

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2021-108-175-218



Ссылки для цитирования:

Иванов А.Л., Савин И.Ю., Столбовой В.С., Духанин Ю.А., Козлов Д.Н. Методологические подходы формирования единой Национальной системы мониторинга и учета баланса углерода и выбросов парниковых газов на землях сельскохозяйственного фонда Российской Федерации // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2021. Вып. 108. С. 175-218. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-108-175-218

Cite this article as:

Ivanov A.L., Savin I.Yu., Stolbovoy V.S., Dukhanin Yu.A., Kozlov D.N., Methodological approaches to the formation of a unified national system of monitoring and accounting of carbon balance and greenhouse gas emissions on lands of the agricultural fund of the Russian Federation, Dokuchaev Soil Bulletin, 2021, V. 108, pp. 175-218, DOI: 10.19047/0136-1694-2021-108-175-218

**Методологические подходы формирования
единой Национальной системы мониторинга и
учета баланса углерода и выбросов парниковых
газов на землях сельскохозяйственного фонда
Российской Федерации**

© 2021 г. А. Л. Иванов^{1*}, И. Ю. Савин^{1,2**}, В. С. Столбовой¹,
Ю. А. Духанин¹, Д. Н. Козлов¹

¹ФИЦ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”, Россия,
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,
*e-mail: ivanov_al@esoil.ru.

²Российский университет дружбы народов, Россия,
117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6,

**<https://orcid.org/0000-0002-8739-5441>, e-mail: savin_iyu@esoil.ru.

Поступила в редакцию 15.09.2021, принята к публикации 20.09.2021

Резюме: Рассматриваются методологические подходы формирования единой Национальной системы мониторинга и учета баланса углерода и

выбросов парниковых газов, а также предназначение, типизация, требования к пространственному размещению “карбоновых” полигонов, оценка поглощающей способности углерода лесами и сельскохозяйственными экосистемами Российской Федерации, стандартная методика, рекомендованная международным сообществом для оценки запасов углерода в почвах, которая должна применяться в РФ для обеспечения сопоставимости результатов учета парниковых газов между странами, определение поглощающей способности углерода природными экосистемами и почвами. Показан потенциал поглощения углерода сельскохозяйственными почвами. Приведен перечень показателей оценки почвенного углерода по методике Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories) (уровни 2 и 3). С учетом проведенного анализа результатов международной практики, а также на основе теоретического и прикладного опыта отечественной науки разработаны первоочередные меры, направленные на создание и реализацию национальной стратегии использования наземных экосистем в целях регулирования парниковых газов для смягчения изменений климата.

Ключевые слова: глобальный климат, почвенный покров, углеродсеквестрирующий потенциал почв, оценка почвенного углерода, “карбоновые” полигоны.

Methodological approaches to the formation of a unified national system of monitoring and accounting of carbon balance and greenhouse gas emissions on lands of the agricultural fund of the Russian Federation

© 2021 A. L. Ivanov^{1*}, I. Yu. Savin^{1,2**}, V. S. Stolbovoy¹,
Yu. A. Dukhanin¹, D. N. Kozlov¹

¹*Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”,
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,
e-mail: ivanov_al@esoil.ru.

²*Institute of Environmental Engineering of RUDN University,
8/2 Miklukho-Maklaya Str., Moscow 117198, Russian Federation,
**<https://orcid.org/0000-0002-8739-5441>, e-mail: savin_iyu@esoil.ru.*

Received 15.09.2021, Accepted 20.09.2021

Abstract: Methodological approaches to the formation of a unified national system for monitoring and accounting the balance of carbon and greenhouse gas emissions are considered. The purpose, typification, requirements for the spatial placement of “carbon” polygons, assessment of the carbon absorption capacity of forests and agricultural ecosystems in the Russian Federation, the standard methodology recommended by the international community for assessing carbon stocks in soils, which should be applied in the Russian Federation to ensure comparability of the results of greenhouse gas accounting between countries, determination of the carbon absorption capacity of natural ecosystems and soils are discussed. The potential of carbon uptake by agricultural soils is shown. The list of indicators for assessing soil carbon according to the IPCC methodology for Tiers 2 and 3 is given. Taking into account the analysis of international practice, as well as on the basis of theoretical and applied experience of national science, the priority measures have been developed, they are aimed at working out and implementation of the national strategy for the use of terrestrial ecosystems in order to regulate greenhouse gas emissions to mitigate climate change.

Keywords: global climate, soil cover, carbon sequestration potential of soils, assessment of soil carbon, “carbon” polygons.

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации “О мерах по реализации Государственной научно-технической политики в области экономического развития Российской Федерации климатических изменений” от 8 февраля 2021 года № 76 и с перечнем поручений В.В. Путина по итогам Петербургского международного экономического форума от 26.06.2021 г. № Пр-1096, необходимо осуществление работ по увеличению потенциала экосистем страны в поглощении выбросов парниковых газов, в том числе за счет повышения эффективности использования лесов и земель, а также применения современных технологий лесовосстановления и агропромышленных технологий, обеспечивающих восстановление плодородия почв. В этой связи, с учетом Федерального закона “Об ограничении выбросов парниковых газов” от 2 июня 2021 г. № 296-ФЗ, назрела необходимость научного обоснования для создания и ведения единой Национальной методологии и системы наблюдения и учета баланса углерода и выбросов парниковых газов с учетом специфики природных условий Рос-

сии, которая гармонично соотносится с международно признанными подходами.

О МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ПОДХОДАХ ФОРМИРОВАНИЯ ЕДИНОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И УЧЕТА БАЛАНСА УГЛЕРОДА И ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ. РОССИЙСКАЯ СПЕЦИФИКА

В настоящее время в мире в качестве основы используются методологические подходы, изложенные в Руководстве ([IPCC Guidelines... 2006; 2019](#)), составленном экспертами межправительственной панели по изменениям климата. В рамках этих рекомендаций оценка и мониторинг баланса углерода и парниковых газов могут быть осуществлены в стране на одном из трех предложенных уровней.

Уровень 1. Используются зафиксированные экспертами IPCC данные о запасах углерода и коэффициенты изменения запасов для пахотных земель, стратифицированных по климату и типам почв. Таким образом, любая страна, имея информацию о площадях лесов, пашни, пастбищ, болот, а также о почвенных и климатических условиях этих угодий, может применить рекомендованные экспертами величины запасов для расчета полного баланса для страны в целом. То есть для подобных расчетов необходимы лишь сведения о почвах, климате и наземном покрове территории страны в виде карт или статистических данных (табл. 1).

Уровень 2. Используются те же основные расчеты. Но применяются значения эталонных запасов углерода и/или коэффициентов изменения запасов, адаптированные к условиям конкретной страны и скорректированные на основе имеющейся в стране информации. Кроме того, подходы этого порядка могут включать более подробную стратификацию.

Оценка выбросов и поглощений углерода в результате изменений запасов органического углерода почв (SOC) в секторе землепользования, в результате изменения землепользования и лесного хозяйства (LULUCF) для целей учета является **обязательной** в отношении облесения, обезлесения, лесовосстановления (ARD) и управления лесами (FM); а **добровольной** она остается в отношении управления пахотными землями (CM) и паст-

бищными землями (GM), восстановления растительности (RV), а также осушения и переувлажнения водно-болотных угодий (WDR), в соответствии с Киотским протоколом. Решение 529/2013 Европейского парламента и Совета от 21 мая 2013 г. распространялось на государства-члены Европейского союза (ЕС) и подразумевало **обязательный** учет выбросов и поглощений парниковых газов от видов деятельности CM и GM в период 2013–2020 гг.

В пункте (9) Решения 529/2013 уточняется, что для сектора LULUCF правила учета должны соответствовать руководящим принципам оценки выбросов и абсорбции парниковых газов, представленным в Руководстве по национальным инвентаризациям парниковых газов Международной группы экспертов по изменению климата ([IPCC, 2006](#), [2019](#)).

Используется более точная информация о почвах, климате и наземном покрове, чем рекомендовано экспертами IPCC для Уровня 1. В России для этого наиболее пригодна почвенная карта РСФСР масштаба 1 : 2 500 000 ([Почвенная карта..., 1988](#)) и Реестры индикаторов качества почв сельскохозяйственных угодий Российской Федерации ([Реестр индикаторов..., 2021](#)).

Уровень 3. Баланс углерода вычисляется на основе данных динамического моделирования выбросов и поглощения углерода. Подобные модели существуют уже достаточно долгое время, и они апробированы в разных частях мира ([Jones et al., 2005](#); [Smith et al., 2006](#)).

Ключевым критерием при выборе подходящей модели для страны является ее способность учитывать все факторы, влияющие на баланс углерода и парниковых газов и доступность входных параметров для моделирования для всей страны. Очень важно, чтобы модель была подтверждена независимыми наблюдениями, полученными в полевых условиях страны. В качестве независимых данных могут рассматриваться данные многолетних полевых опытов ([Smith et al., 1996](#); [Paul et al., 2015](#)) или, например, долгосрочные измерения потока углерода в экосистеме с использованием таких методов, как вихревая ковариация ([Baldocchi et al., 2001](#)).

Таблица 1. Запасы органического углерода в почве по умолчанию для минеральных почв (тонны С га⁻¹ на глубине 0–30 см) ([IPCC, 2019](#))
Table 1. Soil organic carbon stocks by default for mineral soils (tonnes C ha⁻¹ in 0–30 cm layer) ([IPCC, 2019](#))

Климатическая зона IPCC ¹	Классы почв IPCC ²		
	Почвы с высоко-активной глиной (НАС) ³	Почвы с низко-активной глиной (ЛАС) ⁴	Песчаные почвы (SAN) ⁵
Полярная сухая и влажная (Pх)	59 ± 41% (24)	NA	27 ± 67% (18)
Бореальная сухая и влажная (Вх)	63 ± 18% (35)	NA	10 ± 90% (4)
Холодная умеренная сухая (С2)	43 ± 8% (177)	33 ± 90% (3)	13 ± 33% (10)
Холодная умеренная влажная (С1)	81 ± 5% (334)	76 ± 51% (6)	51 ± 13% (126)
Теплая умеренная сухая (W2)	24 ± 5% (781)	19 ± 16% (41)	10 ± 5% (338)
Теплая умеренная влажная (W1)	64 ± 5% (489)	55 ± 8% (183)	36 ± 23% (39)
Тропическая сухая (Т4)	21 ± 5% (554)	19 ± 10% (135)	9 ± 9% (164)
Тропическая влажная (Т3)	40 ± 7% (226)	38 ± 5% (326)	27 ± 12% (76)
Тропическая переувлажненная (Т2)	60 ± 8% (137)	52 ± 6% (271)	46 ± 20% (43)
Тропическая горная (Т1)	51 ± 10% (114)	44 ± 11% (84)	52 ± 34% (11)

Продолжение таблицы 1
Table 1 continued

Климатическая зона IPCC ¹	Почвы с горизонтом Spodic (POD) ⁶	Вулкани- ческие почвы (VOL) ⁷	Пере- увлажнен- ные почвы (WET) ⁸
Полярная сухая и влажная (Pх)	NO	NA	NA
Бореальная сухая и влажная (Вх)	117 ± 90% (3)	20 ± 90% (4)	116 ± 65% (6)
Холодная умеренная сухая (C2)	NO	20 ± 90% (4)	87 ± 90% (3)
Холодная умеренная влажная (C1)	128 ± 14% (45)	136 ± 14% (28)	128 ± 13% (42)
Теплая умеренная сухая (W2)	NO	84 ± 65% (10)	74 ± 17% (49)
Теплая умеренная влажная (W1)	143 ± 30% (9)	138 ± 12% (42)	135 ± 28% (28)
Тропическая сухая (Т4)	NA	50 ± 90% (4)	22 ± 17% (32)
Тропическая влажная (Т3)	NA	70 ± 90% (4)	68 ± 17% (55)
Тропическая переувлажненная (Т2)	NA	77 ± 27% (14)	49 ± 19% (33)
Тропическая горная (Т1)	NA	96 ± 31% (10)	82 ± 50% (12)

Примечание.

¹Климатические классы определяются согласно IPCC (2006, стр. 3.39) с использованием высоты над уровнем моря, среднегодовой температуры, среднегодового количества осадков, отношения среднегодового количества осадков к потенциальной эвапотранспирации и встречаемости заморозков.

²Классы почв определены на основе классификации ФАО-1990/WRB-2006 в соответствии с IPCC (2006, стр. 3.40–3.41).

³Слабо и умеренно выветрелые почвы с преобладанием силикатных глинистых минералов в соотношении 2 : 1 (в классификации WRB: Leptosols, Vertisols, Kastanozems, Chernozems, Phaeozems, Luvisols, Alisols, Albeluvisols, Solonetz, Calcisols, Gypsisols, Umbrisols, Cambisols, Regosols; в классификации USDA: Mollisols, Vertisols, насыщенные основаниями Alfisols, Aridisols, Inceptisols).

⁴Сильно выветрелые почвы, в которых преобладают глинистые минералы 1 : 1 и аморфные оксиды железа и алюминия (в классификации WRB: Acrisols, Lixisols, Nitisols, Ferralsols, Durisols; в классификации USDA: Ultisols, Oxisols, acidicAlfisols).

⁵Почвы (независимо от классификации), имеющие > 70% песка и < 8% глины (в классификации WRB: Arenosols; в классификации USDA: Psamments).

⁶Сильно оподзоленные почвы (в классификации WRB – Podzols; в классификации USDA – Spodosols).

⁷Почвы, происходящие из вулканического пепла с аллофанической минералогией (в классификации WRB – Andosols; в классификации USDA – Andisols).

⁸Почвы с ограниченным дренажем, подвергающиеся периодическому затоплению и анаэробным условиям (в классификации WRB – Gleysols; в классификации USDA – подпорядки Aquic).

В идеале должна быть создана система инвентаризации постоянных, статистически репрезентативных участков, включающая основные климатические регионы, типы почв, системы использования земель, где можно было бы проводить повторные измерения запасов углерода в почве с течением времени.

Выбор наиболее подходящего уровня анализа зависит от:

- типа и уровня детализации доступных данных,
- наличия подходящей информации для оценки базовых запасов углерода, изменения запасов и коэффициентов выбросов,
- наличия специальных национальных систем инвентаризации, разработанных для почв, а также национальных моделей баланса углерода.

Согласно рекомендациям, все страны должны стремиться к совершенствованию подходов к инвентаризации и отчетности,

переходя постепенно на самый высокий уровень, возможный с учетом национальных условий.

Методология, предложенная экспертами IPCC, учитывает отдельно изменения запасов органического углерода (выбросы или поглощение CO₂) для минеральных почв, выбросы CO₂ из органических (болотных, торфяных) почв и дополнительные выбросы CO₂ при известковании сельскохозяйственных почв.

По стандарту в Руководстве IPCC запасы углерода измеряются по умолчанию в слое 0–30 см и не включают углерод в опаде и стерне (т. е. мертвых остатках) и углерод в нижележащей части почв. Но в зависимости от выбранного уровня анализа не запрещено использовать и другие глубины после соответствующего обоснования.

С учетом высокого научного потенциала России, но недостаточного количества экспериментальных полевых данных, по круговороту углерода на настоящем этапе оптимальным представляется построение методологии системного наблюдения и учета баланса углерода на сельскохозяйственных и лесохозяйственных землях России на уровне 2 с постепенным переходом в перспективе (при накоплении экспериментальных полевых данных) на уровень 3.

Организация работы по созданию Национальной системы наблюдения и учета баланса углерода на сельскохозяйственных и лесохозяйственных землях России может быть представлена в следующем виде (рис. 1).

Система должна включать в себя базовую информацию необходимую для расчета баланса углерода: это пространственные данные о почвах, растительности, специфике использования земель, рельефе, метеопараметрах, а также об источниках антропогенных выбросов парниковых газов. В масштабе страны подобная информация в данный момент доступна на уровне карт исходного масштаба 1 : 2.5 млн. Более детальная информация разрознена и неполна. Начинать построение системы рациональнее на основе этой информации, переходя к более детальной по мере накопления более подробных данных.

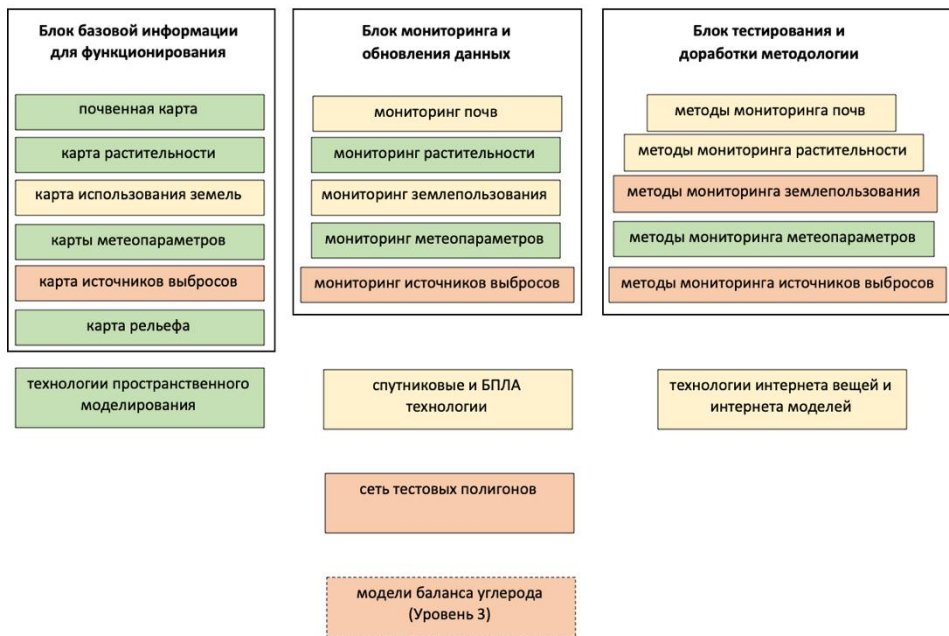


Рис. 1. Схема организации работ по созданию Национальной системы наблюдения и учета баланса углерода на сельскохозяйственных и лесохозяйственных землях России.

Fig. 1. Work management scheme for development of a National System of monitoring and accounting the carbon balance on agricultural and forestry lands in Russia.

Для непосредственного использования в системе исходная информация в любом случае нуждается в доработке – добавлении новых атрибутивных данных, необходимых для оценки баланса углерода. В наибольшей степени это касается данных о специфике использования земель и о пространственном размещении источников антропогенных выбросов. Общая информация будет положена в основу создания унифицированной базы данных ГИС. Необходимые для этого технологии существуют.

Должен быть создан блок оперативного, точного и низкозатратного мониторинга и обновления всей базовой информации. Наиболее перспективно для этих целей использование дистанционных, спутниковых технологий. Отдельные блоки спутникового мониторинга базовых данных уже существуют, но нуждаются в адаптации под цели и задачи Системы. Это технологии мониторинга растительности, частично – технологии мониторинга почв и землепользования. Но последние нуждаются в доработке и развитии так же, как и методы спутникового мониторинга источников антропогенных выбросов.

Нуждаются в развитии и технологии интернета вещей, нейросетей и моделей, которые в комбинации с технологиями пространственного моделирования будут положены в основу мониторинга метеопараметров, а также отдельных свойств почв и специфики землепользования.

Все используемые методы и технологии должны постоянно тестироваться и развиваться. С этой целью планируется организация специализированной сети тестовых полигонов. Их пространственное размещение должно базироваться как на специфике природных условий России, так и на особенностях антропогенного влияния и использования земель в сельском и лесном хозяйстве. Необходимы исследования по разработке схемы оптимального размещения тестовых полигонов и их типологий.

Тестовые (карбоновые) полигоны позволят накопить полевые экспериментальные данные, на основе которых в перспективе будет возможно осуществить переход с Уровня 2 оценки баланса углерода России на Уровень 3.

Предварительные сроки при наличии необходимых ресурсов ограничиваются одним годом:

- Создание блока базовой информации Системы (до 6 месяцев).
- Создание первого варианта Блока обновления и мониторинга данных (до 1 года).
- Создание схемы оптимального размещения тестовых полигонов и разработка Программы исследований на тестовых полигонах (до полугода).
- Оснащение полигонов необходимым оборудованием и запуск в эксплуатацию, тестирование и доработка методов сбора данных и мониторинга (постоянные, срочные).

“КАРБОНОВЫЕ” ПОЛИГОНЫ: ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕ, ТИПИЗАЦИЯ, ТРЕБОВАНИЯ К ПРОСТРАНСТВЕННОМУ РАЗМЕЩЕНИЮ

Следует особо прокомментировать своевременную инициативу Минобрнауки России (приказ от 5 февраля 2021 г. № 74 “О полигонах для разработки и испытаний технологий контроля углеродного баланса”). Документ был разработан в целях реализации национального плана мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 г., утвержденного распоряжением Правительства Российской Федерации от 25 декабря 2019 г. № 3183-р, в соответствии со Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642, и Климатической доктриной Российской Федерации, утвержденной распоряжением Президента Российской Федерации от 17 декабря 2009 г. № 861-рп, в связи с необходимостью эффективности научно-технической деятельности в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений.

В Регламенте рассмотрения Экспертным советом при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации по вопросам научного обеспечения развития технологий контроля углеродного баланса инициативных предложений от заинтересованных организаций по созданию на базе научных организаций и образовательных организаций высшего образования карбоновых полигонов в рамках пилотного проекта Министерства науки и

высшего образования Российской Федерации в соответствии с приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 5 февраля 2021 г. № 74, утвержденным протоколом Экспертного совета при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации по вопросам научного обеспечения развития технологий контроля углеродного баланса от 17 мая 2021 г. № ВФ/14-пр, представлено определение карбонового полигона: карбоновый полигон – “один или несколько участков земной поверхности с репрезентативными для данной территории рельефом, структурой растительного и почвенного покрова, на котором реализуется комплекс мероприятий, направленных на развитие научного, кадрового и инфраструктурного потенциалов в области разработки и испытаний технологий контроля баланса климатически активных газов природных экосистем. На карбоновом полигоне проводятся эксперименты по измерению эмиссии (выбросов) и поглощения парниковых газов посредством наземных и дистанционных методов для оценки пространственной и временной изменчивости потоков климатически активных газов, а также определения интегральных значений составляющих радиационного, теплового, водного и углеродного баланса. Кроме того, на полигоне осуществляется подготовка кадров высшей квалификации в области новейших методов экологического контроля, перспективных технологий для низкоуглеродной индустрии, сельского и муниципального хозяйства. Результатом деятельности карбонового полигона является отработка технологических решений контроля углеродного баланса на основе полного (завершенного) технологического цикла, а также их испытания в реальных и критических условиях. Срок работы полигона составляет не менее 15 лет.”

Весьма важным (первостепенным) является выбор участка для полигона. Согласно упомянутому Регламенту, это “земли сельскохозяйственного назначения, лесные и заболоченные территории, территории иных экосистем, находящиеся в долговременной аренде у участника программы создания и функционирования карбонового полигона, и (или) переданные собственником (собственниками) земельного(-ых) участка во временное пользование участнику программы создания и функционирования карбонового

полигона на долгосрочной основе¹, и (или) предоставляемые собственником (собственниками) земельного(-ых) участка во временное пользование участнику программы создания и функционирования карбонового полигона на долгосрочной основе для проведения экспериментов по разработке и испытанию наземных и дистанционных технологий измерения эмиссии (выбросов) и поглощения климатических активных веществ, оценки углеродного баланса, а также осуществления подготовки кадров высшей квалификации в области новейших методов экологического учета и контроля, перспективных технологий по контролю углеродного баланса экосистем для низкоуглеродной индустрии, сельского и муниципального хозяйства.”

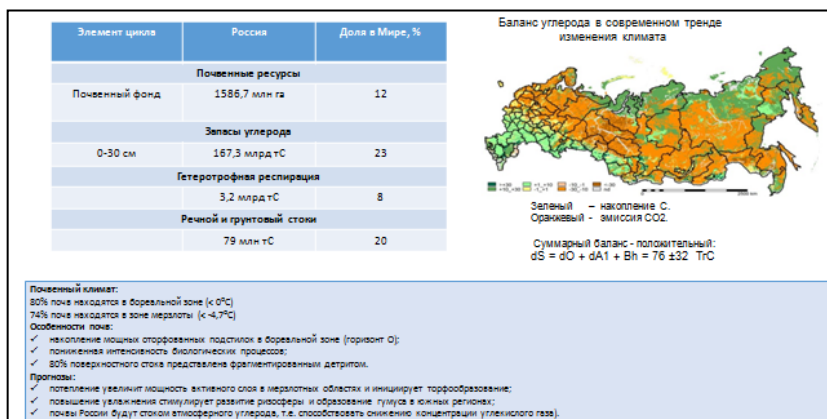


Рис. 2. Представительность C-полигонов для характеристики цикла углерода наземных экосистем России.

Fig. 2. Representativeness of C-polygons for characterizing the carbon cycle of terrestrial ecosystems in Russia.

¹ Под долгосрочной арендой земельного участка и правом пользования земельным участком на долгосрочной основе понимается аренда и (или) право пользования на срок не менее 15 лет с даты утверждения Программы создания и функционирования карбонового полигона Экспертным советом при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации по вопросам научного обеспечения развития технологий контроля углеродного баланса.

Не менее важным является соблюдение репрезентативности полигонов для получения характеристик и учета баланса углерода. Общая, разработанная почвоведом, концепция представлена на рисунках 2–4 и в таблице 2.

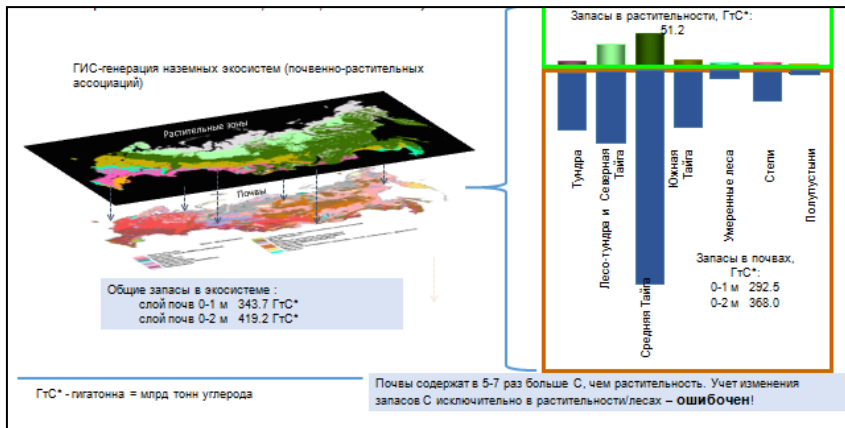


Рис. 3. Концепция структуры экосистем С-полигонов.
Fig. 3. The concept of C-polygon ecosystem structure.

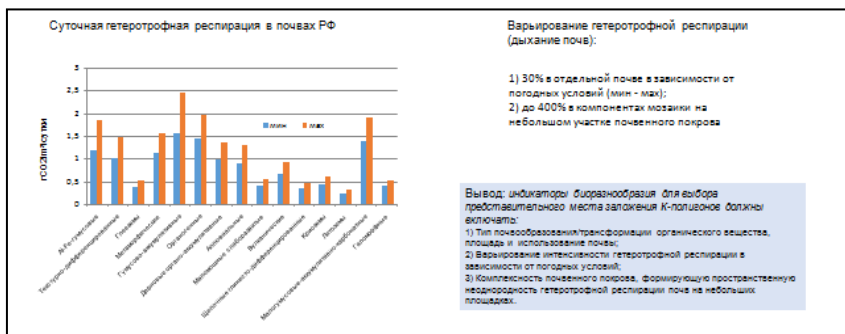


Рис. 4. Варьирование биологической активности почв – локализация С-полигонов в условиях биоразнообразия.
Fig. 4. Variation of soils biological activity – localization C-polygons depending on biodiversity.

Таблица 2. Разнообразие, площади и использование – где и какие почвы выбрать для С-полигонов

Table 2. Diversity, acreage, and land use – soil types and their localization appropriate for C-polygons organization

Тип почвообразования	Почвенный фонд России, млн га	Лесные почвы		Сельскохозяйственные почвы	
		млн га	доля почв, %	млн га	доля почв, %
Al-Fe-гумусовые	364.8	216.7	59.1	0	0
Текстурно-дифференцированные	248.6	173.1	63.5	68.0	27
Глееземы	249.9	62.4	25.8	0	0
Метаморфические	212.6	164.8	74.0	5.7	3
Гумусово-аккумулятивные	163.5	24.0	15.0	108.4	66
Органогенные	116.2	0.0	0.0	0	0
Дерновые органо-аккумулятивные	92.4	76.7	80.0	1.8	2
Аллювиальные	54.2	21.8	39.1	14.3	26
Маломощные слаборазвитые	34.5	8.4	21.0	0	0
Вулканические	14.5	9.9	61.9	0	0
Щелочные глинисто-дифференцированные	12.5	1.8	12.2	9.7	78
Криоземы	9.4	0.0	0.0	0	0
Литоземы	7.2	3.8	50.0	0	0
Малогумусовые-аккумулятивно-карбонатные	4.4	0.0	0.0	3.6	82
Галоморфные	2.0	0.2	14.3	0	0
Итого	1 586.7	763.5	46.9	211.6	13

Почвы России разнообразны по свойствам, площади распространения и использованию. Это важно для выбора представительных площадок для полигонов.

Таким образом, особо отметим, что игнорирование почв в выборе участков под “карбоновые” полигоны лишает последние географической представительности. Этот подход не позволит решить главную задачу – оценить объем секвестрированных углеродных единиц в РФ. Учет секвестрированного углерода исключительно в растительности/лесах игнорирует фундаментальные законы цикла углерода, в части его внутриэкосистемного “растительность – почва” обмена. Концепция “карбоновых” полигонов должна быть обоснована научными представлениями о роли почв в регулировании цикла углерода в наземных экосистемах, включая данные учета поглотительной способности почв и потоков углерода в жидкой и газообразной фазах, а перечень экосистем дополнен понятием “почвенные экосистемы”.

Еще более важным является экстренное принятие нормативных актов ФОИВами в части типологии карбоновых полигонов, ферм и др. вариаций тестовых площадок в Российской Федерации. Ниже представлены собственные предложения по типологии полигонов (табл. 3) и аналитическое обобщение из передовой мировой практики по целевым функциям и типам карбоновых ферм при различных вариантах землепользования (табл. 4).

ОБ ОЦЕНКЕ ПОГЛОЩАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ УГЛЕРОДА ЛЕСАМИ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ ЭКОСИСТЕМАМИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Статья 3.4 Киотского Протокола в качестве одного из инструментов снижения концентрации парниковых газов в атмосфере предусматривает возможность изменения землепользования и лесного хозяйства. Имеется в виду, что, например, посадка леса на безлесной территории (пашни, выпасы и пр.) приведет к накоплению углерода в древесной биомассе, что засчитывается в подсчеты выполнения обязательств по протоколу страны.

Таблица 3. Карбоновые фермы
Table 3. Carbon farms

Группа акций	Действие
Изменение типа землепользования	<ul style="list-style-type: none"> • Конверсия пашни в луга • Агролесоводство • Консервация, восстановление болот и переувлажненных земель • Лесные плантации • Предотвращение опустынивания и вырубки лесов • Управление существующими лесами, живыми изгородями, древесными буферными полосами и деревьями на сельскохозяйственных угодьях
Изменение набора возделываемых культур	<ul style="list-style-type: none"> • Изменение севооборота • Минимизация обработок почвы • Сохранение стерни на поверхности почвы • Предотвращение сжигания растительных остатков и растительности • Использование покровных/промежуточных культур
Управление животноводством	<ul style="list-style-type: none"> • Управление здоровьем скота • Использование сексированной спермы для разведения молочных заменителей • Выбор пород с более низкими выбросами метана • Кормовые добавки для рационов жвачных животных • Оптимизированные стратегии кормления скота
Управление почвами	<ul style="list-style-type: none"> • Планирование управления почвами и питательными веществами • Повышение эффективности использования азота • Биологическая фиксация азота в севооборотах и в травосмесях • Повышение эффективности использования энергии на ферме

Таблица 4. Типология “карбоновых полигонов”
Table 4. Typology of “carbon polygons”

Тип карбонового полигона	Целевое назначение	Размещение	Организация
1. Карбоновая ферма	Решение практических задач по поглощению парниковых газов и направленного регулирования их баланса	На основе проектов АЛСЗ или оценки пригодности земель и почв под планируемые типы деятельности предприятий	Крупный и мелкий бизнес различного уклада
2. Мониторинговый полигон	Сбор необходимых данных для расчета баланса парниковых газов на региональном и федеральном уровнях (Tier 2 IPCC, 2006, 2019)	На основе специально разработанного районирования страны с учетом природных условий и специфики использования земель	Федеральные и региональные органы исполнительной власти
3. Методический полигон	Создание и тестирование методов и моделей для балансовых расчетов парниковых газов (Tier3 IPCC, 2006, 2019), научные исследования и подготовка кадров	На основе специально разработанного районирования страны с учетом природных условий, специфики использования земель и размещения научных и учебных организаций	Минобрнауки России с участием Минприроды, Минэкономразвития, Минсельхоза России
4. Полигоны смешанного назначения	Комплекс либо целевая совокупность, пп 1–3	С учетом целевого назначения, природно-климатических условий и региональной специфики	

Статья 3.4 предусматривает возможность изменения технологий сельскохозяйственного производства для накопления углерода в почвах, например, переход на гумусосберегающие севообороты, сокращение механических обработок и др. Отметим, что Киотский Протокол в своей основе рассматривает цикл углерода, который включает резервуары и потоки углерода, т. е. увеличение продуктивности, что также является инструментом смягчения климатических изменений ([Протокол совещания..., 2020](#)).

Согласно подходам, декларируемым Рослесхозом, все леса РФ относятся к управляемым, и, таким образом, отмечаемый естественный рост лесов в результате потепления климата должен рассматриваться как вклад страны в смягчение климатических изменений.

Эта позиция не принимается странами, присоединившимися к Киотскому Протоколу и Парижскому соглашению. Последнее обстоятельство связано с трудностями, а фактически с невозможностью верификации накопленного углерода в лесах РФ. Так, не представляется возможным подтвердить, что РФ выполнила какие-то работы в лесном фонде (около 650 млн га лесопокрытых территорий), которые бы привели к дополнительному приросту древесины около 680 млн т С (ежегодная сумма выбросов в тоннах CO₂-эквивалента).

Напомним, что общие запасы углерода в лесной биомассе РФ составляют около 33 млрд т С, т. е. выбросы составляют около 2% от запасов в биомассе лесов. Для компенсации выбросов необходимо, чтобы леса РФ увеличивали биомассу именно на 2% ежегодно. Позиция Рослесхоза вошла в число главных инструментов выполнения обязательств РФ по смягчению изменений климата на Парижском совещании, однако практически не выполнена. Такой виртуальный вклад РФ в смягчение изменений мировым сообществом принят не был.

Российской Федерации не следует также конвертировать неиспользуемые земли сельскохозяйственного назначения в леса Киото. Перспективным следует считать вовлечение этих земель в создание плантаций для производства технической биомассы. Такой вариант входит в число разрешенных Киотским Протоколом и не требует перевода сельскохозяйственных земель в лесной фонд.

Возвращение этих земель в производство продовольствия не требует никаких согласований. Это гарантирует РФ возможное преимущество в условиях нарастания продовольственного кризиса в связи с аридизацией климата и увеличением численности населения земли. Обоснование и расчеты поглощения углерода реализованы.

Важным является отстаивание позиции ФАО, заключающейся в том, что “Изменение климата угрожает сельскому хозяйству и продовольственной безопасности... Сельское хозяйство должно, с одной стороны, адаптироваться к изменению климата, а с другой – участвовать в смягчении его последствий”. Эта позиция согласуется с позицией Минсельхоза России о необходимости вовлечения до 12 млн га неиспользуемых земель в сельскохозяйственный оборот.

Парижским соглашением предусмотрена необходимость разработки долгосрочной национальной стратегии “низкоуглеродного” развития.

Следует оговориться, однако, что применительно к сельскому хозяйству, основной целью которого является использование и получение оптимального количества органического вещества и биомассы, термин “низкоуглеродное развитие” требует уточнения. Под низкоэмиссионным развитием здесь подразумевается снижение выбросов CO₂, CH₄ и закиси азота агроэкосистемами с использованием приемов, препятствующих спонтанной и необратимой минерализации, поддержанию и оптимальному накоплению органического вещества почв ([Парижское соглашение, 2015](#)).

На это же направлена инициатива “Четыре промилле” или 4 на 1 000, которую мы также поддерживаем в рамках международной кооперации науки. Суть ее – “компенсация выбросов парниковых газов, их поглощение почвами”, т. е. создание дополнительной почвенной органики, и использование постградационных и аккумулятивных по каналу органики агротехнологий, что отвечает низкоуглеродному развитию производства ([Иванов и др., 2021](#)).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГЛОЩАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ УГЛЕРОДА ПРИРОДНЫМИ ЭКОСИСТЕМАМИ И ПОЧВАМИ

Под природными экосистемами понимаются антропогенно-преобразованные сельскохозяйственные земли. Механизмом поглощения углерода наземными экосистемами является фотосинтез, который связывает двуокись углерода (CO_2) атмосферы в наземную и подземную (корневую) биомассу. В результате метаболических трансформаций произведенной фотосинтезом биомассы (закрепление в растительности, опад, минерализация, гумификация, водный транспорт и возвратная эмиссия CO_2 в атмосферу) часть этой биомассы закрепляется в растительности (годовой прирост леса) и почвах.

В природных условиях зрелых экосистем запасы растительной биомассы и органического углерода в почвах находятся в квазиравновесном состоянии и регулируются климатическими условиями. Считается, что потепление климата и дополнительное увеличение осадков (т. е. потепление без аридизации) приведет к увеличению запасов органического вещества в почвенно-растительных экосистемах. Разница в содержании органического вещества в исходных климатических условиях и после изменения последних называется *дополнительной поглощающей способностью природных экосистем*.

Очевидно, что верификация дополнительных изменений на значительных по площади территориях практически невозможна. Поэтому используют модели зависимостей запасов углерода от климатических условий. Однако любая модель отражает лишь представления разработчиков модели и должна приниматься “на веру”. Согласно правилам Киотского Протокола, поглощение углерода должно базироваться на измеряемых данных. Поэтому предложенный РФ модельный подход измерения поглощения углерода лесами РФ не принимается международным сообществом.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГЛОЩАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ (ЛЕСОВ)

Поглощающая способность природных экосистем измеряется существующими запасами углерода в растительности и почвах.

К этой величине может быть добавлен углерод, накопившийся в результате применения углерод сберегающих мероприятий. В части растительности запасы углерода показаны в единицах плотности биомассы на единицу площади. Общие запасы углерода (пул) оцениваются умножением единицы плотности биомассы на площадь, занимаемую данной категорией земель.

Существуют две принципиальные возможности управления поглощением углерода наземными экосистемами, которые рассматриваются Киотским Протоколом в разделе землепользование, изменение землепользования и лесное хозяйство: 1) интенсификация производственного процесса, т. е. “выкачивание углерода углекислого газа из атмосферы через фотосинтез и 2) накопление углерода в биомассе (рост лесов), т. е. создание углерод консервирующих пулов.

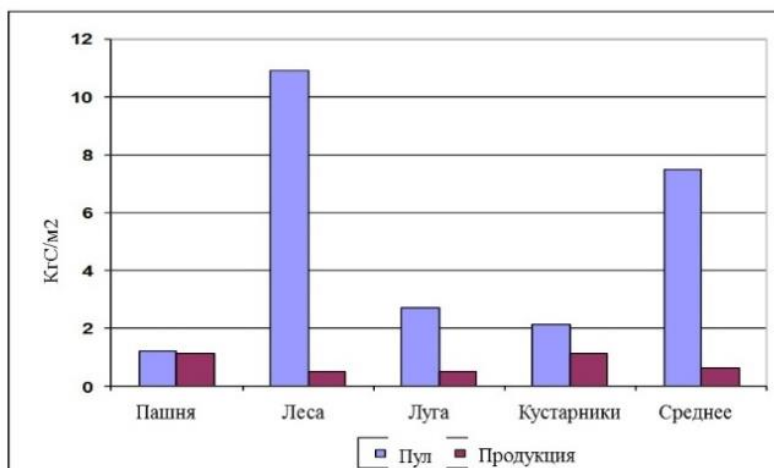


Рис. 5. Плотность биомассы (пул) и ежегодная продукция (нетто первичная продукция, НПП) в различных категориях земель в южной тайге Европейской части РФ (сухое вещество) (Stolbovoi, 2000).

Fig. 5. Biomass density (pool) and annual production (net primary production, NPP) in different land categories in the southern taiga of the European part of the Russian Federation (dry matter) (Stolbovoi, 2000).

На рисунке 5 видно, что при посадке леса на пашне накопится около 11 кг С/м^2 сухого вещества биомассы, что составит около 5.5 т С или около 20 т CO_2 -экв. единиц на м^2 . Эти запасы характерны для зрелых южнотаежных лесов Европейской территории РФ и создаются в течении 100 лет, т. е. при годичном приросте леса около 0.11 кг С/м^2 сухого вещества (запасы, деленные на время накопления).

Запасы сухого вещества на пашне (пожнивные остатки) составляют около 1 кг С/м^2 в год (около 0.5 т CO_2 -экв. единиц). Продуктивность пашни составляет около 1.2 кг С/м^2 сухого вещества в год. За 100 лет пашня свяжет около 120 кг С/м^2 сухого вещества или почти 50 т CO_2 -экв. единиц, что в 5 раз больше, чем в случае посадки углеродных лесов. *Очевидно, что наиболее эффективной стратегией вовлечения неиспользуемой продуктивной пашни для целей поглощения атмосферного углерода является ее использование под плантации для производства технической биомассы в рамках организации кустарниково-древесных насаждений.*

ПОТЕНЦИАЛ ПОГЛОЩЕНИЯ УГЛЕРОДА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ ПОЧВАМИ

Начальный (природный) уровень почвенного органического вещества (ПОВ) в стабильных природных условиях соответствует равновесному состоянию, когда изменения (Δ) ПОВ приближаются к нулю ($\Delta\text{ПОВ} \approx 0$) (рис. 6).

Трансформация природной экосистемы в пахотные земли сопровождается уменьшением содержания ПОВ, т. е. $\Delta\text{ПОВ} < 0$. Длительное устойчивое использование почв приводит к квазиравновесному состоянию ПОВ ($\Delta\text{ПОВ} \approx 0$). Модификация землепользования в целях регенерации содержания ПОВ ($\Delta\text{ПОВ} > 0$) может осуществляться внедрением гумус/углерод сберегающих технологий. Их продолжительное устойчивое использование приводит к квазиравновесному состоянию ($\Delta\text{ПОВ} \approx 0$) на новом более высоком уровне содержания ПОВ. Длительность периода перехода почв к новому квазиравновесному состоянию принята равной 20 годам ([IPCC, 2007](#)).

По последним данным ([Национальный доклад, 2019](#)), использование сельскохозяйственных земель привело к потере около

4.7 Гт С из слоя почв 1.0 м (табл. 5).



Рис. 6. Динамика содержания ПОВ, вызванная трансформацией и модификацией землепользования.

Fig. 6. Dynamics of Soil Organic Matter (SOM) content caused by land use transformation and modification.

Таблица 5. Послойные запасы и потери ПОВ (Гт С) в сельскохозяйственных угодьях РФ

Table 5. Layered stocks and losses of Soil Organic Matter (Gt, C) in agricultural lands of the Russian Federation

Использование	0...0.3 м				0...1.0 м			
	нативные	используемые	потеря	% от нативных	нативные	используемые	потеря	% от нативных
Пашня	13.47	10.84	2.63	20	22.60	19.02	3.58	16
Пастбища	6.37	5.92	0.45	7	10.02	8.92	1.10	11
Всего	19.84	16.75	3.09	16	32.61	27.94	4.68	14

Отмеченные потери ПОВ в сельскохозяйственных угодьях России значительно меньше, чем в других странах. Так, по опубликованным зарубежным данным, в развитых странах потери достигают 50% и более. Относительно меньшие потери ПОВ сельскохозяйственными почвами России объясняются тем, что традиционно в земледелии страны использовали гумус/углерод сберегающие технологии, которые поддерживали природное плодородие почв в условиях ограниченного применения минеральных удобрений. Определенное значение в снижении потерь ПОВ сыграло и то, что все сельскохозяйственные почвы России прошли землеустройство, которое, кроме рекомендаций по гумус сберегающим технологиям производства, также включало систему противоэрозионных мероприятий, обеспечивающих сохранение верхнего насыщенного ПОВ пахотного слоя.

Анализ обобщенного вклада различных факторов в дегумификацию сельскохозяйственных почв страны свидетельствует, что потеря почвами около 2.2 Гт С, или 85% общих потерь ПОВ, связана с неудовлетворительной технологией производства, и 0.5 Гт С, или 15% потери ПОВ, – с плоскостной водной эрозией (табл. 6).

Таблица 6. Факторы снижения содержания органического вещества в пахотных почвах России

Table 6. Factors in reducing organic matter content in arable soils of Russia

Слой, м	Потери					
	общие		технологии		эрозия	
	Гт С	% от нативных	Гт С	% от нативных	Гт С	% от нативных
0...0.3	2.63	20	2.2	85	0.43	15
0...1.0	3.58	16	3.1	85	0.48	15

НАЦИОНАЛЬНАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГЛОЩАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РОССИЙСКИХ ЛЕСОВ

Основной проблемой существующих методик определения углерод поглощающей способности российских лесов является то, что они не учитывают почвы, на которых произрастает лес. Такой подход связан с тем, что лесной кодекс РФ определяет лес как экосистему и ресурс. Однако в кодексе отсутствует термин почвы, и экосистема леса ограничивается растительностью. Принятое в РФ определение противоречит научному представлению углеродного цикла, которое выступает фундаментальной основой поглощения углерода наземными экосистемами. Кроме того, это определение противоречит подписанным РФ международным требованиям соблюдения “устойчивого лесопользования”, в котором около 40% требований касаются лесных почв. Таким образом, демонстрируется двойной стандарт – внутреннее “устойчивое лесопользование”, не включающее почвы, и внешнее “устойчивое лесопользование”, включающее почвы.

Ниже приводится стандартная методика, рекомендованная международным сообществом ([IPCC, 1996](#)) для оценки запасов углерода в почвах. Методика также должна применяться в РФ, чтобы обеспечить сопоставимость результатов учета парниковых газов между странами. Для РФ методика впервые применялась для оценки запасов углерода в почвах и позднее демонстрировалась в упомянутом Национальном докладе ([2019](#)).

Подсчеты включают несколько этапов:

(1) определение концентрации (органического и минерального) углерода в почве (Soil Carbon Density, SCD) в кг С/м^3 :

$$SCD = C * V * H * S, \quad [1]$$

где C – содержание углерода в %;

V – объемный вес почвы в кг/м^3 ;

H – мощность почвенного генетического горизонта в м;

S – коэффициент коррекции на объемное содержание камней, который варьирует от 1.0 (отсутствуют) до $is < 0.1$ (доминируют).

(2) определение концентрации углерода по стандартным слоям: 0–0.3, 0–0.5, 0–1.0, 0–2.0 м, – вычисляются для всех почвенно-

генетических горизонтов и пересчитываются на стандартные слои по формуле:

$$SCD_{sd} = \left(\frac{C_i * V_i * S_i}{H_i} \right) * H_{sd}, \quad [2]$$

где SCD_{sd} – концентрация углерода в стандартном слое в м;
 C_i, V_i, S_i и H_i – параметры формулы (1) в почвенно-генетическом горизонте i почвы в м;
 H_{sd} – мощность стандартного слоя в м.

(3) определение запасов (органического и минерального) углерода в стандартном слое sd почвы j (Soil Carbon Stock, SCS_{sd}) в кг С, т С, Гт С.

$$SCS_j = SCD_{sd} * A_j \quad [3]$$

где SCS_j – запасы (органического и минерального) углерода в стандартном слое sd почвы j в единицах веса;
 SCD_{sd} – концентрация углерода в стандартном слое sd в м по формуле [2];
 A_j – площадь почвы j м².

(4) Разнообразие почв (спектр) для растительной ассоциации, растительной зоне, типу леса, категории землепользования определяется операцией наложения соответствующих карт. В отношении лесной растительности операция описывается формулой:

$$VEG_j \cap S_n, \quad [4]$$

где VEG_j – тип древостоя j ;
 S_n – спектр (разнообразие почв) n , характерный для древостоя VEG типа j .

(5) Определение запасов в стандартном слое sd почвы j в типе древостоя $VEG_j \cdot S_n$ спектр (разнообразие почв) n , характерный для древостоя VEG типа j . Удельные концентрации углерода в спектре почв под древостоем умножают на площади почв, входящих в спектр, и суммируют.

Стандартная методика, рекомендованная международным сообществом для оценки запасов углерода в почвах, может (должна) применяться в РФ, поскольку обеспечивает сопоставимость

результатов учета парниковых газов между странами и работает на международном рынке углеродных единиц.

Методика IPCC рекомендована для всех стран, подписавших Киотский Протокол. Результаты, полученные по Методике IPCC, включаются в национальные сообщения и учитываются в механизмах регулирования Киотского Протокола.

Методика IPCC применялась для определения базовых концентраций (base line concentration) содержания и запасов углерода в почвах РФ в рамках Киотского Протокола и также в предложениях Совещания в Париже (2015). Результаты определения базовых концентраций и запасов углерода в почвах РФ опубликованы в Международном журнале Climate Change (Stolbovoi, 2006), в части лесных почв – в международном журнале Mitigation and adaptation Strategies for Global Change, в части почв сельскохозяйственного назначения – в монографии Soil Organic Carbon and Agriculture: Developing Indicators for Policy Analyses (Stolbovoy, 2002).

База данных по содержанию и запасам углерода в почвах опубликована и находится в свободном доступе в совместном издании Российской Академии наук и Международного института прикладных системных исследований “Земельные ресурсы России” (Stolbovoi, McCallum, 2002).

ПЕРЕЧЕНЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ПОЧВЕННОГО УГЛЕРОДА ПО МЕТОДИКЕ IPCC ДЛЯ УРОВНЕЙ 2 И 3

Органическое вещество почв после отложений мирового океана является вторым по величине запасом углерода биосферы. Его источником являются надземные и подземные органы растений, а также почвенные животные и микроорганизмы. Часть ежегодно образующегося органического вещества разлагается (почвенное дыхание), другая же часть закрепляется в почве в виде специфических органических и органоминеральных соединений со временем жизни сотни и тысячи лет, что больше, чем у древесной растительности.

Существует два подхода к оценке темпов накопления углерода в почве. Непосредственная оценка потоков (интенсивности скоростей углеродного обмена) требует использования специали-

зированной оборудования (коррелометров и камер с газоанализаторами) в полевых условиях. Перечень измеряемых параметров приведен в таблице 7 и согласован с перечнем показателей, рекомендованных Министерством науки и высшего образования Российской Федерации для мониторинга на карбоновых полигонах. Второй подход связан с оценкой изменений запасов органического вещества в подземной фитомассе и почвах относительно базовой линии и принят в качестве руководящего в методике IPCC.

В методике IPCC предусмотрено три уровня оценки возрастающей детальности (см. выше). В российском почвоведении существует большой задел в отношении второго и третьего уровней оценки. Систематический сбор данных о запасах органического вещества в почвах земель сельскохозяйственного назначения осуществляет Агротехслужба Минсельхоза России.

В таблицах 7 и 8 собраны индикаторы оценки почвенного углерода по методике IPCC для уровня 2 и 3. Приводятся российские методики оценки индикаторов и их наиболее полные и современные международные аналоги.

Перечень составлен максимально полно как в части запасов, так и дополнительных показателей, используемых в расчетах, предоставляя возможность докладывать в международное сообщество в интересах максимального поддержания российской традиции почвенной науки и генетического почвоведения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С учетом проведенного анализа международной практики, на основе научного и прикладного опыта отечественной науки следует в срочном порядке принять следующие первоочередные (мобилизационные) меры.

1. Подготовить предложения с целью формирования позиции Российской Федерации в преддверии участия в 26-й Конференции Сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата (в рамках исполнения поручений Президента Российской Федерации от 12 сентября 2020 г. № Пр-1476, от 2 марта 2021 г. № Пр-323, аналогично Руководству IPCC (2006 г.) с дополнениями 2019 г.).

Таблица 7. Перечень показателей оценки почвенного углерода по методике IPCC для уровня 2 и 3
Table 7. List of IPCC soil carbon assessment indicators for Tiers 2 and 3

Показатель	Российская методика	Зарубежная методика	Уровень методики IPCC
Методика полевого опробования (отбор проб)			
Плотность и глубина опробования, пробоподготовка образцов почв	<p>Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользования М.: “Колос”, 1973</p> <p>Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. М.: ФГНУ “Росинформагротех”, 2003</p> <p>ГОСТ 28168-89, ГОСТ 17.4.3.01-2017 и ГОСТ 17.4.4.02 в зависимости от целей исследования</p>	<p>Stolbovoy V., Montanarella L., Filippi N., Jones A., Gallego J., Grassi G. (2005). Soil sampling protocol to certify the changes of organic carbon stock in mineral soils of European Union. Office for Official Publications of the European Communities.</p> <p>Stolbovoy V., Montanarella L., Filippi N., Jones A., Gallego J. (2007). Field soil sampling to detect the changes of organic carbon stock in mineral soil. Carbon Sink Enhancement in Soils of Europe: Data, Modeling, Verification JRC Scientific and Technical reports Ispra (VA), Italy, 31–73.</p> <p>Arrouays D., Saby, N. P., Boukir, H., Jolivet, C., Ratié, C., Schrumpf, M., ... & Loustau, D. (2018). Soil sampling and preparation for monitoring soil carbon. International Agrophysics, 32(32), 633–643.</p>	2, 3

Лизиметрические воды			3
Живые подземные органы растений			2, 3
Мертвые подземные органы растений			2, 3
Подстилка			2, 3
Опад			2, 3
Масса дождевых червей			3
Масса почвенных микроорганизмов и базальное дыхание	<p>Ананьева Н.Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. Наука, 2003.</p> <p>Ананьева Н.Д., Сусьян Е.А., Гавриленко Е.Г. Особенности определения углерода микробной биомассы почвы методом субстрат-индуцированного дыхания. Почвоведение, 2011, (11), 1327–1333.</p>	<p>Anderson J.P., Domsch K.H. (1978). A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. <i>Soil biology and biochemistry</i>, 10 (3), 215–221.</p> <p>Anderson T.H., Domsch K.H. (1985). Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. <i>Biology and fertility of soils</i>, 1(2), 81–89.</p>	3

Аналитические методики определения углерода в различных формах			
Общее содержание органического вещества (углерода) почвы	Метод Тюринга в модификации ЦИНАО согласно ГОСТ 26213-91. ПОЧВЫ. Методы определения органического вещества.	ISO 10694:1995, Soil quality – Determination of organic and total carbon after dry combustion (elementary analysis). Gold standard for the global goals “Soil organic carbon framework methodology”, v. 1, 2020, USA	2, 3
Растворенный органический углерод		K. Kalbitz, D. Angers, K. Kaiser, M. H. Chantigny. (2008). Soil Sampling and Methods of Analysis, Second Edition. A. Zsolnay. (2003). Dissolved organic matter: artefacts, definitions and functions. Geoderma 113, 187– 209. A. Zsolnay. (1996). Dissolved Humus in Soil Waters. Humic Substances in Terrestrial Ecosystems. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 171–123.	3
Неорганический углерод (карбонаты) почв	Руководство по лабораторным методам исследования ионно-солевого состава нейтральных и щелочных минеральных почв. М.: ВАСХНИЛ, Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 1990 г. Массовая доля общего содержания карбонатов (по Козловскому), ГОСТ 26424-85. ПОЧВЫ. Метод определения ионов карбоната и бикарбоната в водной вытяжке	ISO 10693:1995, Soil quality – Determination of carbonate content – Volumetric method.	3

Методики определения условий, способствующих накоплению или эмиссии углерода			
Степень гумификации			3
Степень гидроморфизма			3
Степень разложения торфа			2, 3
Степень аэрации			3
Температура почвы	ГОСТ 25358-82	ASTM D4611 - 16 Montagnani L. (2018). Soil-meteorological measurements at ICOS monitoring stations in terrestrial ecosystems. <i>International Agrophysics</i> , 32(4), 619–631.	2, 3
Влажность почвы	ГОСТ 28268-89	ISO 11465:1993, Soil quality – Determination of dry matter and water content on a mass basis – Gravimetric method. Montagnani, L. (2018). Soil-meteorological measurements at ICOS monitoring stations in terrestrial ecosystems. <i>International Agrophysics</i> , 32(4), 619–631.	2, 3

Плотность сложения (Bulk density)	Буровой метод определения плотности почв (по Вадюниной, Карчагиной, 1986)	ASTM F3013 - 13(2018) ISO 11272:2017(en) Soil quality – Determination of dry bulk density	2, 3
Гранулометрический состав почв (Текстура)	ГОСТ 12536-2014 Методика измерений гранулометрического состава в пробах почв, грунтов, донных отложений методом лазерной дифракции (2019)	ASTM D7928 - 21e1	2, 3
Агрегатный состав почв	Метод сухого просеивания (Теории и методы физики почв, 2007)	Kemper W.D., Rosenau R.C., 1986. Aggregate stability and size distribution. In Klute (Ed.) Methods of soil analysis, Part 1. Agronomy monographs No. 9, A.S.A. Madison	3
Водоустойчивость структуры почв	Метод мокрого просеивания почв (Теории и методы физики почв, 2007)	Nimmo J.R., Perkins K.S. (2002). 2.6 Aggregate stability and size distribution. Methods of soil analysis: part 4 physical methods, 5, 317–328.	3
Зольность	ГОСТ 27784-88. Почвы. Метод определения зольности торфяных и оторфованных горизонтов почв		3
Общее содержание азота	ГОСТ Р 58596-2019. ПОЧВЫ. Методы определения общего азота.	ISO 11261:1995 Soil quality – Determination of total nitrogen – Modified Kjeldahl method	2, 3

Метаболический коэффициент qCO_2	Ананьева Н.Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. Наука, 2003.	Anderson T.H., Domsch K.H. (1985). Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. <i>Biology and fertility of soils</i> , 1(2), 81–89.	3
Численность микроорганизмов в почве		Fierer N., Jackson J.A., Vilgalys R., Jackson R.B. (2005). Assessment of soil microbial community structure by use of taxon-specific quantitative PCR assays. <i>Applied and environmental microbiology</i> , 71(7), 4117–4120.	3
Отношение грибы / бактерии		Rousk J., Bååth E., Brookes P.C., Lauber C.L., Lozupone C., Caporaso J.G. et al. (2010). Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil. <i>The ISME journal</i> , 4(10), 1340–1351.	3

Таблица 8. Методики измерения почвенного дыхания и скорости поступления опада
Table 8. Techniques for measuring soil respiration and the rate of litter contribution

Российская методика	Зарубежная методика
Оценка по ночным измерениям пульсационным методом (eddy covariance)	Rebmann C., Aubinet M., Schmid H., Arriga N., Aurela M., Burba G., ... Franz D. (2018). ICOS eddy covariance flux-station site setup: a review. <i>International Agrophysics</i> , 32(4), 471–494.
Оценка по методу камер (chamber technique) в ночное время	Pavelka M., Acosta M., Kiese R., Altimir N., Brümmer C., Crill P., ... Pumpanen I. (2018). Standardisation of chamber technique for CO ₂ , N ₂ O and CH ₄ fluxes measurements from terrestrial ecosystems.
Оценка по методу камер (chamber technique) в дневное время с затенением	Pavelka M., Acosta M., Kiese R., Altimir N., Brümmer C., Crill P., ... Pumpanen I. (2018). Standardisation of chamber technique for CO ₂ , N ₂ O and CH ₄ fluxes measurements from terrestrial ecosystems.
Потоки растворенного органического углерода (lysimeters)	
Определение корневого опада	
Скорость поступления надземного опада (litter traps)	Loustau D., Altimir N., Barbaste M., Gielen B., Marañón Jiménez S., Klumpp K., ... Waldner P. (2018). Sampling and collecting foliage elements for the determination of the foliar nutrients in ICOS ecosystem stations. <i>International agrophysics</i> , 32(4), 665–676.

2. В соответствии с протоколом заседания экспертного совета сформировать проект “Национальная система учета выбросов парниковых газов, включая потенциал их поглощения российскими экосистемами (лес, степь, тундра, водные пространства и др.)”, в рамках которого решить следующие задачи:

- разработать национальную стратегию использования наземных экосистем в целях регулирования парниковых газов для смягчения изменений климата;
- разработать национальную методику определения поглощающей способности наземных экосистем РФ;
- разработать методику верификации изменений поглощающей способности наземных экосистем;
- определить перспективные территории для организации проектов по поглощению углерода растительностью;
- определить перспективные территории для организации проектов по поглощению углерода сельскохозяйственными почвами.

3. В ФНТП в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений на 2021–2030 гг. (Указ Президента Российской Федерации от 08.02. 2021 г. № 76) и при формировании программы научных исследований по национальному проекту “Наука” и др. включить в качестве приоритетных следующие направления:

– научное обоснование увеличения потенциала экосистем в поглощении выбросов парниковых газов, в том числе за счет повышения эффективности использования лесов и земель, а также путем применения современных технологий лесовосстановления и агропромышленных технологий, обеспечивающих восстановление плодородия почв (п. 1 з)-3) перечня поручений Президента Российской Федерации В.В. Путина от 26.06.2021 г. № Пр-1096 по итогам Петербургского международного экономического форума);

– научное обоснование, создание и ведение единой Национальной методологии системного наблюдения и учета баланса выбросов парниковых газов с учетом специфики природно-климатических и почвенных условий России, которая гармонично сочетается с подходами IPCC;

- методология территориального размещения и создания карбоновых полигонов, актуализация данных почвенно-экологического районирования на основе нового перечня показателей цикла углерода в экосистемах и сельскохозяйственных ландшафтах;

- создание ранжированного перечня показателей (индикаторов) инструментального определения и данных дистанционного зондирования Земли и его нормативно-правовая актуализация;

- оценка отраслевых, региональных рисков и обоснование стратегии адаптации к глобальному изменению климата;

- научное обоснование создания технологий адаптации сельскохозяйственного землепользования, проградационных, почвоохранных, депонирующих углерод технологий, мероприятий агролесо- и фитомелиораций в условиях изменения климата.

4. Организовать в установленном порядке подготовку и утверждение нормативно-правовых актов в части:

- поддержания и ведения единой Национальной системы наблюдений и учета баланса углерода в различных почвенно-экологических условиях Российской Федерации, сопоставимых с международными подходами;

- создания перечня и ведения реестра индикаторов оценки и учета углеродного баланса почвенного покрова Российской Федерации, нормативной правовой актуализации использования данных дистанционного зондирования Земли;

- создания системы спутникового мониторинга в интересах “Национальной системы учета выбросов парниковых газов”;

- утверждения перечня организаций и ФОИВов, ответственных за предоставление и сбор информации ДЗЗ, ее порядок, периодичность и качество, т. ч. спутниковых конфигураций для решения различно ориентированных задач, в установленном законом порядке;

- утверждения типологии и пространственного размещения тестовых и карбоновых полигонов.

5. Организовать проведение научно-исследовательских работ и поддержку комплексных экспедиций по оценке геокриологической опасности и прогнозу естественной эмиссии парниковых

газов в зоне вечной мерзлоты и оценке опасности опустынивания в аридной зоне Российской Федерации до 2050 г.;

6. Разработать перечень квалифицированных организаций-экспертов.

7. Разработать нормативно-правовые документы по использованию данных ДЗЗ в указанных целях, а также для решения других задач экономического и научно-технологического развития Российской Федерации.

8. Организовать на постоянной основе работу по подготовке, формированию и последующему поддержанию в актуальном состоянии единого (межведомственного) информационного ресурса для целей обеспечения рационального землепользования, охраны земель сельскохозяйственного назначения и государственного управления в указанной сфере, в т. ч. учета и регулирования баланса углерода.

9. В целях обеспечения полной и объективной информации о наличии и состоянии земель сельскохозяйственного назначения, сопоставимости соответствующей ведомственной отчетности проработать организационные, финансовые и технические аспекты проведения инвентаризации указанных земель с учетом оценки баланса углерода в экосистемах и агролесоконструкциях, организации лесовосстановительных работ.

10. Подготовить предложения по совершенствованию государственной земельной политики в области оборота земель сельскохозяйственного назначения, направленные на повышение эффективности использования земельных ресурсов в сельском хозяйстве, регулирования и организации работ по выявлению неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения, вовлечения их в сельскохозяйственный оборот.

11. Определить первоочередные участки земель, подверженные опустыниванию, на которых необходимо осуществить мероприятия по фитомелиоративной реконструкции; разработать проектную документацию и нормативно-правовую базу.

12. Предусмотреть с 2022 г. финансирование мероприятий по фитомелиоративной реконструкции на участках земель, подверженных опустыниванию; восстановить работу фитолесомелиоративных предприятий Главка Черных земель и Кизлярских паст-

бищ; обеспечить разработку федеральной целевой программы по борьбе с опустыниванием территорий (земель).

13. Разработать оценки отраслевых и региональных рисков и стратегию адаптации к глобальным климатическим изменениям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов А.Л., Савин И.Ю., Столбовой В.С., Духанин Ю.А., Козлов Д.Н., Баматов И.М. Глобальный климат и почвенный покров – последствия для землепользования России // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2021. Вып. 107. С. 5–32. DOI: [10.19047/0136-1694-2021-107-5-32](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2021-107-5-32).
2. Национальный доклад “Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство)” / под ред. Р.С.-Х. Эдельгериева. Т. 2. М.: ООО “Издательство МВА”, 2019. 476 с.
3. Парижское соглашение. ООН. 2015. 30 с. URL: http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/Russia_n_Paris_agreement.pdf (дата обращения: 17.10.2020).
4. Почвенная карта РСФСР масштаба 1 : 2 500 000/ под ред. В.М. Фридланда, 1988.
5. Протокол совещания у Заместителя Председателя Правительства Российской Федерации В.В. Абрамченко от 18 сентября 2020 г. № ВА-П1-68Пр.
6. Реестр индикаторов качества почв сельскохозяйственных угодий Российской Федерации. Иваново: ПресСто, 2021. 260 с.
7. Baldocchi D., Falge E., Gu L., Olson R., Hollinger D., Running S., Anthoni P., Bernhofer Ch., Davis K., Evans R., Fuentes J., Goldstein A., Katul G., Law B., Lee X., Malhi Y., Meyers T., Munger W., Oechel W., Paw U.K.T., Pilegaard K., Schmid H.P., Valentini R., Verma S., Vesala T., Wilson K., Wofsy S. FLUXNET: A New Tool to Study the Temporal and Spatial Variability of Ecosystem-Scale Carbon Dioxide, Water Vapor, and Energy Flux Densities // Bulletin of the American Meteorological Society. 2001. Vol. 82(11). P. 2415–2434. URL: https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/82/11/1520-0477_2001_082_2415_fantts_2_3_co_2.xml.
8. IPCC. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual / J.T. Houghton, L.G. MeiraFilho, B. Lim et al. (Eds). URL: <http://www.iea.org/ipcc/invs1.htm>.
9. IPCC Guidelines for National Green house Gas Inventories, 2006.

10. IPCC. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Core Writing Team, Pachauri R.K, Reisinger A. (Eds). Geneva, 2007. 104 p.
11. Jones C., McConnell C., Coleman K., Cox P., Falloon P., Jenkinson D., Powlson D. Global climate change and soil carbon stocks; predictions from two contrasting models for the turnover of organic carbon in soil // *Global Change Biology*. 2005. Vol. 11. P. 154–166. DOI: [10.1111/j.1365-2486.2004.00885.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00885.x).
12. Paul E.A., Kravchenko A., Grandy A.S., Morris S. Soil organic matter dynamics: Controls and management for sustainable ecosystem functioning / S.K. Hamilton, J.E. Doll, G.P. Robertson (Eds) // *The Ecology of Agricultural Landscapes: Long-Term Research on the Path to Sustainability*. New York: Oxford University Press, 2015. P. 104–134.
13. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2019.
14. Smith P., Smith J.U., Powlson D.S. (Ed.). Global change and terrestrial ecosystems. Soil Organic Matter Network (SOMNET): 1996 model and experimental metadata. Report no. 7, GCTE task 3.3.1. Wallingford, 1996.
15. Smith J.E., Heath L.S., Skog K.E., Birdsey R.A. Methods for calculation Forestecosystem and harvested carbon with standard estimates for Forest types of the United States. General technical report NE-343. Newtown Square, PA, USDA, 2006. URL: https://www.nrs.fs.fed.us/pubs/gtr/ne_gtr343.pdf.
16. Stolbovoi V.S. Kyoto Protocol: From Accounting to Regional Carbon Management Policy and Decisions. Presentation at Russian IGBP day in Moscow, Russian Academy of Science, October 4, 2000.
17. Stolbovoy V. Carbon in agricultural soils of Russia / Smith, C.A.S. (Ed.) // *Soil Organic Carbon and Agriculture: Developing Indicators for Policy Analyses*. Proceedings of an OECD expert meeting. Ottawa, Paris, 2002. P. 301–306.
18. Stolbovoi V., McCallum I. Land Resources of Russia. CD-ROM, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, the Russian Academy of Sciences, Moscow, 2002. URL: http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/russia_cd/index.htm.
19. Stolbovoi V. Soil Carbon in the Forests of Russia // *Mitigation and adaptation Strategies for Global Change*. 2006. Vol. 11. P. 203–222.

REFERENCES

1. Ivanov A.L., Savin I.Yu., Stolbovoy V.S., Dukhanin Yu.Y., Kozlov D.N., Bamatov I.M., Global climate and soil cover – implications for land use in

- Russia, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2021, Vol. 107, pp. 5–32, DOI: [10.19047/0136-1694-2021-107-5-32](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2021-107-5-32).
2. Edelgeriev R.S.-H. (Ed.), *National report* “Global climate and soil cover in Russia: desertification and land degradation, institutional, infrastructural, technological adaptation measures (agriculture and forestry)”, Vol. 2, Moscow: LLC “Izdatel'stvo MVA”, 2019, 476 p.
 3. Paris Agreement. UN. 2015. 30 p. URL: http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/Russia_n_Paris_agreement.pdf.
 4. Fridland V.M., *Pochvennaya karta RSFSR masshtaba 1 : 2 500 000* (Soil map of the RSFSR on a scale of : 2,500,000), 1988.
 5. Minutes of a meeting with the Deputy Prime Minister of the Russian Federation V.V. Abramchenko dated September 18, 2020 No. BA-П1-68Пр.
 6. *Reestr indikatorov kachestva pochv sel'skokhozyaistvennykh ugodii Rossiiskoi Federatsii* (Register of indicators of soil quality of agricultural land in the Russian Federation), Ivanovo: PresSto, 2021, 260 p.
 7. Baldocchi D., Falge E., Gu L., Olson R., Hollinger D., Running S., Anthoni P., Bernhofer Ch., Davis K., Evans R., Fuentes J., Goldstein A., Katul G., Law B., Lee X., Malhi Y., Meyers T., Munger W., Oechel W., Paw U.K.T., Pilegaard K., Schmid H.P., Valentini R., Verma S., Vesala T., Wilson K., Wofsy S. FLUXNET: A New Tool to Study the Temporal and Spatial Variability of Ecosystem-Scale Carbon Dioxide, Water Vapor, and Energy Flux Densities, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2001, Vol. 82(11), pp. 2415–2434, URL: https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/82/11/1520-0477_2001_082_2415_fantts_2_3_co_2.xml.
 8. Houghton J.T., MeiraFilho L.G., Lim B. et al. (Eds), *IPCC, Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual*, URL: <http://www.iea.org/ipcc/invs1.htm>.
 9. *IPCC Guidelines for National Green house Gas Inventories*, 2006.
 10. *IPCC. Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Core Writing Team, Pachauri R.K, Reisinger A. (Eds), Geneva, 2007, 104 p.
 11. Jones C., McConnell C., Coleman K., Cox P., Falloon P., Jenkinson D., Powlson D., Global climate change and soil carbon stocks; predictions from two contrasting models for the turnover of organic carbon in soil, *Global Change Biology*, 2005, Vol. 11, pp. 154–166, DOI: [10.1111/j.1365-2486.2004.00885.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00885.x).
 12. Paul E.A., Kravchenko A., Grandy A.S., Morris S., Soil organic matter dynamics: Controls and management for sustainable ecosystem functioning,

In: S.K. Hamilton, J.E. Doll, G.P. Robertson (Eds) *The Ecology of Agricultural Landscapes: Long-Term Research on the Path to Sustainability*, New York: Oxford University Press, 2015, pp. 104–134.

13. *Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, 2019.

14. Smith P., Smith J.U., Powlson D.S. (Eds), *Global change and terrestrial ecosystems. Soil Organic Matter Network (SOMNET): 1996 model and experimental metadata*. Report no. 7, GCTE task 3.3.1, Wallingford, 1996.

15. Smith J.E., Heath L.S., Skog K.E., Birdsey R.A., *Methods for calculation Forestecosystem and harvested carbon with standard estimates for Forest types of the United States*, General technical report NE-343, Newtown Square, PA, USDA, 2006, URL: https://www.nrs.fs.fed.us/pubs/gtr/ne_gtr343.pdf.

16. Stolbovoi V.S., *Kyoto Protocol: From Accounting to Regional Carbon Management Policy and Decisions*, Presentation at Russian IGBP day in Moscow, Russian Academy of Science, 2000.

17. Stolbovoy V., Carbon in agricultural soils of Russia, In: Smith, C.A.S. (Ed.) *Soil Organic Carbon and Agriculture: Developing Indicators for Policy Analyses*, Proc. of an OECD expert meeting, Ottawa, Paris, 2002, pp. 301–306.

18. Stolbovoi V., McCallum I., *Land Resources of Russia*. CD-ROM, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, the Russian Academy of Sciences, Moscow, 2002. URL: http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/russia_cd/index.htm.

19. Stolbovoi V., Soil Carbon in the Forests of Russia, *Mitigation and adaptation Strategies for Global Change*, 2006, Vol. 11, pp. 203–222.