс. т; Алтайский край – 1,04 тыс. т и Забайкальский край – 1,86 тыс. т  $\text{CH}_4$  в год.

Наименьшие выбросы представлены для регионов: Республика Карелия – 0,005 тыс. т  $\text{CH}_4$  в год, Мурманская область – 0,0003 тыс. т в год, Ямало-Ненецкого автономного округа – 0,0003 тыс. т в год, Магаданская область – 0,005 тыс. т в год. Низкие значения выброса метана обусловлены как небольшим поголовьем животных, так и коротким пастбищным сезоном в данных регионах.

Для всех остальных регионов РФ значения выбросов от навоза, оставленного на лугах, находятся в пределах от 0,01 тыс. т  $\text{CH}_4$  в год (Липецкая область) до 0,98 тыс. т (Республика Алтай).

На рис. 2.35 представлена схема распределения годовых выбросов метана от навоза, выпасаемых на лугах животных, за исключением выбросов от выпасаемых на пастбищах оленей, по субъектам Российской Федерации.

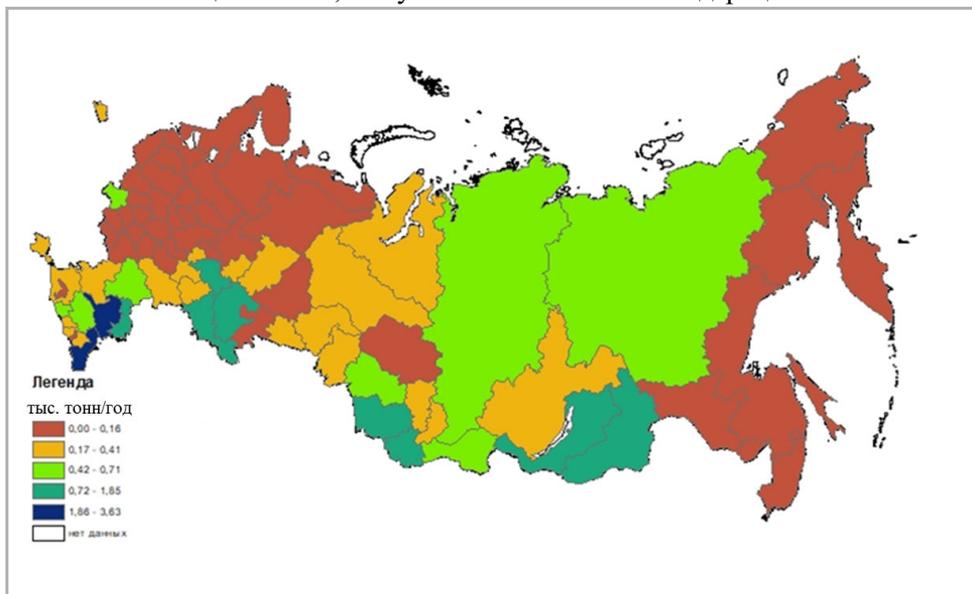


Рисунок 2.35. Схема распределения выбросов  $\text{CH}_4$  тыс. т от навоза выпасаемых животных на территории луговых экосистем по субъектам РФ

### 2.4.1.3. Закись азота (N<sub>2</sub>O)

Выбросы N<sub>2</sub>O происходят в ходе комбинированной нитрификации-денитрификации содержащегося в навозе азота. Выброс N<sub>2</sub>O из навоза во время его разложения на местах выпаса зависит от содержания азота и углерода в навозе, а также от погодно-климатических условий: температуры и влажности воздуха. Нитрификация (окисление аммонийного азота до нитрата азота) является необходимой предпосылкой для выброса N<sub>2</sub>O из хранящегося навоза. Нитрификация может происходить в навозе при условии достаточного поступления кислорода. При анаэробных условиях (повышенной влажности) нитрификация не происходит. Нитриты и нитраты трансформируются в N<sub>2</sub>O и молекулярный азот (N<sub>2</sub>) во время естественно происходящего процесса денитрификации, который является анаэробным процессом. Таким образом, выбросы N<sub>2</sub>O из оставленного на местах выпаса навоза происходят в присутствии либо нитритов, либо нитратов в анаэробной среде при предшествующих аэробных условиях, необходимых для образования этих окисленных форм азота. Кроме того, повышенные выбросы закиси азота могут наблюдаться в условиях, препятствующих восстановлению N<sub>2</sub>O до N<sub>2</sub>, таких как, низкий pH или ограниченная влажность.

В 2016 году суммарные выбросы N<sub>2</sub>O от оставленного навоза выпасаемых животных на лугах составили 20,13 тыс. т в год, что соответствует 6057,18 тыс. т CO<sub>2</sub>-экв. В табл. 2.47 представлены результаты расчетов выбросов N<sub>2</sub>O от навоза выпасаемых животных на территории луговых экосистем.

Таблица 2.47. Выбросы N<sub>2</sub>O от навоза выпасаемых животных в луговых экосистемах

Регион	Выбросы N <sub>2</sub> O, тыс. т год <sup>-1</sup>	Выбросы N <sub>2</sub> O, тыс. т CO <sub>2</sub> -экв. год <sup>-1</sup>
<b>Россия</b>	<b>20,13</b>	<b>6057,18</b>
<b>Центральный федеральный округ</b>	<b>1,20</b>	<b>356,56</b>
Белгородская область	0,03	8,73
Брянская область	0,43	129,20
Владимирская область	0,02	6,83
Воронежская область	0,06	19,20
Ивановская область	0,04	12,34
Калужская область	0,10	29,78
Костромская область	0,03	7,58
Курская область	0,06	18,27
Липецкая область	0,01	2,79
Московская область	0,03	9,05
г. Москва	0,02	7,12
Орловская область	0,06	17,87

Продолжение таблицы 2.47

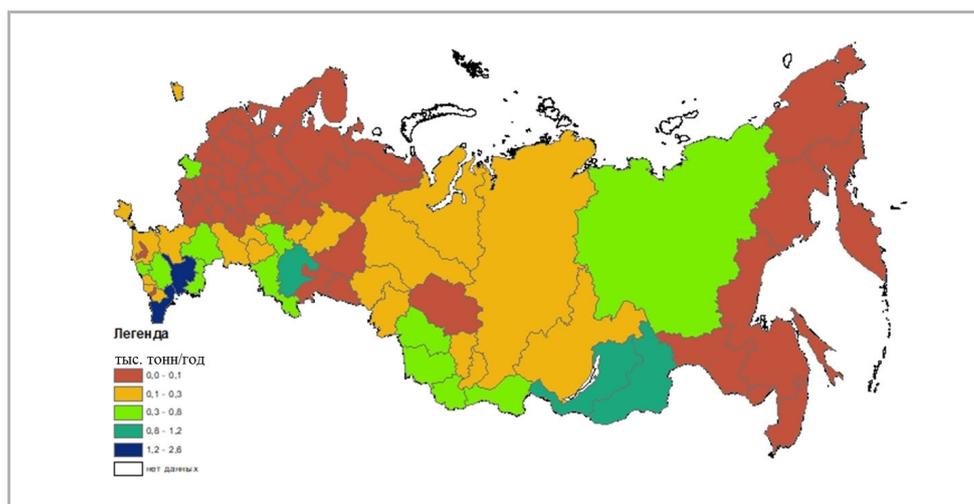
Регион	Выбросы N <sub>2</sub> O, тыс. т год <sup>-1</sup>	Выбросы N <sub>2</sub> O, тыс. т CO <sub>2</sub> -экв. год <sup>-1</sup>
Рязанская область	0,07	21,53
Смоленская область	0,08	24,50
Тамбовская область	0,02	6,53
Тверская область	0,07	19,88
Тульская область	0,03	10,23
Ярославская область	0,02	5,14
<b>Северо-Западный федеральный округ</b>	<b>0,28</b>	<b>82,88</b>
Республика Карелия	0,00	0,99
Республика Коми	0,02	5,98
Архангельская область	0,02	6,49
Вологодская область	0,05	14,28
Калининградская область	0,13	39,18
Ленинградская область	0,01	4,42
Мурманская область	0,00	0,07
Новгородская область	0,02	4,70
Псковская область	0,02	6,76
<b>Южный федеральный округ</b>	<b>3,69</b>	<b>1100,24</b>
Республика Адыгея	0,08	22,60
Республика Калмыкия	1,84	549,21
Республика Крым	0,13	38,96
Краснодарский край	0,17	50,47
Астраханская область	0,80	239,41
Волгоградская область	0,42	124,05
Ростовская область	0,25	75,01
г. Севастополь	0,00	0,53
<b>Северо-Кавказский федеральный округ</b>	<b>4,05</b>	<b>1208,16</b>
Республика Дагестан	2,57	766,01
Республика Ингушетия	0,05	15,20
Кабардино-Балкарская Республика	0,26	77,30
Карачаево-Черкесская Республика	0,39	117,46
Республика Северная Осетия-Алания	0,13	37,70
Чеченская Республика	0,14	40,48
Ставропольский край	0,52	154,00

Регион	Выбросы N <sub>2</sub> O, тыс. т год <sup>-1</sup>	Выбросы N <sub>2</sub> O, тыс. т CO <sub>2</sub> -экв. год <sup>-1</sup>
<b>Приволжский федеральный округ</b>	<b>3,99</b>	<b>1187,78</b>
Республика Башкортостан	1,12	332,38
Республика Марий Эл	0,05	15,77
Республика Мордовия	0,06	19,11
Республика Татарстан	0,64	191,85
Удмуртская Республика	0,15	43,41
Чувашская Республика	0,23	68,64
Пермский край	0,20	58,61
Кировская область	0,07	21,79
Нижегородская область	0,11	31,61
Оренбургская область	0,77	229,32
Пензенская область	0,08	23,96
Самарская область	0,13	37,38
Саратовская область	0,25	75,07
Ульяновская область	0,13	38,88
<b>Уральский федеральный округ</b>	<b>0,47</b>	<b>138,64</b>
Курганская область	0,11	33,79
Свердловская область	0,07	22,24
Тюменская область (без автономных округов)	0,17	49,93
Ханты-Мансийский автономный округ - Югра	0,01	3,25
Ямало-Ненецкий автономный округ	0,00	0,06
Челябинская область	0,10	29,36
<b>Сибирский федеральный округ</b>	<b>5,92</b>	<b>1820,70</b>
Республика Алтай	0,69	206,59
Республика Бурятия	1,02	303,73
Республика Тыва	0,46	136,02
Республика Хакасия	0,28	82,35
Алтайский край	0,67	200,42
Забайкальский край	1,28	381,15
Красноярский край	0,34	159,72
Иркутская область	0,23	69,85
Кемеровская область	0,20	60,06
Новосибирская область	0,46	138,36

Продолжение таблицы 2.47

Регион	Выбросы N <sub>2</sub> O, тыс. т год <sup>-1</sup>	Выбросы N <sub>2</sub> O, тыс. т CO <sub>2</sub> -эquiv. год <sup>-1</sup>
Омская область	0,20	60,04
Томская область	0,08	22,40
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	<b>0,54</b>	<b>162,22</b>
Республика Саха (Якутия)	0,39	115,91
Камчатский край	0,01	3,10
Приморский край	0,05	15,05
Хабаровский край	0,01	3,13
Амурская область	0,03	10,30
Магаданская область	0,00	0,81
Сахалинская область	0,03	10,34
Еврейская Автономная область	0,01	3,53
Чукотский автономный округ	0,00	0,00

По аналогии с выбросами метана наибольшие значения выбросов N<sub>2</sub>O относятся к Республике Калмыкия (1,84 тыс. т) и Республике Дагестан (2,57 тыс. т). Для Республики Башкортостан значения выбросов закиси азота от оставленного на лугах навоза составило – 1,12 тыс. т N<sub>2</sub>O в год, для Республики Бурятия и Забайкальского края – 1,02 тыс. т и 1,28 тыс. т соответственно. Для всех остальных регионов РФ значения выбросов находятся в пределах от 0,0002 тыс. т (Мурманская область) до 0,80 тыс. т N<sub>2</sub>O в год (Астраханская область). На рис. 2.36 представлена схема распределения значений выбросов N<sub>2</sub>O от навоза выпасаемых на лугах животных, за исключением выбросов от выпасаемых на пастбищах оленей, по субъектам РФ.



**Рисунок 2.36.** Схема распределения выбросов N<sub>2</sub>O от навоза выпасаемых животных на территории луговых экосистем по субъектам РФ, тыс. т в год

#### 2.4.1.4. Выбросы метана и закиси азота от травяных пожаров

Выбросы метана и закиси азота от сжигаемой биомассы на территории луговых экосистем значительно варьируют в зависимости от площади пройденной пожарами за рассматриваемый год. В табл. 2.48 приведены значения выбросов метана и закиси азота от травяных пожаров на территории луговых экосистем, а также площади, пройденные пожарами, по состоянию на 2016 г. по данным Информационной системы дистанционного мониторинга Рослесхоза.

Таблица 2.48. Площади пожаров и выбросы CH<sub>4</sub> и N<sub>2</sub>O на территории луговых экосистем

Субъект РФ	Площадь, пройденная пожаром, тыс. га	Выбросы парниковых газов, т год <sup>-1</sup>		Выбросы парниковых газов, т CO <sub>2</sub> -экв. год <sup>-1</sup>	
		CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Белгородская область	3,24	74,45	6,80	1861,28	2025,71
Брянская область	9,77	224,62	20,51	5615,45	6111,56
Владимирская область	1,73	39,86	3,64	996,48	1084,51
Воронежская область	12,60	289,75	26,46	7243,85	7883,83
Ивановская область	0,41	9,41	0,86	235,18	255,95
Калужская область	4,24	97,41	8,89	2435,13	2650,26
Костромская область	0,91	20,84	1,90	520,95	566,97
Курская область	13,30	305,90	27,93	7647,50	8323,14
Липецкая область	9,45	217,30	19,84	5432,60	5912,56
Московская область	4,26	97,98	8,95	2449,50	2665,91
Орловская область	16,06	369,29	33,72	9232,20	10047,84
Рязанская область	17,55	403,67	36,86	10091,83	10983,42
Смоленская область	8,28	190,33	17,38	4758,13	5178,50
Тамбовская область	37,80	869,45	79,38	21736,15	23656,49
Тверская область	1,17	26,98	2,46	674,48	734,06
Тульская область	15,85	364,62	33,29	9115,48	9920,81
Ярославская область	0,86	19,73	1,80	493,35	536,94
Архангельская область	0,46	10,54	0,96	263,54	286,83
Вологодская область	0,22	5,08	0,46	127,08	138,30
Калининградская область	5,48	125,95	11,50	3148,70	3426,88
Ленинградская область	1,07	24,56	2,24	614,10	668,35
Мурманская область	0,03	0,76	0,07	18,96	20,64

Продолжение таблицы 2.48

Субъект РФ	Площадь, пройденная пожаром, тыс. га	Выбросы парниковых газов, т год <sup>-1</sup>		Выбросы парниковых газов, т CO <sub>2</sub> -экв. год <sup>-1</sup>	
		CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Псковская область	1,98	45,63	4,17	1140,80	1241,59
Республика Карелия	0,06	1,40	0,13	35,08	38,17
Республика Коми	0,25	5,75	0,53	143,87	156,58
Астраханская область	34,31	789,13	72,05	19728,25	21471,20
Волгоградская область	59,26	1362,91	124,44	34072,78	37083,03
Ингушская Республика	0,21	4,90	0,45	122,48	133,30
Кабардино-Балкарская Республика	21,71	499,42	45,60	12485,55	13588,62
Карачаево-Черкесская Республика	7,47	171,72	15,68	4292,95	4672,22
Краснодарский край	62,01	1426,21	130,22	35655,18	130,22
Республика Адыгея	3,62	83,21	7,60	2080,35	2264,14
Республика Дагестан	16,65	382,90	34,96	9572,60	10418,32
Республика Калмыкия	23,81	547,72	50,01	13693,05	14902,80
Республика Северная Осетия	9,03	207,74	18,97	5193,40	5652,23
Ростовская область	73,20	1683,62	153,72	42090,58	45809,19
Ставропольский край	67,79	1559,24	142,37	38980,98	42424,86
Чеченская Республика	7,52	172,87	15,78	4321,70	4703,51
Кировская область	1,24	28,43	2,60	710,70	773,49
Нижегородская область	6,22	143,13	13,07	3578,23	3894,35
Оренбургская область	37,98	873,47	79,75	21836,78	23766,01
Пензенская область	24,97	574,24	52,43	14356,03	15624,35
Пермский край	0,76	17,43	1,59	435,85	474,36
Республика Башкортостан	9,81	225,61	20,60	5640,18	6138,47
Республика Марий-Эл	0,45	10,35	0,95	258,75	281,61
Республика Мордовия	11,95	274,78	25,09	6869,53	7476,43
Республика Татарстан	9,06	208,27	19,02	5206,63	5666,62
Самарская область	12,33	283,68	25,90	7092,05	7718,62
Саратовская область	44,18	1016,07	92,77	25401,78	27645,97
Удмуртская Республика	0,34	7,87	0,72	196,65	214,02
Ульяновская область	14,72	338,47	30,90	8461,70	9209,27
Чувашская Республика	2,31	53,04	4,84	1325,95	1443,09

Субъект РФ	Площадь, пройденная пожаром, тыс. га	Выбросы парниковых газов, т год <sup>-1</sup>		Выбросы парниковых газов, т СО <sub>2</sub> -экв. год <sup>-1</sup>	
		СН <sub>4</sub>	Н <sub>2</sub> О	СН <sub>4</sub>	Н <sub>2</sub> О
Свердловская область	1,37	31,51	2,88	787,75	857,35
Тюменская область	1,32	30,27	2,76	756,70	823,55
Ханты-Мансийский авто- номный округ	1,98	45,56	4,16	1139,08	1239,71
Челябинская область	32,53	748,19	68,31	18704,75	20357,27
Ямало-Ненецкий автоном- ный округ	1,72	39,29	3,59	982,36	1069,15
Алтайский край	22,84	525,41	47,97	13135,30	14295,78
Забайкальский край	7,12	163,83	14,96	4095,73	4457,57
Иркутская область	10,67	245,50	22,42	6137,55	6679,79
Кемеровская область	16,75	385,16	35,17	9628,95	10479,65
Красноярский край	91,71	1905,31	173,96	47632,64	51840,88
Новосибирская область	46,13	1061,06	96,88	26526,48	28870,03
Омская область	23,16	532,57	48,63	13314,13	14490,40
Республика Алтай	0,12	2,76	0,25	69,00	75,10
Республика Бурятия	4,54	104,51	9,54	2612,80	2843,64
Республика Тыва	0,55	12,56	1,15	313,95	341,69
Республика Хакасия	1,64	37,79	3,45	944,73	1028,19
Томская область	9,01	207,21	18,92	5180,18	5637,83
Амурская область	11,26	258,93	23,64	6473,35	7045,26
Еврейская автономная область	4,27	98,21	8,97	2455,25	2672,17
Камчатский край	4,92	113,07	10,32	2826,70	3076,43
Приморский край	2,79	64,26	5,87	1606,55	1748,49
Республика Саха (Якутия)	13,11	293,79	26,82	7344,66	7993,55
Сахалинская область	0,26	6,00	0,55	150,08	163,33
Хабаровский край	6,27	144,10	13,16	3602,38	3920,64
Чукотский автономный округ	0,55	12,54	1,15	313,59	341,29
Республика Крым	0,19	4,30	0,39	107,53	117,02

#### 2.4.2. Расчеты способности луговых экосистем к чистому поглощению парниковых газов

Для определения баланса парниковых газов в луговых экосистемах на тер-  
ритории РФ нами были учтены также выбросы от травяных пожаров и выбросы

от осушенных органометных почв. Таким образом, суммарный выброс парниковых газов от луговых экосистем РФ составил 61,8 млн т CO<sub>2</sub>-экв.

В табл. 2.49 представлены суммарные значения баланса парниковых газов луговых экосистем по субъектам РФ. Отрицательные значения обозначают, что луговые экосистемы являются чистыми поглотителями парниковых газов, а положительные величины – о преобладании выбросов парниковых газов над их поглощением. В регионах Южного и Северо-Кавказского федеральных округов луговые экосистемы являлись чистыми поглотителями парниковых газов. Луговые экосистемы во многих субъектах РФ выступали источниками выбросов парниковых газов.

Таблица 2.49. Суммарные выбросы парниковых газов в субъектах РФ, тыс. т CO<sub>2</sub> экв.

Федеральные округа и субъекты РФ	Поглощение (-) / Выбросы (+) парниковых газов, тыс. т CO <sub>2</sub> -экв. год <sup>-1</sup>
<b>Россия</b>	<b>61826,25*</b>
<b>Центральный федеральный округ</b>	<b>-1660,17</b>
Белгородская область	-1136,97
Брянская область	-292,67
Владимирская область	128,99
Воронежская область	-246,49
Ивановская область	125,45
Калужская область	255,59
Костромская область	237,36
Курская область	-26,82
Липецкая область	70,74
Московская область	42,59
г. Москва	-1998,60
Орловская область	-40,31
Рязанская область	255,69
Смоленская область	144,77
Тамбовская область	95,55
Тверская область	458,75
Тульская область	-20,73
Ярославская область	286,95
<b>Северо-Западный федеральный округ</b>	<b>2473,26</b>
Республика Карелия	99,28
Республика Коми	420,66
Архангельская область	1174,74
Вологодская область	493,30

Федеральные округа и субъекты РФ	Поглощение (-) / Выбросы (+) парниковых газов, тыс. т CO <sub>2</sub> -экв. год <sup>-1</sup>
Калининградская область	-357,83
Ленинградская область	-50,01
Мурманская область	6,48
Новгородская область	134,53
Псковская область	122,94
<b>Южный федеральный округ</b>	<b>-40297,62</b>
Республика Адыгея	-428,24
Республика Калмыкия	-13665,71
Республика Крым	-1304,69
Краснодарский край	-2464,92
Астраханская область	-10015,62
Волгоградская область	-3920,99
Ростовская область	-8498,03
г. Севастополь	0,59
<b>Северо-Кавказский федеральный округ</b>	<b>-37222,94</b>
Республика Дагестан	-22403,55
Республика Ингушетия	-2095,74
Кабардино-Балкарская Республика	-933,75
Карачаево-Черкесская Республика	-2098,64
Республика Северная Осетия-Алания	-676,05
Чеченская Республика	-3666,84
Ставропольский край	-5348,37
<b>Приволжский федеральный округ</b>	<b>13436,99</b>
Республика Башкортостан	5933,11
Республика Марий Эл	-70,42
Республика Мордовия	295,35
Республика Татарстан	763,41
Удмуртская Республика	756,38
Чувашская Республика	158,73
Пермский край	710,94
Кировская область	836,49
Нижегородская область	611,35
Оренбургская область	3221,97

Продолжение таблицы 2.49

Федеральные округа и субъекты РФ	Поглощение (-) / Выбросы (+) парниковых газов, тыс. т CO <sub>2</sub> -экв. год <sup>-1</sup>
Пензенская область	46,37
Самарская область	551,08
Саратовская область	-671,90
Ульяновская область	294,12
<b>Уральский федеральный округ</b>	<b>19654,42</b>
Курганская область	2264,19
Свердловская область	646,87
Тюменская область (без автономных округов)	3264,35
Ханты-Мансийский автономный округ - Югра	530,23
Ямало-Ненецкий автономный округ	776,64
Челябинская область	2760,14
<b>Сибирский федеральный округ</b>	<b>125895,71</b>
Республика Алтай	1547,91
Республика Бурятия	6441,10
Республика Тыва	2090,24
Республика Хакасия	2217,55
Алтайский край	6195,02
Забайкальский край	19807,81
Красноярский край	11977,12
Иркутская область	2609,25
Кемеровская область	250,08
Новосибирская область	10571,37
Омская область	4232,15
Томская область	1082,39
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	<b>11478,69</b>
Республика Саха (Якутия)	5479,80
Камчатский край	-535,23
Приморский край	538,74
Хабаровский край	431,73
Амурская область	2070,53
Магаданская область	130,48
Сахалинская область	-23,27
Еврейская Автономная область	325,23
Чукотский автономный округ	160,66

**Примечание:** \*суммарные выбросы для всей территории РФ даны с учетом выбросов от осушенных органических почв

На рис. 2.37 представлена схема распределения суммарных выбросов парниковых газов на луговых экосистемах по субъектам РФ.

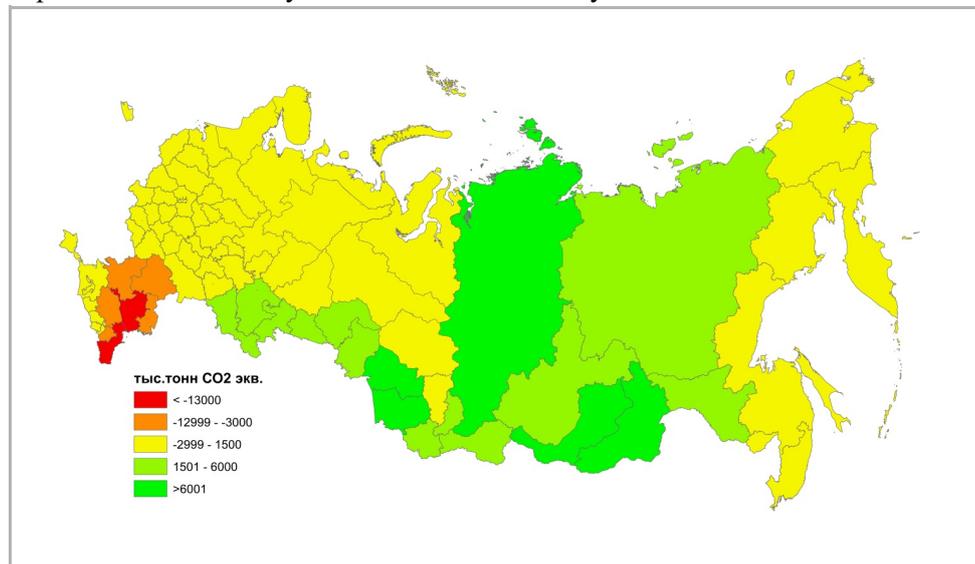


Рисунок 2.37. Схема суммарного распределения выбросов парниковых газов на луговых экосистемах по субъектам РФ, тыс. т CO<sub>2</sub> экв.

### 2.4.3. Научно обоснованные предложения по определению методов, по которым возможно оценить способность луговых экосистем, находящихся на территории Российской Федерации, к чистому поглощению парниковых газов

#### 2.4.3.1. Диоксид углерода (CO<sub>2</sub>)

Ежегодные изменения запасов углерода надземной и подземной биомассы, а также мертвого органического вещества (подстилки) принимаются равными нулю, в связи с тем, что в сформированных луговых сообществах среднегодовая продуктивность биомассы меняется незначительно.

Расчет ежегодного изменения запасов почвенного углерода на луговых экосистемах проводился на основе балансовой оценки соединений углерода, поступающих в почвы и выносимых из них, согласно уравнению (2.10) [171]:

$$\Delta C_{\text{минеральные}} = (C_{\text{plant}} + C_{\text{manure}}) - (C_{\text{resp}} + C_{\text{erosion}} + C_{\text{hey}} + C_{\text{feed}} + C_{\text{green}}) \quad (2.10)$$

где:  $\Delta C_{\text{минеральные}}$  – изменения запасов углерода в пуле почвенного органического углерода в минеральных почвах, т С год<sup>-1</sup>;  $C_{\text{plant}}$  – поглощение углерода при фотосинтезе, т С год<sup>-1</sup>;  $C_{\text{manure}}$  – поступление углерода в почвы с навозом пастбищных животных, т С год<sup>-1</sup>;  $C_{\text{resp}}$  – потери почвенного С с дыханием почв, т С год<sup>-1</sup>;  $C_{\text{erosion}}$  – механические потери почвенного С в результате эрозии и дефляции, т С год<sup>-1</sup>;  $C_{\text{hey}}$  – вынос С с биомассой при сенокосении, т С год<sup>-1</sup>;  $C_{\text{feed}}$  – вынос С с био-

массой при потреблении пастбищных кормов животными на пастбищах,  $t C год^{-1}$ ;  $C_{green}$  – вынос  $C$  с биомассой при заготовке зеленых кормов,  $t C год^{-1}$ .

В качестве статей поступления (прихода) углерода в почву учитывались процессы фотосинтеза, произрастающих на землях луговых экосистем растений и оставленный навоз сельскохозяйственных животных.

Оценка поступления фотосинтетически связанного за год углерода и нетто-продуктивности луговых экосистем рассчитывались с использованием уравнения (2.11):

$$C_{plant} = A * C_{акк} \quad (2.11)$$

где:  $C_{plant}$  – поглощение углерода при фотосинтезе,  $t C год^{-1}$ ;  $A$  – площадь луговых экосистем, га;  $C_{акк}$  – коэффициент поглощения углерода при фотосинтезе,  $t C га^{-1} год^{-1}$ .

Поступление углерода в почвы с навозом пастбищных животных учитывается только твердые экскременты (кал). Моча животных содержит в среднем около 2,5% органических соединений (мочевина и мочевая кислота), в составе которых, в свою очередь, находится от 20 до 35% углерода [172]. Продуктами распада этих соединений в основном являются газообразные соединения (аммиак, вода и углекислый газ). При оценке поступления углерода в почву было принято, что весь углерод органических соединений мочи животных теряется в виде эмиссии  $CO_2$  в атмосферу и органический углерод в почву не попадает.

Оценка поступления углерода с навозом в почвы луговых экосистем выполнялась по данным справочной литературы по суточным нормам выхода навоза для разных видов животных, а также величинам влажности их экскрементов [173, 174]. Для некоторых животных, по которым необходимые данные не обнаружены (козы, верблюды, ослы и северные олени), среднесуточный выход навоза рассчитывался с учетом соотношения коэффициентов выбросов метана от навоза этих видов и биологически близких видов животных, для которых выход навоза известен. Так, среднесуточный выход твердых экскрементов ослов рассчитан равным 12,3 кг сырого вещества на голову при коэффициентах выброса  $CH_4$  от навоза этих животных и лошадей 0,76 и 1,56 кг  $CH_4/гол$  в год соответственно, и среднесуточном выходе навоза от лошадей около 22,5 кг сырого вещества [174].

Среднее содержание углерода в навозе животных определялось по данным [175, 176]. В составе свежего навоза крупного рогатого скота находится около 40,2% углерода органических соединений, в навозе лошадей – 46,0% и овец – 57,6% [174, 175]. Для навоза коз содержание углерода принято равным его доле в навозе овец, а для ослов – содержанию  $C$  в навозе лошадей. Для остальных пастбищных животных была использована величина, соответствующая среднему содержанию углерода в навозе крупного рогатого скота.

Расчет количества поступающего углерода с навозом коров и другого поголовья крупного рогатого скота вместо стабильных норм выхода навоза в

расчете на 1 голову и среднем содержании в нем углерода рассчитано с учетом валовой энергии, а также степени перевариваемости кормов. Данные величины рассчитывали по состоянию на 2016 год ежегодно по регионам России для определения коэффициентов экскреции азота. Используя эти коэффициенты и среднее соотношение углерода и азота в навозе крупного рогатого скота – 10:1 [175] были определены ежегодные величины экскреции углерода на землях луговых экосистем.

Для определения количества углерода, поступающего из твердых экскрементов в почвы луговых экосистем, необходимо вычесть из общей величины экскретируемого углерода его потери с газообразными эмиссиями метана и углекислого газа, а также с поверхностным смывом в водоемы. Потери углерода при эрозии и дефляции почв определяли по данным смыва органического вещества с территории водосборов, вымывание углерода из навоза, оставленного на землях луговых экосистем, уже учтено в нашем балансе. Коэффициенты выброса углекислого газа могут быть определены на основе коэффициентов выброса  $\text{CH}_4$  с учетом соотношения среднего выхода этих газов из навоза животных ( $\text{CH}_4$  55-65%,  $\text{CO}_2$  35-45%) [177].

Поступление углерода в почвы луговых экосистем с навозом пастбищных животных рассчитывали по уравнению (2.12).

$$C_{manure} = \sum_i [LV_i * (EF_{excretion\_C\_i} - EF_{CH4\_i} * 12/16 - EF_{CO2\_i} * 12/44) * Time_i / 100] \quad (2.12)$$

где:  $C_{manure}$  – поступление углерода в почвы с навозом пастбищных животных, т С год<sup>-1</sup>;  $LV_i$  – поголовье пастбищных животных категории  $i$ , голов год<sup>-1</sup>;  $EF_{excretion\_C\_i}$  – коэффициент экскреции углерода пастбищными животными категории  $i$ , кг С голова<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup>;  $EF_{CH4\_i}$  – коэффициент эмиссии  $\text{CH}_4$  от навоза пастбищных животных категории  $i$ , кг  $\text{CH}_4$  голова<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup>;  $Time_i$  – доля годового времени, проводимого животными категории  $i$  на пастбищах и выгонах, %;  $EF_{CO2\_i}$  – коэффициент эмиссии  $\text{CO}_2$  от навоза пастбищных животных категории  $i$ , кг  $\text{CO}_2$  голова<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup>; 12/16 и 12/44 – коэффициенты пересчета из единиц  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$  в углерод, не имеет размерности.

Оценку выноса углерода с луговых экосистем проводили с использованием следующих составляющих: механические потери углерода почв с эрозией и дефляцией, вынос углерода с биомассой наземной части растений при покосе и потреблении пастбищных кормов животными, заготовка зеленых кормов, потери углерода при дыхании почв. Расчет оценки средних потерь органического углерода в результате эрозии и дефляции на землях луговых экосистем производился по уравнению (2.13).

$$C_{erosion} = A * EF_{erosion} \quad (2.13)$$

где:  $C_{erosion}$  – механические потери почвенного С в результате эрозии и дефляции, т С год<sup>-1</sup>;  $A$  – площадь луговых экосистем, га;  $EF_{erosion}$  – коэффициент потерь углерода при эрозии и дефляции почв, т С га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup>.

Вынос углерода растительной биомассы с территории луговых экосистем рассчитывался по уравнению (2.14):

$$C_{hey} = Y_{hey} * 45/100 \quad (2.14)$$

где:  $C_{hey}$  – вынос С с биомассой при сенокосении, т С год<sup>-1</sup>;  $Y_{hey}$  – валовой сбор сена, т сух. в-ва год<sup>-1</sup>.

Для расчета выноса углерода с биомассой надземной части растений при покосе и потреблении пастбищных кормов животными использовалось уравнение (2.15). Ежегодные данные по общему потреблению кормовых единиц пастбищных кормов сельскохозяйственными животными в хозяйствах всех категорий были взяты из официальной статистики Росстата. Перевод кормовых единиц в биомассу луговой растительности осуществлялся с помощью коэффициента среднего содержания кормовых единиц в 1 кг сухого вещества пастбищных кормов. Учитывая физиологические особенности переваривания корма у жвачных и нежвачных животных, коэффициенты содержания кормовых единиц в килограмме сухого вещества трав у разных животных могут отличаться. Анализ справочной литературы [178] свидетельствует, что для крупного рогатого скота среднее содержание кормовых единиц в килограмме сухого вещества по 96 видам пастбищных кормов составляет около 0,84. Таким образом, в наших расчетах был использован средний коэффициент 0,85 для перевода данных из кормовых единиц в килограммы сухого вещества пастбищных трав. Содержание углерода в биомассе растений принято равным 45%.

$$C_{feed} = (PASTURE_{feed} / 0,85) * 45/100 \quad (2.15)$$

где:  $C_{feed}$  – вынос С с биомассой при потреблении пастбищных кормов животными на пастбищах, т С год<sup>-1</sup>;  $PASTURE_{feed}$  – общее потребление пастбищных кормов всеми категориями пастбищных животных, т кормовых единиц год<sup>-1</sup>.

Заготовка зеленого корма, силоса и сена на территории луговых экосистем приводит к выносу биомассы растений и соответственной потери органического углерода. Данные по валовому сбору зеленого корма, силоса и сена на луговых землях получены из отчетных материалов Росстата [179]. Используя коэффициент содержания С (45%) эти величины были переведены в количество углерода биомассы, изъятого при заготовке кормов.

Заготовка зеленых кормов, силоса и сена на территории луговых экосистем проводилась по уравнению (2.16):

$$C_{green} = Y_{green} * 45/100 \quad (2.16)$$

где:  $C_{green}$  – вынос С с биомассой при заготовке зеленых кормов, т С год<sup>-1</sup>;  $Y_{green}$  – валовой сбор зеленого корма, силоса и сена на территории луговых экосистемах, т сух. в-ва год<sup>-1</sup>.

Дыхание почв складывается из следующих потоков: дыхание корней и дыхание почвенной микрофлоры. Условно было принято, что вклад корней в

общее почвенное дыхание в луговых биоценозах равен 45% [180]. Продолжительность вегетационного периода (при среднемесячной температуре более +10°C) была определена по справочным данным для каждой области (региона) России. Данные по среднемесячным и среднегодовым температурам (°C) для всех субъектов РФ были получены на базе соответствующей метеорологической информации отдельных гидрометеостанций [56, 181] и усреднены.

Для корректной оценки годового потока CO<sub>2</sub> и соответствующих потерь углерода на территории земель луговых экосистем необходимо также рассчитать величину дыхания почв вне вегетационного периода. Для расчета годового дыхания почв использовался показатель вклада летней эмиссии, как наиболее стабильная величина для моделирования годовых потоков углекислого газа из почв естественных экосистем. Взаимосвязь между величиной вклада летнего потока CO<sub>2</sub> в суммарный годовой поток дыхания почв и среднегодовой температурой воздуха была определена в работе [181] см. уравнение (17):

$$C_s = -2,7 \cdot T_v + 59,7 \quad (17)$$

где:  $C_s$  – вклад летнего дыхания почв в годовой поток, %;  $T_v$  – среднегодовая температура воздуха, °C.

Потери углерода при дыхании почв рассчитывались по уравнению (18):

$$C_{resp} = \sum_i (Area_i \cdot AC_{CO_2} \cdot Veg_i \cdot 0,55 \cdot 100 / C_{s_i}) \cdot 12/44 \quad (18)$$

где:  $C_{resp}$  – потери почвенного C с дыханием почв, т C год<sup>-1</sup>;  $Area_i$  – площадь луговых экосистем субъекта РФ  $i$ , га;  $AC_{CO_2}$  – средний коэффициент по дыханию почв луговых экосистем, мгCO<sub>2</sub> м<sup>-2</sup> час<sup>-1</sup>;  $Veg_i$  – продолжительность вегетационного периода в данном субъекте  $i$ , часы; 0,55 – коэффициент для исключения дыхания корней (45%), не имеет размерности;  $C_{s_i}$  – вклад летнего дыхания почв в годовой поток, %;  $T_v$  – среднегодовая температура воздуха, °C.

12/44 – коэффициенты для пересчета из единиц CO<sub>2</sub> в углерод.

#### 2.4.3.2. Метан (CH<sub>4</sub>)

Основным источником выбросов метана в луговых экосистемах является навоз выпасаемых животных. Для оценки выбросов парниковых газов от навоза, оставленного животными на территории луговых экосистем целесообразно использовать методические рекомендации Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [182] и уточненные национальные коэффициенты [183]. Данные методические подходы успешно используются в течение 10 лет при подготовке Национального кадастра выбросов парниковых газов [96] и прошли неоднократное рецензирование экспертами МГЭИК.

Методика расчета выбросов парниковых газов построена на использовании исходных статистических данных и применении переводных коэффициентов и коэффициентов выброса.

Логически схема расчета основана на оценках потребленной валовой энергии корма в расчете на одну голову животного каждого вида. С помощью серии пересчетных коэффициентов оценивается выход навоза в сутки, позволяющий рассчитать количество навоза, оставленного на местах выпаса каждым животным в год (в зависимости от продолжительности пастбищного периода по субъектам РФ), и, наконец, оценить соответствующие выбросы парниковых газов.

Исходные данные о поголовье скота с разбивкой по субъектам РФ за 2016 год взяты из официальных данных статистики, приведенных на сайте Росстата [179]. Учитывая, что статистические данные Росстата приведены по состоянию на определенную дату (1 января), необходимо пересчитать поголовье на среднегодовую численность. Для этого для поголовья крупного рогатого скота (КРС), коров, овец и коз получены поправочные коэффициенты путем расчета среднегодовых значений изменения поголовья за каждый месяц по отношению к поголовью на 1 января (в долях): для крупного рогатого скота 1,034, для коров – 1,006, для овец и коз – 1,072. Полученные значения использованы для перевода данных о поголовье указанных видов животных по состоянию на 1 января в среднегодовое поголовье в соответствии с требованиями руководств МГЭИК.

Учитывая, что у остальных видов выпасаемых животных не происходит забивки молодняка до 1 года (лошади, ослы, мулы, верблюды и др.), можно принять, что поголовье по состоянию на 1 января соответствует среднегодовому поголовью.

Среди крупного рогатого скота отдельно рассматривали коров и другое поголовье КРС.

В отличие от методических рекомендаций МГЭИК, согласно национальной методике для оценки валовой энергии потребленного корма коровами и другим поголовьем КРС используется статистическая информация по потреблению разных видов кормов. Статистическая информация на национальном уровне включает количество потребленных кормовых единиц в целом за год каждым видом животных в хозяйствах всех категорий и подразделяется на концентрированные корма, из них комбикорма, грубые корма, сочные корма. Потребление пастбищных кормов по видам животных определено как разница между данными по общему потреблению всех видов кормов определенными животными за год и суммой потребления известных видов кормов (концентрированные корма, комбикорма, грубые корма, сочные корма).

В разрезе субъектов РФ абсолютные данные по потреблению разных видов кормов (концентрированные корма, комбикорма, грубые корма, сочные корма) по видам животных отсутствуют. Поэтому для региональных оценок использованы относительные данные по структуре расхода разных видов кормов по видам животных в сельскохозяйственных организациях, представляющих долю каждого вида корма в общем потреблении животными (по категориям) энергии за год в каждом регионе. На основе полученного соотношения видов кормов в годовом рационе скота в регионе и статистических данных по общему потреблению всех видов кормов этими животными в регионе

оценивали абсолютные количества потребленных кормов по их видам в каждом регионе. Потребления пастбищных кормов отдельными видами животных по регионам были распределены согласно структуре расхода всех видов кормов по видам скота в хозяйствах всех категорий от общей рассчитанной величины потребления пастбищных кормов данным видом животных в стране.

На основе полученного соотношения видов кормов в годовом рационе скота и статистических данных по суммарному расходу кормов на 1 голову коров и другого поголовья КРС рассчитывали потребление кормов по их видам в расчете на 1 голову и валовую энергию по уравнению (2.19) в каждом регионе. Перевод потребления энергии из кормовых единиц в МДж осуществлялся на основании анализа данных литературы и разработки среднего содержания кормовых единиц в килограмме сухого вещества для разных видов кормов. Известно [182], что 1 кг сухого вещества кормов содержит около 18,45 МДж валовой энергии. Таким образом, используя полученные пересчетные коэффициенты, были рассчитаны значения валовой энергии для коров, другого поголовья КРС.

$$GE = \sum_i (R \cdot (fodi/totalfod) \cdot FUi \cdot 18,45), \quad (2.19)$$

где:  $GE$  – валовая энергия потребляемого корма в расчете на 1 голову в год, МДж;  $R$  – суммарный расход всех видов кормов в расчете на 1 голову скота данной категории в год, кормовые единицы;  $fodi$  – расход кормов определенного вида ( $i$ ) на все поголовье скота данной категории за год, кормовых единиц;  $totalfod$  – общее потребление кормов всех видов поголовьем скота данной категории за год, кормовых единиц;  $FUi$  – содержание кормовых единиц в 1 кг сухого вещества корма определенного вида ( $i$ ), доля; 18,45 – коэффициент преобразования сухого вещества кормов в МДж [182].

Содержание кормовых единиц в 1 кг сухого вещества корма каждого вида ( $FUi$ ) рассчитано отдельно для крупного рогатого скота:  $1,13 \pm 0,27$  для концентратов,  $0,98 \pm 0,35$  для комбикормов,  $0,55 \pm 0,14$  для грубых кормов,  $0,81 \pm 0,18$  для сочных кормов и  $0,84 \pm 0,13$  для других видов кормов.

Коэффициенты выброса метана от навоза коров и другого поголовья КРС рассчитаны по уравнению (2.20) [182] с учетом количества летучих твердых веществ, содержащихся в навозе ( $VS$ ) и максимальным количеством метана, которое может быть выработано из данного навоза ( $B_0$ ).

$$CH_{4Навоз} = \sum_{(T)} \frac{(EF_{(T)} \cdot N_{(T)})}{10^6}, \quad (2.20)$$

где:  $CH_{4Навоз}$  – выбросы  $CH_4$  от навоза пастбищных животных, тыс. т  $CH_4$  год<sup>-1</sup>,  $EF_{(T)}$  – коэффициент выбросов для каждой категории/подкатегории скота, кг  $CH_4$ /голова\*год;  $N_{(T)}$  – количество голов категории/подкатегории скота  $T$  в регионе;  $T$  – вид/категория/подкатегория пастбищных животных.

Выделение летучих веществ ( $VS$ ) оценивалось по уравнению (2.21) [182], содержание золы в навозе принято равным 8%.

$$VS = (GE \cdot (1-DE\% / 100) + UE \cdot GE) \cdot [(1-ASH) / 18.45], \quad (2.21)$$

где:  $VS$  – выделение сухого вещества летучих веществ, кг/сут.;  $GE$  – валовая энергия, МДж/сут.;  $DE$  – коэффициент перевариваемости корма, %;  $(UE \cdot GE)$  – энергия мочи, фракция валовой энергии (0,04);  $ASH$  – содержание золы в сухом веществе навоза.

Коэффициенты перевариваемости ( $DE\%$ ) у КРС разных видов кормов оценивались по справочным данным [178]. В табл. 2.50 приведены значения валовой энергии и коэффициентов перевариваемости кормов для коров и другого поголовья КРС по субъектам РФ.

**Таблица 2.50.** Валовая энергия и коэффициенты перевариваемости кормов для коров и другого поголовья КРС по субъектам РФ за 2016 год

Регион	Коровы		Другое поголовье КРС	
	Валовая энергия, МДж/гол. в год	Коэффициент перевариваемости кормов, $DE\%$	Валовая энергия, МДж/гол. в год	Коэффициент перевариваемости кормов, $DE\%$
Белгородская область	135268,63	71,47	52044,71	73,42
Брянская область	120066,83	68,23	135675,00	67,96
Владимирская область	146195,61	71,47	53973,83	73,40
Воронежская область	119662,81	71,20	47675,63	73,44
Ивановская область	129802,40	71,35	50838,73	72,58
Калужская область	114719,74	71,29	60214,58	71,57
Костромская область	99797,96	70,38	42809,93	72,08
Курская область	115689,36	69,67	47954,55	71,72
Липецкая область	115758,76	70,04	47468,56	71,75
Московская область	173090,20	73,49	58847,73	74,70
Орловская область	115921,17	69,48	51926,56	74,67
Рязанская область	137610,35	71,35	51402,17	71,62
Смоленская область	118316,25	68,11	51922,19	69,78
Тамбовская область	108441,01	66,95	75052,66	68,09
Тверская область	124190,21	69,66	46271,88	70,72
Тульская область	120895,43	71,96	38817,57	72,89
Ярославская обл.	145197,22	73,31	44808,10	72,68
Республика Карелия	121916,54	75,80	39476,88	73,54
Республика Коми	114465,17	70,35	58234,16	71,55
Архангельская область	113211,86	70,64	38477,94	71,08
Вологодская область	122562,98	74,28	44753,74	72,46

Регион	Коровы		Другое поголовье КРС	
	Валовая энергия, МДж/гол. в год	Коэффициент перевариваемости кормов, DE%	Валовая энергия, МДж/гол. в год	Коэффициент перевариваемости кормов, DE%
Ленинградская область	163439,86	74,24	58820,85	74,48
Мурманская область	107779,19	76,85	35935,08	79,09
Новгородская область	135893,58	69,74	56157,90	71,03
Псковская область	130702,88	71,19	53356,96	71,09
Республика Адыгея	84148,53	68,02	85026,61	69,61
Республика Дагестан	52374,83	67,12	55505,82	66,79
Ингушская Республика	105607,43	73,06	61654,75	73,24
Кабардино-Балкарская Республика	110812,47	69,64	53948,96	67,90
Республика Калмыкия	26556,35	66,12	30918,71	67,47
Карачаево-Черкесская Республика	111931,17	65,51	37386,88	68,21
Республика Северная Осетия	67611,24	71,56	41209,13	67,84
Чеченская Республика	86012,09	66,49	63522,49	70,76
Краснодарский край	138520,88	73,05	48573,10	74,93
Ставропольский край	124670,58	67,79	45273,85	68,67
Астраханская область	91048,84	65,60	66777,22	65,73
Волгоградская область	79232,12	65,79	43290,83	67,31
Ростовская область	114673,56	66,92	40753,65	68,01
Республика Башкортостан	84003,01	67,62	40187,77	69,10
Республика Марий-Эл.	128415,13	69,16	59443,52	71,99
Республика Мордовия.	133890,70	70,25	41374,92	71,78
Республика Татарстан	138364,00	68,89	53260,30	70,90
Удмуртская Республика	133471,45	70,43	43378,87	70,48
Чувашская Республика	114244,04	67,71	45842,53	69,84
Пермский край	130051,62	69,75	46621,73	70,88
Кировская область	151682,50	70,97	50691,11	71,32
Нижегородская область	146969,82	71,37	47354,68	72,83
Оренбургская область	65708,22	67,70	37209,99	69,09
Пензенская область	113559,38	68,46	53229,20	69,62
Самарская область	124897,73	68,90	64224,38	70,92
Саратовская область	73038,41	69,26	38786,31	70,04

Продолжение таблицы 2.50

Регион	Коровы		Другое поголовье КРС	
	Валовая энергия, МДж/гол. в год	Коэффициент перевариваемости кормов, DE%	Валовая энергия, МДж/гол. в год	Коэффициент перевариваемости кормов, DE%
Курганская область	120188,41	67,51	69438,36	67,56
Свердловская область	141138,67	71,29	48653,62	72,15
Тюменская область	111135,39	70,22	52873,03	69,91
Челябинская область	91157,74	69,05	42247,40	72,01
Республика Алтай	59134,56	66,70	42313,52	66,40
Республика Бурятия	34586,19	66,40	28296,61	66,12
Республика Тыва	74706,02	65,73	31395,52	66,19
Республика Хакасия	65956,68	67,92	35858,87	68,56
Алтайский край	80841,74	70,61	40371,20	70,04
Красноярский край	104150,94	70,33	51695,35	70,08
Иркутская область	70785,60	69,08	39413,66	67,92
Кемеровская область	116945,82	68,61	56611,38	68,44
Новосибирская область	113028,14	68,78	50603,88	68,77
Омская область	132157,58	67,92	52468,38	69,44
Томская область	155444,27	67,04	60722,38	68,50
Читинская область	84231,43	65,77	46680,98	66,11
Республика Саха(Якутия)	90772,78	65,18	60724,91	66,40
Камчатский край	131718,36	67,87	75710,54	69,51
Приморский край	118636,99	67,58	48360,18	69,43
Хабаровский край	100216,24	67,80	40670,95	69,46
Амурская область	53135,13	69,46	69420,49	72,39
Магаданская область	107096,83	64,15	49175,85	65,85
Сахалинская область	120869,30	70,96	56888,74	69,13
Еврейская автономная обл.	97895,90	68,32	52577,48	67,92
Чукотский автономный округ	91555,24	65,54	23703,47	67,80
Республика Крым	123035,16	68,07	45790,26	70,62
г. Севастополь	105192,59	71,40	43858,33	71,93
Средневзвешенное	101109,41	68,78	49874,34	69,86

Средневзвешенные значения коэффициентов перевариваемости кормов определяли по соотношению разных видов кормов в годовом рационе коров и другого поголовья КРС.

Максимальная метанопродуцирующая способность ( $B_0$ ) навоза зависит от вида животного и рациона. Использованные значения  $B_0$  представлены в табл. 2.51.

**Таблица 2.51.** Значения метанопродуцирующей способности навоза разных категорий скота ( $\text{м}^3 \text{CH}_4 / \text{кг VS}$ )

Категории животных и птицы	Значения $B_0$
Коровы	0,24
Остальное поголовье КРС	0,17
Овцы	0,19
Козы	0,18
Верблюды	0,26
Лошади	0,30
Мулы и ослы	0,33

После определения величин суточного выделения летучих твердых веществ ( $VS$ ) для коров и другого поголовья КРС рассчитывали коэффициент выбросов по уравнению (2.22) [182]:

$$EF_{(T)} = (VS_{(T)} \cdot 365) \cdot \left[ B_{o(T)} \cdot 0,67 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot \sum_{S,k} \frac{MCF_{S,k}}{100} \cdot MS_{(T,S,k)} \right] \quad (2.22)$$

где:  $EF_{(T)}$  – коэффициент годовых выбросов  $\text{CH}_4$  для заданной категории/подкатегории  $T$  пастбищных животных,  $\text{кг CH}_4 / \text{животное} \cdot \text{год}$ ;  $VS_{(T)}$  – суточное выделение летучего твердого вещества для заданной категории /подкатегории  $T$  скота и птицы,  $\text{кг сух. в-ва} / \text{животное} \cdot \text{год}$ ; 365 – основа для расчета годового производства  $VS$ ,  $\text{сутки/год}$ ;  $B_{o(T)}$  – максимальная метанопродуцирующая способность для навоза скота категории/ подкатегории  $T$ ,  $\text{м}^3 \text{CH}_4 / \text{кг выделенных VS}$ ; 0,67 – коэффициент преобразования  $\text{м}^3 \text{CH}_4$  в килограммы  $\text{CH}_4$ ;  $MCF_{(S,k)}$  – коэффициенты преобразования метана для навоза, оставленного на пастбище в климатическом регионе  $k$ , %;  $MS_{(T,S,k)}$  – доля навоза от категории/подкатегории  $T$  скота, которая остается на пастбищах в климатическом регионе  $k$ , не имеет размерности.

Значения  $B_0$  максимальной метанопродуцирующей способности для навоза рассматриваемых категорий скота принимали равным: коровы – 0,24, другое поголовье КРС – 0,17 [182].

Коэффициенты преобразования метана для навоза, оставленного выпасаемыми животными ( $MCF$ ), соответствуют значениям, рекомендованным в методическом руководстве МГЭИК [182] – использовано значение  $MCF$  равное 1,0%.

Методология расчета выбросов метана от навоза остальных видов, выпасаемых животных производится по уравнению (2.21) с использованием коэффициентов выбросов для различных среднегодовых температур и для каждой категории поголовья, представленных в табл. 2.52 [182] учетом средней продолжительности пастбищного периода (18,4% годового времени) [184].

Коэффициент выброса метана от навоза северных оленей (0,369 кг CH<sub>4</sub>/гол • год) взят из первоисточника [185].

**Таблица 2.52.** Коэффициенты выбросов метана от навоза овец, коз, верблюдов, лошадей, ослов для различных температурных условий (кг CH<sub>4</sub> / голова \* год)

Виды животных	Коэффициенты выбросов CH <sub>4</sub> для различных среднегодовых температур (°C) и климатических условий	
	Холодный (<15°C)	Умеренный (15-25°C)
Овцы	0,19	0,28
Козы	0,13	0,20
Верблюды	1,58	2,37
Лошади	1,56	2,34
Мулы и ослы	0,76	1,10

#### 2.4.3.3. Закись азота (N<sub>2</sub>O)

Основным источником закиси азота в луговых экосистемах является навоз выпасаемых животных. Для оценки выбросов N<sub>2</sub>O от навоза выпасаемых животных на территории луговых экосистем было определено годовое поглощение азота животными с кормом (*Nintake*, кг), а также фракция удержания азота в теле животного (*Nretention*) согласно уравнению (2.23).

$$Nintake = GE / 18.45 \cdot (CP\% / 100) / 6.25 \quad (2.23)$$

где: *Nintake* – суточное потребление азота в расчете на голову животного заданной категории/подкатегории T, кг N / животное x сутки; *GE* – валовая энергия потребляемая животным, основанная на данных расхода кормов разных видов на одну голову категории/подкатегории T, МДж голова \* сутки; 18,45 – коэффициент преобразования *GE* рациона в расчет на кг сухого вещества, МДж/кг; *CP%* – процентная доля сырого белка в рационе, %; 6,25 – коэффициент преобразования из кг белка рациона в кг азота рациона, кг кормового белка / кг N.

Средние значения *CP* для разных видов кормов КРС и свиней были определены по справочным данным [178]. Значение содержания сырого протеина в сухом веществе пастбищных кормов (*CP%*) в 2016 году составило для коров и КРС – 16,12%. Значения валовой энергии (*GE*) потребляемой живот-

ными приведены в табл. 2.51. Коэффициенты удержания азота в теле животных приведены в табл. 2.53 [182].

**Таблица 2.53.** Коэффициенты удержанной доли азота, поступающего с кормами, по разным видам/категориям пастбищных животных (доля потребляемого азота, которая удерживается животными)

Категория скота	Нудерж.(Т) (кг удержанного N / голова • год ) / (кг потребляемого N / голова • год)
Молочные коровы	0,20
Прочий крупный рогатый скот	0,07
Овцы	0,10
Козы	0,10
Верблюды	0,07
Лошади	0,07
Северные олени	0,07

Расчет экскретируемого азота ( $N_{ex}$ ) для этих животных выполнялся по уравнению (2.24):

$$N_{ex} = N_{погл(Т)} \cdot (1 - N_{удерж(Т)}) \quad (2.24)$$

где:  $N_{ex(Т)}$  – годовые темпы выделения азота, кг N / голова x год;  
 $N_{погл(Т)}$  – годовое поглощение азота в расчете на голову животного категории Т, кг N / голова\*год;  $N_{удерж(Т)}$  – доля годового поглощения азота, которая удерживается животным категории Т, без размерности.

Коэффициенты экскреции азота для сельскохозяйственных животных за 2016 год представлены в табл. 2.54.

После расчета экскретируемого азота было рассчитано значение выбросов  $N_2O$  от навоза выпасаемых животных на территории луговых и тундровых экосистем по уравнению (2.25) [182]. Данные о поголовье животных используются по аналогии с определением выбросов метана от навоза, выпасаемых животных на территории луговых и тундровых экосистем.

$$F_{PRP} = \sum_T [(N_{(Т)} \cdot N_{ex(Т)}) \cdot MS_{(Т,PRP)}], \quad (2.25)$$

где:  $F_{PRP}$  – годовое количество азота мочи и навоза, оставленное на пастбище животными, кг N /год;  $N_{(Т)}$  – количество голов скота вида/категории/подкатегории Т в регионе;  $N_{ex(Т)}$  – среднегодовое выделение азота на одну голову скота вида/категории/подкатегории Т в регионе, кг N/ голова x год, (табл. 2.55);  $MS_{(Т,PRP)}$  – часть суммарного количества азота, выделенного каждым видом / каждой категорией или подкатегорией Т скота, которая оставлена на пастбище.

**Таблица 2.54.** Эскреция азота сельскохозяйственными животными в 2016 году, кг N/гол. • год

Категории сельскохозяйственных животных	Эскреция азота, кг N/гол. • год
Коровы	130,85
КРС (без коров)	69,99
Овцы	12,5
Козы	17,8
Лошади	36,24
Ослы	14,2
Верблюды	30,1
Северные олени	8,48

Коэффициенты выброса закиси азота для пастбищного навоза по умолчанию подразделяются по видам животных: для навоза КРС, коров, соответствует 0,02 кг N<sub>2</sub>O – N/кг N; для овец и остальных видов пастбищных животных – 0,01 кг N<sub>2</sub>O – N/кг N [182].

#### 2.4.3.4. Выбросы метана и закиси азота от травяных пожаров на территории луговых экосистем

Выбросы метана и закиси азота от сжигаемой биомассы на территории луговых экосистем значительно варьируют в зависимости от площади пройденной пожарами за рассматриваемый год. Данные о площадях травяных пожаров представлены в базе данных Информационной системы дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз) [90].

Оценка выбросов метана и закиси азота от пожаров на территории луговых экосистем производилась с использованием уравнения (2.26).

$$L_{\text{пожар}} = A * MB * C_f * G_{ef} * 10^{-3} \quad (2.26)$$

где:  $L_{\text{пожар}}$  – количество выбросов от пожара, т CH<sub>4</sub> и N<sub>2</sub>O;  $A$  – площадь, пройденная пожаром, га;  $MB * C_f$  – произведение массы доступного для горения топлива и коэффициента сгорания = потребление топливной массы (мертвое органическое вещество плюс живая биомасса) при пожаре, т сухого вещества га<sup>-1</sup>;  $G_{ef}$  – коэффициент выбросов; г кг<sup>-1</sup> сжигаемого сухого вещества.

## 2.5. Болотные экосистемы

### 2.5.1. Аналитические и картографические материалы по проведению оценки способности болотных экосистем к чистому поглощению парниковых газов с разбивкой по субъектам Российской Федерации

Исходной информацией при характеристике земельного фонда субъекта РФ служат земельные кадастры района, на основании которых составляются итоговые данные. Кроме обобщения статистических данных о наличии и использовании земель, дается качественная оценка земельного фонда субъекта федерации, в т.ч. наличия болот. Объем информации, содержащейся только в официальных данных землеустройства района, обычно недостаточен. Поэтому на уровне субъектов составляются дополнительные справочно-информационные и картографические документы, главные из которых – почвенные и геоботанические карты. При составлении почвенных и геоботанических карт по области (краю, республике) на первый план выходят вопросы генерализации, так как областные карты преимущественно мелко- и реже среднemasштабные. Основными материалами для их составления служат районные карты, а в некоторых случаях планы хозяйств, материалы дополнительных полевых исследований, в том числе и на ключевых участках [32].

Данные о характеристике земельного фонда субъектов РФ являются основой информации о площади болот этих территорий, а также обобщенных данных для страны в целом. Однако с начала текущего столетия при сборе, анализе и представлении данных все больший приоритет отдается имущественным аспектам учета земель. Информация о качественном составе земель, включая заболоченность, становится все более ограниченной, как в части сбора, так и представления и доступности. Поэтому далее при учете площади болот субъектов Российской Федерации мы опираемся на наиболее полные доступные данные земельного кадастра 2000 года [32]. Учитывая консервативность показателя площади болот, общее снижение уровня качественного анализа земель, а также достоверность полученных за 2000 год данных, считаем приведенные оценки наиболее обоснованными, качественными и достоверными.

Площади болот на территории субъектов РФ по данным земельного кадастра представлены в табл. 2.55, а процента заболоченности на рис. 2.38. Значения в табл. 2.55 могут рассматриваться как официальные оценки площади болот на территории субъектов РФ, отвечающие требованиям Уровня 1 соответствующих Руководств по учету эмиссии/поглощения парниковых газов МГЭИК и документов РКИК ООН.

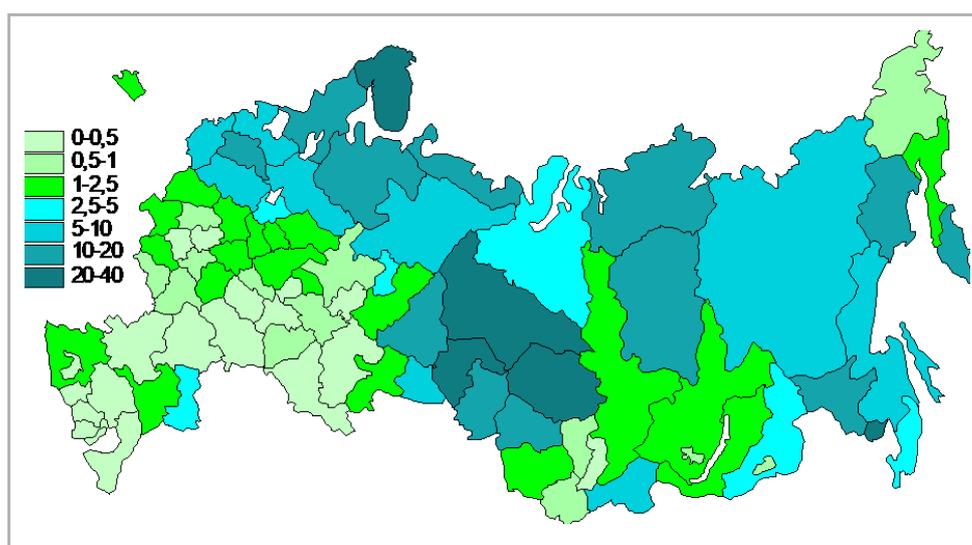
**Таблица 2.55.** Площадь болот на территории субъектов Российской Федерации по данным земельного учета [32], тыс. га  
Административное деление Российской Федерации дано на 01.01.2001

Субъекты РФ	Всего болот	В том числе			
		лесной фонд	с/х земли	водный фонд	другие земли
Белгородская обл.	23	1	16		5
Брянская обл.	70	14	51		5
Владимирская обл.	37	15	11		12
Воронежская обл.	40	8	27		5
Ивановская обл.	49	20	21		7
Калужская обл.	28	7	16	0,1	6
Костромская обл.	87	68	14		5
Курская обл.	32	3	19		10
Липецкая обл.	17	3	11	1	2
Московская обл.	50	26	11		13
Орловская обл.	4	1	3		
Рязанская обл.	53	18	27		8
Смоленская обл.	116	24	60	0,2	31
Тамбовская обл.	44	11	29	0,1	4
Тверская обл.	462	257	153	6	46
Тульская обл.	2	0,3	1		
Ярославская обл.	109	34	46	1	28
Москва					
Респ. Карелия	3530	3434	9	1	86
Респ. Коми	4018	3913	66		40
Архангельская обл.	5866	5618	193		55
Вологодская обл.	1270	1123	107		41
Калининградская обл.	32	9	12	0,2	11
Ленинградская обл.	830	713	59		58
Мурманская обл.	5435	2667	7		2761
Новгородская обл.	550	406	77		68
Псковская обл.	486	235	131	6	114
Санкт-Петербург	5				5
Ненецкий автономный округ	3382		3317		65
Республика Адыгея	4	0,1	4		
Респ. Калмыкия	146	1	137		9
Респ. Крым					
Краснодарский край	184	8	88	4	84
Астраханская обл.	140	24	66		50
Волгоградская обл.	35	12	19		4

Субъекты РФ	Всего болот	В том числе			
		лесной фонд	с/х земли	водный фонд	другие земли
Севастополь					
Респ. Дагестан	16	1	14		1
Респ. Ингушетия	0,1		0,1		
Респ. Кабардино-Балкария	1	0,3	1		
Респ. Карачаево-Черкесия	1		1		
Респ. Северная Осетия – Алания	1	0,2	0,3		
Чеченская Республика					
Ставропольский край	29	1	26	0,1	2
Респ. Башкортостан	48	10	32	1	6
Респ. Марий Эл	32	28	2		1
Респ. Мордовия	16	8	7		1
Респ. Татарстан	48	3	44		2
Респ. Удмуртия	14	5	7		2
Респ. Чувашия	5	4	1		
Пермский край	369	332	21	0,4	15
Кировская обл.	126	113	11		2
Нижегородская обл.	119	79	24		16
Оренбургская обл.	15	2	13		1
Пензенская обл.	14	5	8		1
Самарская обл.	42	4	35		3
Саратовская обл.	19	6	12		1
Ульяновская обл.	10	4	5		1
Курганская обл.	380	62	252	2	65
Свердловская обл.	2071	1778	209	0,3	84
Тюменская обл.	4644	3937	362	260	85
Челябинская обл.	194	24	160		11
Ханты-Мансийский автономный округ – Югра	20586	18535	289		1763
Ямало-Ненецкий автономный округ	2898	1262	349		1287
Респ. Алтай	74	19	31		23
Респ. Бурятия	489	291	99	52	47
Респ. Тыва	1026	951	52	6	17
Респ. Хакасия	32	15	13		3
Алтайский край	401	133	256	0,4	12
Забайкальский край	1102	847	139	0	116
Красноярский край	21237	12121	5888	0	3228

Продолжение таблицы 2.55

Субъекты РФ	Всего болот	В том числе			
		лесной фонд	с/х земли	водный фонд	другие земли
Кемеровская обл.	91	18	46	0,1	27
Новосибирская обл.	3061	1595	1035	56	375
Омская обл.	2034	1100	822	28	84
Томская обл.	9176	8489	253		435
Респ. Саха (Якутия)	19905	11635	3541		4730
Камчатский край	2827	2378	14	0,0	435
Приморский край	468	135	95		238
Хабаровский край	6585	5483	45	43	1014
Амурская обл.	4786	4006	328		453
Магаданская обл.	4853	4654	52		147
Сахалинская обл.	637	540	2		95
Еврейская автономная обл.	914	344	101		469
Чукотский автономный округ	656	231	391		34
Всего по России	140803	101241	20058	468	19033

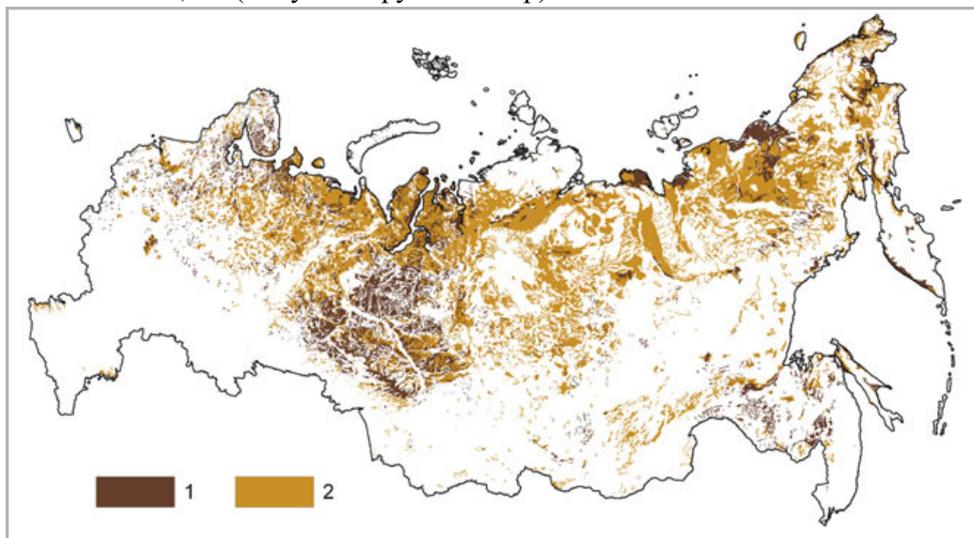


**Рисунок 2.38.** Процент покрытия болотами субъектов Российской Федерации [32]  
Административное деление Российской Федерации показано на 01.01.2001

Материалы земельного кадастра ранее содержали информацию и о состоянии (степени антропогенной нарушенности) болот [32]. Однако на основании ее сравнения с отраслевыми и экспертными данными можно было констатировать ее неполноту, а в настоящее время еще в большей степени требуется проведение комплексного анализа всей имеющейся информации, включая отраслевые данные, данные дистанционного зондирования Земли и другие материалы.

Для решения этих задач в Институте лесоведения Российской академии наук (ИЛАН РАН) в начале 1990х годов была создана и развивается геоинформационная система (ГИС) «Болота России», направленная на интеграцию существующей разносторонней информации по болотным экосистемам. Долговременной целью является развитие информационной базы для решения комплексных задач по анализу биоразнообразия болот и заболоченных земель в Российской Федерации и оценки его прикладного значения в условиях изменения природной среды и воздействия человека [186].

Болота – одни из наиболее представленных на территории России природных экосистем (рис. 2.39). Они занимают более 8% [10, 187], а вместе с мелкоотторфованными заболоченными землями (мощность торфа менее 30 см), с которыми они экологически близки и от которых пространственно трудно отделимы, более 1/5 территории страны [10, 187, 188, 32]. Общая заболоченность страны (все оторфованные земли вне зависимости от мощности торфяного горизонта) составляют 3,69 млн км<sup>2</sup>, или 21,6% [10, 187]. Собственно болота (с торфяной залежью мощностью более 30 см) занимают 1,39 млн км<sup>2</sup> или 8,1% (без учета крупных озер).



**Рисунок 2.39.** Распространение торфяных болот (1) и заболоченных мелкоотторфованных земель (2) на территории Российской Федерации [186, 190]

Болота крайне различны, включая покрытие лесной растительностью (рис. 2.40). Древесная растительность присутствует на 38% площади болот территории России, из которых больше половины (21%) представлены редкостойными насаждениями. Большая часть болотных экосистем России, более 62%, открытые. Среди заболоченных мелкоотторфованных местообитаний примерно равные площади (23 и 24%) приходятся на лесные и редколесные, а большая часть – 53% – является безлесной. В целом, среди покрытых торфяными отложениями земель (болота и заболоченные местообитания) 56% представлено открытыми площадями, а оставшаяся часть примерно в равных долях – редколесными (23%) и лесными (21%) [186, 190].

Благодаря разнообразию географических условий, в России представлен

широкий спектр их природных вариантов [188, 190]. По данным ГИС «Болота России» [188] мерзлотные полигональные и бугристые болота составляют 5,3 и 14,6%, верховые, переходные и низинные – 18,8, 30,0 и 18,3%, а грядово-мочажинные и грядово-озерковые комплексы 7,2 и 5,8% от общей площади болот страны. Из общей площади заболоченных земель большая часть (69%) приходится на заболоченные леса и редколесья, 26,3% занимает заболоченная тундра и лесотундра, а заболоченные поймы и луга 4,7%. Не менее 1/5 болот страны являются мерзлыми, а в целом к области вечной мерзлоты приурочено 65% площади всех болот и 78% заболоченных земель. Площади болот и заболоченных земель по субъектам РФ на основании данных ГИС «Болота России» ИЛАН РАН даны в табл. 2.56.

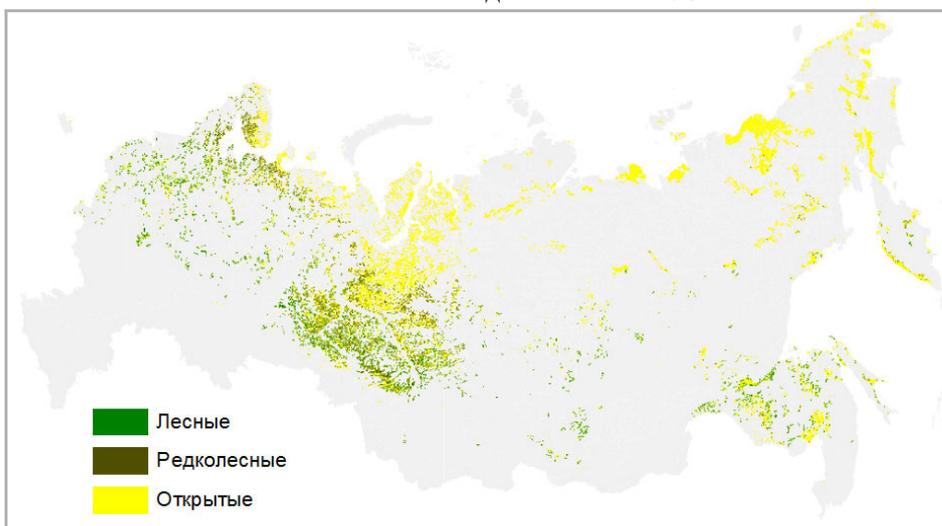


Рисунок 2.40. Залесенность торфяных болот на территории Российской Федерации [186, 189]

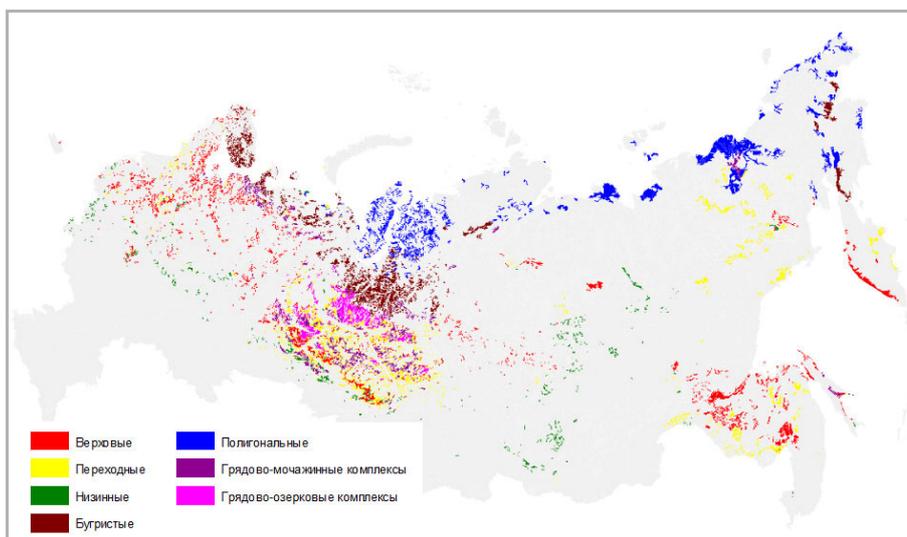


Рисунок 2.41. Распространение основных групп типов торфяных болот на территории Российской Федерации [188, 190]

**Таблица 2.56.** Площадь болот и заболоченных мелкоогорофованных земель по группам типов  
(по данным ГИС "Болота России" ИЛАН РАН [188]), тыс. га

Субъекты РФ	Полигоналы		Бугристые		Комплексы		Низинные	Переходные	Верховые	Общая площадь болот	Заболоченные			
	валковые	трещинные к переходным	Плоско-	Крупно-	Третьеозерные	Третьеозерные					Тундра и лесотундра	поймы	таежные леса и редколесья	Всего земли
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Белгородская обл.														
Брянская обл.							117			117				
Владимирская обл.							86	7	57	151			65	65
Воронежская обл.														
Ивановская обл.							28		44	71				
Калужская обл.							23		12	35			49	49
Костромская обл.							79	17	162	258			174	174
Курская обл.														
Липецкая обл.														
Московская обл.							100	21	149	270			450	450
Орловская обл.							0,4			0,4				
Рязанская обл.							64		111	176			352	352
Смоленская обл.							253		13	265			126	126
Тамбовская обл.														

Продолжение таблицы 2.56

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Тверская обл.							78	15	354	447			784	784
Тульская обл.														
Ярославская обл.							16	42	58	116			65	65
Москва														
Респ. Карелия							12	541	1482	2035			1919	1919
Респ. Коми	8		168	548		707	6	42	1654	3133	2212	190	15717	18120
Архангельская обл.				191		872	53	123	3204	4443	49	27	8586	8662
Вологодская обл.							208	357	990	1555			1992	1992
Калининградская обл.									16	16		23		23
Ленинградская обл.							9	66	646	721			1736	1736
Мурманская обл.			2282	749		13	1	23	346	3413	37		995	1032
Новгородская обл.								74	511	585		14	202	216
Псковская обл.							129	42	258	429		0	38	38
Санкт-Петербург													87	87
Ненецкий автономный округ	128	86	1268	1411		420	66	107	48	3533	6392	178	505	7075
Республика Адыгея														
Респ. Калмыкия												0,2		0,2
Респ. Крым														
Краснодарский край												467		467
Астраханская обл.												335		335

Продолжение таблицы 2.56

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Волгоградская обл.														
Ростовская обл.												22		22
Севастополь														
Респ. Дагестан												24		24
Респ. Ингушетия														
Респ. Кабардино-Балкария														
Респ. Карачаево-Черкесия														
Респ. Северная Осетия - Алания														
Респ. Чечня														
Ставропольский край														
Респ. Башкортостан						20				20		7		7
Респ. Марий Эл						113				113			35	35
Респ. Мордовия														
Респ. Татарстан							18			18				
Респ. Удмуртия							23		10	33		43		43
Респ. Чувашия							19			19				
Пермский край						30	13	7	498	549		61	395	456
Кировская обл.							352	43	58	453		176	396	572
Нижегородская обл.							169	33	14	216			134	134

Продолжение таблицы 2.56

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Оренбургская обл.														
Пензенская обл.														
Самарская обл.														
Саратовская обл.														
Ульяновская обл.														
Курганская обл.								2		2		14		14
Свердловская обл.					96	575	184	614	743	2212	2	253	2166	2421
Тюменская обл.					582	1181	468	1665	1479	5374		348	638	986
Челябинская обл.								6		6				
Ханты-Мансийский автономный округ - Югра			100	361	6931	2638	101	5758	1904	17793	20	437	9620	10077
Ямало-Ненецкий автономный округ	3459	2162	8479	1836	481	717		62	106	17303	12002	371	3664	16037
Респ. Алтай												15		15
Респ. Бурятия							108	15		123		426	3075	3501
Респ. Тыва												92	164	255
Респ. Хакасия												4		4
Алтайский край							51	5		56		180		180
Забайкальский край								29		29	4	332	2843	3180
Красноярский край	1623	883	1247	552	115	627	107	1192	1641	7988	12713	1976	37453	52142
Иркутская обл.							1278	35	110	1423		405	4345	4750

Продолжение таблицы 2.56

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Кемеровская обл.							8			8				
Новосибирская обл.						11	336	830	588	1765		1378	244	1622
Омская обл.						409	416	660	315	1800		405	220	626
Томская обл.					469	2166	218	4585	1576	9014			7269	7269
Респ. Саха (Якутия)	5014	3005				627	1544	2883	1138	14210	17513	1881	42992	62387
Камчатский край	893			893					2402	4188	2883		1263	4147
Приморский край							27	8		35		160		160
Хабаровский край								1573	3764	5337	373	293	3940	4606
Амурская обл.							63	1633	2813	4509		366	2391	2758
Магаданская обл.		161					118	1968	572	2819	1080	46	12353	13479
Сахалинская обл.						283	30		634	946			714	714
Еврейская автономная обл.								561	27	588		356		356
Чукотский автономный округ	3470	202	1320							4992	10457	360	5947	16764
<b>Всего по России</b>	<b>14595</b>	<b>6499</b>	<b>14865</b>	<b>6541</b>	<b>8674</b>	<b>11276</b>	<b>7113</b>	<b>25646</b>	<b>30506</b>	<b>125715</b>	<b>65738</b>	<b>11666</b>	<b>176103</b>	<b>253507</b>

Проблема картографирования торфяных болот и антропогенно измененных торфяников имеет место и на региональном уровне, что требует интегрирования всей имеющейся информации, включая данные дистанционного зондирования Земли [191]. Работы в этом направлении ведутся в различных регионах страны и позволят уточнить информацию о площади болот отдельных субъектов РФ, включая данные об их разнообразии. Последнее является необходимым условием последующих оценок роли болот как источников и поглотителей парниковых газов.

#### 2.5.1.1. Диоксид углерода (CO<sub>2</sub>)

Коэффициенты эмиссии диоксида углерода были рассчитаны для каждого субъекта дифференцированно с разделением на типы болотных экосистем. Для расчета была использована следующая формула:

$$F_c = F_n \cdot 24 \cdot 365 \cdot 5^{-4} \cdot S; \quad (2.27)$$

где:  $F_c$  – суммарный поток, т CO<sub>2</sub> год<sup>-1</sup>,  $F_n$  – нетто-экосистемный обмен (НЕЕ-чистый экосистемный обмен между экосистемой и атмосферой), мг CO<sub>2</sub>-экв м<sup>-2</sup> час<sup>-1</sup> отдельного болотного типа,  $S$  – площадь отдельного болотного типа, млн га.

Значения нетто-экосистемного обмена были основаны на данных, представленных в рецензируемых научных изданиях, а также обобщающим докладом МГЭИК (IPCC), в случае, когда литературные данные отсутствовали или не соответствовали требованиям методики расчета, они были определены экспертным путем.

Для различных групп классов болотных экосистем значения составили (мг CO<sub>2</sub>-экв м<sup>-2</sup> час<sup>-1</sup>): полигональные болота – -1; бугристые болота – -1; грядово-мочажинные комплексы – -13 и -7 (для гряд и мочажин соответственно; коэффициенты для каждого типа микрорельефа были рассчитаны отдельно при допущении, что доля площади каждого из них 50%) [192]; грядово-озерковые комплексы -13 и 0 (для гряд и озерков соответственно; коэффициенты для каждого типа микрорельефа также были рассчитаны отдельно при допущении, что доля площади каждого из них 50%) [192]; низинные – -26 [193]; верховые – -17 [193]; переходные болота – -22 (коэффициент для переходных болот основан на допущении о промежуточной интенсивности ассимиляции диоксида углерода в ряду между верховыми и низинными), а также заболоченные участки тундры и лесов – 1. Необходимо отметить, что в случае полигональных и бугристых болот были использованы идентичные коэффициенты в силу расположения их в аналогичных климатических условиях, географической близости и сходства растительных и почвенных характеристик данных болотных типов. Удельные коэффициенты (т CO<sub>2</sub>/га в год) эмиссии (EF) для данных типов экосистем составили: -0,4; -0,4; -4,3; -11,5; -9,5; -7,5; -0,4; -0,4 соответственно.

### 2.5.1.2. Метан (CH<sub>4</sub>)

Коэффициенты эмиссии метана были рассчитаны с использованием аналогичной формулы и источников данных, в случае, когда литературные данные отсутствовали или не соответствовали требованиям методики расчета, они были определены экспертным путем. В расчетах был использован 100-летний потенциал глобального потепления, рекомендуемый МГЭИК, равный 25. Для каждого класса болотных экосистем значения составили (мг СО<sub>2</sub>-экв м<sup>-2</sup> час<sup>-1</sup>): полигональные болота – 1; бугристые болота – 1; грядово-мочажинные и грядово озерковые комплексы – 6 и 23 (для гряд и мочажин/озерков соответственно, доля площади для каждого типа микроландшафта была принята 50%, расчет производился суммарно для обоих типов болот) [192]; низинные – 19 [193, 194]; верховые – 12 [193,194]; переходные болота – 15 (коэффициент для переходных болот основан на допущении о промежуточной интенсивности эмиссии метана в ряду между верховыми и низинными), а также заболоченные участки тундры и лесов – 1. Удельные коэффициенты (т СО<sub>2</sub>-экв./га в год) эмиссии (EF) для данных типов экосистем составили: 0,4; 0,4; 6,1; 8,3; 6,6; 5,3; 0,4 и 0,4 соответственно.

### 2.5.1.3. Закись азота (N<sub>2</sub>O)

Коэффициенты эмиссии закиси азота были рассчитаны с использованием указанной выше формулы и источников данных. В расчетах был использован 100-летний потенциал глобального потепления, рекомендуемый МГЭИК, равный 289. Для каждого класса болотных экосистем значения составили (мг СО<sub>2</sub>-экв м<sup>-2</sup> час<sup>-1</sup>): полигональные болота – 0 [98]; бугристые болота – 0 [98]; грядово-мочажинные комплексы – 0 [98]; низинные – 0,3 [195, 237]; верховые – 0,1 [196]; переходные болота – 0,3, а также заболоченные участки тундры и лесов – 0. Коэффициенты (т СО<sub>2</sub>-экв./га в год) эмиссии (EF) для данных типов экосистем составили: 0; 0,39; 0; 0; 0,14; 0,14; 0,05; 0 и 0 соответственно.

## 2.5.2. Расчеты способности болотных экосистем к чистому поглощению парниковых газов с разбивкой по экосистемам субъектов Российской Федерации

### 2.5.2.1. Диоксид углерода (CO<sub>2</sub>)

Полученные оценки свидетельствуют, что болота многих регионов продолжают активно накапливать углерод и являются чистыми поглотителями парниковых газов (табл. 2.57). Однако хрупкий баланс между продукцией и деструкцией могут легко превратить болота в источник углерода при хозяйственных воздействиях. При антропогенных нарушениях болота могут становиться значительным источником диоксида углерода, одновременно не теряя полностью способности выделять метан, интенсивный поток которого может иметь место из дренажных канав и в условиях теплых влажных условий даже

---

с поверхности полей фрезерной добычи торфа. Деградация болот являются значительным и растущим антропогенным источником ПГ.

**Таблица 2.57.** Способность болотных экосистем к чистому поглощению парниковых газов с разбивкой по субъектам Российской Федерации (предварительная оценка)

Субъекты РФ	Поглощение (-) / выброс (+) парниковых газов, тыс. т CO <sub>2</sub> -экв. в год			
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	Сумма
<b>Российская Федерация</b>	<b>-860125</b>	<b>731989</b>	<b>8025</b>	<b>-120111</b>
<b>Центральный федеральный округ</b>	<b>-18748</b>	<b>13645</b>	<b>187</b>	<b>-4916</b>
Белгородская область	0	0	0	0
Брянская область	-1339	971	17	-351
Владимирская область	-1514	1094	17	-404
Воронежская область	0	0	0	0
Ивановская область	-645	460	6	-179
Калужская область	-374	275	4	-95
Костромская область	-2360	1699	22	-639
Курская область	0	0	0	0
Липецкая область	0	0	0	0
Московская область	-2662	1952	25	-685
Орловская область	-5	3	0	-1
Рязанская область	-1726	1274	15	-436
Смоленская область	-3048	2224	37	-788
Тамбовская область	0	0	0	0
Тверская область	-4028	2949	32	-1047
Тульская область	0	0	0	0
Ярославская область	-1046	743	11	-291
г. Москва	0	0	0	0
<b>Северо-Западный федеральный округ</b>	<b>-121480</b>	<b>97839</b>	<b>812</b>	<b>-22829</b>
Республика Карелия	-17213	12287	158	-4767
Республика Коми	-26244	23109	121	-3013
Архангельская область	-33686	27524	198	-5965
Вологодская область	-14063	10155	134	-3775
Калининградская область	-385	276	4	-104
Ленинградская область	-6326	4663	45	-1618
Мурманская область	-4649	3833	22	-794
Новгородская область	-4779	3377	40	-1362
Псковская область	-3828	2722	38	-1067
г. Санкт-Петербург	-38	38	0	0

Субъекты РФ	Поглощение (-) / выброс (+) парниковых газов, тыс. т CO <sub>2</sub> -экв. в год			
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	Сумма
<b>Южный федеральный округ</b>	<b>-9453</b>	<b>6855</b>	<b>119</b>	<b>-2479</b>
Республика Адыгея	0	0	0	0
Республика Калмыкия	-2	2	0	-1
Республика Крым	0	0	0	0
Краснодарский край	-5354	3883	67	-1404
Астраханская область	-3839	2784	48	-1007
Волгоградская область	0	0	0	0
Ростовская область	-257	187	3	-68
г. Севастополь	0	0	0	0
<b>Северо-Кавказский федеральный округ</b>	<b>-280</b>	<b>203</b>	<b>4</b>	<b>-73</b>
Республика Дагестан	-280	203	4	-73
Республика Ингушетия	0	0	0	0
Кабардино-Балкарская Республика	0	0	0	0
Карачаево-Черкесская Республика	0	0	0	0
Республика Северная Осетия	0	0	0	0
Чеченская Республика	0	0	0	0
Ставропольский край	0	0	0	0
<b>Приволжский федеральный округ</b>	<b>-17318</b>	<b>12639</b>	<b>189</b>	<b>-4490</b>
Республика Башкортостан	-312	226	4	-82
Республика Марий Эл	-1308	953	16	-339
Республика Мордовия	0	0	0	0
Республика Татарстан	-211	153	3	-55
Удмуртская Республика	-832	602	10	-220
Чувашская Республика	-215	156	3	-56
Пермский край	-4950	3640	38	-1273
Кировская область	-7076	5156	86	-1835
Нижегородская область	-2412	1753	30	-629
Оренбургская область	0	0	0	0
Пензенская область	0	0	0	0
Самарская область	0	0	0	0
Саратовская область	0	0	0	0
Ульяновская область	0	0	0	0
<b>Уральский федеральный округ</b>	<b>-174992</b>	<b>194068</b>	<b>1709</b>	<b>20785</b>
Курганская область	-181	130	2	-48

Продолжение таблицы 2.57

Субъекты РФ	Поглощение (-) / выброс (+) парниковых газов, тыс. т CO <sub>2</sub> -экв. в год			
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	Сумма
Тюменская область	-41574	36587	436	-4551
Челябинская область	-59	41	1	-17
Ханты-Мансийский автономный округ	-90793	115423	1010	25641
Ямало-Ненецкий автономный округ	-22560	25241	68	2750
<b>Сибирский федеральный округ</b>	<b>-235771</b>	<b>190003</b>	<b>2403</b>	<b>-43365</b>
Республика Алтай	-168	122	2	-44
Республика Бурятия	-7621	5893	79	-1649
Республика Тыва	-1122	833	13	-275
Республика Хакасия	-45	32	1	-12
Алтайский край	-2704	1959	34	-710
Забайкальский край	-5330	4199	52	-1079
Красноярский край	-74053	62203	560	-11290
Иркутская область	-22373	16718	254	-5401
Кемеровская область	-93	67	1	-24
Новосибирская область	-32096	22982	399	-8716
Омская область	-19899	15433	231	-4235
Томская область	-70268	59562	777	-9929
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	<b>-282084</b>	<b>216739</b>	<b>2602</b>	<b>-62744</b>
Республика Саха (Якутия)	-107869	87282	972	-19616
Камчатский край	-20592	15225	126	-5240
Приморский край	-2224	1610	28	-585
Хабаровский край	-48362	34448	468	-13447
Амурская область	-42526	30133	446	-11947
Магаданская область	-30786	23258	338	-7190
Сахалинская область	-6615	5626	38	-951
Еврейская автономный округ	-9606	6789	134	-2683
Чукотский автономный округ	-13503	12368	52	-1083

Результаты расчетов (табл. 2.57) показали, что лидирующие позиции в накоплении углерода в результате ассимиляции диоксида углерода, занимают наиболее заболоченные территории. Максимум был получен для Республики Саха – Якутия (более 108 млн т CO<sub>2</sub> в год), к которой приближаются Ханты-Мансийский АО (> 90 млн т CO<sub>2</sub> в год), Томская область и Красноярский край (>70 млн т CO<sub>2</sub> в год). Более 30-40 млн т CO<sub>2</sub> в год – для Новосибирской, Свердловской, Магаданской и Амурской областей, а также для Хабаровского края. Для Европейского севера близкие оценки (около и

выше 30 млн т CO<sub>2</sub> в год) были получены для Архангельской области и Республики Коми. Там же более 10 млн т CO<sub>2</sub> в год отмечено для Республики Карелия, Вологодской области и Ненецкого автономного округа. От 3 до 7 млн т CO<sub>2</sub> в год было оценено связывание диоксида углерода в Европейской части России Смоленской, Тверской, Ленинградской, Мурманской, Новгородской, Псковской, Кировской областей и Пермского края, а также (что вызывает серьезные сомнения в обоснованности расчетов) для Краснодарского края и Астраханской области. В 1-2 млн т CO<sub>2</sub>/год оценивается связывание диоксида углерода болотами и заболоченными землями Брянской, Владимирской, Костромской, Московской, Рязанской, Нижегородской областей, Республики Марий-Эл.

В результате хозяйственной деятельности, преимущественно связанной с предварительным осушением, были значительно изменены болота во многих регионах страны [197]. В результате добычи торфа было нарушено не менее 1,5 млн га, осушено для лесного хозяйства более 3 млн га. Для сельского хозяйства было осушено в совокупности более 5 млн га болот и заболоченных земель (отраслевая статистика дает их без разделения) [198]. В центре, на западе, частично северо-западе европейской территории страны могло быть изменено до половины болот. Было изменено или утрачено больше половины болота лесостепной зоны и других южных территорий. Много болот было нарушено строительством линейных сооружений. Даже зимники в условиях Севера приводят к длительным изменениям растительного покрова болот и, как следствие, увеличение эмиссии метана.

Информация по степени нарушенности болот хозяйственной деятельностью частично фиксируется данными земельного учета, однако ее полнота ограничена и неизвестен уровень ее актуальности. Этими недостатками характеризуется отраслевой учет нарушений болот основными видами хозяйственного воздействия: торфодобычей, осушением для сельского хозяйства, лесосушением. Однако учитывая практически приостановление освоения новых площадей этими видами использования (исключение застройка и воздействие строительства линейных сооружений – дорог, трубопроводов) возможно использование данных прошлых периодов.

Согласно имеющимся данным [32] всего для лесного хозяйства к концу 1980-х годов было осушено не менее 4 млн га, из которых большая часть приходится на болота, заболоченные мелкоотторфованные земли и, видимо, незначительно на переувлажненные земли с минеральными почвами. Наиболее актуальные данные о площадях, осушенных для лесного хозяйства, были получены в ходе инвентаризации гидролесомелиоративных систем в государственном лесном фонде России [199]. Она проводилась только на территории европейской части России и в нее не вошли объекты лесосушения на юге Западной Сибири, на Дальнем Востоке и некоторых других регионах страны. Данные о площадях, осушенных для лесного хозяйства, выявленных по субъектам Российской Федерации, охваченных данной инвентаризацией, представлены в табл. 2.58.

---

**Таблица 2.58.** Площадь болот, осушенных для лесного хозяйства по субъектам Европейской территории Российской Федерации [199, 32]

Субъекты РФ	Площадь земель, осушенных для лесного хозяйства, тыс. га
Брянская область	31,5
Владимирская область	45,7
Ивановская область	21,4
Костромская область	44,9
Московская область	126,5
Рязанская область	61,5
Смоленская область	56,2
Тверская область*	146,8
Ярославская область	58,2
Республика Карелия**	599,2
Республика Коми	101,3
Архангельская область	347,6
Вологодская область	233,2
Калининградская область	219,7
Ленинградская область***	447,4
Новгородская область	145,7
Псковская область	150,4
Республика Башкортостан	6,9
Республика Марий Эл	14,9
Республика Удмуртия	14,3
Пермский край****	5,8
Кировская область*	28,2
Нижегородская обл.*	51,7
Всего по ЕТР России	2959,0

При инвентаризации [199] утеряны – \* более > 15 тыс. га, \*\* ~ 100 тыс. га, \*\*\* ~150 тыс. га; \*\*\*\* – в границах Пермской области

Площадь торфяных болот, измененных в результате добычи торфа, оценивается в диапазоне от 850 тыс. до 1,5 млн га. Многие такие объекты, разрабатываемые без осушения (экскаваторная добыча, гидроторф и пр.), естественным образом "обводнились" и находятся на разных стадиях восстановления болотной растительности. Большая часть площадей фрезерной добычи торфа, после ее планового завершения, были рекультивированы преимущественно под сельское хозяйство и далее учитываются как земли, осушенные для сельского хозяйства. Об их прошлом свидетельствует "унаследованная" структура дренажной сети и, прежде всего, картовая сеть с расстоянием между каналами 40 м. На начало 1990-х годов общая площадь

торфяников, где велась добыча торфа, оценивалась примерно в 250 тыс. га [198, 200, 201]. В дальнейшем многие из них были брошены, без требуемой рекультивации, и могут сейчас числиться в разных категориях земель (лесного фонда, запаса, сельского хозяйства и пр.). Достоверной информации об их распределении и, тем более современном состоянии, нет, и ее получение с разбивкой по субъектам РФ требует проведение специальных инвентаризаций.

Аналогичной работы требует получение данных об осушенных землях для сельского хозяйства, при этом особого решения требует их разделение на площади, относимые к собственно торфяникам, а также мелкоотторфованным землям и землям с сходно минеральными переувлажненными почвами. При этом следует учитывать, что многие осушенные сельскохозяйственные площади, возникшие в результате рекультивации частично выработанных торфяных месторождений, могли утратить исходные торфяные почвы, трансформированные в результате агротехнических мероприятий и активной минерализации. Еще в большей степени это касается мелкоотторфованных земель.

Некоторые общие данные о площадях осушенных, освоенных и нарушенных разными антропогенными воздействиями болот даны в [32, 198, 200, 201]. В ГИС «Болота России» ИЛАН РАН аккумулируется информация о масштабах антропогенных изменений болот страны. Разработаны и апробированы методы оценки состояния ранее нарушенных болот на основе использования космической съемки. Однако имеющихся в данный момент пространственных данных пока недостаточно для обоснованных расчетов последствий этих мероприятий на эмиссию и поглощение парниковых газов.

По данным Национального доклада о кадастре парниковых газов выбросы CO<sub>2</sub> от осушенных торфяников в целом по России в 2016 г. оценивались в 545,9 тыс. т CO<sub>2</sub> год<sup>-1</sup> [96].

Возможность учета антропогенных эмиссии и поглощения парниковых газов болотными экосистемами ограничено также недостатком отечественных данных по проблеме. Имеет небольшое число данных по лесной зоне [202-204] и единичные – по болотам в зоне вечной мерзлоты [92] и по болотам лесостепи [205].

Особый вопрос представляет оценка потерь углерода и, соответственно, выбросов диоксида углерода, при торфяных пожарах, которые происходят во всех природных зонах [206]. Имеющиеся единичные отечественные оценки [207, 208] потерь С при пожарах на болотах хорошо согласуются с оценками других авторов (1,45-4,90 кг С/м<sup>2</sup>) и подтверждают важность учета таких потерь [193, 209]. По данным Национального доклада о кадастре парниковых газов среднесуточные (за период 2000-2016 гг.) выбросы CO<sub>2</sub> от подземных пожаров в целом по России оцениваются в 119 тыс. т CO<sub>2</sub> год<sup>-1</sup> [96].

#### 2.5.2.2. Метан (CH<sub>4</sub>)

Позитивная картина в связывании диоксида углерода болотами в значительной степени нивелируется полученными оценками эмиссии метана (табл.

---

2.58), которые во многих случаях, если не полностью перекрывают, но почти достигают значений по ассимиляции диоксида углерода, но с обратным знаком. При этом в расчетах использовалось консервативное значение индекса глобального потепления для метана – 25. В отдельных случаях, как например для самого заболоченного субъекта Российской Федерации – Ханты-Мансийского автономного округа, эмиссия метана полностью перекрыла позитивное значение болот региона в ассимиляции  $\text{CO}_2$ . Аналогичная ситуация была отмечена и для Ямало-Ненецкого АО. В результате из-за негативного действия метана позитивное влияние болот на связывание диоксида углерода было значительно снижено для большинства регионов и окончательная оценка оказалась крайне скромной.

Дополнительными источниками выбросов, которые удалось оценить только в целом по стране, являются торфоразработки и подземные пожары. По данным Национального доклада о кадастре парниковых газов выбросы  $\text{CH}_4$  от осушенных торфяников в целом по России в 2016 г. оценивались в 6,15 тыс. т год<sup>-1</sup> (153,8 тыс. т  $\text{CO}_2$ -экв. год<sup>-1</sup>), а среднесуточные (за период 2000-2016 гг.) выбросы  $\text{CH}_4$  от подземных пожаров в целом по России оцениваются в 2,8 тыс. т год<sup>-1</sup> (26,2 тыс. т  $\text{CO}_2$ -экв. год<sup>-1</sup>) [96].

### 2.5.2.3. Закись азота ( $\text{N}_2\text{O}$ )

Полученные оценки по эмиссии закиси азота (табл. 2.58) являются исключительно прикидочными, но с учетом их величин, не влияют на общие результаты анализа чистого поглощения парниковых газов территорий субъектов РФ. В целом полученные оценки свидетельствуют не только о предварительном характере полученных результатов, но и во многом, о небесспорности проведенных расчетов.

Дополнительными источниками выбросов, которые удалось оценить только в целом по стране, являются торфоразработки и подземные пожары. По данным Национального доклада о кадастре парниковых газов выбросы  $\text{N}_2\text{O}$  от осушенных торфяников в целом по России в 2016 г. оценивались в 0,09 тыс. т год<sup>-1</sup> (26,2 тыс. т  $\text{CO}_2$ -экв. год<sup>-1</sup>), а среднесуточные (за период 2000-2016 гг.) выбросы  $\text{N}_2\text{O}$  от подземных пожаров в целом по России оцениваются в 0,08 тыс. т год<sup>-1</sup> (23,8 тыс. т  $\text{CO}_2$ -экв. год<sup>-1</sup>) [96].

### **2.5.3. Научно обоснованные предложения по определению методов, по которым возможно оценить способность болотных экосистем, находящихся на территории Российской Федерации, к чистому поглощению диоксида углерода**

Специфика болот как экосистем определяется накоплением органического материала – торфа, который образуется в результате неполного разложения мертвых остатков растений в условиях постоянного избытка влаги. Существует много типов болот, отличающихся географическими условиями,

территориальной приуроченностью, характером растительности, однако все они имеют много общих черт и функций. Болота могут быть исходно облесены или быть открытыми, с растительностью, представленной мхами, осоками или кустарничками. Болота расположены во всех природных зонах страны, но в наибольшей степени они приурочены к бореальной и субарктической. Многие из них не распознаются как собственно болота: их относят к лугам или лесам. В ряде случаев болота были образованы в более влажные периоды прошлого, и при более сухом климате они уже не аккумулируют торф.

Болота – один из важнейших резервуаров углерода на планете. Покрывающая только 3% территории суши, их торфяные залежи содержат столько же углерода как вся биомасса суши, в два раза больше, чем леса планеты, или порядка 75% от величины углерода атмосферы. В болотах находится непропорционально больше органического углерода, чем в других типах экосистем суши: они содержат около 30% почвенного углерода планеты. Болота – лидер долговременного связывания углерода в биосфере суши. Болота накапливают и сохраняют запас углерода в течение тысяч лет и на протяжении всего последнего послеледниковья играют важнейшую роль в поддержании баланса парниковых газов, связывая огромное количество диоксида углерода атмосферы.

За последние 20-25 лет появилось сотни публикаций, касающихся круговорота и баланса углерода болотных экосистем, потоков парниковых газов, результатов попыток их оценки. Значительная часть полученных данных нашла отражение в двух обзорах. Документ «Оценка торфяных болот: биоразнообразии и изменение климата» был инициирован Сторонами Конвенции о биологическом разнообразии (2004), одобрен консультационно-научным советом (2007) и принят 10-й КС (2008). Второй [210] был подготовлен при поддержке Международного союза по торфу. Детальное рассмотрение проблемы было сделано в специальном Дополнении по водно-болотным [193], подготовленном МГЭИК в дополнении к Руководству по национальным инвентаризациям парниковых газов 2006 г. [182]. Вопросы влияния болот на баланс парниковых газов нашли отражения также в ряде документов, разработанных Рамсарской конвенцией о водно-болотных угодьях, ФАО и других международных институтах.

Естественные болота разнонаправленно влияют на глобальный баланс двух основных углеродсодержащих парниковых газов (ПГ) – диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) и метана ( $\text{CH}_4$ ). Поэтому их роль в отношении климата комплексна. В естественном состоянии болота связывают  $\text{CO}_2$  атмосферы, накапливая его в торфе, но одновременно они выделяют метан. В долговременном плане отрицательные последствия выделения метана ниже, чем позитивные следствия изъятия  $\text{CO}_2$ . Связывая и накапливая огромный объем  $\text{CO}_2$  из атмосферы, болота оказывают усиливающееся охлаждающее воздействие, как и в предшествующие геологические эпохи, когда благодаря им образовались месторождения бурого и каменного угля, других видов ископаемого топлива. Кроме диоксида углерода и метана болота вносят определенный вклад в поступление и закиси азота из атмосферы. Это может иметь место у

---

отдельных болот, при определенных условиях и обычно эмиссия закиси азота из болот не достигает высоких значений. Однако следует учитывать высокие значения потенциала глобального потепления (ПГП) закиси азота, которые на два порядка выше диоксида углерода. С учетом этого даже небольшие значения эмиссии  $N_2O$  могут иметь важное значение для оценки общего вклада болот в баланс парниковых газов.

Потоки ПГ в болотах отличаются пространственной (на уровне зон, экосистем, местоположений и далее) и временной (межгодовой, сезонной, суточной) вариабельностью, что необходимо учитывать при оценке и управлении. Незначительные изменения в экологии и гидрологии болот могут привести к значительным изменениям в потоках ПГ через воздействия на биогеохимические процессы. При оценке роли болот в глобальном потеплении климата необходимо проводить обоснованную оценку, принимая во внимание различия во временных рамках и радиационном потенциале длительных эмиссий метана и связывания диоксида углерода, а не простое использование потенциалов глобального потепления.

#### 2.5.3.1. Диоксид углерода ( $CO_2$ )

Методы определения способности болот к чистому поглощению диоксида углерода (баланс поглощения и выбросов) аналогичны другим экосистемам, но с некоторыми дополнениями и спецификой. Наибольшее распространение при измерении NEE получил камерный метод и метод микровихревых пульсаций. Первый, как и для других экосистем, ограничен измеряемой площадью (менее 1 м), что в условиях пространственной неоднородности многих болотных экосистем требует нескольких камер, а также высотой и характером растительного покрова. Второй, существенно уступает масштабом лесным экосистемам. В отличие от лесных насаждений, болота уступали по вниманию к их роли в накоплении углерода. На болотах обычно не требуется большой высоты вышки, однако возникают другие технические и организационные трудности.

Темные камеры используются для определения дыхания почвы (soil respiration ( $R_{soil}$ ) если надземная растительность удалялась), а так же для определения дыхания экосистемы (Ecosystem respiration ( $R_{eco}$ )). Прозрачные камеры используются для измерения нетто-экосистемного обмена (чистый обмен диоксида углерода между экосистемой и атмосферой – Net Ecosystem Exchange (NEE)). Для лесных и редколесных болот используется приемы аналогичные лесам на минеральных почвах.

В болотах основная масса углерода накапливается в торфе. Долговременная кажущаяся скорость накопления углерода торфом (long-term apparent rate of carbon accumulation – LARCA) – интегральный показатель интенсивности процессов ассимиляции углерода в торфяных залежах болотных экосистем. Основа метода заключается в получении датировок возраста торфа (по  $^{14}C$ ) для донных и промежуточных слоев торфяной залежи и расчету интенсивности его образования [210].

---

Средняя скорость накопления торфа и углерода торфяного слоя может быть получена путем деления количества накопленного торфа или углерода на соответствующий временной интервал. Необходимо отметить, что важным критерием адекватности данного метода является непрерывное торфонакопление, а также соответствие между темпами накопления торфа и продуктивностью сообществ прошлого. Скорость накопления называется кажущейся, поскольку рассчитывается по всей толще торфяных отложений без учета изменения ее скорости на отдельных этапах развития болотной экосистемы. Происходившие изменения скорости роста болот [211] не учитываются.

При этом необходимо использование калиброванных дат, которые не дают занижения результата. Следует учитывать, что основные ошибки с оценкой LARCA, связаны, прежде всего, с определением объемного веса торфа.

Традиционно для измерения потоков метана из болот используется «камерно-статический метод» [212], называемый также «методом эмиссионных камер» или «статическим камерным методом». Возможно использование камер разной конструкции, формы, изготовленные из разных материалов. В случае параллельного измерения нетто-экосистемного обмена диоксида углерода, используются прозрачные камеры, в других случаях возможно применение непрозрачных камер, предпочтительно белого цвета для снижения нагрева солнечными лучами. Для более плотного прилегания камеры к поверхности почвы используется металлическое основание с гидрозатвором. Обязательным условием является использование дегазированной чистой воды. Пробы газа отбираются в шприцы или вакуумированные пузырьки разного объема.

Определение объемной доли метан производилось в большинстве случаев методом газовой хроматографии. В дальнейшем по мере появления переносных газоанализаторов поток метана стал измеряться непосредственно в полевых условиях. Существует ряд количественных теорий, описывающих динамику концентрации в камере и позволяющих на основании этого рассчитать удельный поток. На практике обычно используется линейное приближение. За последние 30 лет этим методом выполнялась значительная часть измерений эмиссии метана на болотах во многих регионах мира: в Америке, Африке, Европе, Азии [193, 210].

В статическом камерном методе камера не обменивается воздухом с атмосферой и существенное изменение концентрации газа в камере может повлиять на условия его выделения/поглощения, а результаты измерений будут искажаться. Для снижения этой ошибки начал использоваться динамический камерный метод, при котором в процессе измерений камера продувается воздухом. В этом случае ситуация в течение всего процесса измерения будет близка к естественным природным условиям.

Имеются примеры автоматизации процесса измерений, хотя обычно автоматизации подвергался не весь процесс определения удельного потока. Мог автоматизироваться только процесс отбора проб, но не анализа. Хотя существуют примеры полностью автоматических систем, реализующие камерный метод измерения потока. Однако большинство данных по потокам

---

метана, особенно в нашей стране, были получены статическими ручными камерами.

Меньшее развитие получили так называемые микрометеорологические методы, суть которых является вычисление удельного потока метана по его концентрации в атмосфере. Одним из наиболее простых среди них является «градиентный метод», который основан на описании турбулентной диффузии в атмосфере по аналогии с молекулярной диффузией. Метод микровихревых пульсаций («Eddy Covariance»), в русскоязычной литературе используются также наименования «метод турбулентных ковариаций» и «метод турбулентных пульсаций» основан на высокочастотном (10 Гц и более) измерении вертикальной скорости ветра и концентрации газа на одной и той же высоте в приземном слое воздуха; далее эти величины в каждый момент времени перемножаются и полученные произведения усредняются. В результате получают среднее значение удельного потока за тот отрезок времени, на котором производилось усреднение. С появлением датчиков на метан его применение расширяется.

Камерный метод ограничен возможностью измерений на пространственном масштабе до  $\sim 1 \text{ м}^2$  и проблематичностью установки камеры в некоторых экосистемах (например, при древесно-кустарничковом покрове или высокотравье). Микрометеорологические методы становятся основным инструментом измерения эмиссии парниковых газов на масштабе  $\sim 102 \div 103 \text{ м}^2$  [151], то есть на масштабе биогеоценоза. Достоинством последних является то, что в отличие от камерных методов они позволяют получить репрезентативную и надёжную оценку эмиссии даже для тех экосистем, выделение газа из которых неоднородно в пространстве и во времени. Кроме этого они не подразумевают воздействия на почвенную систему при измерении. Необходимым условием для их успешной работы является наличие развитой турбулентности: данные, полученные при неразвитой турбулентности, отбрасываются.

В последнее время делаются попытки использования для расчетов не т.н. «футпринт» с усреднением данных с некоторой площади за достаточно длительный период времени, что обычно применяется для оценки нетто-экосистемного обмена экосистемы, а получение данных о потоке за относительно короткий промежуток времени ( $\sim 1$  час и менее) с конкретной площади (т.н. «fetch»), что открывает возможность оценки потока метана с большего числа участков (использование мобильных установок) и большую сравнимость с данными, полученными камерным методом, и взаимную проверку получаемых данных [213].

Однако для оценки эмиссии метана с больших территорий, все натурные отмеченные методы следует использовать лишь в качестве тестовых для верификации оценок. Но полное покрытие может быть обеспечено либо путем решения обратной задачи идентификации источника по наблюдениям за полем атмосферной концентрации  $\text{CH}_4$ , в особенности – по спутниковым данным (концентрации метана регулярно измеряет целый ряд спутников, например GOSAT) [214-217], либо путем прямого моделирования, в том числе и для болот [218].

---

Для измерения закиси азота используется статический камерный метод с отбором проб и последующим определением доли газа методом газовой хроматографии. Однако в отличие от метана анализ проб имеет большие сложности, связанные с необходимостью ЭЗД детектора, необходимостью доочистки газа носителя и др. проблемами. Кроме этого из-за низких потоков концентрации проб, отобранные на болотах, обычно находятся на грани чувствительности прибора.

Для оценки способности болот к чистому поглощению диоксида углерода могут быть использованы данные измерений нетто-экосистемного обмена диоксида углерода, полученные с помощью камерного метода и метода микровихревых пульсаций. Необходимо использовать также всю имеющуюся информацию о компонентах углеродного баланса (продукция, разложение и пр.) в ходе проведения экспертной оценки указанных выше данных. В качестве интегрального показателя для проверки полученных оценок нетто-экосистемного обмена диоксида углерода могут служить значения LARCA (долговременная кажущаяся скорость накопления углерода) полученные на основе датировок донных и промежуточных по разрезу датировок торфа по  $^{14}\text{C}$ . При этом необходимо использование калиброванных дат, которые не дают занижения результата. Следует учитывать, что основные ошибки с оценкой LARCA, связаны, прежде всего, с определением объемного веса торфа.

Степень дифференциации оценок зависит как от охвата данными оценок нетто-экосистемного обмена диоксида углерода разнообразия болот, так и наличия данных о их площадях. На данном этапе возможно условное разделение болот на богатые и бедные по трофности, а также выделение отдельно многолетнемерзлых болот, представленных бугристыми и полигональными. В дальнейшем возможно разделение болот по климатическим условиям на болота бореальной зоны, умеренной зоны и субарктики. Возможно также введение коэффициентов, учитывающих основные элементы пространственной мозаичности некоторых болот. Например, долю водных поверхностей для грядово-озерковых комплексов, мочажин и гряд для грядово-озерковых комплексов и крупнобугристых болот.

Для оценки баланса метана могут быть использованы данные измерений камерным методом, имеющихся отдельных измерений методом микровихревых пульсаций. Необходимо использовать также всю имеющуюся информацию о составляющих цикла метана (продукция, потребление, вынос и пр.) в ходе проведения экспертной оценки указанных выше данных. Для получения региональных оценок необходимо использовать предлагаемые модели эмиссии/поглощения метана. В качестве контрольных данных можно использовать оценки эмиссии метана, данные в Дополнении по водно-болотным угодьям [193] по умолчанию для Уровня 1.

Степень дифференциации оценок зависит как от охвата данными оценок эмиссии (баланса) метана разнообразия болот, так и наличия данных об их площадях. На данном этапе возможно условное разделение болот на богатые и бедные по трофности, а также выделение отдельно многолетнемерзлых

---

болот, представленных бугристыми и полигональными. В дальнейшем возможно разделение болот по климатическим условиям на болота бореальной зоны, умеренной зоны и субарктики. Возможно также введение коэффициентов, учитывающих основные элементы пространственной мозаики некоторых болот. Например, долю водных поверхностей для грядово-озерковых комплексов, мочажин и гряд для грядово-озерковых комплексов и крупнобугристых болот.

Учитывая крайний недостаток данных по потокам закиси азота целесообразно использовать в качестве предварительных значения, данные в Дополнении по водно-болотным угодьям [193] по умолчанию для Уровня 1. Принимая во внимание высокие значения ПГП для закиси азота наиболее предпочтительно исключить закись азота из учета на данном этапе рассмотрения.

В табл. 2.59 приведены величины удельных потоков диоксида углерода на основе данных, представленных в рецензируемых научных изданиях, а также обобщающих докладах МГЭИК (IPCC). Величины потоков приведены с разделением болотных экосистем на три типа: бореальные (наиболее распространены на территории Российской Федерации) олиготрофные и евтрофные, а также субарктические.

На основании данных, приведенных в табл. 2.59, может быть выполнен расчет способности болот на территории Российской Федерации к чистому поглощению диоксида углерода согласно формуле:

$$F_c = F_n \cdot 24 \cdot 365 \cdot 10^{-3} \cdot S; \quad (2.28)$$

где:  $F_c$  – суммарный поток, Мт  $\text{CO}_2$  год<sup>-1</sup>,  $F_n$  – нетто-экосистемный обмен (NEE-чистый экосистемный обмен между экосистемой и атмосферой), мг  $\text{CO}_2$ -экв м<sup>-1</sup> час<sup>-1</sup> отдельного болотного типа,  $S$  – площадь отдельного болотного типа, млн га.

Расчет способности болот к чистому поглощению диоксида углерода произведен с учетом их типологии [188]: выделены верховые, низинные болота, а также мерзлые болота субарктического пояса (вкл. полигональные, бугристые). Полученный результат представлен в виде диапазона: минимальное (консервативная оценка) и максимальное значение (отрицательные значения соответствуют поглощению диоксида углерода, положительные его выделению). Минимальная способность болот к чистому поглощению диоксида углерода оценена -118,2 Мт/год (для олиготрофных, евтрофных и субарктических болот в -10,1, -108,6 и 0,5 соответственно), максимальная в -266,7 Мт/год (для олиготрофных, евтрофных и субарктических болот в -108,6, -3,3 и -154,8 соответственно). Данные значения неплохо согласуются с величиной чистого экосистемного обмена, приводимой в [226], в -450 Мт С/год (приведено отрицательное значение, т.к. в источнике используется понятие «приходная статья баланса», т.е. поглощение углерода) для всех экосистем на территории России.

**Таблица 2.59.** Потоки CO<sub>2</sub> (NEE) из естественных болот  
согласно литературным данным

Трофность болота	Климат (регион)	Метод	Удельный поток CO <sub>2</sub> (мг CO <sub>2</sub> м <sup>-2</sup> ч <sup>-1</sup> )*	Ссылка	
Евтрофное	Бореальный	СКМ** и др.	-17,1 (-22,8 – -11,4)	[193]	
Олиготрофное			-22,8 (-32,0 – -14,8)		
Евтрофное			(обводненные болота)		-14,8 (-25,1 – -3,4)
Олиготрофное					
Олиготрофное	Бореальный (Канада)	СКМ и др.	-0,8 – -46,9	[219]	
	Бореальный (Швеция)		-0,8 – -4,2	[220]	
	Бореальный (Россия)		-9,0 – 15,1	[221]	
	Бореальный (Ирландия)		-20,4 – -25,5	[222]	
Евтрофное	Бореальный (Финляндия)	СКМ и др.	-41	[223]	
Субарктические болота					
Обводненные моча- жины	Субарктический (Россия)	СКМ и др.	-7,1	[192]	
Мочажины			-18		
Обводненное простран- ство между мочажинами			-16,8		
Пространство между мочажинами			-12,6		
Бугры			1,3		
Пальса (повышение)	Субарктический (Финляндия)	СКМ и др.	-2,2 – -6,1	[224]	
Пальса (граница)			-7,1 – -17,6		
Термокарстовое болото			-8,1 – -10,7		
Пальса (повышение)	Субарктический (Аляска)	СКМ и др.	35,6	[225]	
Пальса (окрайка)			21,8		
Термокарстовое болото			15,3		

\* медиана удельного потока CO<sub>2</sub>, в скобках даны значения для 1 и 3 квартиля;

\*\* СКМ – статический камерный метод

Хорошую сходимость с данной оценкой также демонстрируют результаты анализа литературных данных по скорости долговременной ассимиляции углерода болотами бореального и субарктического климата. На основании анализа научных публикаций, посвященных методу долговременной кажущейся скорости накопления углерода торфом (LARCA), приведен краткий обзор существующих оценок для различных типов (евтрофных и олиготрофных) болотных экосистем бореального и субарктического климата табл. 2.60).

**Таблица 2.60.** Типичные скорости накопления углерода в торфе болот бореального пояса

Тип болота	Климат (регион)	LARCA (г С м <sup>-2</sup> год <sup>-1</sup> )	Ссылка
Олиготрофное	Бореальный (Финляндия)	27,3	[227]
То же болото на стадии Sphagnum		23,9	
То же болото на стадии Sedge (Carex)		64-35,9	
Олиготрофное	Бореальный (Финляндия)	19,8	[228]
Болота аапа-типа		14,6	
Болота аапа-типа	Бореальный (Финляндия)	10-32	[229]
	Субарктический (Финляндия)	8-25	
В среднем по типам	Западная Сибирь	19,8 (10-85)	[230]
В среднем по типам	Аляска	25 (8-40)	[231]
В среднем по типам	Аляска	10-35	[232]
Олиготрофное	Бореальный (Россия)	21,4 (7-48)	[233]
Евтрофное		9,8 (5-16)	[234]
Олиготрофное	Бореальный (Россия)	14,1-17,0	[204]

Расчет скорости долговременного накопления углерода с учетом типологии болотных экосистем, наиболее часто встречающихся на территории Российской Федерации (бореальные олиготрофные, бореальные евтрофные и субарктические) показал, что скорость долговременной ассимиляции по различным оценкам может варьировать в пределах от 65 до 186 Мт СО<sub>2</sub>/год со средним значением 126 Мт СО<sub>2</sub>/год, что согласуется с оценкой, полученной на основании расчетов. При этом наибольший вклад в скорость долговременной ассимиляции вносят олиготрофные болота 31-82 Мт СО<sub>2</sub>/год, в то время как евтрофные и субарктические 26-78 и 8-25 31-82 Мт СО<sub>2</sub>/год, соответственно.

На основании данных, приведенных в табл. 2.61, 2.62, выполняется расчет способности болот на территории Российской Федерации к чистому поглощению диоксида углерода согласно формуле (2.28).

### 2.5.3.2. Метан (СН<sub>4</sub>)

Для расчетов используются величины удельных потоков метана, приведенных в табл. 2.61 на основе данных, представленных в рецензируемых научных изданиях, а также обобщающих докладах МГЭИК. Величины потоков приведены с разделением болотных экосистем на два типа: бореальные (наиболее распространены на территории Российской Федерации) и субарктические.

Суммарный поток метана в болотных экосистемах Российской Федерации необходимо проводить с учетом их типологии [188]: выделены верховые, низинные болота, а также мерзлые болота субарктического пояса (вкл. полигональные, бугристые). Полученный результат представлен в виде диапазона: минимальное (консервативная оценка) и максимальное значение (отрицательные значения соответствуют поглощению диоксида углерода, положительные его выделению). Суммарный минимальный поток метана с учетом 100-летнего потенциала глобального потепления, рекомендуемого МГЭИК (25), оценен в 94,9 Мт CO<sub>2</sub>-экв/год (для олиготрофных, евтрофных и субарктических болот в 30,1, 27,9 и 37,0 соответственно), максимальная в 804,7 Мт CO<sub>2</sub>-экв/год (для олиготрофных, евтрофных и субарктических болот в 214,1, 553,7 и 37,0 соответственно). Приводя полученные значения к размерности Мт С/год, получим разброс оценки в пределах от 2,8 до 24,1, что в среднем 13,5 Мт С/год хорошо согласуется с литературными данными [226]: от 5,72 до 29,9, в среднем – 14,0 Мт С/год.

**Таблица 2.61.** Потоки CH<sub>4</sub> из естественных болот согласно литературным данным

Трофность болота	Климат (регион)	Метод	Удельный поток CH <sub>4</sub> (мг CH <sub>4</sub> м <sup>-2</sup> ч <sup>-1</sup> )	Удельный поток CH <sub>4</sub> , выраженный в CO <sub>2</sub> -экв (мг CO <sub>2</sub> м <sup>-2</sup> ч <sup>-1</sup> )		Ссылка
				ПГП=72* (20-летний)	ПГП=25* (100-летний)	
Евтрофное	Бореальный	СКМ и др.	1,22 (0,01-6,39)	88 (1-460)	31 (0-160)	[193]
Олиготрофное	Умеренный					
Евтрофное	Бореальный (обводненные болота)	СКМ и др.	1,56 (0,0-5,62)	112 (0-405)	39 (0-141)	[193]
Олиготрофное			0,47 (0,01-2,81)	34 (1-202)	12 (0-70)	
Евтрофное	Умеренный (обводненные болота)		2,47 (0,0-9,77)	178 (0-703)	62 (0-244)	
Олиготрофное			1,05 (0,03-5,08)	76 (2-366)	26 (1-127)	
Евтрофное	Бореальный (Швеция)	СКМ и др.	0,46-4,57	33-329	12-114	[194]
			0,46-2,05	33-148	12-51	
			0,23-0,34	17-24	6-9	
			0,34-1,14	24-82	9-29	
Олиготрофное			0,57	41	14	[220]
Олиготрофное	Бореальный (Канада)	СКМ и др.	0,46-0,68	33-49	12-17	[219]

Продолжение таблицы 2.61

Трофность болота	Климат (регион)	Метод	Удельный поток CH <sub>4</sub> (мг CH <sub>4</sub> м <sup>-2</sup> ч <sup>-1</sup> )	Удельный поток CH <sub>4</sub> , выраженный в CO <sub>2</sub> -экв (мг CO <sub>2</sub> м <sup>-2</sup> ч <sup>-1</sup> )		Ссылка
				ПП=72* (20 летний)	ПП=25* (100 летний)	
Обводненные мочажины	Субарктический (Россия)	СКМ и др.	1,83	132	46	[192]
Мочажины			0,91	66	23	
Обводненное пространство между мочажинами			0,61	44	15	
Пространство между мочажинами			0,23	17	6	
Бугры			0,11	8	3	
Бугор (повышение)	Субарктический (Финляндия)	СКМ и др.	0,11	8	3	[250]
Бугор (граница)			2,28-3,77	164-271	57-94	
Термо-карстовое болото			1,37	99	34	
Бугор (повышение)	Субарктический (Аляска)	СКМ и др.	0,23	17	6	[224]
Бугор (окрайка)			0,23	17	6	
Термо-карстовое болото			3,54	255	89	

### 2.5.3.3. Закись азота (N<sub>2</sub>O)

Для расчетов используются удельные значения потоков N<sub>2</sub>O. В табл. 2.62 приведены величины удельных потоков закиси азота на основе данных, представленных в рецензируемых научных изданиях, а также обобщающих докладах МГЭИК. Величины потоков приведены с разделением болотных экосистем на два типа: бореальные (наиболее распространены на территории Российской Федерации) и субарктические.

Суммарный поток закиси азота в болотных экосистемах Российской Федерации необходимо проводить с учетом их типологии (ГИС «Болота России»): выделены верховые, низинные болота, а также мерзлые болота субарктического пояса (вкл. полигональные, бугристые). Полученный результат представлен в виде диапазона: минимальное (консервативная оценка) и максимальное значение (отрицательные значения соответствуют поглощению диоксида угле-

рода, положительные его выделению). Суммарный минимальный поток закиси азота с учетом 100-летнего потенциала глобального потепления, рекомендуемого МГЭИК (298), оценен в 2,3 Мт CO<sub>2</sub>-экв/год (для олиготрофных, евтрофных и субарктических болот в 0,1, 1,1 и 1,1 соответственно), максимальная в 7,2 Мт CO<sub>2</sub>-экв/год (для олиготрофных, евтрофных и субарктических болот в 0,4, 1,6 и 5,2 соответственно). Существенный разброс значений, представленный в литературных данных, требует более подробного изучения в будущем, вопрос об эмиссии закиси азота остается дискуссионным.

Таблица 2.62. Потоки N<sub>2</sub>O из естественных болот согласно литературным данным

Трофность болота	Климат (регион)	Метод	Удельный поток N <sub>2</sub> O (мг N <sub>2</sub> O м <sup>-2</sup> ч <sup>-1</sup> ·10 <sup>3</sup> )	Удельный поток N <sub>2</sub> O, выраженный в CO <sub>2</sub> -экв (мг CO <sub>2</sub> м <sup>-2</sup> ч <sup>-1</sup> )		Ссылка
				ПГП=289* (20-летний)	ПГП=298* (100-летний)	
Олиготрофное	Бореальный (Финляндия)	СКМ*	0	0	0	[235]
Евтрофное			0	0	0	
Олиготрофное	Бореальный (Эстония)	СКМ	-0,6 (-1,4-0,1)**	-0,17 (-0,40-0,03)	-0,18 (-0,42-0,03)	[236]
Евтрофное	Бореальный (Финляндия)	ДКМ	0,4-1,1	0,12-0,32	0,12-0,33	[196]
Олиготрофное			0,2-0,5	0,06-0,14	0,06-0,15	
Евтрофное	Бореальный (Финляндия)	СКМ	<1,4	<0,40	<0,42	[195]
Олиготрофное						
Евтрофное	Бореальный (Финляндия)	-	1,1	0,32	0,33	[237]
Мезотрофное						
Олиготрофное				0	0	
Евтрофное	Бореальный (Беларусь)	СКМ	11,4-13,1	3,29-3,79	3,40-3,90	[238]
<b>Субарктические болота</b>						
Евтрофное (лишенное растительности в результате криотурбации)	Бореальный (Респ. Коми)	СКМ	3,2-14,5	0,9-4,2	0,9-4,3	[98]
Евтрофное (покрытое растительностью)			0	0	0	

\*в исследовании был использован комплекс методов, в том числе: диффузия через снежный покров / градиентный метод;

\*\* медиана удельного потока N<sub>2</sub>O, в скобках даны значения для 1 и 3 квартиля; поток указан с учетом распространения (4% от площади болот тундры) торфяных бугров

## 2.6. Пресноводные экосистемы

### 2.6.1. Аналитические и картографические материалы по проведению оценки способности пресноводных экосистем к чистому поглощению парниковых газов с разбивкой по субъектам Российской Федерации

#### 2.6.1.1. Диоксид углерода (CO<sub>2</sub>)

##### 2.6.1.1.1. Чистые (нетто) выбросы CO<sub>2</sub> от поверхности водоемов со стоячей водой

Проведена оценка выбросов и поглощения CO<sub>2</sub> пресноводными водоемами со стоячей водой. Наибольшие чистые (нетто) выбросы CO<sub>2</sub> наблюдаются в регионах с наибольшей площадью водной поверхности (табл. 1.8): Республике Карелия, Красноярскому краю, Ханты-Мансийскому и Ямало-Ненецкому автономным округам, и Республике Саха (Якутия) и составляют около 62% от общих выбросов CO<sub>2</sub> от водоемов со стоячей водой (рис. 2.42). Нетто-выбросы CO<sub>2</sub> от водоемов со стоячей водой в Российской Федерации оценены в 58109 тыс. т CO<sub>2</sub> в год. Результаты оценки выбросов по регионам РФ представлены в табл. 2.63.

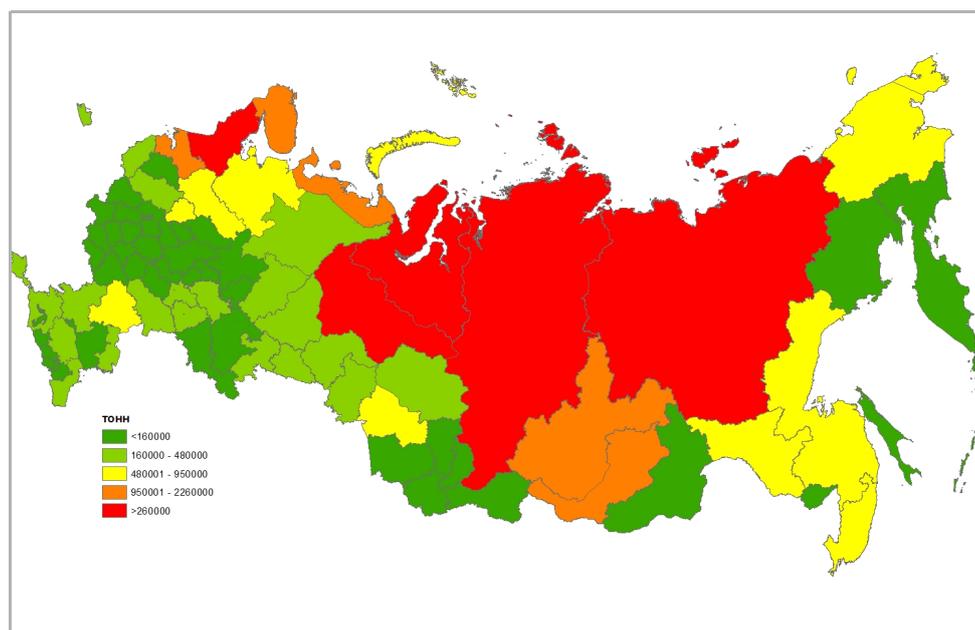
Таблица 2.63. Чистые (нетто) выбросы CO<sub>2</sub> от водоемов со стоячей водой

Субъекты РФ	Чистые (нетто) выбросы CO <sub>2</sub> , тыс. т в год
<b>Российская Федерация</b>	<b>58109,0</b>
<b>Центральный федеральный округ</b>	
Белгородская область	29,7
Брянская область	28,0
Владимирская область	26,6
Воронежская область	61,6
Ивановская область	57,9
Калужская область	13,8
Костромская область	87,2
Курская область	41,2
Липецкая область	22,8
Московская область	76,1
Орловская область	11,2
Рязанская область	53,3
Смоленская область	50,0
Тамбовская область	43,8
Тверская область	292,6

Субъекты РФ	Чистые (нетто) выбросы CO <sub>2</sub> , тыс. т в год
Тульская область	18,5
Ярославская область	519,4
<b>Северо-Западный федеральный округ</b>	
Республика Карелия	5605,7
Республика Коми	276,7
Архангельская область	529,1
Вологодская область	787,6
Калининградская область	209,6
Ленинградская область	1752,8
Мурманская область	1339,4
Новгородская область	25,7
Псковская область	469,8
Ненецкий автономный округ	1279,7
<b>Южный федеральный округ</b>	
Республика Адыгея	96,8
Республика Калмыкия	100,8
Республика Крым	254,0
Краснодарский край	361,8
Астраханская область	452,3
Волгоградская область	690,3
Ростовская область	436,6
<b>Северо-Кавказский федеральный округ</b>	
Республика Дагестан	306,7
Республика Ингушетия	2,4
Кабардино-Балкарская Республика	21,7
Карачаево-Черкесская Республика	31,4
Республика Северная Осетия	14,1
Чеченская Республика	37,8
Ставропольский край	161,7
<b>Приволжский федеральный округ</b>	
Республика Башкортостан	103,1
Республика Марий Эл	37,5
Республика Мордовия	16,8
Республика Татарстан	293,1
Удмуртская Республика	51,8
Чувашская Республика	49,3
Пермский край	414,4

Продолжение таблицы 2.63

Субъекты РФ	Чистые (нетто) выбросы CO <sub>2</sub> , тыс. т в год
Кировская область	56,3
Нижегородская область	158,7
Оренбургская область	72,5
Пензенская область	44,4
Самарская область	289,6
Саратовская область	380,1
Ульяновская область	316,8
<b>Уральский федеральный округ</b>	
Курганская область	238,1
Свердловская область	204,9
Тюменская область	457,5
Челябинская область	203,2
Ханты-Мансийский автономный округ	2267,3
Ямало-Ненецкий автономный округ	13034,9
<b>Сибирский федеральный округ</b>	
Республика Алтай	8,5
Республика Бурятия	1450,8
Республика Тыва	131,4
Республика Хакасия	88,0
Алтайский край	98,1
Забайкальский край	79,7
Красноярский край	8600,6
Иркутская область	1676,3
Кемеровская область	34,9
Новосибирская область	514,9
Омская область	276,4
Томская область	418,1
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	
Республика Саха (Якутия)	6367,1
Камчатский край	87,9
Приморский край	488,3
Хабаровский край	948,0
Амурская область	520,5
Магаданская область	58,4
Сахалинская область	50,4
Еврейская автономный округ	17,5
Чукотский автономный округ	822,7



**Рисунок 2.42.** Распределение чистые (нетто) выбросы CO<sub>2</sub> от водоемов со стоячей водой, т в год

#### 2.6.1.1.2. Чистые (нетто) выбросы CO<sub>2</sub> от рек и ручьев

Наибольшие чистые (нетто) выбросы CO<sub>2</sub> наблюдаются в четырех субъектах Российской Федерации, имеющие наибольшую площадь речной поверхности (табл. 1.8): Ямало-Ненецкий и Ханты-Мансийский автономные округа, Республика Саха (Якутия) и Красноярский край, на их долю приходится около 61% всех выбросов (рис. 2.43). Нетто-выбросы CO<sub>2</sub> от рек и ручьев в Российской Федерации оценены в 77732 тыс. т CO<sub>2</sub> в год. Результаты расчетов в разрезе по субъектам РФ представлены в табл. 2.64.

**Таблица 2.64.** Чистые (нетто) выбросы CO<sub>2</sub> от рек и ручьев

Субъекты РФ	Чистые (нетто) выбросы CO <sub>2</sub> , тыс. т в год
<b>Российская Федерация</b>	<b>77732,7</b>
<b>Центральный федеральный округ</b>	
Белгородская область	17,7
Брянская область	48,6
Владимирская область	57,1
Воронежская область	84,8
Ивановская область	89,7
Калужская область	44,2
Костромская область	145,9

Продолжение таблицы 2.64

Субъекты РФ	Чистые (нетто) выбросы CO <sub>2</sub> , тыс. т в год
Курская область	39,0
Липецкая область	38,2
Московская область	131,9
Орловская область	26,5
Рязанская область	121,0
Смоленская область	75,6
Тамбовская область	49,5
Тверская область	178,1
Тульская область	39,8
Ярославская область	100,9
<b>Северо-Западный федеральный округ</b>	
Республика Карелия	700,8
Республика Коми	1804,4
Архангельская область	1781,1
Вологодская область	442,7
Калининградская область	22,5
Ленинградская область	185,3
Мурманская область	373,3
Новгородская область	132,7
Псковская область	193,4
Ненецкий автономный округ	439,4
<b>Южный федеральный округ</b>	
Республика Адыгея	94,2
Республика Калмыкия	34,4
Республика Крым+ Севастополь	180,2
Краснодарский край	611,6
Астраханская область	1647,0
Волгоградская область	195,6
Ростовская область	359,2
<b>Северо-Кавказский федеральный округ</b>	
Республика Дагестан	115,4
Республика Ингушетия	4,8
Кабардино-Балкарская Республика	45,0
Карачаево-Черкесская Республика	64,2
Республика Северная Осетия	38,9
Чеченская Республика	86,7
Ставропольский край	63,7

Субъекты РФ	Чистые (нетто) выбросы CO <sub>2</sub> , тыс. т в год
<b>Приволжский федеральный округ</b>	
Республика Башкортостан	314,0
Республика Марий Эл	236,8
Республика Мордовия	36,6
Республика Татарстан	995,9
Удмуртская Республика	71,2
Чувашская Республика	55,5
Пермский край	446,3
Кировская область	317,2
Нижегородская область	209,9
Оренбургская область	158,4
Пензенская область	45,4
Самарская область	97,7
Саратовская область	359,8
Ульяновская область	31,8
<b>Уральский федеральный округ</b>	
Курганская область	44,6
Свердловская область	483,3
Тюменская область	696,4
Челябинская область	70,8
Ханты-Мансийский автономный округ	4671,4
Ямало-Ненецкий автономный округ	17055,0
<b>Сибирский федеральный округ</b>	
Республика Алтай	218,3
Республика Бурятия	384,8
Республика Тыва	269,0
Республика Хакасия	119,0
Алтайский край	716,1
Забайкальский край	327,7
Красноярский край	12991,0
Иркутская область	1006,5
Кемеровская область	271,0
Новосибирская область	227,6
Омская область	252,1
Томская область	1274,9
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	
Республика Саха (Якутия)	12764,2

Продолжение таблицы 2.64

Субъекты РФ	Чистые (нетто) выбросы CO <sub>2</sub> , тыс. т в год
Камчатский край	1609,5
Приморский край	319,2
Хабаровский край	2452,8
Амурская область	1878,8
Магаданская область	935,0
Сахалинская область	158,1
Еврейская автономный округ	53,3
Чукотский автономный округ	2201,2

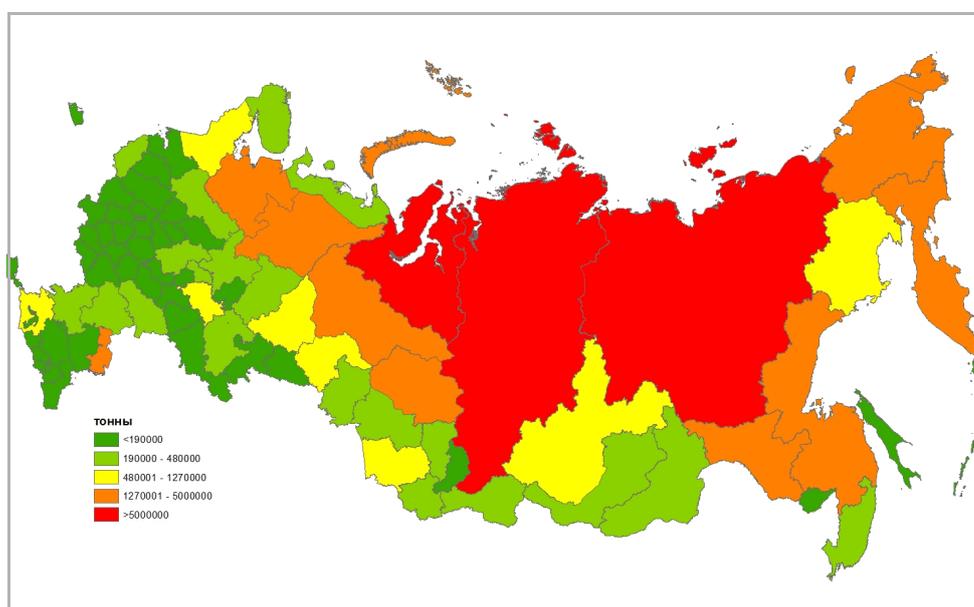


Рисунок 2.43. Распределение чистых (нетто) выбросов CO<sub>2</sub> от поверхности рек и ручьев, т в год

### 2.6.1.2. Метан (CH<sub>4</sub>)

#### 2.6.1.2.1. Выбросы CH<sub>4</sub> от водоемов со стоячей водой

Площадь водоемов со стоячей водой в Российской Федерации составляет 46345,9 тыс. га [34, 16]. Данные о площадях водоемов со стоячей пресной водой по субъектам Российской Федерации представлены в табл. 2.65.

Выбросы CH<sub>4</sub> от водоемов со стоячей водой в Российской Федерации оценены в целом 324 тыс. т CH<sub>4</sub> в год. Наибольшие выбросы CH<sub>4</sub> наблюдаются в Республике Карелия 31 тыс. т CH<sub>4</sub> в год, в Ямало-Ненецком и Ханты-Мансийском автономных округах 12,6 и 72,8 тыс. т CH<sub>4</sub> в год соответственно, Красноярском крае 48,1 тыс. т CH<sub>4</sub> в год и Республике Саха (Якутия) 35,5 тыс. т CH<sub>4</sub> в год (рис. 2.44). Это обусловлено тем, что в данных регионах наблюда-

ются наибольшие площади стоячих пресноводных водоемов 3900, 1905, 9077, 5990 и 7627 тыс. га для Республики Карелия, Ханты-Мансийского АО, Ямало-Ненецкого АО, Красноярского края и Республики Саха (Якутия) соответственно, что составляет около 60% от площади всех водоемов со стоячей водой в Российской Федерации.

**Таблица 2.65.** Выбросы CH<sub>4</sub> от поверхности водоемов со стоячей водой

Субъект	Выбросы CH <sub>4</sub> тыс. т в год
<b>Россия</b>	<b>324,83</b>
<b>Центральный федеральный округ</b>	
Белгородская область	0,17
Брянская область	0,16
Владимирская область	0,15
Воронежская область	0,34
Ивановская область	0,32
Калужская область	0,08
Костромская область	0,49
Курская область	0,23
Липецкая область	0,13
Московская область	0,43
Орловская область	0,06
Рязанская область	0,30
Смоленская область	0,28
Тамбовская область	0,24
Тверская область	1,64
Тульская область	0,10
Ярославская область	2,90
<b>Северо-Западный федеральный округ</b>	
Республика Карелия	31,34
Республика Коми	1,55
Архангельская область	2,96
Вологодская область	4,40
Калининградская область	1,17
Ленинградская область	9,80
Мурманская область	7,49
Новгородская область	0,14
Псковская область	2,63
Ненецкий автономный округ	7,15
<b>Южный федеральный округ</b>	
Республика Адыгея	0,54
Республика Калмыкия	0,56

Продолжение таблицы 2.65

Субъект	Выбросы CH <sub>4</sub> тыс. т в год
Республика Крым	1,42
Краснодарский край	2,02
Астраханская область	2,53
Волгоградская область	3,86
Ростовская область	2,44
<b>Северо-Кавказский федеральный округ</b>	
Республика Дагестан	1,71
Республика Ингушетия	0,01
Кабардино-Балкарская Республика	0,12
Карачаево-Черкесская Республика	0,18
Республика Северная Осетия	0,08
Чеченская Республика	0,21
Ставропольский край	0,90
<b>Приволжский федеральный округ</b>	
Республика Башкортостан	0,58
Республика Марий Эл	0,21
Республика Мордовия	0,09
Республика Татарстан	1,64
Удмуртская Республика	0,29
Чувашская Республика	0,28
Пермский край	2,32
Кировская область	0,31
Нижегородская область	0,89
Оренбургская область	0,41
Пензенская область	0,25
Самарская область	1,62
Саратовская область	2,12
Ульяновская область	1,77
<b>Уральский федеральный округ</b>	
Курганская область	1,33
Свердловская область	1,15
Тюменская область	2,56
Челябинская область	1,14
Ханты-Мансийский автономный округ	12,67
Ямало-Ненецкий автономный округ	72,87
<b>Сибирский федеральный округ</b>	
Республика Алтай	0,05
Республика Бурятия	8,11
Республика Тыва	0,73

Субъект	Выбросы CH <sub>4</sub> тыс. т в год
Республика Хакасия	0,49
Алтайский край	0,55
Забайкальский край	0,45
Красноярский край	48,08
Иркутская область	9,37
Кемеровская область	0,20
Новосибирская область	2,88
Омская область	1,55
Томская область	2,34
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	
Республика Саха (Якутия)	35,59
Камчатский край	0,49
Приморский край	2,73
Хабаровский край	5,30
Амурская область	2,91
Магаданская область	0,33
Сахалинская область	0,28
Еврейская автономный округ	0,10
Чукотский автономный округ	4,60

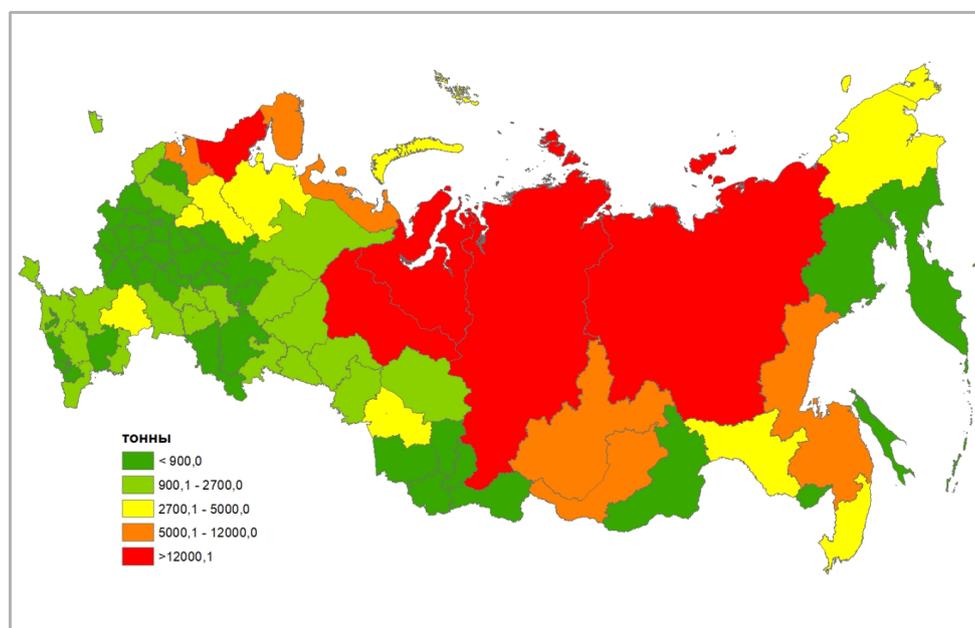


Рисунок 2.44. Распределение выбросов CH<sub>4</sub> от поверхности озер, прудов и водохранилищ, т в год

### 2.6.1.2.2. Выбросы $CH_4$ от рек и ручьев

Были оценены выбросы  $CH_4$  от рек и ручьев, которые составили около 310 тыс. т  $CH_4$  в год. Наибольшие выбросы наблюдаются в Ямало-Ненецком и Ханты-Мансийском автономных округах, Красноярском крае и республике Саха (Якутия). Эти регионы относятся к наиболее речным субъектам Российской Федерации, площадь рек в них составляет 4242, 1350, 3230, 5460 тыс. га для Ямало-Ненецкого и Ханты-Мансийского автономных округов, Красноярского края и республики Саха (Якутия) соответственно [34, 16]. Выбросы метана оценены в 68 тыс. т в Ямало-Ненецком АО, 19 тыс. т в Ханты-Мансийском АО, 52 тыс. т в Красноярском крае и 51 тыс. т в республике Саха (Якутия) (рис. 2.45). Выбросы в данных регионах составляют около 62% от общих выбросов метана в Российской Федерации с поверхности рек и ручьев. Площади водоемов представлены в табл. 1.8, а соответствующие им выбросы  $CH_4$  в разрезе по субъектам Российской Федерации представлены в табл. 2.66.

Таблица 2.66. Выбросы  $CH_4$  от рек и ручьев

Субъект	Выбросы $CH_4$ , тыс. т в год
<b>Россия</b>	<b>310,38</b>
<b>Центральный федеральный округ</b>	
Белгородская область	0,07
Брянская область	0,19
Владимирская область	0,23
Воронежская область	0,34
Ивановская область	0,36
Калужская область	0,18
Костромская область	0,58
Курская область	0,16
Липецкая область	0,15
Московская область	0,53
Орловская область	0,11
Рязанская область	0,48
Смоленская область	0,30
Тамбовская область	0,20
Тверская область	0,71
Тульская область	0,16
Ярославская область	0,40
<b>Северо-Западный федеральный округ</b>	
Республика Карелия	2,80

Субъект	Выбросы CH <sub>4</sub> , тыс. т в год
Республика Коми	7,20
Архангельская область	7,11
Вологодская область	1,77
Калининградская область	0,09
Ленинградская область	0,74
Мурманская область	1,49
Новгородская область	0,53
Псковская область	0,77
Ненецкий автономный округ	1,75
<b>Южный федеральный округ</b>	
Республика Адыгея	0,38
Республика Калмыкия	0,14
Республика Крым	0,72
Краснодарский край	2,44
Астраханская область	6,58
Волгоградская область	0,78
Ростовская область	1,43
<b>Северо-Кавказский федеральный округ</b>	
Республика Дагестан	0,46
Республика Ингушетия	0,02
Кабардино-Балкарская Республика	0,18
Карачаево-Черкесская Республика	0,26
Республика Северная Осетия	0,16
Чеченская Республика	0,35
Ставропольский край	0,25
<b>Приволжский федеральный округ</b>	
Республика Башкортостан	1,25
Республика Марий Эл	0,95
Республика Мордовия	0,15
Республика Татарстан	3,98
Удмуртская Республика	0,28
Чувашская Республика	0,22
Пермский край	1,78
Кировская область	1,27
Нижегородская область	0,84

Продолжение таблицы 2.66

Субъект	Выбросы CH <sub>4</sub> , тыс. т в год
Оренбургская область	0,63
Пензенская область	0,18
Самарская область	0,39
Саратовская область	1,44
Ульяновская область	0,13
<b>Уральский федеральный округ</b>	
Курганская область	0,18
Свердловская область	1,93
Тюменская область	2,78
Челябинская область	0,28
Ханты-Мансийский автономный округ	18,65
Ямало-Ненецкий автономный округ	68,10
<b>Сибирский федеральный округ</b>	
Республика Алтай	0,87
Республика Бурятия	1,54
Республика Тыва	1,07
Республика Хакасия	0,48
Алтайский край	2,86
Забайкальский край	1,31
Красноярский край	51,87
Иркутская область	4,02
Кемеровская область	1,08
Новосибирская область	0,91
Омская область	1,01
Томская область	5,09
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	
Республика Саха (Якутия)	50,97
Камчатский край	6,43
Приморский край	1,27
Хабаровский край	9,79
Амурская область	7,50
Магаданская область	3,73
Сахалинская область	0,63
Еврейская автономный округ	0,21
Чукотский автономный округ	8,79

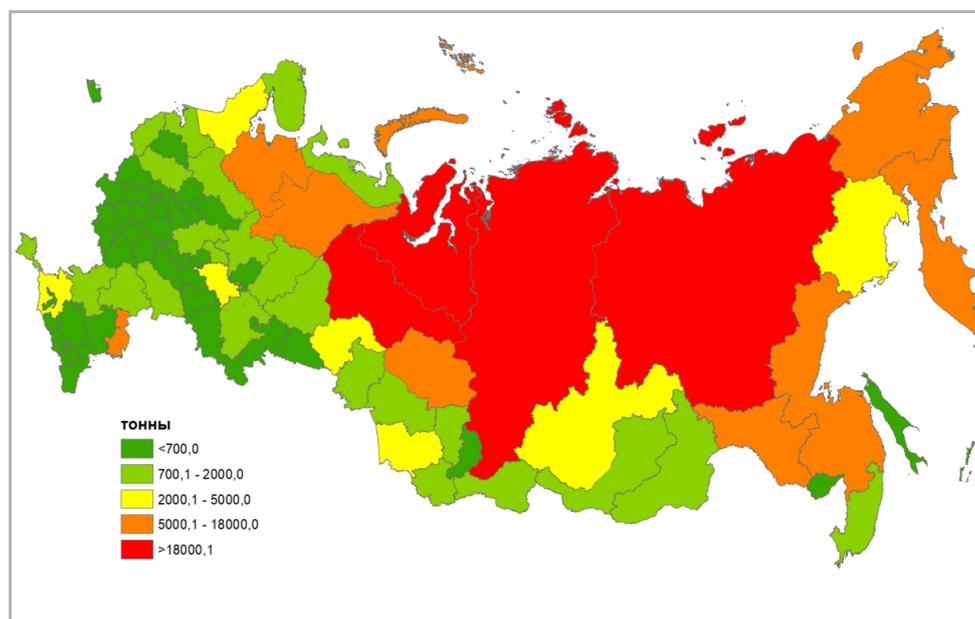


Рисунок 2.45. Распределение выбросов  $\text{CH}_4$  от рек и ручьев, т в год

## 2.6.2. Расчеты способности пресноводных экосистем к чистому поглощению парниковых газов с разбивкой по экосистемам субъектов Российской Федерации

### 2.6.2.1. Диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ )

Суммарные чистые (нетто) выбросы  $\text{CO}_2$  в Российской Федерации от водоемов со стоячей водой, рек и ручьев оценены в 135,8 млн т  $\text{CO}_2$  в год. Наиболее существенный вклад в нетто-выбросы вносят Ямало-Ненецкий и Ханты-Мансийский автономные округа 30 и 7 млн т  $\text{CO}_2$ , соответственно, Республика Саха (Якутия) 19 млн т  $\text{CO}_2$  и Красноярский край 21,6 млн т  $\text{CO}_2$  (рис. 2.46). Данные по суммарным нетто-выбросам для каждого субъекта Российской Федерации представлены в табл. 2.67.

Таблица 2.67. Суммарные чистые (нетто) выбросы  $\text{CO}_2$  от рек, ручьев и водоемов со стоячей водой

Субъекты РФ	Чистые (нетто) выбросы $\text{CO}_2$ , т в год
<b>Российская Федерация</b>	<b>135839,51</b>
<b>Центральный федеральный округ</b>	
Белгородская область	47,41
Брянская область	76,65
Владимирская область	83,66
Воронежская область	146,43

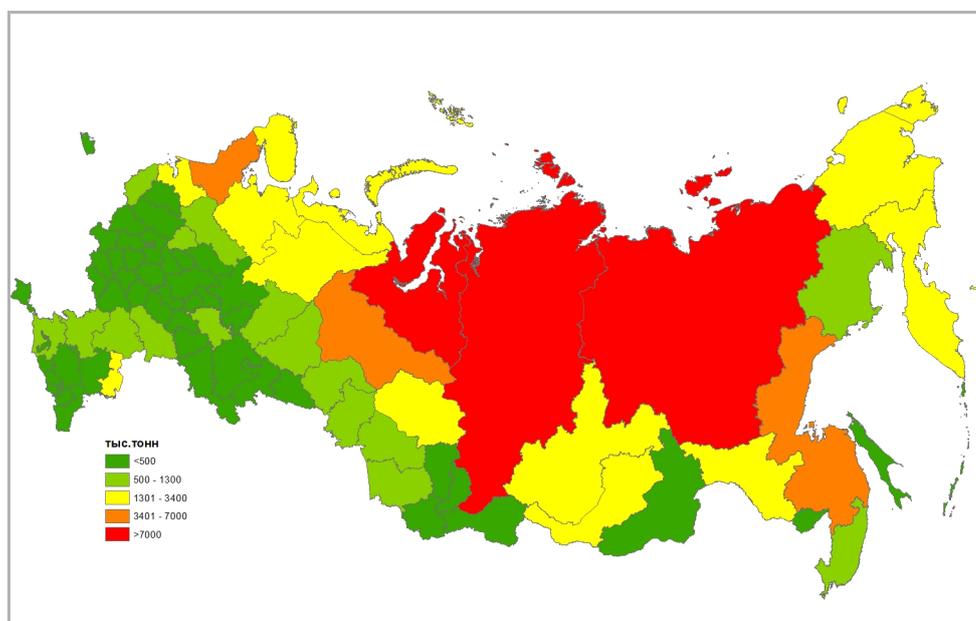
Продолжение таблицы 2.67

Субъекты РФ	Чистые (нетто) выбросы CO <sub>2</sub> т в год
Ивановская область	147,52
Калужская область	58,01
Костромская область	233,10
Курская область	80,21
Липецкая область	61,03
Московская область	207,97
Орловская область	37,74
Рязанская область	174,29
Смоленская область	125,55
Тамбовская область	93,25
Тверская область	470,74
Тульская область	58,33
Ярославская область	620,28
<b>Северо-Западный федеральный округ</b>	
Республика Карелия	6306,50
Республика Коми	2081,10
Архангельская область	2310,21
Вологодская область	1230,24
Калининградская область	232,16
Ленинградская область	1938,14
Мурманская область	1712,72
Новгородская область	158,38
Псковская область	663,21
Ненецкий автономный округ	1719,11
<b>Южный федеральный округ</b>	
Республика Адыгея	190,97
Республика Калмыкия	135,15
Республика Крым+ Севастополь	434,20
Краснодарский край	973,32
Астраханская область	2099,31
Волгоградская область	885,96
Ростовская область	795,74
<b>Северо-Кавказский федеральный округ</b>	
Республика Дагестан	422,01
Республика Ингушетия	7,17
Кабардино-Балкарская Республика	66,74
Карачаево-Черкесская Республика	95,61

Субъекты РФ	Чистые (нетто) выбросы CO <sub>2</sub> , т в год
Республика Северная Осетия	53,04
Чеченская Республика	124,52
Ставропольский край	225,34
<b>Приволжский федеральный округ</b>	
Республика Башкортостан	417,10
Республика Марий Эл	274,28
Республика Мордовия	53,39
Республика Татарстан	1288,94
Удмуртская Республика	123,00
Чувашская Республика	104,73
Пермский край	860,67
Кировская область	373,50
Нижегородская область	368,54
Оренбургская область	230,92
Пензенская область	89,80
Самарская область	387,32
Саратовская область	739,92
Ульяновская область	348,52
<b>Уральский федеральный округ</b>	
Курганская область	282,70
Свердловская область	688,17
Тюменская область	1153,83
Челябинская область	273,94
Ханты-Мансийский автономный округ	6938,69
Ямало-Ненецкий автономный округ	30089,85
<b>Сибирский федеральный округ</b>	
Республика Алтай	226,78
Республика Бурятия	1835,59
Республика Тыва	400,34
Республика Хакасия	207,03
Алтайский край	814,12
Забайкальский край	407,44
Красноярский край	21591,61
Иркутская область	2682,85
Кемеровская область	305,87
Новосибирская область	742,47
Омская область	528,49

Продолжение таблицы 2.67

Субъекты РФ	Чистые (нетто) выбросы CO <sub>2</sub> , т в год
Томская область	1693,03
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	
Республика Саха (Якутия)	19131,25
Камчатский край	1697,42
Приморский край	807,57
Хабаровский край	3400,81
Амурская область	2399,30
Магаданская область	993,44
Сахалинская область	208,51
Еврейская автономный округ	70,83
Чукотский автономный округ	3023,91



**Рисунок 2.46.** Распределение суммарных чистых (нетто) выбросов CO<sub>2</sub> от поверхности рек, ручьев и стоячих водоемов, тыс. т в год

### 2.6.2.2. Метан (CH<sub>4</sub>)

Суммарные выбросы CH<sub>4</sub> от поверхностей водоемов со стоячей водой и рек и ручьев оценены в 635 тыс. т CH<sub>4</sub> в год или 15,9 млн т CO<sub>2</sub>-экв. в год (рис. 2.47). При этом около 60% всех выбросов принадлежит пяти регионам: Республике Карелия, Красноярскому краю, Ханты-Мансийскому и Ямало-Ненецкому автономным округам, и Республике Саха (Якутия), объем выбросов оценен в 9,8 млн т CO<sub>2</sub>-экв. в год. Результаты оценки суммарного выброса

CH<sub>4</sub> с поверхности водоемов в разрезе по субъектам РФ приведены в табл. 2.68.

**Таблица 2.68.** Суммарные выбросы CH<sub>4</sub> от рек, ручьев и водоемов со стоячей водой

Субъект	Выбросы CH <sub>4</sub> , т CO <sub>2</sub> -эquiv. в год
<b>Россия</b>	<b>15879864,78</b>
<b>Центральный федеральный округ</b>	
Белгородская область	5919,67
Брянская область	8769,13
Владимирская область	9411,27
Воронежская область	17076,73
Ивановская область	17036,60
Калужская область	6341,07
Костромская область	26748,87
Курская область	9652,07
Липецкая область	7003,27
Московская область	23799,07
Орловская область	4214,00
Рязанская область	19524,87
Смоленская область	14528,27
Тамбовская область	11056,73
Тверская область	58674,93
Тульская область	6561,80
Ярославская область	82654,60
<b>Северо-Западный федеральный округ</b>	
Республика Карелия	853355,07
Республика Коми	218786,87
Архангельская область	251736,33
Вологодская область	154252,47
Калининградская область	31544,80
Ленинградская область	263455,27
Мурманская область	224449,40
Новгородская область	16835,93
Псковская область	84962,27
Ненецкий автономный округ	222699,87
<b>Южный федеральный округ</b>	
Республика Адыгея	22926,87
Республика Калмыкия	17515,87
Республика Крым	53484,67

Продолжение таблицы 2.68

Субъект	Выбросы CH <sub>4</sub> , т CO <sub>2</sub> -экв. в год
Краснодарский край	111602,40
Астраханская область	227614,80
Волгоградская область	116002,60
Ростовская область	96863,20
<b>Северо-Кавказский федеральный округ</b>	
Республика Дагестан	54370,40
Республика Ингушетия	810,79
Кабардино-Балкарская Республика	7528,73
Карачаево-Черкесская Республика	10799,13
Республика Северная Осетия	5859,47
Чеченская Республика	13940,08
Ставропольский край	28949,20
<b>Приволжский федеральный округ</b>	
Республика Башкортостан	45752,00
Республика Марий Эл	28875,93
Республика Мордовия	5999,93
Республика Татарстан	140366,33
Удмуртская Республика	14347,67
Чувашская Республика	12421,27
Пермский край	102460,40
Кировская область	39531,33
Нижегородская область	43123,27
Оренбургская область	25946,20
Пензенская область	10735,67
Самарская область	50226,87
Саратовская область	89035,80
Ульяновская область	47437,60
<b>Уральский федеральный округ</b>	
Курганская область	37725,33
Свердловская область	76875,40
Тюменская область	133443,33
Челябинская область	35457,80
Ханты-Мансийский автономный округ	783164,20
Ямало-Ненецкий автономный округ	3524087,93
<b>Сибирский федеральный округ</b>	
Республика Алтай	22976,33
Республика Бурятия	241161,67

Субъект	Выбросы CH <sub>4</sub> , т CO <sub>2</sub> -эquiv. в год
Республика Тыва	45208,33
Республика Хакасия	24180,33
Алтайский край	85183,00
Забайкальский край	43855,00
Красноярский край	2498721,40
Иркутская область	334740,00
Кемеровская область	31926,07
Новосибирская область	94674,53
Омская область	63791,93
Томская область	185696,93
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	
Республика Саха (Якутия)	2163945,00
Камчатский край	172949,00
Приморский край	100112,60
Хабаровский край	377328,47
Амурская область	260284,27
Магаданская область	101500,00
Сахалинская область	22826,53
Еврейская автономный округ	7768,60
Чукотский автономный округ	334701,11

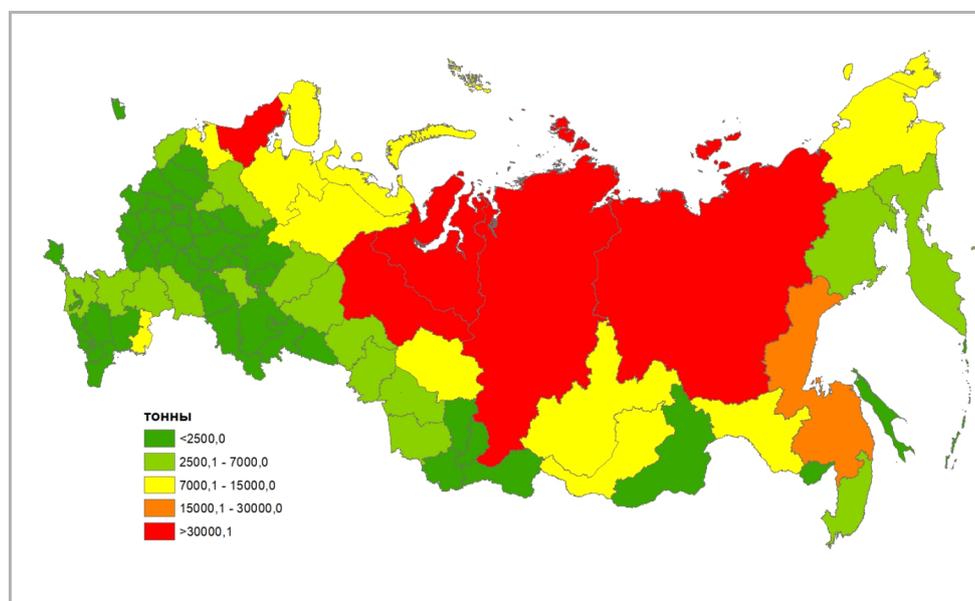


Рисунок 2.47. Распределение суммарных выбросов CH<sub>4</sub> от поверхности водоемов со стоячей водой, рек и ручьев, т в год

### 2.6.2.3. Закись азота (N<sub>2</sub>O)

В связи с тем, что процесс эмиссии закиси азота от пресноводных водоемов мало изучен, то оценки выбросов в данной работе не приведены. Для расчета выбросов N<sub>2</sub>O с поверхности пресноводных водоемов требуется проведение дополнительных исследований и сбор имеющихся литературных данных.

## 2.6.3. Научно обоснованные предложения по определению методов, по которым возможно оценить способность пресноводных экосистем, находящихся на территории Российской Федерации, к чистому поглощению диоксида углерода

### 2.6.3.1. Диоксид углерода (CO<sub>2</sub>)

Оценка эмиссии CO<sub>2</sub> в Российской Федерации проводится отдельно для водоемов со стоячей водой и для рек и ручьев. Чистый поток CO<sub>2</sub> складывается из разницы двух противоположных потоков: выброса в атмосферу с поверхности водоема и накопления углеродсодержащих соединений в донных отложениях (т.е. поглощение углерода). Коэффициент эмиссии от поверхности в атмосферу определен по данным [239] и принят равным выбросу по бореальной зоне – 1870 мг CO<sub>2</sub>/м<sup>2</sup> в сутки. Накопление в донных отложениях в водоемах со стоячей водой оценивается в среднем по миру равным 64% от эмиссии с поверхности [240]. Поэтому рассчитанное нами накопление углерода в донных отложениях для бореальной зоны оценено около 1202 мг CO<sub>2</sub>/м<sup>2</sup> в сутки. Таким образом, коэффициент чистых (нетто) выбросов CO<sub>2</sub> с поверхности стоячих водоемов получен равным 668 мг CO<sub>2</sub>/м<sup>2</sup> в сутки. Эта величина использовалась в расчетах.

Ввиду отсутствия более точных данных для рек и ручьев нами был использован такой же коэффициент эмиссии CO<sub>2</sub> как и для водохранилищ (1870 мг CO<sub>2</sub>/м<sup>2</sup> в сутки). Накопление углерода в донных отложениях рек и ручьев принято равным нулю, так как недостаточно эмпирических данных по оценке донных отложений в реках и потоках с быстрым течением. По-видимому, эти отложения крайне незначительны на временных интервалах десятков и более лет [240].

Для расчета выбросов CO<sub>2</sub> полученные коэффициенты эмиссии умножались на количество дней с открытой водой (табл. 2.69) и на площади водоемов со стоячей водой, рек и ручьев в разрезе по субъектам Российской Федерации (Росреестр 2016, Госкомсат 1990). Расчеты проводились по формуле (2.29):

$$CO_2 = (k * 10000 / 1000000) * T * S / 1000 \quad (2.29)$$

где: CO<sub>2</sub> – эмиссия CO<sub>2</sub>, тыс. т в год; *k* – коэффициент эмиссии, мг CO<sub>2</sub>/м<sup>2</sup> в день; *T* – количество дней, когда водоемы не покрыты льдом, сутки; *S* – площадь водных объектов, тыс. га.

Таблица 2.69. Количество дней без льда

Субъекты РФ	Количество дней без льда
<b>Центральный федеральный округ</b>	
Белгородская область	215
Брянская область	215
Владимирская область	215
Воронежская область	215
Ивановская область	215
Калужская область	215
Костромская область	215
Курская область	215
Липецкая область	215
Московская область	215
Орловская область	215
Рязанская область	215
Смоленская область	215
Тамбовская область	215
Тверская область	215
Тульская область	215
Ярославская область	215
<b>Северо-Западный федеральный округ</b>	
Республика Карелия	215
Республика Коми	215
Архангельская область	215
Вологодская область	215
Калининградская область	215
Ленинградская область	215
Мурманская область	185
Новгородская область	215
Псковская область	215
Ненецкий автономный округ	215
<b>Южный федеральный округ</b>	
Республика Адыгея	365
Республика Калмыкия	245
Республика Крым	365
Краснодарский край	365
Астраханская область	245
Волгоградская область	245
Ростовская область	245
<b>Северо-Кавказский федеральный округ</b>	

Продолжение таблицы 2.69

Субъекты РФ	Количество дней без льда
Республика Дагестан	365
Республика Ингушетия	365
Кабардино-Балкарская Республика	365
Карачаево-Черкесская Республика	365
Республика Северная Осетия	365
Чеченская Республика	365
Ставропольский край	245
<b>Приволжский федеральный округ</b>	
Республика Башкортостан	215
Республика Марий Эл	215
Республика Мордовия	215
Республика Татарстан	215
Удмуртская Республика	215
Чувашская Республика	215
Пермский край	215
Кировская область	215
Нижегородская область	215
Оренбургская область	215
Пензенская область	215
Самарская область	215
Саратовская область	215
Ульяновская область	215
<b>Уральский федеральный округ</b>	
Курганская область	215
Свердловская область	215
Тюменская область	215
Челябинская область	215
Ханты-Мансийский автономный округ	185
Ямало-Ненецкий автономный округ	215
<b>Сибирский федеральный округ</b>	
Республика Алтай	215
Республика Бурятия	125
Республика Тыва	155
Республика Хакасия	215
Алтайский край	215
Забайкальский край	125
Красноярский край	215
Иркутская область	125

Субъекты РФ	Количество дней без льда
Кемеровская область	215
Новосибирская область	215
Омская область	215
Томская область	215
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	
Республика Саха (Якутия)	125
Камчатский край	155
Приморский край	215
Хабаровский край	185
Амурская область	155
Магаданская область	125
Сахалинская область	185
Еврейская автономный округ	155
Чукотский автономный округ	125

### 2.6.3.2. Метан (CH<sub>4</sub>)

Для оценки эмиссии CH<sub>4</sub> с поверхности пресноводных водоемов были использованы отдельные пересчетные коэффициенты для водоемов со стоячей водой и для рек и ручьев. Коэффициент для водоемов со стоячей водой составил 2,8 CH<sub>4</sub> · C мг/м<sup>2</sup>·сут [239, 241-244]. Учитывая, что в среднем в реках концентрация CH<sub>4</sub> примерно в 2 раза больше чем в водоемах со стоячей водой [245], для выброса с поверхности рек и ручьев коэффициент был принят равным 5,6 CH<sub>4</sub> · C мг/м<sup>2</sup>·сут.

При оценке так же учитывался период года, в течение которого поверхность водоемов покрыта льдом, и эмиссия CH<sub>4</sub> не происходит. Для оценки времени замерзания и оттаивания водоемов использовались среднемесячные значения температуры атмосферного воздуха по субъектам РФ. Было принято, что месяц, когда устанавливаются отрицательные температуры, считается началом зимнего периода и временем замерзания поверхности водоемов, а при установлении положительных температур – временем оттаивания. Полученные периоды в течение года с открытой водой на водоемах по субъектам РФ представлены в табл. 2.69.

Данные по площадям поверхности водоемов со стоячей водой и водоемов рек и ручьев в разрезе по субъектам РФ представлены в разделе 1.4.2. Для расчета были использованы доступные статистические данные о площадях рек, ручьев и водоемов с соленой водой Госкомстата СССР за 1990 год и данные Росреестра за 2016 год по всем площадям под водой для каждого субъекта РФ. Площади пресных водоемов со стоячей водой были получены путем вычитания из общей площади под водой площадей рек и водоемов с соленой водой.

Оценка выбросов метана проводилась по формуле (2.30):

$$CH_4 = (k * 10000 / 1000000 * 16 / 12) * T * S / 1000 \quad (2.30)$$

$CH_4$  – объем выбросов с поверхности пресноводных водоемов, тыс. т в год;  $k$  – коэффициент эмиссии,  $CH_4 \cdot C$  мг/м<sup>2</sup>\*сут;  $T$  – количество дней, когда водоемы не покрыты льдом, сутки;  $S$  – площадь водоемов, тыс. га.

### 2.6.3.3. Закись азота (N<sub>2</sub>O)

В связи с тем, что процесс эмиссии закиси азота от пресноводных водоемов мало изучен, то оценки выбросов в данной работе не приведены. Для расчета выбросов N<sub>2</sub>O с поверхности пресноводных водоемов требуется проведение дополнительных исследований и сбор имеющихся литературных данных.

## 2.7. Выводы

1. Оценка способности экосистем тундры к чистому поглощению парниковых газов показала, что этот тип экосистем является слабым источником парниковых газов в количестве 64,7 Мт CO<sub>2</sub>-экв. в год. Эта оценка складывается из чистого поглощения CO<sub>2</sub> в количестве 678,2 Мт CO<sub>2</sub> и из чистого (нетто) выброса CH<sub>4</sub> в количестве 524,9 Мт CO<sub>2</sub>-экв. и чистого (нетто) выброса N<sub>2</sub>O в количестве 217,9 Мт CO<sub>2</sub>-экв. Выявлена региональная специфика в балансе парниковых газов экосистем тундры по субъектам РФ. Тундры на территории Республики Коми и Архангельской области выступали в качестве чистых поглотителей парниковых газов, в то время как тундры, расположенные в пределах других субъектов РФ выступали в качестве источника парниковых газов.

2. Оценка способности лесных экосистем к чистому поглощению диоксида углерода, включающему учет потерь углерода от деструктивных нарушений, выполнена отдельно по категориям лесных земель субъектов РФ, включая резервные леса лесного фонда и прочие неуправляемые леса, по Методике количественного определения объемов поглощения парниковых газов, утверждённой распоряжением Минприроды России от 30.06.2017 № 20-р. Кроме того, проведена оценка выбросов метана и закиси азота от разных типов пожаров в разрезе субъектов РФ, а также выбросов парниковых газов от осушения лесных земель в целом по РФ в связи с отсутствием детализированных данных. Расчеты показали, что лесные экосистемы являются чистым поглотителем парниковых газов в количестве 775,2 Мт CO<sub>2</sub>-экв. в год, которое складывается из нетто-поглощения CO<sub>2</sub> в количестве 804,9 Мт CO<sub>2</sub> и выбросов CH<sub>4</sub> и N<sub>2</sub>O от лесных пожаров и осушения лесных земель в количестве 29,7 Мт CO<sub>2</sub>-экв.

3. Расчеты показали, что степные экосистемы являются чистым поглотителем парниковых газов в количестве 420,3 Мт CO<sub>2</sub>-экв. в год, которое скла-

дывается из нетто-поглощения  $\text{CO}_2$  в количестве 416,2 Мт  $\text{CO}_2$  и поглощения  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$  в количестве 4,0 Мт  $\text{CO}_2$ -экв.

4. Оценка вклада луговых экосистем по субъектам РФ показала, что используемые луга выступали нетто-источником парниковых газов в количестве 61,8 Мт  $\text{CO}_2$ -экв. в год, которое складывалось из выбросов 43,6 Мт  $\text{CO}_2$ , выбросов 18,2 Мт  $\text{CO}_2$ -экв.  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$ . Значительный вклад в выбросы парниковых газов вносят осушение органогенных почв, эмиссии от разложения навоза выпасаемых животных и травяные пожары.

5. Согласно проведенным расчетам болотные экосистемы выступают чистыми поглотителями парниковых газов в количестве 119,2 Мт  $\text{CO}_2$ -экв. в год, которое складывается из поглощения 860,1 Мт  $\text{CO}_2$  в результате торфонакопления, выбросов 740 Мт  $\text{CO}_2$ -экв.  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$  в результате деятельности микроорганизмов, выбросов 0,7 Мт  $\text{CO}_2$ -экв. парниковых газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) от торфоразработок и 0,2 Мт  $\text{CO}_2$ -экв. парниковых газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) от торфяных пожаров.

6. Пресноводные экосистемы выступают в качестве чистого источника парниковых газов в количестве 151,7 Мт  $\text{CO}_2$ -экв., которое складывается из выброса 135,8 Мт  $\text{CO}_2$  и выброса 15,9 Мт  $\text{CO}_2$ -экв. Наибольший вклад в нетто-выбросы вносят Ямало-Ненецкий и Ханты-Мансийский автономные округа, Республика Саха (Якутия) и Красноярский край, обладающие значительными пресноводными ресурсами.

7. Сформулированы научно обоснованные предложения по определению методов, по которым возможно оценить способность природных экосистем, находящихся на территории Российской Федерации, к чистому поглощению диоксида углерода и других парниковых газов (метана и закиси азота).

---

### Глава 3. Расчеты по определению способности природных экосистем разных типов к чистому поглощению парниковых газов на территории Российской Федерации

#### 3.1. Экосистемы тундр

Оценка способности экосистем тундр к чистому поглощению парниковых свидетельствует о том, что тундры Российской Федерации выступают относительно небольшим источником парниковых газов в объеме 64,7 млн т CO<sub>2</sub>-эquiv. год<sup>-1</sup> (табл. 3.1). Исключение составляют тундры Архангельской области и Республики Коми, выступающие в качестве чистых поглотителей парниковых газов.

Таблица 3.1. Чистый (нетто) баланс парниковых газов парниковых газов в экосистемах тундр

Федеральные округа и субъекты РФ	Чистое поглощение (-) / выброс (+) парниковых газов, тыс. т CO <sub>2</sub> -эquiv. год <sup>-1</sup>
<b>Северо-Западный федеральный округ</b>	<b>-186269</b>
Республика Коми	-108056
Архангельская область	-80857
Мурманская область	2645
<b>Уральский федеральный округ</b>	<b>43333</b>
Ямало-Ненецкий автономный округ	43333
<b>Сибирский федеральный округ</b>	<b>112787</b>
Красноярский край	112787
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	<b>94828</b>
Республика Саха (Якутия)	73692
Чукотский автономный округ	21137
<b>Итого по Российской Федерации</b>	<b>64680</b>

#### 3.2. Лесные экосистемы

Лесные экосистемы Российской Федерации обеспечивают чистое поглощение парниковых газов в объеме 775 млн т CO<sub>2</sub>-эquiv. год<sup>-1</sup> (табл. 3.2). Вклад лесных экосистем субъектов РФ чистое поглощение парниковых газов зависит не только от площади лесов, но и от соотношения величин накопления углерода различными пулами лесных экосистемам и потерь углерода в

---

результате различных нарушений (рубок, пожаров и других причин гибели древостоев).

Леса нескольких субъектов РФ, расположенных на юге Европейской части России (Волгоградская и Ростовская области, Республика Калмыкия), а также на юге Сибири (Республика Тыва) и на севере Дальнего Востока (Магаданская область, Чукотский автономный округ), выступали в качестве нетто-источника диоксида углерода в связи с высокими потерями углерода в результате деструктивных нарушений (рубки и пожары) в сочетании низкими значениями поглощения CO<sub>2</sub> лесами.

Таблица 3.2. Чистое поглощение парниковых газов лесными экосистемами

Федеральные округа и субъекты РФ	Чистое поглощение (-) / выброс (+) парниковых газов, тыс. т CO <sub>2</sub> -эquiv. год <sup>-1</sup>
<b>Центральный федеральный округ</b>	<b>-76199</b>
Белгородская область	-1770
Брянская область	-5827
Владимирская область	-4990
Воронежская область	-852
Ивановская область	-2696
Калужская область	-4829
Костромская область	-13167
Курская область	-1171
Липецкая область	-810
Московская область	-6612
Орловская область	-1191
Рязанская область	-721
Смоленская область	-9703
Тамбовская область	-1914
Тверская область	-13858
Тульская область	-1663
Ярославская область	-4250
г. Москва	-174
<b>Северо-Западный федеральный округ</b>	<b>-84680</b>
Республика Карелия	-11194
Республика Коми	-28881
Архангельская область	-7588
Вологодская область	-5054
Калининградская область	-1289
Ленинградская область	-9427
Мурманская область	-4167

Продолжение таблицы 3.2

Федеральные округа и субъекты РФ	Чистое поглощение (-) / выброс (+) парниковых газов, тыс. т CO <sub>2</sub> -экв. год <sup>-1</sup>
Новгородская область	-9016
Псковская область	-9500
г. Санкт-Петербург	-65
Ненецкий автономный округ	1502
<b>Южный федеральный округ</b>	<b>-6956</b>
Республика Адыгея	-974
Республика Калмыкия	506
Республика Крым	-1014
Краснодарский край	-5860
Астраханская область	-110
Волгоградская область	443
Ростовская область	173
г. Севастополь	-120
<b>Северо-Кавказский федеральный округ</b>	<b>-5551</b>
Республика Дагестан	-1444
Республика Ингушетия	-250
Кабардино-Балкарская Республика	-563
Карачаево-Черкесская Республика	-1034
Республика Северная Осетия	-592
Чеченская Республика	-938
Ставропольский край	-729
<b>Приволжский федеральный округ</b>	<b>-93811</b>
Республика Башкортостан	-11922
Республика Марий Эл	-3667
Республика Мордовия	-3785
Республика Татарстан	-4688
Удмуртская Республика	-8081
Чувашская Республика	-2382
Пермский край	-24886
Кировская область	-11231
Нижегородская область	-8574
Оренбургская область	-1955

Федеральные округа и субъекты РФ	Чистое поглощение (-) / выброс (+) парниковых газов, тыс. т CO <sub>2</sub> -экв. год <sup>-1</sup>
Пензенская область	-3739
Самарская область	-2546
Саратовская область	-1561
Ульяновская область	-4794
<b>Уральский федеральный округ</b>	<b>-101890</b>
Курганская область	-5380
Свердловская область	-27938
Тюменская область	-10927
Челябинская область	-8075
Ханты-Мансийский автономный округ	-34458
Ямало-Ненецкий автономный округ	-15112
<b>Сибирский федеральный округ</b>	<b>-322125</b>
Республика Алтай	-3016
Республика Бурятия	-25516
Республика Тыва	5584
Республика Хакасия	-997
Алтайский край	-6937
Забайкальский край	-44978
Красноярский край	-86435
Иркутская область	-98525
Кемеровская область	-10530
Новосибирская область	-8387
Омская область	-11255
Томская область	-31131
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	<b>-91058</b>
Республика Саха (Якутия)	-58879
Камчатский край	-21695
Приморский край	-12600
Хабаровский край	-8208
Амурская область	-6476
Магаданская область	4696
Сахалинская область	-10289
Еврейская автономная область	-2132
Чукотский автономный округ	24525
<b>Итого по Российской Федерации</b> (с учетом выбросов от осушенных органических почв 7117 тыс. т CO <sub>2</sub> -экв.)	<b>-775152</b>

### 3.3. Степные экосистемы

В соответствии с нашими оценками, общее поглощение диоксида углерода, метана и закиси азота, выраженное в единицах CO<sub>2</sub>-экв. составляет в степных экосистемах России -420 296 тыс. т в год (или -420 Мт; табл. 3.3). Основная доля в этом потоке парниковых газов (или около 99% общего поглощения) приходится на диоксид углерода, на фоне которого участие степных экосистем в поглощении других парниковых газов представляется пренебрежимо малым: -4064 тыс. т CO<sub>2</sub>-экв/год – для метана и -1,19 тыс. т CO<sub>2</sub>-экв/год – для закиси азота (табл. 3.3). Из всех субъектов РФ слабым источником парниковых газов, где выделение CO<sub>2</sub> в атмосферу преобладает над его поглощением, можно признать только Ставропольский край, Калмыкию, Ингушетию и Чеченскую республику.

Таблица 3.3. Чистый (нетто) баланс парниковых газов в степных экосистемах

Федеральные округа и субъекты РФ	Чистое поглощение (-) / выброс (+) парниковых газов, тыс. т CO <sub>2</sub> -экв. год <sup>-1</sup>
<b>Центральный федеральный округ</b>	<b>-24890</b>
Белгородская область	-2938
Воронежская область	-1270
Курская область	-2766
Липецкая область	-1146
Орловская область	-3632
Тамбовская область	-2903
Тульская область	-10261
<b>Южный федеральный округ</b>	<b>-21866</b>
Республика Адыгея	-65
Республика Калмыкия	11032
Республика Крым	-4872
Краснодарский край	-3563
Астраханская область	-1262
Волгоградская область	-17176
Ростовская область	-5962
<b>Северо-Кавказский федеральный округ</b>	<b>-678</b>
Республика Дагестан	-158
Республика Ингушетия	126
Кабардино-Балкарская Республика	-1140

Федеральные округа и субъекты РФ	Чистое поглощение (-) / выброс (+) парниковых газов, тыс. т CO <sub>2</sub> -экв. год <sup>-1</sup>
Карачаево-Черкесская Республика	-366
Республика Северная Осетия	-350
Чеченская Республика	775
Ставропольский край	434
<b>Приволжский федеральный округ</b>	<b>-50987</b>
Республика Башкортостан	-16079
Республика Татарстан	-607
Оренбургская область	-10536
Пензенская область	-5504
Самарская область	-4801
Саратовская область	-8536
Ульяновская область	-4924
<b>Уральский федеральный округ</b>	<b>-53862</b>
Курганская область	-19138
Тюменская область	-9819
Челябинская область	-24906
<b>Сибирский федеральный округ</b>	<b>-267987</b>
Республика Алтай	-9473
Республика Бурятия	-19267
Республика Тыва	-27099
Республика Хакасия	-18877
Алтайский край	-17934
Забайкальский край	-63996
Красноярский край	-24359
Иркутская область	-19573
Кемеровская область	-18053
Новосибирская область	-29588
Омская область	-19768
<b>Итого по Российской Федерации</b>	<b>-420271</b>

Таким образом, проведенные расчеты показали, что степные экосистемы России выступают существенным стоком CO<sub>2</sub> углерода атмосферы, и значительно в меньшем количестве поглощают метан и закись азота.

### 3.4. Луговые экосистемы

Проведенные расчеты показали, что суммарный выброс парниковых газов от луговых экосистем РФ составил 61,8 млн т CO<sub>2</sub>-экв. В табл. 3.4 представлены суммарные значения баланса парниковых газов луговых экосистем по субъектам РФ. Отрицательные значения обозначают, луговые экосистемы являются чистыми поглотителями парниковых газов, а положительные величины – о преобладании выбросов парниковых газов над их поглощением. В регионах Южного и Северо-Кавказского федеральных округов луговые экосистемы являлись чистыми поглотителями парниковых газов. Луговые экосистемы во многих субъектах РФ выступали источниками выбросов парниковых газов.

**Таблица 3.4.** Суммарные значения чистого поглощения/выбросов парниковых газов в парниковых газов в луговых экосистемах

Федеральные округа и субъекты РФ	Чистое поглощение (-) / выброс (+) парниковых газов, тыс. т CO <sub>2</sub> -экв. год <sup>-1</sup>
<b>Центральный федеральный округ</b>	<b>2841</b>
Белгородская область	1164
Брянская область	607
Владимирская область	-109
Воронежская область	320
Ивановская область	-97
Калужская область	-179
Костромская область	-218
Курская область	100
Липецкая область	-42
Московская область	-12
Орловская область	119
Рязанская область	-165
Смоленская область	-70
Тамбовская область	10
Тверская область	-411
Тульская область	82
Ярославская область	-273
г. Москва	2015

Федеральные округа и субъекты РФ	Чистое поглощение (-) / выброс (+) парниковых газов, тыс. т CO <sub>2</sub> -экв. год <sup>-1</sup>
<b>Северо-Западный федеральный округ</b>	<b>-1028</b>
Республика Карелия	-97
Республика Коми	-196
Архангельская область	-571
Вологодская область	-461
Калининградская область	459
Ленинградская область	63
Мурманская область	-3
Новгородская область	-119
Псковская область	-103
<b>Южный федеральный округ</b>	<b>43361</b>
Республика Адыгея	487
Республика Калмыкия	14940
Республика Крым	1392
Краснодарский край	2728
Астраханская область	10632
Волгоградская область	4341
Ростовская область	8841
г. Севастополь	1
Республика Дагестан	24157
Республика Ингушетия	2130
Кабардино-Балкарская Республика	1159
<b>Северо-Кавказский федеральный округ</b>	<b>40238</b>
Карачаево-Черкесская Республика	2379
Республика Северная Осетия	782
Чеченская Республика	3776
Ставропольский край	5854
<b>Приволжский федеральный округ</b>	<b>-10335</b>
Республика Башкортостан	-5159
Республика Марий Эл	107
Республика Мордовия	-223

Федеральные округа и субъекты РФ	Чистое поглощение (-) / выброс (+) парниковых газов, тыс. т CO <sub>2</sub> -экв. год <sup>-1</sup>
Республика Татарстан	-308
Удмуртская Республика	-657
Чувашская Республика	1
Пермский край	-577
Кировская область	-784
Нижегородская область	-525
Оренбургская область	-2615
Пензенская область	68
Самарская область	-437
Саратовская область	947
Ульяновская область	-171
<b>Уральский федеральный округ</b>	<b>-9428</b>
Курганская область	-2170
Свердловская область	-593
Тюменская область	-3148
Челябинская область	-2616
Ханты-Мансийский автономный округ	-518
Ямало-Ненецкий автономный округ	-382
<b>Сибирский федеральный округ</b>	<b>-58446</b>
Республика Алтай	-1085
Республика Бурятия	-5749
Республика Тыва	-1785
Республика Хакасия	-2028
Алтайский край	-5687
Забайкальский край	-18936
Красноярский край	-5477
Иркутская область	-2426
Кемеровская область	-75
Новосибирская область	-10148

Федеральные округа и субъекты РФ	Чистое поглощение (-) / выброс (+) парниковых газов, тыс. т CO <sub>2</sub> -экв. год <sup>-1</sup>
Омская область	-4041
Томская область	-1010
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	<b>-5296</b>
Республика Саха (Якутия)	-2459
Камчатский край	554
Приморский край	-498
Хабаровский край	-410
Амурская область	-2020
Магаданская область	-124
Сахалинская область	46
Еврейская автономная область	-307
Чукотский автономный округ	-79
<b>Итого по Российской Федерации</b> (с учетом суммарных выбросов от осушенных органических почв 47609 тыс. т CO <sub>2</sub> -экв.)	<b>49517</b>

### 3.5. Водно-болотные угодья

#### 3.5.1. Болотные экосистемы

Выполненные в рамках настоящей работы оценки свидетельствуют, что болотные экосистемы обеспечивают чистое поглощение парниковых в объеме 119,2 млн т CO<sub>2</sub>-экв. год<sup>-1</sup> (табл. 3.5). Наибольшие значения чистого поглощения парниковых газов характерно для регионов с обширными болотными массивами. Максимальные значения чистого поглощения парниковых газов отмечены для Республики Саха (Якутия), Хабаровского края, Амурской области, Красноярского края, Новосибирской и Томской области. Болотные экосистемы некоторых субъектов РФ (Ханты-Мансийский, Ямало-Ненецкий автономные округа) выступали в качестве источника парниковых газов в связи с большими значениями выбросов метана, которые в CO<sub>2</sub>-экв. превышали поглощение диоксида углерода в результате торфонакопления.

**Таблица 3.5. Чистый (нетто) баланс парниковых газов парниковых газов в болотных экосистемах**

Федеральные округа и субъекты РФ	Чистое поглощение (-) / выброс (+) парниковых газов, тыс. т CO <sub>2</sub> -экв. год <sup>-1</sup>
<b>Центральный федеральный округ</b>	<b>-4916</b>
Брянская область	-351
Владимирская область	-404
Ивановская область	-179
Калужская область	-95
Костромская область	-639
Московская область	-685
Орловская область	-1
Рязанская область	-436
Смоленская область	-788
Тверская область	-1047
Ярославская область	-291
<b>Северо-Западный федеральный округ</b>	<b>-22829</b>
Республика Карелия	-4767
Республика Коми	-3013
Архангельская область	-5965
Вологодская область	-3775
Калининградская область	-104
Ленинградская область	-1618
Мурманская область	-794
Новгородская область	-1362
Псковская область	-1067
Ненецкий автономный округ	-363
<b>Южный федеральный округ</b>	<b>-2479</b>
Республика Калмыкия	-1
Краснодарский край	-1404
Астраханская область	-1007
Ростовская область	-68
<b>Северо-Кавказский федеральный округ</b>	<b>-73</b>
Республика Дагестан	-73
<b>Приволжский федеральный округ</b>	<b>-4490</b>
Республика Башкортостан	-82

Федеральные округа и субъекты РФ	Чистое поглощение (-) / выброс (+) парниковых газов, тыс. т CO <sub>2</sub> -экв. год <sup>-1</sup>
Республика Марий Эл	-339
Республика Татарстан	-55
Удмуртская Республика	-220
Чувашская Республика	-56
Пермский край	-1273
Кировская область	-1835
Нижегородская область	-629
<b>Уральский федеральный округ</b>	<b>20785</b>
Курганская область	-48
Свердловская область	-2990
Тюменская область	-4551
Челябинская область	-17
Ханты-Мансийский автономный округ	25641
Ямало-Ненецкий автономный округ	2750
<b>Сибирский федеральный округ</b>	<b>-43365</b>
Республика Алтай	-44
Республика Бурятия	-1649
Республика Тыва	-275
Республика Хакасия	-12
Алтайский край	-710
Забайкальский край	-1079
Красноярский край	-11290
Иркутская область	-5401
Кемеровская область	-24
Новосибирская область	-8716
Омская область	-4235
Томская область	-9929
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	<b>-62744</b>
Республика Саха (Якутия)	-19616
Камчатский край	-5240
Приморский край	-585
Хабаровский край	-13447
Амурская область	-11947

Федеральные округа и субъекты РФ	Чистое поглощение (-) / выброс (+) парниковых газов, тыс. т CO <sub>2</sub> -экв. год <sup>-1</sup>
Магаданская область	-7190
Сахалинская область	-951
Еврейская автономная область	-2683
Чукотский автономный округ	-1083
<b>Итого по Российской Федерации</b> (с учетом суммарных выбросов от торфо-разработок 725,9 тыс. т CO <sub>2</sub> -экв. и сред-немноголетних выбросов от подземных пожаров 205,7 тыс. т CO <sub>2</sub> -экв.)	<b>-119180</b>

### 3.5.2. Пресноводные экосистемы

Результаты расчетов показывают, что пресноводные водоемы являются источниками парниковых газов, суммарные выбросы CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> в Российской Федерации с поверхности рек, ручьев и водоемов со стоячей водой оценены в 151,7 млн т CO<sub>2</sub>-экв. (рис. 3.1). Из них 66,2 млн т CO<sub>2</sub>-экв. приходится на водоемы со стоячей водой. Наибольшие выбросы от водоемов со стоячей водой наблюдаются в пяти самых озерных регионах РФ: Республике Карелия, Красноярском крае, Ханты-Мансийском и Ямало-Ненецком автономных округах, и Республике Саха (Якутия). А наибольшая эмиссия от рек и ручьев, которая составляет около 85,5 млн т CO<sub>2</sub> экв., принадлежит четырем самым речным регионам России: Красноярскому краю, Ханты-Мансийскому и Ямало-Ненецкому автономным округам и Республике Саха (Якутия). В целом на данные регионы приходится около 60% всех выбросов в Российской Федерации от поверхности внутренних пресноводных водоемов. Выбросы CH<sub>4</sub> и CO<sub>2</sub> прямо пропорционально зависят от площади водных объектов с поверхности которых происходят эмиссии в атмосферу. Так, Республика Карелия, площадь которой является относительно небольшой по сравнению с прочими субъектами РФ, является одним из ведущих регионов по выбросам парниковых газов от водоемов со стоячей водой. Это связано с тем, что около от 23% площади региона находится под водой, на территории данного субъекта насчитывается около 27000 рек и 60000 озер [246]. Остальные регионы, в которых так же наблюдаются наибольшие выбросы парниковых газов имеют незначительный процент водной поверхности, но в силу занимаемой площади и расположению на их территории крупнейших речных бассейнов и большого количества пресноводных стоячих водоемов, они становятся лидерами по выбросам CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> от водной поверхности. Результаты расчета представлены в табл. 3.6.

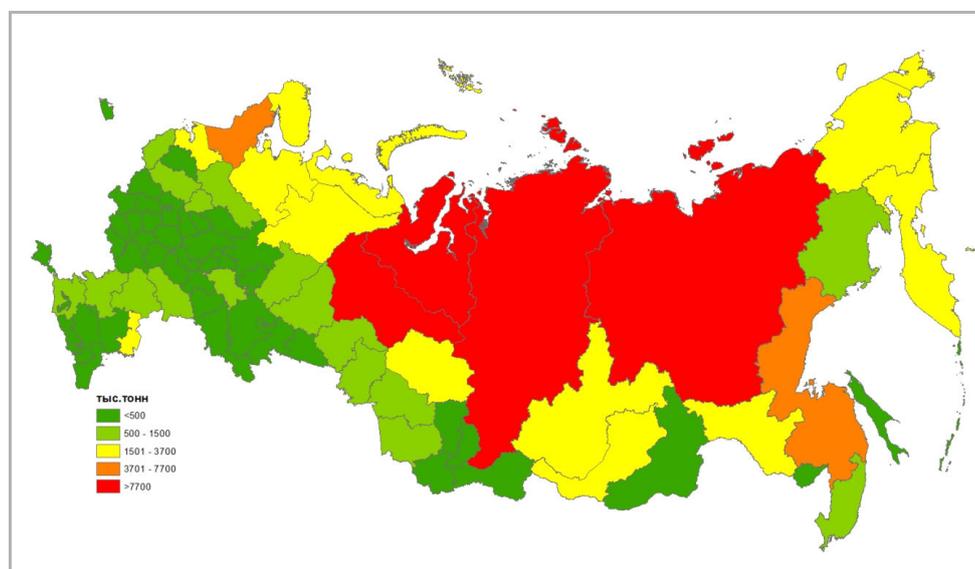
**Таблица 3.6.** Чистый (нетто) баланс парниковых газов парниковых газов  
в пресноводных экосистемах

Федеральные округа и субъекты РФ	Чистый (нетто) выброс парниковых газов, тыс. т CO <sub>2</sub> -экв. год <sup>-1</sup>
<b>Центральный федеральный округ</b>	<b>3051</b>
Белгородская область	53
Брянская область	85
Владимирская область	93
Воронежская область	164
Ивановская область	165
Калужская область	64
Костромская область	260
Курская область	90
Липецкая область	68
Московская область	232
Орловская область	42
Рязанская область	194
Смоленская область	140
Тамбовская область	104
Тверская область	529
Тульская область	65
Ярославская область	703
<b>Северо-Западный федеральный округ</b>	<b>20674</b>
Республика Карелия	7160
Республика Коми	2300
Архангельская область	2562
Вологодская область	1384
Калининградская область	264
Ленинградская область	2202
Мурманская область	1937
Новгородская область	175
Псковская область	748
Ненецкий автономный округ	1942
<b>Южный федеральный округ</b>	<b>6161</b>
Республика Адыгея	214
Республика Калмыкия	153
Республика Крым	488
Краснодарский край	1085
Астраханская область	2327

Продолжение таблицы 3.6

Федеральные округа и субъекты РФ	Чистый (нетто) выброс парниковых газов, тыс. т CO <sub>2</sub> -экв. год <sup>-1</sup>
Волгоградская область	1002
Ростовская область	893
<b>Северо-Кавказский федеральный округ</b>	<b>1117</b>
Республика Дагестан	476
Республика Ингушетия	8
Кабардино-Балкарская Республика	74
Карачаево-Черкесская Республика	106
Республика Северная Осетия	59
Чеченская Республика	138
Ставропольский край	254
<b>Приволжский федеральный округ</b>	<b>6317</b>
Республика Башкортостан	463
Республика Марий Эл	303
Республика Мордовия	59
Республика Татарстан	1429
Удмуртская Республика	137
Чувашская Республика	117
Пермский край	963
Кировская область	413
Нижегородская область	412
Оренбургская область	257
Пензенская область	101
Самарская область	438
Саратовская область	829
Ульяновская область	396
<b>Уральский федеральный округ</b>	<b>44018</b>
Курганская область	320
Свердловская область	765
Тюменская область	1287
Челябинская область	309
Ханты-Мансийский автономный округ	7722
Ямало-Ненецкий автономный округ	33614
<b>Сибирский федеральный округ</b>	<b>35108</b>
Республика Алтай	250
Республика Бурятия	2077
Республика Тыва	446

Федеральные округа и субъекты РФ	Чистый (нетто) выброс парниковых газов, тыс. т CO <sub>2</sub> -экв. год <sup>-1</sup>
Республика Хакасия	231
Алтайский край	899
Забайкальский край	451
Красноярский край	24090
Иркутская область	3018
Кемеровская область	338
Новосибирская область	837
Омская область	592
Томская область	1879
<b>Дальневосточный федеральный округ</b>	<b>35274</b>
Республика Саха (Якутия)	21295
Камчатский край	1870
Приморский край	908
Хабаровский край	3778
Амурская область	2660
Магаданская область	1095
Сахалинская область	231
Еврейская автономная область	79
Чукотский автономный округ	3359
<b>Итого по Российской Федерации</b>	<b>151719</b>



**Рисунок 3.1.** Распределение суммарных чистых (нетто) выбросов парниковых газов от поверхности пресноводных экосистем, тыс. т CO<sub>2</sub>-экв. год<sup>-1</sup>

### 3.6. Выводы

1. В разделе представлены обобщенные данные по чистому (нетто) поглощению/выбросам парниковых газов по различным типам природных экосистем субъектов РФ.

2. Согласно выполненным расчетам, часть природных экосистем Российской Федерации выступала в качестве чистого поглотителя парниковых газов. К таким экосистемам относятся леса, степи и болота, которые обеспечивали нетто-поглощение в количестве 775,2, 420,3 и 119,2 Мт CO<sub>2</sub>-экв. в год, соответственно.

3. Согласно выполненным расчетам, часть природных экосистем Российской Федерации выступала в качестве нетто-источника парниковых газов. К ним относятся тундры, луга и пресноводные экосистемы, которые эмитировали 64,7, 61,8 и 151,7 Мт CO<sub>2</sub>-экв. в год, соответственно.

4. В целом природные экосистемы выступают нетто-поглотителями парниковых газов в количестве 1036,4 Мт CO<sub>2</sub>-экв. в год.

---

#### Глава 4.

**Анализ неопределённости количественных оценок способности природных экосистем (включая неуправляемые леса) на территории Российской Федерации к чистому поглощению диоксида углерода и к общему, выраженному в эквиваленте CO<sub>2</sub>, чистому поглощению парниковых газов – диоксида углерода, метана и закиси азота; определение доверительных интервалов**

Расчет неопределенности оценок чистого поглощения парниковых газов выполнен в соответствии с уровнем сложности 1 МГЭИК [182] по формулам:

$$U_{\text{общ.}} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_N^2}, \quad (4.1)$$

где:  $U_{\text{общ}}$  – неопределенности в процентах произведения величин (половина 95% доверительного интервала разделенная на сумму и выраженная в процентах);  $U_i$  – неопределенности в процентах, связанные с каждой величиной.

$$U_{\text{sum}} = \sqrt{U_1 + X_1)^2 + (U_2 + X_2)^2 + \dots + (U_n + X_n)^2 / (X_1 + X_2 + \dots + X_n)}, \quad (4.2)$$

где:  $U_{\text{sum}}$  – общая неопределенность суммы, %;  $U_1 \dots U_n$  – неопределенность отдельных слагаемых, %;  $x_1 \dots x_n$  – значения слагаемых.

#### 4.1. Экосистемы тундр

Обобщенная оценка неопределенности показала высокую неопределенность итогового баланса парниковых газов экосистем тундры, которая значительно превышает суммарный выброс и составляет 398% (табл. 4.1). Таким образом, баланс тундровых экосистем оценивается  $65 \pm 257$  Мт CO<sub>2</sub>-экв.

Основными источниками неопределённости количественных оценок способности экосистем тундр Российской Федерации к чистому поглощению диоксида углерода и других парниковых газов (метана и закиси азота) являются:

- а) ограниченность имеющихся экспериментальных данных по определению потоков CO<sub>2</sub>, а особенно CH<sub>4</sub> и N<sub>2</sub>O, в экосистемах тундр России.
  - б) неопределённость оценки площадей, занятых экосистемами тундр;
  - в) на общую неопределённость оценок накладывается недостаток данных по пожарным нарушениям в тундрах, а также высокая неопределённость коэффициентов выбросов парниковых газов от пожаров.
-

**Таблица 4.1.** Оценка неопределенности оценок выбросов парниковых газов от экосистем тундры

Категория источника/поглотителя	Выбросы (+) или поглощение (-), Гг CO <sub>2</sub> -эquiv.	Неопределенность	
		%	Гг CO <sub>2</sub> -эquiv.
Поглощение CO <sub>2</sub>	-678181,7	24,8	168189,1
Выбросы CH <sub>4</sub>	524912,5	28,4	149075,1
Выбросы N <sub>2</sub> O	217929,4	57,7	125745,2
Выбросы CH <sub>4</sub> от пожаров	50,20	108,1	54,3
Выбросы N <sub>2</sub> O от пожаров	0,0	112,1	0,0
Выбросы CH <sub>4</sub> от оленьих пастбищ	2,5	21,5	0,5
Выбросы N <sub>2</sub> O от оленьих пастбищ	10,8	91,1	9,9
<b>Итого по экосистемам тундры</b>	<b>64660,1</b>	<b>398,3</b>	<b>257532,2</b>

## 4.2. Лесные экосистемы

Обобщенная оценка неопределенности показала, что лесные экосистемы нашей страны обеспечивают чистое поглощение парниковых газов в объеме  $775 \pm 157$  Мт CO<sub>2</sub>-эquiv. (табл. 4.2).

**Таблица 4.2.** Оценка неопределенности оценок выбросов парниковых газов от лесных экосистем

Категория источника/поглотителя	Выбросы (+) или поглощение (-), Гг CO <sub>2</sub> -эquiv.	Неопределенность	
		%	Гг CO <sub>2</sub> -эquiv.
Фитомасса	-625375,4	22,4	139838,2
Мертвая древесина	-66850,3	37,7	25226,6
Подстилка	-21810,6	62,8	13697,3
Органическое вещество почвы	-95899,2	65,8	63067,8
Осушение, CO <sub>2</sub>	5077,0	48,7	2474,7
Осушение, CH <sub>4</sub>	478,4	79,6	380,9
Осушение, N <sub>2</sub> O	1561,7	39,5	617,1
Выбросы CH <sub>4</sub> от пожаров	16106,2	72,8	11725,5
Выбросы N <sub>2</sub> O от пожаров	11560,4	63,2	7311,4
<b>Итого по лесным экосистемам</b>	<b>-775151,9</b>	<b>20,2</b>	<b>156696,7</b>

Основными источниками неопределённости количественных оценок способности лесных экосистем Российской Федерации к чистому поглощению диоксида углерода и других парниковых газов (метана и закись азота) являются:

а) неопределённость оценки площадей, занятых лесными экосистемами. По данным Росреестра, площадь покрытых лесами земель на 01.01.2017 г.

составляет 809,7 млн га, однако независимые оценки, основанные на дистанционных данных, дают 820 млн га [248].

б) пока ещё высока неопределённость пересчётных коэффициентов для мёртвой древесины, подстилки и органического вещества почвы, которые, по данным национального доклада о кадастре ПГ, составляют 32%, 62% и 65% соответственно;

в) на общую неопределённость оценок накладывается значительный разброс статистических данных по пожарным нарушениям в лесах, а также высокая неопределённость коэффициентов выбросов парниковых газов от пожаров;

г) данные Государственного лесного реестра, используемые в качестве исходных данных для расчёта чистого поглощения CO<sub>2</sub> лесными экосистемами, представляют собой свод разновременной информации, которая, главным образом, основана на нерегулярно обновляющихся материалах лесоустройства и не в полной мере отражает современное состояние лесов;

д) ограниченность имеющихся данных по экспериментальному определению потоков CO<sub>2</sub>, а особенно CH<sub>4</sub> и N<sub>2</sub>O, в лесных экосистемах России.

### 4.3. Степные экосистемы

Обобщенная оценка неопределенности показала, что степные экосистемы нашей страны обеспечивают чистое поглощение парниковых газов в объеме  $420 \pm 182$  Мт CO<sub>2</sub>-экв. (табл. 4.3).

Таблица 4.3. Оценка неопределенности оценок выбросов парниковых газов от степных экосистем

Категория источника/ поглотителя	Выбросы (+) или поглощение (-), Гг CO <sub>2</sub> -экв.	Неопределенность	
		%	Гг CO <sub>2</sub> -экв.
Поглощение CO <sub>2</sub>	-416231,0	43,7	181729,0
Поглощение CH <sub>4</sub>	-4064,0	64,0	2602,2
Поглощение N <sub>2</sub> O	-1,2	204,0	2,4
<b>Итого по степным экосистемам</b>	<b>-420296,2</b>	<b>43,2</b>	<b>181747,7</b>

Основными источниками неопределённости количественных оценок способности степных экосистем Российской Федерации к чистому поглощению диоксида углерода и других парниковых газов (метана и закись азота) являются:

а) неопределённость оценки общей площади, занятой природными степными экосистемами;

б) ограниченность имеющихся экспериментальных данных по определению потоков CO<sub>2</sub>, а особенно CH<sub>4</sub> и N<sub>2</sub>O, в зоне степей. Эта изменчивость обусловлена высоким разнообразием степей как в плане почвенно-растительного покрова, так и их биоклиматического потенциала, который вносит свою долю вариабельности в определение каждого из параметров – NPP и MR.

Количественные оценки поглощения/эмиссии закиси азота в степных экосистемах выполнены ещё с большей долей неопределённости, основанной на сложности процессов, небольших скоростях и скудности экспериментального материала. Погрешность, с которой определены потоки закиси азота в степных почвах, превышает сами эти потоки:  $4,8 \pm 10,4$  и  $7,1 \pm 15,3$  Мт экв.  $\text{CO}_2/\text{год}$  (в зависимости от площади степей).

Оценка потоков метана не так сильно варьирует ( $1,5 \pm 0,4$  и  $2,3 \pm 0,6$  Мт экв.  $\text{CO}_2/\text{год}$  в зависимости от площади степей), но и её нельзя признать достоверной из-за ничтожно малого количества экспериментальных данных, на которых она базируется;

в) антропогенные нарушения в зоне степей, основными из которых являются выпас скота и весенние палы. Оценка их влияния на потоки парниковых газов в зоне степей России отсутствует полностью, хотя имеющиеся в литературе данные свидетельствуют о том, что эффект выпаса оказывает существенное влияние на количественную оценку способности степных экосистем к поглощению парниковых газов. Так, по экспертным оценкам А.А. Тишкова [248], масса сгорающего при пожаре материала в степях составляет 3,8-12,4 т/га, из них на долю углерода приходится около четверти. Если предположить, что из общей площади сельскохозяйственных палов на степные и связанные с ними природные экосистемы также приходится около четверти, то связанная с пожарами общая эмиссия с этой площади может быть оценена в 30-40 Мт С ежегодно. Эта очень существенная величина, которая существенно снижает общую ёмкость степных экосистем к общему поглощению  $\text{CO}_2$ . Кроме того, весенние палы в степях могут быть также и источником метана и закиси азота [249]. Масштабы этих потоков в степной зоне не оценены вовсе;

г) полная картина баланса углерода в степных экосистемах невозможна без оценки запасов углерода в почвах, изменение которого будет зависеть как от соотношения эмиссии и стока  $\text{CO}_2$  в экосистемах степей, так и от антропогенной нагрузки.

Таким образом, чтобы снизить неопределённость полученных оценок, необходимо, используя методы дистанционного зондирования, оценить площадь степных экосистем с учётом подтипов и степени антропогенных нарушений. Не менее важно расширять сеть экспериментальных прямых наблюдений за потоками парниковых газов в различных подтипах степных экосистем и оценивать изменение запасов углерода в почвах. Нужны специальные исследования по влиянию антропогенных нарушений (выпаса скота и весенних палов) на потоки парниковых газов и запасы почвенного углерода в степных экосистемах. Полученные оценки будут служить основой для параметризации существующих математических моделей.

#### 4.4. Луговые экосистемы

Обобщенная оценка неопределённости показала, что луговые экосистемы нашей страны являются чистым (нетто) источником парниковых газов  $49,5 \pm 21,5$  Мт  $\text{CO}_2$ -экв. (табл. 4.5).

---

**Таблица 4.5.** Оценка неопределенности оценок выбросов парниковых газов  
от луговых экосистем

Категория источника/ поглотителя	Выбросы (+) или поглощение (-), Гг CO <sub>2</sub> -экв.	Неопределенность	
		%	Гг CO <sub>2</sub> -экв.
Поглощение CO <sub>2</sub>	-6144,8	13,0	798,8
Выбросы CH <sub>4</sub> от навоза на пастбищах	730,8	21,0	153,1
Выбросы N <sub>2</sub> O от навоза на пастбищах	6057,2	91,0	5512,0
Выбросы CH <sub>4</sub> от пожаров	601,8	108,0	649,9
Выбросы N <sub>2</sub> O от пожаров	662,2	112,0	741,6
Осушение, CO <sub>2</sub>	37475,2	49,0	18362,8
Осушение, CH <sub>4</sub>	1915,5	79,0	1513,2
Осушение, N <sub>2</sub> O	8218,8	39,0	3205,3
<b>Итого по луговым экосистемам</b>	<b>49516,5</b>	<b>43,4</b>	<b>21471,7</b>

Основным источником неопределенности при расчетах баланса парниковых газов в луговых экосистемах являются, прежде всего, высокая неопределенность расчетных коэффициентов для расчета выбросов парниковых газов при осушении органогенных почв и выбросов CH<sub>4</sub> и N<sub>2</sub>O от пожаров.

#### 4.5. Болотные экосистемы

Количественная оценка неопределенности показала, что болотные экосистемы нашей страны обеспечивают чистое поглощение парниковых газов в объеме  $119,2 \pm 1883,3$  Мт CO<sub>2</sub>-экв.

Выполненная оценка способности болот на территории Российской Федерации к чистому поглощению CO<sub>2</sub> и к общему, выраженному в эквиваленте CO<sub>2</sub>, чистому поглощению парниковых газов – CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> и N<sub>2</sub>O показывает значительные неопределенности, обусловленные выбором типологии болотных экосистем и площадей болотных типов, наличием ограниченного количества литературных данных, различиями в используемых методах измерения потоков парниковых газов (ПГ), а также ограниченному числу имеющихся данных о потоках отдельных ПГ, в частности закиси азота. Спорным является вопрос о выборе величин потенциала глобального потепления для метана и закиси азота.

Например, в различных литературных источниках величины удельных потоков могут для одних и тех же типов болотных экосистем могут варьировать на порядок, что в значительной степени обусловлено высокой пространственной неоднородностью болотных экосистем, а также выбором способа измерений потоков парниковых газов.

Необходимо отметить, что в рамках предварительных расчетов не учиты-

валась суточная и сезонная динамика потоков парниковых газов, были выбраны значительные допущения в отношении классификации болотных экосистем.

**Таблица 4.6.** Оценка неопределенности оценок выбросов парниковых газов от болотных экосистем

Категория источника/ поглотителя	Выбросы (+) или поглощение (-), Гг CO <sub>2</sub> -экв.	Неопределенность	
		%	Гг CO <sub>2</sub> -экв.
Поглощение CO <sub>2</sub>	-860125,3	201,0	1728831
Выбросы CH <sub>4</sub>	731989,3	102,0	746486
Выбросы N <sub>2</sub> O	8024,6	300,7	24127
Торфоразработки, CO <sub>2</sub>	545,9	73,0	398
Торфоразработки, CH <sub>4</sub>	153,8	94,5	145
Торфоразработки, N <sub>2</sub> O	26,2	79,4	21
Пожары, CO <sub>2</sub>	111,9	57,6	64
Пожары, CH <sub>4</sub>	70,0	72,8	51
Пожары, N <sub>2</sub> O	23,8	63,2	15
<b>Итого по болотным экосистемам</b>	<b>-119179,8</b>	<b>1580,2</b>	<b>1883263</b>

Проведенные расчеты не учитывают выноса углерода в виде POC, DOC, с последующим попаданием в атмосферу в виде диоксида углерода или метана (при анаэробных условиях), потери углерода с ветровой эрозией, а также возможен недоучет потерь в результате лесоторфяных пожаров [247, 206].

Ограниченность исходных данных по площадям болот, их пространственное разнообразие, крайне ограничено учитываемое в расчетах, и, конечно, крайний недостаток данных по коэффициентам эмиссии всех трех рассматриваемых парниковых газов приводит к высокой неопределенности проведенных оценок.

#### 4.6. Пресноводные экосистемы

Погрешности оценки связаны с наличием ошибок получения исходных данных (площадей водных объектов) и конверсионных коэффициентов, используемых для расчета эмиссии CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub>. Процедура расчета выбросов углерода является операцией над приближенными числами. Для получения доверительного интервала итоговой оценки сначала оценивали ошибки исходных данных, затем находили преобразования этих ошибок при осуществлении расчетов.

Статистическая погрешность данных Росреестра составляет ±5%. Однако учитывая, что для оценки площадей водных объектов по состоянию на 2016 год было необходимо использовать статистические данные Госком-

стата за 1990 по площадям рек и ручьев, погрешность исходных данных принята вдвое больше – т.е.  $\pm 10\%$ . Точность определения безледного периода по субъектам РФ также принята равной  $\pm 10\%$ .

Неопределенность коэффициента эмиссии  $\text{CH}_4$  от рек и ручьев составляет 1000% [239, 241-244]. Для оценки эмиссии  $\text{CH}_4$  от водоемов со стоячей водой максимальную неопределенность коэффициента эмиссии  $\text{CH}_4$  от рек и ручьев увеличили до 1200%, так как в расчетах использован ряд допущений при определении величины данного коэффициента.

**Таблица 4.7.** Неопределенность выбросов парниковых газов от пресноводных экосистем

Категория источника/ поглотителя	Выбросы (+) или поглощение (-), Гг $\text{CO}_2$ -экв.	Неопределенность	
		%	Гг $\text{CO}_2$ -экв.
Выбросы $\text{CO}_2$ от водоемов со стоячей водой	58106,8	200,2	116358,7
Выбросы $\text{CH}_4$ от водоемов со стоячей водой	8120,4	1200,0	97448,7
Выбросы $\text{CO}_2$ от рек и ручьев	77732,7	200,2	155659,7
Выбросы $\text{CH}_4$ от рек и ручьев	7759,4	1000,0	77598,1
<b>Итого по пресноводным экосистемам</b>	<b>151719,4</b>	<b>152,1</b>	<b>230839,8</b>

По данным Федорова [239] неопределенность коэффициента эмиссии  $\text{CO}_2$  от рек и ручьев составляет 200%. Неопределенность коэффициента эмиссии  $\text{CO}_2$  от водоемов со стоячей водой принята равной неопределенности коэффициенту эмиссии  $\text{CO}_2$  от рек и ручьев.

Количественная оценка неопределенности показала, что пресноводные экосистемы нашей страны обеспечивают выбросы парниковых газов в объеме  $151,7 \pm 230,8$  Мт  $\text{CO}_2$ -экв.

#### 4.7. Выводы

Основными источниками неопределённости количественных оценок способности природных экосистем Российской Федерации к чистому поглощению диоксида углерода и других парниковых газов (метана и закиси азота) являются:

1. Неопределённость оценки площадей, занятых разными типами природных экосистем.
2. Ограниченность имеющихся экспериментальных данных по определению потоков  $\text{CO}_2$ , а особенно  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$ , в природных экосистемах России.
3. На общую неопределённость оценок накладывается недостаток статистических данных по пожарным нарушениям в тундрах, степях и болотах, а

также высокая неопределённость коэффициентов выбросов парниковых газов от пожаров.

4. Наибольший уровень неопределенности отмечен для оценок чистого поглощения/выбросов парниковых газов применительно к тундрам ( $\pm 398\%$ ), болотам ( $\pm 1580\%$ ) и пресноводным экосистемам ( $\pm 152\%$ ), что в большей степени связано с недостаточными знаниями о потоках парниковых газов в этих экосистемах.

---

## Заключение

В настоящей публикации представлены результаты выполнения научно-исследовательской работы «Научные исследования в области оценки способности различных типов экосистем к поглощению диоксида углерода и подготовка научно-обоснованных предложений по расчёту объёмов поглощения диоксида углерода экосистемами регионов Российской Федерации» шифр 17-14-НИР/01, выполненной на основании государственного контракта от 21 июля 2017 года № ДК-14-23/55.

Целью работы являлись научные исследования в области оценки способности экосистем к поглощению диоксида углерода, обеспечение научного подхода к методологии оценки способности всех типов лесов, водно-болотных угодий и степей, находящихся на территории Российской Федерации, к поглощению диоксида углерода (на основании расчетов).

Методы проведения работы включали в себя: анализ отечественных и зарубежных публикаций по методам оценки баланса парниковых газов в природных экосистемах; проведение расчетов чистого поглощения парниковых газов основными типами природных экосистем с разбивкой по субъектам РФ.

В соответствии с Техническим заданием публикация структурирована по следующим разделам.

Первый раздел посвящён анализу существующих типов природных экосистем (тундр, лесов, степей, лугов, болот, пресноводных экосистем) по регионам Российской Федерации, в значительной степени оказывающих влияние на баланс парниковых газов;

Во втором разделе проведена оценка способности различных природных экосистем к чистому поглощению парниковых газов по субъектам Российской Федерации, включающая аналитические и картографические материалы и расчеты способности различных типов природных экосистем к чистому поглощению парниковых газов (диоксида углерода, метана и закиси азота) с разбивкой по субъектам Российской Федерации, а также научно обоснованные предложения по определению методов, по которым возможно оценить способность природных экосистем, находящихся на территории Российской Федерации, к чистому поглощению основных парниковых газов;

В третьем разделе выполнены расчеты по определению способности различных типов природных экосистем (включая все типы лесов, тундр, водно-болотных угодий и степей, находящихся на территории Российской Федерации) к чистому поглощению парниковых газов, учитывающие баланс между выбросами из источников и абсорбцией поглотителями, происходящими в этих экосистемах в результате природных и антропогенных процессов, с разбивкой по субъектам Российской Федерации (на основании выбранных методов и методики количественного определения объёмов поглощения парниковых газов, утвержденной распоряжением Минприроды России от 30.06.2017 № 20-р);

В рамках четвертого раздела выполнен анализ неопределённости количественных оценок способности различных типов природных экосистем

---

---

(включая неуправляемые леса) на территории Российской Федерации к чистому поглощению диоксида углерода и к общему, выраженному в эквиваленте CO<sub>2</sub>, чистому поглощению парниковых газов – диоксида углерода, метана и закиси азота; определение доверительных интервалов.

Результат НИР является продуктом научной деятельности, направленной на получение новых знаний о методах и подходах к оценке способности различных природных экосистем к чистому поглощению диоксида углерода с разбивкой по субъектам РФ. Результатом НИР является расчет объемов чистого поглощения диоксида углерода, метана и закиси азота природными экосистемами на территории субъектов Российской Федерации, а также научно обоснованные предложения по определению методов оценки способности различных видов природных экосистем (за исключением лесных экосистем) к чистому поглощению диоксида углерода. Работа направлена на оценку потенциальной роли природных экосистем Российской Федерации в части смягчения изменения климата.

Базовый подход РКИК ООН и МГЭИК позволяет учитывать потоки парниковых газов антропогенного происхождения, однако роль неуправляемых природных экосистем в поглощении ПГ в рамках данного подхода не рассматривается. Данные о вкладе природных экосистем в эмиссию и поглощение парниковых газов являются предметом научных исследований.

---

### Список использованных источников

1. Вальтер Г. Растительность земного шара. Эколого-физиологическая характеристика. Т. 2. Леса умеренной зоны – М.: Прогресс, 1974. – 427 с.
  2. Вальтер Г. Растительность земного шара. Эколого-физиологическая характеристика. Т. 3. Тундры, луга, степи, внетропические пустыни – М.: Прогресс, 1975. – 428 с.
  3. Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы – М.: Прогресс, 1980. – 327 с.
  4. Петров К.М., Терехина Н.В. Растительность России и сопредельных стран – СПб.: Химиздат, 2013. – 328 с.
  5. Карелин Д.В., Замолодчиков Д.Г. Углеродный обмен в криогенных экосистемах – М.: Наука, 2008. – 344 с.
  6. Luysaert S., Inghima I., M. Jung, A.D. Richardson, M. Reichstein et al. (and more 60 co-authors). The CO<sub>2</sub>-balance of boreal, temperate and tropical forests derived from a global database // *Global Change Biology*. – 2007. – V. 13. – P. 2509-2537.
  7. Mukhortova L., Schepaschenko D., Shvidenko A., McCallum I., Kraxner F. Soil contribution to carbon budget of Russian forests // *Agricultural and Forest Meteorology*. – 2015. – V. 200, P. 97-108.
  8. Замолодчиков Д.Г., Коровин Г.Н., Уткин А.И., Честных О.В., Сонген Б.М. Углерод в лесном фонде и сельскохозяйственных угодьях России – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2005. – 200 с.
  9. Титлянова А.А., Шибарева С.В. Новые оценки запасов фитомассы и чистой первичной продукция степных экосистем Сибири и Казахстана // *Известия РАН. Сер. Географическая*. – 2017. – № 4. – С. 43-55.
  10. Вомперский С.Э., Иванов А.И., Цыганова О.П. и др. Заболоченные органогенные почвы и болота России и запас углерода в их почвах // *Почвоведение*. – 1994. – № 12. – С. 17-25.
  11. Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорология и климатология – М.: Издательство Московского Университета, 2012. – 582 с.
  12. Карелин Д.В., Гильманов Т.Г., Замолодчиков Д.Г. К оценке запасов углерода в наземных экосистемах тундровой и лесотундровой зон российского севера: фитомасса и первичная продукция // *Доклады Академии наук*. – 1994. – Т. 335 (4). – С. 530-532.
  13. Чернов Ю.И. Жизнь тундры – М.: Мысль, 1980. – 236 с.
  14. Molen van der M.K., Huissteden van J.F., Parmentier J.W., Petrescu A.M.R., Dolman A.J., Maximov T.C., Kononov A.V., Karsanaev S.V., Suzdalov D.A. The growing season greenhouse gas balance of a continental tundra site in the Indigirka lowlands, NE Siberia // *Biogeosciences*. – 2007. – V. 4. – P. 985-1003.
  15. Приказ Минприроды России от 18.08.2014 № 367 (ред. от 21.03.2016)
-

---

“Об утверждении перечня лесорастительных зон и лесных районов Российской Федерации” – 21 с.

16. Росреестр. Сведения о наличии и распределении земель по категориям и формам собственности (на 1 января 2017 года, тыс. га) – Интернет-ресурс: <https://rosreestr.ru/site/activity/gosudarstvennoe-upravlenie-v-sfere-ispolzovaniya-i-okhrany-zemel/gosudarstvennyu-monitoring-zemel/sostoyanie-zemel-rossii/gosudarstvennyu-natsionalnyu-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-v-rossiyskoy-federatsii/> – Режим доступа – свободный.

17. Инвентаризация сохранившихся степных экосистем (степных массивов) России // Технический отчет. – М., 2016. – 62 с.

18. Мордкович В.Г. Степные экосистемы / отв. ред. И.Э. Смелянский. – 2-е изд. испр. и доп. – Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2014. – 170 с.

19. Лавренко Е.М., Карамышева З.В., Никулина Р.И. Степи Евразии – Л.: Наука, 1991. – 146 с.

20. Базилевич Н.И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии – М.: Наука, 1993. – 293 с.

21. Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв – М.: ГЕОС, 2010. – 416 с.

22. Смелянский И.Э. Роль степных экосистем России в депонировании углерода // Степной бюллетень. – 2012. – № 35. – С. 4-9.

23. Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Six J., Kuzyakov Y. Carbon cost of collective farming collapse in Russia // *Global Change Biology*. – 2014. – V. 20. – № 3. – P. 938-947.

24. Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Kuzyakov Y. Large-scale carbon sequestration in post-agrogenic ecosystems in Russia and Kazakhstan // *Catena*. – 2015. – V. 133. – P. 461-466.

25. Смелянский И.Э. Сколько в степном регионе России залежей? // Степной бюллетень. – 2012. – 36 с.

26. Российский статистический ежегодник – М.: Росстат, 2017. – 686 с.

27. Мокроносов А.Т. Глобальный фотосинтез и биоразнообразие растительности // Глобальные изменения природной среды и климата: Круговорот углерода на территории России. – М., 1999. – С. 19-62.

28. Чибилев, Левыкин С.В., Павлейчик В.М. и др. Проблемы геоэкологии и степеведения – Оренбург: Институт степи УрО РАН, 2015. – 196 с.

29. Sirin A., Laine J. Peatlands and greenhouse gases, in: Assessment on peatlands, biodiversity and climate change, main report / Parish F., Sirin A., Charman D. et al. (eds.). – Wageningen, Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, 2008. – P. 118-138.

---

30. Гидрология суши. Термины и определения. ГОСТ 19179-73 – М., 1973. – 34 с.
31. Белов Л., Каменнова И., Минаева Т., Сири́н А., Третьякова Н. Сохранение водно-болотных угодий: к 40-летию деятельности Рамсарской конвенции // Государственное управление ресурсами. – 2012. – № 6. – С. 17-23.
32. Торфяные болота России: к анализу отраслевой информации / Ред.: Сири́н А.А., Минаева Т.Ю. – М.: Изд-во Геос., 2001. – 190 с.
33. Минаева Т.Ю., Сири́н А.А. Биологическое разнообразие болот и изменение климата // Успехи современной биологии. – 2011. – Т. 131. – № 4. – С. 393-406.
34. Госкомстат РСФСР. Народное хозяйство РСФСР в 1990 г.: стат. ежегодник – М.: Республиканский информационно-издательский центр, 1991. – 592 с.
35. Casper P., Maberly S.C., Hall G.H., Finlay P.J. Fluxes of methane and carbon dioxide from a small productive lake to the atmosphere // Biogeochemistry. – 2000. – V. 49. – P. 1-19.
36. Deemer Bridget R., Harris John A., Li Siyue, Beaulie Jake J., Delsontro Tonya, Barros Nathan, Bezerra-Neto José F., Powers Stephen M., Dos Santos, Marco A., Vonk J. Arie. Greenhouse Gas Emissions from Reservoir Water Surfaces: A New global Synthesis – 2016. – Интернет ресурс: [https://www.researchgate.net/publication/308892148\\_Greenhouse\\_Gas\\_Emissions\\_from\\_Reservoir\\_Water\\_Surfaces\\_A\\_New\\_Global\\_Synthesis](https://www.researchgate.net/publication/308892148_Greenhouse_Gas_Emissions_from_Reservoir_Water_Surfaces_A_New_Global_Synthesis) – Режим доступа – свободный.
37. Climate Change 2013. The Physical Science Basis – Working Group I Technical Support Unit. – Switzerland: IPCC, 2013. – 33 p.
38. Кузнецов С.И. Микрофлора озер и ее геохимическая деятельность – Л.: Наука, 1970. – 440 с.; Лапин И.А., Анисеев В.В., Винников Ю.Я. и др. Биогеохимические аспекты поведения растворенного органического вещества в эстуарии реки Раздольная – Амурский залив Японского моря // Океанология. – 1990. – Т. 30. – Вып. 2. – С. 234-240.
39. Гарькуша Д.Н., Федоров Ю.А. Метан в устьевой области реки Дон – Ростов-на-Дону – Москва: ЗАО «Ростиздат», 2010. – 181 с.
40. Федоров Ю.А., Тамбиева Н.С., Гарькуша Д.Н., Хорошевская В.О. Метан в водных экосистемах – Ростов-на-Дону – Москва: ЗАО «Ростиздат», 2005. – 329 с.
41. Мартынова М.В., Муругова Р.Н., Погожев П.И. Газоотделение со дна небольшого озера // Водные ресурсы. – 1995. – Т. 22. – № 6. – С. 709-714.
42. Gilmanov T.G. Phenomenological models of the primary productivity of zonal arctic ecosystems // Global Change and Arctic terrestrial ecosystems. – N-Y., Springer, 1997. – P. 402-436.
-

- 
43. Lieth H. Modeling the primary productivity of the world // *Primary Productivity of the Biosphere (Ecological Studies. – V. 14)* / Lieth H., Whittaker R.H., eds. – New York: Springer-Verlag, 1975. – P. 237-263.
44. Draper N.R., Smith H. *Applied regression analysis / 2nd edition.* – New York: Wiley, 1981.
45. Карелин Д.В., Замолодчиков Д.Г., Зукерт Н.В., Честных О.В., Почикалов А.В., Краев Г.Н. Межгодовые изменения ФАР и влажности почвы в теплый сезон могут быть важнее для направления годового углеродного баланса в тундрах, чем колебания температуры // *Журнал Общей Биологии.* – 2013. – Т. 74. – № 1. – С. 3-22.
46. *Tundra ecosystems: a comparative analysis / Eds. Bliss L.C. et al.* – Cambridge Univ. Press, 1981. – 813 p.
47. Sommerkorn M. Patterns and controls of CO<sub>2</sub> fluxes in wet tundra types of the Taymir Peninsula, Siberia – the contribution of soils and mosses // *Berichte zur Polarforschung. Reports on Polar Research.* – 1998. – V. 228. – 219 p.
48. Christensen T.R., Jonasson S., Michelsen A., Callaghan T.V., Havstrom M. Environmental controls on soil respiration in the Eurasian and Greenlandic Arctic // *Journal of Geophysical Research.* – 1998. – V. 103, D22. – P. 29015-29021.
49. Leuning R., Kelliher F.M., De Pury D.G.G., Schulze E.D. Leaf nitrogen, photosynthesis, conductance and transpiration: scaling from leaves to canopies // *Plant, Cell and Environment.* – 1995. – V. 18. – P. 1183-1200.
50. Джефферс Д. Введение в системный анализ: применение в экологии – М.: Мир, 1981. – 256 с.
51. Zamolodchikov D.G., Karelin D.V. An Empirical Model of Carbon Fluxes in Russian Tundra // *Global Change Biology.* – 2001. – V. 7. – № 2. – P. 147-162.
52. Замолодчиков Д.Г., Карелин Д.В., Иващенко А.И. Углеродный баланс тундровых ландшафтов центральной Сибири: наблюдение и моделирование на геоинформационной основе // *Журнал общей биологии.* – 1997. – Т. 58. – № 2. – С. 15-33.
53. Замолодчиков Д.Г., Карелин Д.В., Иващенко А.И. Углеродный баланс биогеоценозов тундровой зоны // *Углерод в биогеоценозах. Чтения памяти академика В.Н. Сукачева, XV.* – М.: РАН, 1997. – С. 99-121.
54. Замолодчиков Д.Г., Карелин Д.В., Иващенко А.И. Геоинформационный подход к изучению углеродных потоков в тундровых ландшафтах // *Криосфера Земли.* – 1997. – Т. 1. – № 4. – С. 79-84.
55. Исаченко А.Г., Шляпникова А.А., Робозерова О.Д., Филипецкая А.З. *Ландшафтная карта СССР* – М.: ГУГК, 1988.
56. *Справочник по климату СССР* – Вып. 1, 2, 17, 21, 24, 33. Ч. 1, 2, 5. – Л.: Гидрометеиздат, 1966-1968.
-

57. Monsi M., Saeki T. Uber den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung fur die Stoffproduktion // *Japan Journal of Botany*. – 1953. – V. 14. – P. 22-56.
58. Ryan M.G. Effects of climate change on plant respiration // *Ecology Applied*. – 1991. – V. 1. – P. 157-167.
59. Зимов С.А., Давыдов С.П., Просяников С.Ф., Воропаев Ю.В., Семилетов И.П. Почвы Севера – генератор углекислоты // *Вестник АН СССР*. – 1991. – 8. – С. 71-83.
60. Федоров-Давыдов Д.Г., Гиличинский Д.А. Особенности динамики выделения CO<sub>2</sub> из мерзлотных почв // *Дыхание почвы*. – Пушкино: ПНЦ РАН, 1993. – С. 76-100.
61. Oechel W.C., Vourlitis G.L., Hastings S.J. Cold-season CO<sub>2</sub> emission from arctic soils // *Global Biogeochemical Cycles*. – 1997. – V. 112. – P. 163-172.
62. Семенов В.М., Кузнецова Т.В., Ходжаева А.К., Семенова Н.А., Кудяров В.Н. Почвенная эмиссия закиси азота: влияние природных и агрогенных факторов // *Агрохимия*. – 2004. – № 1. – С. 30-39.
63. Замолотчиков Д.Г., Карелин Д.В., Иващенко А.И. Пороговая температура углеродного баланса южных тундр // *Доклады Академии наук*. – 1998. – Т. 358. – № 5. – С. 1-2.
64. Oechel W.C., Vourlitis G.L., Hastings S.J., Bochkarev S.A. Change in Arctic CO<sub>2</sub> flux over two decades: effects of climate change at Barrow, Alaska // *Ecological Applications*. – 1995. – V. 5. – P. 846-855.
65. Политова Н.Ю., Лукьянова Л.М. CO<sub>2</sub>-газообмен и продуктивность сообществ горной тундры Хибин // *Плодородие почв и продуктивность фитоценозов*. – Апатиты: КНЦ РАН, 1991. – С. 72-84.
66. Шмакова Н.Ю. Дыхательный газообмен подземной сферы тундровых растительных сообществ как элемент продукционного процесса // *Почвообразование и фотосинтез растений в Кольской Субарктике*. – Апатиты: КНЦ АН СССР, 1994. – С. 78-88.
67. Кобак К.И. Биотические компоненты углеродного цикла – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 248 с.
68. Мокронос А.Т. Фотосинтез и изменение содержания CO<sub>2</sub> в атмосфере // *Природа*. – 1994. – № 7. – С. 25-27.
69. Кудяров В.Н., Хакимов Ф.И., Деева Н.Ф., Ильина А.А., Кузнецова Т.В., Тимченко А.В. Оценка дыхания почв России // *Почвоведение*. – 1995. – № 1. – С. 33-42.
70. Zamolodchikov D.G., Karelin D.V., Ivaschenko A.I. Sensitivity of tundra carbon balance to ambient temperature // *Water, Air and Soil Pollution*. – 2000. – V. 119. – P. 157-169.
-

- 
71. Замолодчиков Д.Г., Гитарский М.Л., Шилкин А.В., Марунич А.С., Карелин Д.В., Блинов В.Г., Ивашенко А.И. Мониторинг циклов диоксида углерода и водяного пара на полигоне «Лог таежный» (Валдайский национальный парк) // *Фундаментальная и прикладная климатология*. – 2017. – № 1. – С. 54-68.
72. Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Kuzyakov Y., Six J. Carbon cost of collective farming collapse in Russia // *Global Change Biology*. – 2014. – V. 20. – No. 3. – P. 938-947.
73. Whalen S.C., Reeburgh W.C. Consumption of atmospheric methane by tundra soils // *Nature*. – 1990. – V. 346. – P. 160-162.
74. Hobbie S., Schimel J., Trumbore S., Randerson J.R. Controls over carbon storage and turnover in high-latitude soils // *Global Change Biology*. – 2000. – 6 (Suppl. 1). – P. 196-210.
75. Phelps A.R., Peterson K.M., Jeffries M.O. Methan efflux from high-latitude lakes during spring ice melt // *J. of Geophysical Research*. – 1998. – V. 103, D22. – P. 29029-29036.
76. Sebacher D.I., Harriss R.C., Bartlett K.B., Sebacher S.M., Grise S.S. Atmospheric methane sources: Alaskan tundra bogs, an alpine fen and a subarctic boreal marsh // *Tellus*. – 1986. – V. 38. – Ser. B. – P. 1-10.
77. Паников Н.С. Эмиссия парниковых газов из заболоченных почв в атмосферу и проблемы устойчивости // *Экология и почвы. Избранные лекции I-VII школ (1991-1997 гг.)*. – Пущино, 1998. – Т. 1. – С. 171-184.
78. Christensen T.R., Jonasson S., Michelsen A., Callaghan T.V., Havstrom M. Environmental controls on soil respiration in the Eurasian and Greenlandic Arctic // *Journal of Geophysical Research*. – 1998. – V. 103, D22. – P. 29015-29021.
79. Heikkinen J., Virtanen T., Huttunen J.T., Elsakov V., Martikainen P.J. Carbon balance in east european tundra // *Global Biogeochemical Cycles*. – 2004. – V. 18. – GB1023. – DOI: 10.1029/2003GB002054.
80. Берестовская Ю.Ю., Русанов И.И., Васильева Л.В., Пименов Н.В. Процессы образования и окисления метана в почвах заполярной тундры России // *Микробиология*. – 2005. – Т. 74. – № 2. – С. 261-270.
81. Wagner D., Kobale S., Pfeifer E.-M., Hubberten H.-W. Microbial Control on Methane Fluxes from a Polygonal Tundra of the Lena Delta, Siberia // *Permafrost and Periglacial Processes*. – 2003. – V. 14. – P. 173-185.
82. Kutzbach L., Wagner D., Pfeifer E.-M. Effects of microrelief and vegetation on methane emission from wet polygonal tundra, Lena Delta, Northern Siberia // *Biogeochemistry*. – 2004. – V. 69. – P. 341-362.
83. Schneider J., Grosse G., Wagner D. Land cover classification of tundra environments in the Arctic Lena Delta based on Landsat ETM+ data and its application for upscaling of methane emissions // *Remote Sensing of Environment*. – 2009. – V. 113. – P. 380-391.
-

84. Merbold L., Kutsch W. L., Corradi C., Kolle O., Rebmann C., Stoy P.C., Zimov S.A., Schulze E.-D. Artificial drainage and associated carbon fluxes (CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>) in a tundra ecosystem // *Global Change Biology*. – 2009. – V. 15. – No. 11. – P. 2599-2614.

85. Wille C., Kutzbach L., Sachs T., Wagner D., Pfeifer E.-M. Methane emission from Siberia arctic polygonal tundra: eddy covariance measurements and modeling // *Global Change Biology*. – 2008. – V. 14. – P. 1395-1408.

86. Sachs T., Wille C., Boike J., Kutzbach L. Environment controls on ecosystem-scale CH<sub>4</sub> emission from polygonal tundra in the Lena River Delta, Siberia // *Journal of Geophysical Research*. – 2008. – V. 113. – G00A03. – DOI: 10.1029/2007JG000505.

87. Sachs, T., Giebels, M., Wille, C., Kutzbach, L., Boike, J. Methane Emission from Siberian Wet Polygonal Tundra on Multiple Spatial Scales: Vertical Flux Measurements by Closed Chambers and Eddy Covariance, Samoylov Island, Lena River Delta // *Proceedings of the 9th International Conference on Permafrost*. – 2008.

88. Sachs T., Giebels M., Boike J., Kutzbach L. Environmental controls of CH<sub>4</sub> emission from polygonal tundra on the micro-site scale, Lena River Delta, Siberia // *Global Change Biology*. – 2010. – V. 16. – No. 11. – P. 3096-3110.

89. Heimann Martin, Reichstein Markus. Terrestrial ecosystem carbon dynamics and climate feedbacks // *Nature*. – 2008. – V. 451. – P. 289-292.

90. Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ – Рослесхоз). – Интернет-ресурс: [https://nffc.aviales.ru/main\\_pages/index.shtml](https://nffc.aviales.ru/main_pages/index.shtml).

91. Sabrekov A.F., M.V. Glagolev, P.K. Alekseychik et al. A process-based model of methane consumption by upland soils // *Environmental Research Letters*. – 2016. – V. 11. – No. 7. – P. 1-22

92. Карелин Д.В., Горячкин С.В., Замолодчиков Д.Г., Долгих А.В., Зазовская Э.П., Шишков В.А., Почикалов А.В., Сирин А.А., Суворов Г.Г., Краев Г.Н. Влияние местных антропогенных факторов на почвенную эмиссию биогенных парниковых газов в криогенных экосистемах // *Журнал общей биологии*. – 2016. – Т. 77. – № 3. – С. 167-181.

93. Глаголев М.В., Филиппов И.В. Измерение потоков парниковых газов в болотных экосистемах – Ханты-Мансийск: Югорский государственный университет, 2011. – 220 с.

94. Ежегодный доклад о состоянии и использовании лесов Российской Федерации за 2012 г. – М.: Рослесхоз, 2014. – 123 с.

95. Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г., ак. Ваганов Е.А., Сухинин А.И., Максютов Ш.Ш., МкКаллум И., Лакида И.П.. Влияние природных пожаров в России 1998-2010 гг. на экосистемы и глобальный углеродный бюджет // *Доклады Академии Наук*. – 2011. – Т. 441. – № 4. – С. 544-548.

---

- 
96. Национальный доклад Российской Федерации о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990-2016 гг. – М.: Росгидромет, 2018. – 230 с.
97. Ludwig B., Teepe R., Lopes de Gerenyu V., Flessa H. CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from gleyic soils in the Russian tundra and a German forest during freeze-thaw periods – a microcosm study // *Soil biology & biochemistry*. – 2006. – V. 38. – No. 12. – P. 3516-3519.
98. Repo M.E., Susiluoto S., Lind S.E., Jokinen S., Elsakov V., Biasi C., Virtanen T., Martikainen P.J. Large N<sub>2</sub>O emissions from cryoturbated peat soil in tundra // *Nature Geoscience*. – 2009. – V. 2. – P. 189-192.
99. Marushchak M.E., Friberg T., Biasi C., Herbst M., Johansson T., Kiepe I., Liimatainen M., Lind S.E., Martikainen P.J., Virtanen T., Soegaard H., Shurpali N.J. Methane dynamics in the subarctic tundra: combining stable isotope analyses, plot- and ecosystem-scale flux measurements // *Biogeosciences*. – 2016. – V. 13. – P. 597-608. – DOI: 10.5194/bg-13-597-2016.
100. Титлянова А.А. Биологический круговорот углерода в травяных биогеоценозах / Отв. ред. Н.И. Базилевич. – Новосибирск: Наука, 1977. – 219 с.
101. Титлянова А.А. Сухая степь Казахстана // Биологическая продуктивность травяных экосистем. – Новосибирск: Наука, 1988. – С. 109-128.
102. Титлянова А.А. Сравнительный анализ продуктивности Центральноазиатских и Причерноморско-Казахстанских степей // *Степи Центральной Азии*. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – С. 174-200.
103. Титлянова А.А., Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Романова И.П. Подземные органы растений в травяных экосистемах / Отв. ред. В.Г. Мордкович. – Новосибирск: Наука, 1996. – 128 с.
104. Титлянова А.А., Миронычева-Токарева Н.П., Романова И.П., Косых Н.П., Кыргыз Ч.О., Самбуу А.Д. Продуктивность степей // *Степи Центральной Азии*. / Отв. ред. В.А. Хмелев. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – С. 95-165.
105. Чимитдоржиева Г.Д., Егорова Р.А., Мильхеев Е.Ю., Цыбенков Ю.Б. Потоки углерода в степных экосистемах (на примере Южного Забайкалья) // *Растительный мир Азиатской России*. – 2010. – 2(6). – С. 33-39.
106. Базилевич Н.И., Титлянова А. А. Биотический круговорот на пяти континентах: азот и зольные элементы в природных наземных экосистемах – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. – 381 с.
107. Углерод в лесном фонде и сельскохозяйственных угодьях России – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2005. – 200 с.
108. Усольцев В.А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения – Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – 636 с.
-

109. Голубятников Л.Л., Денисенко Е.А. Модельные оценки влияния изменений климата на ареалы зональной растительности равнинных территорий России // Изв. РАН. Сер. биол. – 2007. – № 2. – С. 212-228.
110. Kauppi P.E. New, low estimate for carbon stock in global forest vegetation based on inventory data // *Silva Fennica*. – 2003. – V. 37(4). – P. 451-457.
111. Stolbovoi V. Carbon in Russia soil // *Climate Change*. – 2002. – V. 55(1-2). – P. 131-156.
112. Golubyatnikov L.L., Denisenko E.A., Svirezhev Yu.M. Model of the total exchange carbon flux for terrestrial ecosystems // *Ecol. Modelling*. – 1998. – V. 108. – P. 265-276.
113. Houghton R.A. How well do we know the flux of CO<sub>2</sub> from land-use change? // *Tellus*. – 2010. – V. 62B. – P. 337-351.
114. IPCC 2013 // Fifth Assessment Report: Climate Change (AR5) Land Use, Land-Use Change and Forestry – URL: [http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/land\\_use/index.php?idp=93](http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/land_use/index.php?idp=93).
115. Андрианова Л.В., Гомзякова С.М., Цыбжитов Ц.Х. Динамика интенсивности выделения углекислоты в почвах сухой степи Селенгинского среднегорья // Охрана и рациональное использование почв Западного Забайкалья. – Улан-Уде, 1980. – С. 72-76.
116. Воловатская Т.Н., Савинов Г.Н. Биологическая активность мерзлотных лугово-черноземных почв долины р. Амга // Проблемы гидротермики мерзлотных почв. – Новосибирск: Наука, 1988. – С. 37-40.
117. Егоров В.П., Кривонос Л.А. Биологическая активность черноземов в агроценозах Курганской области // В кн.: Почвы Зап. Сибири и повышение их биологической активности. – Омск, 1983. – С. 8-14.
118. Емельянов И.И. Динамика углекислоты и кислорода в темно-каштановых карбонатных почвах Целиноградской области // В кн.: Труды Ин-та почвоведения АН КазССР. – Алма-Ата, 1970. – Т. 18. – С. 25-44.
119. Зонн С.В., Алешина А.К. О газообмене между почвой и атмосферой под пологом лесных насаждений // Докл. АН СССР. – 1953. – Т. ХСII. – № 5. – С. 40-44.
120. Мендешев А., Жердева С.В. Динамика выделения CO<sub>2</sub> орошаемыми степными почвами Северного Казахстана // Известия АН КазССР. Сер. биол. – 1989. – № 1. – С. 77-79.
121. Наумов А.В. Динамика почвенного газообмена в луговых экосистемах различного хозяйственного использования // Экология. – 1991. – № 6. – С. 6-12.
122. Васенев В.И., Тембо А., Самарджич М., Васенев В.И., Рыжков О.В., Морев Д.В., Васенев И.И. Анализ основных факторов, влияющих на почвенную эмиссию углекислого газа черноземами Стрелецкой степи // Современные
-

---

проблемы науки и образования. – 2014. – № 2. – URL: <https://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=37380> (дата обращения: 13.10.2017).

123. Карелин Д.В., Люри Д.И., Горячкин С.В., Лунин В.Н., Кудиков А.В.. Изменение почвенной эмиссии диоксида углерода в ходе постагрогенной сукцессии в черноземной лесостепи // Почвоведение. – 2015. – № 11. – С. 1354-1366.

124. Малханова Е.В., Р.А. Егорова, Г.Д. Чимитдоржиева. Баланс углерода в лугово-черноземных мерзлотных почвах юга Витимского плоскогорья // Агрохимия. – 2011. – № 1. – С. 3-7.

125. Sarzhanov D.A., Vasenev V.I., Vasenev I.I., Sotnikova Y.L., Ryzhkov O.V., Morin T. Carbon stocks and CO<sub>2</sub> emissions of urban and natural soils in Central Chernozemic region of Russia // Catena. – 2017. – V. 158. – P. 131-141.

126. Raich J.W., Potter C.S. Global patterns of carbon dioxide emission from soils // Global Biogeochem. Cycles. – 1995. – V. 9. – P. 23-36.

127. Raich J.W., Potter C.S., Bhagawatti D. Interannual variability in global soil respiration, 1980-94 // Global Change Biol. – 2002. – V. 8. – P. 800-812.

128. Лопес де Гереню В.О., Курганова И.Н., Петров А.С. Применение T&P модели для численной оценки дыхания почвы в экосистемах южно-таежной зоны // Материалы Второй национальной конференции с международным участием «Математическое моделирование в экологии». 23-27 мая 2011 г., Пущино. – С. 161-162. – URL: <http://ecomodelling.ru/index.php/ru/ecomatmod2011>.

129. Лопес де Гереню В.О., Курганова И.Н., Замолотчиков Д.Г., Кудеяров В.Н. Методы количественной оценки потоков диоксида углерода из почв. // Сб. статей: Методы исследований органического вещества почв. – Владимир, 2005. – С. 408-425.

130. Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Аблеева В.А., Быховец С.С. Климат южного Подмосковья: современные тренды и оценка экстремальности // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2017. – № 4. – С. 62-78.

131. Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О. Численная оценка среднемесячного дыхания почвы с помощью T&P модели при различной обеспеченности осадками // Математическое моделирование в экологии. / Материалы Пятой Национальной научной конференции с международным участием, 16-20 октября 2017 г. – Пущино, ИФХиБПП РАН, 2017. – С. 109-111.

132. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации – Тольятти: ИЭВБРАН, 2003. – 463 с.

133. Тэйл Г. Экономические прогнозы и принятие решений – М.: Статистика, 1977. – 282 с.

134. Maps, graphs, tables, and data of the global climate – Интернет-ресурс: URL: <http://www.worldclim.org/>.

---

135. QGIS Geographic Information System. – Интернет-ресурс: <https://qgis.org/ru/site/>.
136. Hanson P.J., Edwards N.T., Garten C.T., Andrews J.A. Separating root and soil microbial contribution to soil respiration: A review of methods and observations // *Biogeochemistry*. – 2000. – V. 48. – P. 115-146.
137. Kurganova I.N. Carbon dioxide emission from soils of Russian terrestrial ecosystems // *Interim Report, IR-02-070. IIASA*. – Luxemburg, Austria, 2003. – 64 p.
138. Семенов М.В., И.К. Кравченко, В.М. Семенов, Т.В. Кузнецова, Л.Е. Дулов, С.Н. Удальцов, А.Л. Степанов Потоки диоксида углерода, метана и закиси азота в почвах катены правобережья р. Ока (Московская область) // *Почвоведение*. – 2010. – № 5. – С. 582-590.
139. Nagano H., Sugihara S., Matsushima M., Okitsu S., Prikhodko V., Manakhova E., Zdanovich G.B., Manakhov D.V., Ivanov I.V., Funakawa S., Kawahigashi M., Inubushi K. Carbon and nitrogen contents and greenhouse gas fluxes of the Eurasian steppe soils with different land-use histories located in the Arkaim museum reserve of South Ural, Russia // *Soil Sci. Plant Nutr.* – 2012. – V. 58(2). – P. 238-244.
140. Dutaur L., Verchot L.V. A global inventory of the soil CH<sub>4</sub> sink // *Global Biogeochemical Cycles*. – 2007. – V. 21. – GB4013. – DOI: 10.1029/2006GB002734.
141. Mer J., Roger P. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: A review // *Eur. J. Soil Biol.* – 2001. – V. 37. – P. 25-50.
142. Liu C., Holst J., Bruggemann N. et al. Winter-grazing reduces methane uptake by soils of a typical semi-arid steppe in Inner Mongolia, China // *Atmospheric Environment*. – 2007. – V. 41. – P. 5948-5958.
143. Belelli Marchesini L., Papale D., Reichstein M., Vuichard N., Tchebakova N., Valentini R. Carbon balance assessment of a natural steppe of southern Siberia by multiple constraint approach // *Biogeosciences*. – 2007. – V. 4. – P. 581-595.
144. Vuichard N., Ciais P., Belelli L., Smith P., Valentini R. Carbon sequestration due to the abandonment of agriculture in the former USSR since 1990 // *Glob. Biochem. Cycles*. – 2008. – V. 22. – GB4018. – DOI: 10.1029/2008GB003212.
145. Gilmanov, T.G., S.B. Verma, P.L. Sims, T.P. Meyers, J.A. Bradford, G.G. Burba, A.E. Suyker Gross primary production and light response parameters of four Southern Plains ecosystems estimated using long-term CO<sub>2</sub>-flux tower measurements // *Global Biogeochemical Cycles*. – 2003. – V. 17. – № 2. – P. 1071.
146. Замолодчиков Д.Г., Карелин Д.В., Иващенко А.И., Лопес де Гереню В.О. Микрометеорологическая оценка биогенных потоков диоксида углерода в типичных тундрах Восточной Чукотки // *Почвоведение*. – 2005. – № 7. – С. 859-863.
-

- 
147. Максимов Т.Х. Круговорот углерода в лиственных лесах Якутского сектора криолитозоны // Авт. дис... докт. биол. наук. – Красноярск, 2007. – 46 с.
148. Ольчев А.В., Авилов В.К., Байбар А.С., Белотелов Н.В., Болондинский В.К., Иванов Д.Г., Кузьмина Е.В., Курбатова Ю.А., Левашова Н.Т., Мамкин В.В., Мангура П.А., Молчанов А.Г., Мухартова Ю.В., Никитин М.А., Новенко Е.Ю., Придача В.Б., Ривин Г.С., Розинкина И.А., Сазонова Т.А., Сандлерский Р.Б., Суркова Г.В., Холопцева Е.С. Леса Европейской территории России в условиях меняющегося климата – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2017. – 276 с.
149. Чебакова Н.М. Возможная трансформация растительного покрова Сибири при различных сценариях изменения климата // Авт.дис... докт. биол. наук. – Красноярск, 2006. – 60 с.
150. Kurbatova J., Li C., Varlagin A., Xiao X., Vygodskaya N. Modeling carbon dynamics in two adjacent spruce forest with different soil conditions in Russia // *Biogeosciences*. – 2008. – Vol. 5. – P. 969-980.
151. Бурба Г.Г., Курбатова Ю.А., Куричева О.А., Авилов В.К., Мамкин В.В., Метод Турбулентных Пульсаций: Краткое Практическое Руководство // LI-COR Biosciences, ИПЭЭ им. А.Н. Северцова РАН. – 2016.– P. 223. – DOI: 10.13140/rg.2.1.5109.5449.
152. Beelli Marchesini L. Analyses of the carbon cycle of steppe and old field ecosystems of Central Asia // Ph.D. thesis, University of Tuscia. – Viterbo, Italy, 2007. – 227 p.
153. Dymond J.R., Stephens P.R., Newsome P.E., Wilde R.N. Percentage vegetation cover of degrading rangeland from SPOT // *Int. J. Remote Sensing*. – 1992. – V. 13. – P. 1999-2007.
154. Воронин П.Ю., Коновалов П.В., Болондинский В.К., Кайбияйнен Л.К. Хлорофильный индекс и фотосинтетический сток углерода в леса Северной Евразии // *Физиология растений*. – 2004. – Т. 51. – С. 390-395.
155. Титлянова А.А., Тесаржева М. Режимы биологического круговорота – Новосибирск: Наука, 1991. – 149 с.
156. Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Rozanova L., Saprionov D., Myakshina T., Kudeyarov V. Annual and seasonal CO<sub>2</sub> fluxes from Russian southern taiga soils // *Tellus B*. – 2003. – V. 55. – P. 338-344.
157. Kurganova I.N., Rozanova L.N., Myakshina T.N., Kudeyarov V.N. Monitoring of CO<sub>2</sub> emission from soils of different ecosystems in Southern part of Moscow region: data base analyses of long-term field observations // *Eurasian Soil Science*. – 2004. – V. 37. – P. 74-78.
158. Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Petrov A.S., Myakshina T.N., Saprionov D.V., Ableeva V.A., Kudeyarov V.N. Effect of the Observed Climate Changes and Extreme Weather Phenomena on the Emission Component of the
-

Carbon Cycle in Different Ecosystems of the Southern Taiga Zone // *Doklady Biological Sciences*. – 2011. – V. 441. – P. 412–416.

159. Lopes de Gerenyu V.O., Kurganova I.N., Rozanova L.N., Kudeyarov V.N. Effect of temperature and moisture content on CO<sub>2</sub> evolution rate of cultivated Phaeozem: analyses of long-term field experiment // *Plant, Soil and Environment*. – 2005. – V. 51. – № 5. – P. 213-219.

160. Кудеяров В.Н., Заварзин Г.А., Благодатский С.А., Борисов А.В., Воронин П.Ю., Демкин В.А., Демкина Т.С., Евдокимов И.В., Замолодчиков Д.Г., Карелин Д.В., Комаров А.С., Курганова И.Н., Ларионова А.А., Лопес де Гереню В.О., Уткин А.И., Чертов О.Г. Потоки и пулы углерода в наземных экосистемах России / Под ред. Г.А. Заварзина. – М.: Наука, 2007. – 315 с.

161. Курганова И.Н. Эмиссия и баланс диоксида углерода в наземных экосистемах России/ Дисс... докт. биол. наук – М., МГУ им. М.В. Ломоносова. – М., 2010. – 326 с.

162. Kudeyarov V.N., Kurganova I.N. Respiration of Russian Soils: Database Analysis, Long-Term Monitoring, and General Estimates // *Eurasian Soil Science*. – 2005. – V. 38. – № 9. – P. 983-992.

163. Rayment M.V. Closed chamber systems underestimate soil CO<sub>2</sub> efflux // *Europ. J. Soil Sci.* – 2000. – Vol. 51. – P. 107-110.

164. Smith P., Smith J.U., Powlson D.S., McGill W.B., Arah J.R.M., Chertov O.G., Coleman K., Franko U., Frolking S., Jenkinson D.S., Jensen L.S., Kelly R.H.M., Klein-Gunnewiek H., Komarov A.S., Li C., Molina J.A. E., Mueller T., Parton W.J., Thorney J.H.M., Whitmore A.P. A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments // *Geoderma*. – 1997. – V. 81. – P. 153-225.

165. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации. Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД). – Интернет-ресурс: URL: <http://meteo.ru/data>.

166. Tchebakova N.M., Vygodskaya N.N., Arneeth A., BelelliMarchesini L., Kurbatova Yu.A., Parfenova E.I., Valentini R., Verkhovets S.V., Vaganov E.A., Schulze E.-D. Energy and mass exchange and the productivity of main Siberian ecosystems (from Eddy covariance measurements). 2. carbon exchange and productivity // *Biol. Bull. Russ.* – 2015. – V. 42. – P. 579-588.

167. Li C., Frolking S., Crocker G.J., Grace P.R., Klir J., Korchens M., Poulton P.R. Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using the DNDC model // *Geoderma*. – 1997. – V. 81. – P. 45-60.

168. Li C., Aber J., Stange F., Butterbach-Bahl K., Papen H. A process oriented model of N<sub>2</sub>O and NO emissions from forest soils: 1. Model development // *Journal of Geophysical Research*. – 2000. – V. 105. – P. 4369-4384.

169. Kesik M., Ambus P., Baritz R., Brüggemann N., Butterbach-Bahl K., Damm M., Duyzer J., Horváth L., Kiese R., Kitzler B., Leip A., Li C., Pihlatie M.,

---

Pilegaard K., Seufert G., Simpson D., Skiba U., Smiatek G., Vesala T., Zechmeister-Boltenstern S. Inventories of N<sub>2</sub>O and NO emissions from European forest soils // *Biogeosciences*. – 2005. – No. 2. – P. 353-375.

170. Сератирова В.В., Бананова В.А. Оптимизация пастбищной нагрузки в республике Калмыкия // *Международный Научно-Исследовательский журнал*. – 2016. – № 11(53). – Ч. 5. – С. 98-100.

171. Романовская А.А. Динамика органического углерода почв при переводе земель в поселения и прочие земли // *Материалы VI Всероссийской научной конференции с международным участием «Гуминовые вещества в биосфере»*, 6-10 октября 2014 г. – Сыктывкар: Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 2014. – С. 31-34.

172. Гиляров М.С. (гл. ред.) *Биологический энциклопедический словарь* – М.: Советская энциклопедия, 1989. – 384 с.

173. Минсельхоз СССР // ОНТП 17-81. *Общесоюзные нормы технологического проектирования систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета* – М.: Колос, 1983. – 32 с.

174. Смирнов П.М., Муравин Э.А. (ред.) *Агрохимия* – М.: Колос, 1984. – 304 с.

175. Бамбалов Н.Н., Янковская Н.С. Фракционный состав азотного фонда органических удобрений и растений-торфообразователей // *Агрохимия*. – 1994. – Т. 78. – С. 55-61.

176. Васильев В.А., Филиппова Н.В. *Справочник по органическим удобрениям* – Москва: Росагропромиздат, 1988. – 255 с.

177. Козьмин Г.В., Гончарик Н.В., Алексахин Р.М., Козьмина Д.Н., Карabanь Р.Т., Сафронов А.В. Эмиссия углекислого газа в животноводстве на территории Российской Федерации // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. – 1998. – № 2. – С. 42-44.

178. Шпаков А.П., Назаров В.К., Певзнер И.Л., Пахомов И.Я. *Кормовые нормы и состав кормов* // *Справочное пособие*. – Минск: Ураджай, 1991. – 384 с.

179. Федеральная служба государственной статистики. – Интернет-ресурс: [www.gks.ru](http://www.gks.ru)

180. Кудеяров В.Н., Курганова И.Н. Дыхание почв России: анализ базы данных, многолетний мониторинг, общие оценки // *Почвоведение*. – 2005. – № 9. – С. 1112-1121.

181. Hong-Kong Observatory // 1961-1990 Global Climate Normals. National Climatic Data Centre of the United States. – WMO, 2003. – Available at: [http://www.hko.gov.hk/wxinfo/climat/world/eng/europe/russia/russia\\_e.htm](http://www.hko.gov.hk/wxinfo/climat/world/eng/europe/russia/russia_e.htm).

182. *Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК 2006 года* // *Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов*. – 2006.

---

183. Методические рекомендации по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации // Распоряжение Минприроды России от 16.04.2015г. № 15-р. – М., 2015. – 30 с. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=140995>. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

184. Гитарский М.Л., Лоджун Ж.Н., Нахутин А.И., Савин В.А., Карабань Р.Т., Алексахин Р.М., Назаров И.М. Эмиссия парниковых газов от сельскохозяйственных животных и птицы в аграрном секторе России // Сельскохозяйственная биология. – 2001. – № 6. – С. 73-79.

185. Sneath R.W., Phillips V.R., Demmers G.M., Burgess L.R., Short J.L. Long term measurements of greenhouse gas emissions from UK livestock buildings // Livestock Environment: Proceedings of the Fifth International Symposium (Bloomington MN, May 29-31, 1997). Bio-Engineering Division. Silsoe Research Institute. – Wrest Park, Silsoe, Bedford, MK45 4HS, 1997. – P. 146-153.

186. Вомперский С. Э., Сирин А. А., Сальников А. А., Цыганова О. П., Валяева Н. А. Оценка площади болотных и заболоченных лесов России // Лесоведение. – 2011. – № 5. – С. 3-11.

187. Вомперский С.Э., Цыганова О.П., Ковалев А.Г., Глухова Т.В., Валяева Н.А. Заболоченность территории России как фактор связывания атмосферного углерода // В кн.: Глобальная эволюция биосферы. Антропогенный вклад. – М., Научный Совет НТП «Глобальные изменения природной среды и климата», 1999. – С. 124-144.

188. Вомперский С.Э., Сирин А.А., Цыганова О.П. и др. Болота и заболоченные земли России: попытка анализа пространственного распределения и разнообразия // Изв. РАН. Сер. геогр. – 2005. – № 5. – С. 21-33.

189. Вомперский С.Э., Сирин А.А., Цыганова О.П. Залесенность болот. М 1:30 000 000 // Экологический атлас России. – М.: ООО «Феория», 2017. – С. 121. (карта)

190. Сирин А.А. Типы болот. М 1:30 000 000. // Экологический атлас России. – М.: ООО «Феория», 2017. – С. 120. (карта)

191. Сирин А.А., Маслов А.А., Валяева Н.А., Цыганова О.П., Глухова Т.В. Картографирование торфяных болот Московской области по данным космической съемки высокого разрешения // Лесоведение. – 2014. – № 5. – С. 65-71.

192. Heikkinen J.E.P., Maljanen M., Aurela M., Hargreaves K.J., Martikainen P.J. Carbon dioxide and methane dynamics in a sub-Arctic peatland in northern Finland // Polar Research. – 2002. – V. 21. – P. 49-62.

193. Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories / Wetlands Hiraishi T., Krug T., Tanabe K., Srivastava N., Baasansuren J., Fukuda M., Troxler T.G. (eds). – Published: IPCC, Switzerland, 2014.

---

- 
194. Nilsson M., Mikkilä C., Sundh I., Granberg G., Svensson B.H., Ranney B. Methane emission from Swedish mires: National and regional budgets and dependence on mire vegetation // *Journal of Geophysical Research*. – 2001. – V. 106. – P. 20847-20860.
195. Martikainen P.J., Nykänen H., Alm J., Silvola J., Change in fluxes of carbon dioxide, methane and nitrous oxide due to forest drainage of mire sites of different trophic // *Plant and Soil*. – 1995. – V. 168(1) – P. 571-577.
196. Laine J., Silvola J., Tolonen K., Alm J., Nykänen H., Vasander H., Sallantausta T., Savolainen I., Sinisalo J., Martikainen P.J. Effect of water-level drawdown on global climatic warming: Northern peatlands // *Ambio*. – 1996. – P. 179-184.
197. Экосистемы болот // В кн.: Состояние биоразнообразия природных экосистем России / Под ред. В.А. Орлова и А.А. Тишкова. – М.: НИИ-Природа, 2004. – С. 103-113.
198. A Quick Scan of Peatlands in Central and Eastern Europe / Minayeva, T., Sirin, A., Bragg, O. (eds.) – Wetlands International, Wageningen, The Netherlands, 2009. – 132 p.
199. Материалы инвентаризации гидроресурсоулучшающих систем в государственном лесном фонде России / Под рук. Н.А. Красильникова. – Т. 1. – СПб., 2000. – 72 с.
200. Sirin A., Minayeva T., Yurkovskaya T., Kuznetsov O., Smagin V., Fedotov Yu. Russian Federation (European Part) // In: *Mires and peatlands of Europe: Status, distribution and conservation* / ed. By Joosten, H., Tanneberger, F., Moen, A. – Stuttgart: Schweizerbart Science Publishers, 2017. – P. 589-616. – DOI: 10.1127/mireseurope/2017/0001-0049.
201. Tanneberger F., Tegetmeyer C., Busse S., Barthelmes A. The peatland map of Europe // *Mires and Peat*. – 2017. – V. 19. – Article 22. – P. 1-17. – URL: <http://www.mires-and-peat.net/>. – DOI: 10.19189/Map.2016.OMB.264
202. Чистотин М.В., Сирин А.А., Дулов Л.Е. Сезонная динамика эмиссии углекислого газа и метана при осушении болота в Московской области для добычи торфа и сельскохозяйственного использования // *Агрохимия*. – 2006. – № 6. – С. 54-62.
203. Глаголев М.В., Чистотин М.В., Шнырев Н.А., Сирин А.А. Летне-осенняя эмиссия диоксида углерода и метана осушенными торфяниками, измененными при хозяйственном использовании, и естественными болотами (на примере участка Томской области) // *Агрохимия*. – 2008. – № 5. – С. 46-58.
204. Суворов Г.Г., Чистотин М.В., Сирин А.А. Потери углерода при добыче торфа и сельскохозяйственном использовании осушенного торфяника в Московской области // *Агрохимия*. – 2015. – № 11. – С.51-62.
-

205. Ильясов Д.В., А.А. Сирин, Г.Г. Суворов, В.Б. Мартыненко Летние потоки диоксида углерода и метана на осушенном торфянике в условиях лесостепи, республика Башкортостан // *Агрохимия*. – 2017. – № 1. – С. 50-62.
206. Minayeva T., A.A. Sirin, G.B. Stracher The peat fires of Russia // In: *Coal and Peat Fires: A Global Perspective*. – Amsterdam, Elsevier, 2013. – P. 376-394.
207. Макаров Д.А., Гуммерт И., Суворов Г.Г., Успенская О.Н., Сирин А.А. Потери почвенного углерода при лесоторфяном пожаре // *Фундаментальные и прикладные вопросы лесного почвоведения: Материалы VI Всероссийской конференции с международным участием (Сыктывкар, 14-18 сентября 2015 г.)*. – Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2015. – С. 212-214.
208. Глухова Т.В., Сирин А.А. Потери почвенного углерода при пожаре на осушенном верховом болоте // *Почвоведение*. – 2018. – № 5. – С. 280-288.
209. Joosten H., Sirin A., Couwenberg J., Laine J. et. al. The role of peatlands in climate regulation // In: *Peatland Restoration and Ecosystem Services: Science, Policy and Practice*. – Cambridge University Press, 2016. – P. 66-79.
210. *Peatlands and Climate Change / Strack M. (ed)*. – Finland, International Peat Society, Saarijärven Offset Oy, Saarijärvi, 2008. – 223 p.
211. Климанов В.А, Сирин А.А. Динамика торфонакопления болотами Северной Евразии за последние 3 000 лет // *Доклады Академии Наук*. – 1997. – Т. 354. – № 5. – С. 683-686.
212. Орлов Д.С., Минько О.И., Аммосова Я.М., Каспаров С.В., Глаголев М.В. Методы исследования газовой функции почвы // *Современные физические и химические методы исследования почв*. – М.: Изд-во МГУ, 1987. – С. 118-156.
213. Кривенок Л.А., Суворов Г.Г., Авилов В.К., Сирин А.А. Измерения потоков диоксида углерода, метана и водяного пара методом турбулентных пульсаций: использование мобильной установки и фильтрации данных по дальности и направлению зоны охвата (на примере вторично обводненного торфяника) // *Оптика атмосферы и океана*. – 2019. –Т. 32. – № 11. – С. 942–950.
214. Fraser A., Palmer P.I., Feng L., Boesch H., Cogan A., Parker R., Dlugokencky E. J., Fraser P.J., Krummel P.B., Langenfelds R.L., O’Doherty S., Prinn R.G., Steele L.P., van der Schoot M., Weiss R.F. Estimating regional methane surface fluxes: the relative importance of surface and GOSAT mole fraction measurements // *Atmos. Chem. Phys*. – 2013. – V. 13. – P. 5697-5713.
215. Dils B., Buchwitz M., Reuter M., Schneising O., Boesch H., Parker R., Guerlet S., Aben I., Blumenstock T., Burrows J.P., Butz A., Deutscher N.M., Frankenberg C., Hase F., Hasekamp O.P., Heymann J., De Mazière M., Notholt J., Sussmann R., Warneke T., Griffith D., Sherlock V., Wunch D. The Greenhouse Gas Climate Change Initiative (GHG-CCI): comparative validation of GHG-CCI
-

---

SCIAMACHY/ENVISAT and TANSO-FTS/GOSAT CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> retrieval algorithm products with measurements from the TCCON // *Atmospheric Measurement Techniques*. – 2014. – V. 7. – P. 1723-1744.

216. Alexe M., Bergamaschi P., Segers A., Detmers R., Butz A., Hasekamp O., Guerlet S., Parker R., Boesch H., Frankenberg C., Scheepmaker R.A., Dlugokencky E., Sweeney C., Wofsy S.C., Kort E.A. Inverse modelling of CH<sub>4</sub> emissions for 2010-2011 using different satellite retrieval products from GOSAT and SCIAMACHY // *Atmos. Chem. Phys.* – 2015. – V. 15. – P. 113-133.

217. Pandey S., Houweling S., Krol M., Aben I., Chevallier F., Dlugokencky E.J., Gatti L.V., Gloor E., Miller J.B., Detmers R., Machida T., Röckmann T. Inverse modeling of GOSAT-retrieved ratios of total column CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> for 2009 and 2010 // *Atmos. Chem. Phys.* – 2016. – V. 16. – P. 5043-5062.

218. Wania R., Melton J.R., Hodson E.L., Poulter B., Ringeval B., Spahni R., Bohn T., Avis C.A., Chen G., Eliseev A.V., Hopcroft P.O., Riley W.J., Subin Z.M., Tian H., van Bodegom P.M., Kleinen T., Yu Z.C., Singarayer J.S., Zurcher S., Lettenmaier D.P., Beerling D.J., Denisov S.N., Prigent C., Papa F., Kaplan J.O. Present state of global wetland extent and wetland methane modelling: methodology of a model inter-comparison project (WETCHIMP) // *Geosci. Model Dev.* – 2013. – V. 6. – P. 617-641.

219. Roulet N.T., Lafleur P.M., Richard P.J.H., Moore T.R., Humphreys E.R., Bubier J. Contemporary carbon balance and late Holocene carbon accumulation in a northern peatland // *Global Change Biology*. – 2007. – V. 12. – P. 1-15.

220. Waddington J.M., Roulet N.T. Carbon balance of a boreal patterned peatland // *Global Change Biology*. – 2000. – V. 6. – P. 87-97.

221. Arneth A., Kurbatova J., Kolle O., Shibistova O.B., Lloyd J., Vygods-kaya N.N., Schulze E.D. Comparative ecosystem-atmosphere exchange of energy and mass in a European Russian and a central Siberian bog II. Interseasonal and interannual variability in CO<sub>2</sub> fluxes // *Tellus B*. – 2002. – V. 54. – P. 514-530.

222. Sottocornola, M., Kiely, G. An Atlantic blanket bog is a modest CO<sub>2</sub> sink // *Geophysical Research Letters*. – 2005. – V. 32. – L23804. – DOI: 10.1029/2005GL024731.

223. Alm, J., Talanov, A.V., Saarnio, S., Silvola, J., Ikkonen, E., Aaltonen, H., Nykänen, H., Martikainen, P.J. Reconstruction of the carbon balance for microsites in a boreal oligotrophic pine fen, Finland // *Oecologia*. – 1997 – V. 110. – P. 423-431.

224. Nykänen H., Heikkinen J.E.P., Pirinen L., Tiilikainen K., Martikainen P.J. Annual CO<sub>2</sub> exchange and CH<sub>4</sub> fluxes on a subarctic tundra mire during climatically different years // *Global Biogeochemical Cycles*. – 2003. – V. 17. – P. 1018. – DOI: 10.1029/2002GB001861.

225. Wickland K.P., Striegl R.G., Neff J.C., Sachs T. Effects of permafrost melting on CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> exchange of a poorly drained black spruce lowland //

---

Journal of Geophysical Research. – 2006. – V. 111. – G02011. – DOI: 10.1029/2005JG000099.

226. Глаголев М.В., Сабреков А.Ф. Ответ А.В. Смагину: II. Углеродный баланс России // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. – 2014. – 5(2). – с. 50-70.

227. Clymo, R.S., Turunen, J., Tolonen, K. Carbon accumulation in peatland // Oikos. – 1998. – V. 81. – P. 368-388.

228. Mäkilä, M., Goslar, T. The carbon pool of surface layers in southern and central boreal mires, Suo (Mires and Peat) // Submitted manuscript. – 2008.

229. Mäkilä, M., Saarnisto, M., Kankainen, T. Aapa mires as a carbon sink and source during the Holocene // Journal of Ecology. – 2001. – V. 89. – P. 589-599.

230. Borren, W. Carbon exchange in Western Siberian watershed mires and implication for the greenhouse effect: a spatial temporal modeling approach – Netherlands. – 2007. Geographical Studies 355. KNAG. Dissertation. – Utrecht University, The Netherlands.

231. Gorham, E., Janssens, J.A., Glaser, H. Rates of peat accumulation during the postglacial period in 32 sites from Alaska to Newfoundland, with special emphasis on northern Minnesota // Canadian Journal Botany. – 2003. – V. 81. – P. 429-438.

232. Owendon, L. Peat accumulation in northern wetlands // Quaternary Research. – 1990. – V. 33. – P. 377-386.

233. Minayeva, T.Y., Trofimov, S.Y., Chichagova, O.A., Dorofeyeva, E.I., Sirin, A.A., Glushkov, I.V., Mikhailov, N.D. and Kromer, B. Carbon accumulation in soils of forest and bog ecosystems of southern Valdai in the Holocene // Biology Bulletin. – 2008. – 35(5). – P. 524-532.

234. Минаева Т.Ю., Трофимов С.Я., Чичагова О.А., Дорофеева Е.И., Сирин А.А., Глушков И.В., Михайлов Д.Н., Кромер Б. Накопление углерода в почвах лесных и болотных экосистем Южного Валдая в Голоцене // Известия РАН, серия Биологическая. – 2008. – № 5. – С. 607-616.

235. Alm, J., Saarnio, S., Nykänen, H., Silvola, J., Martikainen, P., Winter CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O fluxes on some natural and drained boreal peatlands // Biogeochemistry. – 1999. – V. 44(2). – P. 163-186.

236. Salm, J.O., Maddison, M., Tammik, S., Soosaar, K., Truu, J., Mander, Ü. Emissions of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O from undisturbed, drained and mined peatlands in Estonia // Hydrobiologia. – 2012. – V. 692(1). – P. 41-55.

237. Minkkinen, K., Korhonen, R., Savolainen, I., Laine, J. Carbon balance and radiative forcing of Finnish peatlands 1900-2100 – the impact of forestry drainage // Global Change Biology. – 2002. – V. 8(8). – P. 785-799.

238. Бурло А.В., Чувашова А.А., Павлюченко А.М., Лещинская Н.В., Наркевич И.П. Эмиссия закиси азота нарушенными торфяными почвами: количе-

---

---

ственная оценка и влияние факторов среды // Экологический вестник. – 2016. – № 1 (35) .

239. Fedorov M.P. Reservoir greenhouse gas emissions at Russian HPP/ Fedorov M.P., Elistratov V.V., Maslikov V.I. et al. // Power Technology and Engineering. – 2015. –V. 49. – P. 33-39.

240. Cole J.J., Prairie Y.T., Caraco N.F., McDowell W.H., Tranvik L.J., Striegl R.G., Duarte C.M., Kortelainen P., Downing J.A., Middelburg J.J., Melack J. Plumbing the Global Carbon Cycle: Integrating Inland Waters into the Terrestrial Carbon Budget // Ecosystems. – 2007. – V. 10. – P. 171-184. – DOI: 10.1007/s10021-006-9013-8.

241. Prairie Y.T. The GHG reservoir Tool (Gres)/ Prairie Y.T., Alm J., Harby A., Mercier-Blais S., Nahas R. // Joint publication of the UNESCO Chair in Global Environmental Change and the International Hydropower Association. – 2017. – 75 p.

242. Deemer B.R. Greenhouse Gas Emissions from Reservoir Water Surfaces / Deemer B.R., Harrison J.A., Li S. et al. // A New Global Synthesis. BioScience. – 2016. – V. 66. – P. 949-964.

243. Schubert C.J.A. Methane emissions from a small wind shield lake determined by eddy covariance, flux chambers, anchored funnels, and boundary model calculations: A comparison / Schubert C.J.A., Diem T.A.C., Eugster W.B. // Environmental Science and Technology. – 2012. – V. 46. – P. 4515-4522.

244. Wik M. Biased sampling of methane release from northern lakes. A problem for extrapolation / Wik M., Thornton B.F., Bastviken D., Uhlbäck J., Crill P.M. // Geophys. Res. Lett. – 2016. – V. 43. – P. 1256-1262. – DOI: 10.1002/2015GL066501.

245. Гарькуша Д.Н., Фёдоров Ю.А., Тамбиева Н.С. Закономерности формирования уровня содержания и распределения метана в водных экосистемах – Интернет-ресурс: URL: <http://www.sworld.com.ua/konfer22/844.htm> – Режим доступа – свободный (дата обращения 08.08.2018).

246. URL:<http://www.ticrk.ru/o-karelii/obshchaya-informatsiya-ob-otdykhe-v-karelii/>.

247. Сирин А., Минаева Т., Возбранная А., Барталев С. Как избежать торфяных пожаров? // Наука в России. – 2011. – № 2. – С. 13-21.

248. Тишков А.А. Биосферные функции природных экосистем России. – М.: Наука. – 20 с.

249. Кудеяров В.Н. Азотный цикл и продуцирование закиси азота // Почвоведение. – 1999. – № 8. – С. 988-998.