



ЭКОЛОГИЯ

ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-2-93-106

EDN: XAOJPY

УДК 504.062

Научная статья / Research article

Научное обоснование создания карбоновой фермы

А.П. Коновалова¹, И.Ю. Савин²¹ *Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация*² *Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, Российская Федерация* psareva_ap@pfur.ru

Аннотация. В Российской Федерации в настоящее время актуальны вопросы и проблемы разработки и перехода к углеродным стандартам, которые уже установлены во многих зарубежных странах, для регулирования и контроля над негативными последствиями антропогенной деятельности человека. Квотирование выбросов парниковых газов на глобальном уровне подталкивает к разработке и внедрению технологий для их уменьшения. Одним из путей уменьшения выбросов в сельском хозяйстве является создание карбоновых ферм. В настоящее время на территории РФ отсутствует единая методологическая и статистическая база для создания карбоновой фермы. При ее создании необходимо не только понимать общие принципы функционирования агроландшафтов, но и учитывать факторы, которые имеют влияние на поглотительную способность углерода угодьями, расположенными на территории фермы. Предложен новый подход к сокращению выбросов посредством оптимизации размещения сельскохозяйственных угодий с учетом секвестрационного потенциала земель на основе пространственного моделирования. Специфика подхода продемонстрирована на примере хозяйства Всероссийского НИИ мелиорированных земель (Тверская область, Калининский район, поселок Эммаусс). После дополнительной апробации подход может быть рекомендован к внедрению в практику углерод-депонирующего сельскохозяйственного землепользования.

© Коновалова А.П., Савин И.Ю., 2024

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Ключевые слова: баланс углерода, карбоновые фермы, секвестрация углерода, квота на выбросы, пространственное моделирование, использование земель

Благодарности и финансирование. Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

Вклад авторов. Коновалова А.П. – разработка подхода, проведение эксперимента, написание статьи, подготовка иллюстраций; Савин И.Ю. – концептуализация, редактирование текста.

История статьи: поступила в редакцию 10.01.2024; доработана после рецензирования 10.02.2024; принята к публикации 10.03.2024.

Для цитирования: Коновалова А.П., Савин И.Ю. Научное обоснование создания карбоновой фермы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 2. С. 93–106. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-93-106>

Scientific substantiation of the establishment of a carbon farm

Alyona P. Konovalova¹, Igor Yu. Savin²

¹RUDN University, Moscow, Russian Federation

²Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russian Federation

psareva_ap@pfur.ru

Abstract. The Russian Federation needs to transition to carbon standards, which are established in many foreign countries, to regulate and control the negative consequences of anthropogenic human activity. Quoting of greenhouse gas emissions at the global level pushes for the development and implementation of technologies to reduce them. One of the ways to reduce emissions in agriculture is the creation of carbon farms. At present, there is no unified methodological and statistical basis for the creation of a carbon farm in the Russian Federation. When creating it, it is necessary to understand not only the general principles of agrolandscapes functioning, but also to take into account the factors that have an impact on the carbon absorption capacity of the land located on the territory of the farm. A new approach to reducing emissions by optimising the location of agricultural land with regard to its sequestration potential on the basis of spatial modelling has been proposed. The specificity of the approach is demonstrated on the example of the farm of the All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands (Tver region, Kalininsky district, Emmauss settlement). After additional testing, the approach can be recommended for implementation in the practice of carbon-depleting agricultural land use.

Keywords: carbon balance, carbon farms, carbon sequestration, emission allowance, spatial modeling, land use

Acknowledgements and Funding. The work was carried out within the framework of realization of the most important innovative project of state importance “Development of a system of ground and remote monitoring of carbon pools and greenhouse gas fluxes on the territory of the Russian Federation, ensuring the creation of a system of accounting data on the fluxes of climatically active substances and carbon budget in forests and other terrestrial ecological systems” (reg. № 123030300031-6).

Authors’ contributions. *Konovalova A.P.* – developing the approach, conducting the experiment, writing the article, preparing illustrations; *Savin I.Yu.* – conceptualization, text editing.

Article history: received 10.01.2024; revised 10.02.2024; accepted 10.03.2024.

For citation: Konovalova AP, Savin IYu. Scientific substantiation of the establishment of a carbon farm. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(2):93–106. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-93-106>

Введение

Проблема секвестрации углерода имеет трансграничный характер и глобальный масштаб, в связи с чем она наиболее заметна для больших площадей – крупных территорий, отдельных стран или природных зон [1]. Борьба с проблемой изменения климата посредством эксплуатации карбоновых ферм и создание технологий поглощения парниковых газов и их влияние на окружающую среду – это относительно новое направление для дискуссий и обсуждений в научной среде как на территории Российской Федерации, так и за границей [2; 3]. Карбоновые фермы являются одним из методов оптимизации поглощения углерода с помощью внедрения способов, увеличивающих скорость удаления CO_2 из атмосферы и его накопления в почвах земельных угодий и в органике растений. До тех пор пока традиционные методы ведения сельского хозяйства приводят к выбросу углерода, углеродное сельское хозяйство в форме ведения карбоновой фермы дает обратный эффект [4; 5].

В статье приведены результаты исследований с целью научного обоснования нового подхода к сокращению выбросов посредством оптимизации размещения сельскохозяйственных угодий с учетом секвестрационного потенциала земель на основе пространственного моделирования.

Объект исследования

В качестве объекта исследований выступают земли хозяйства Всероссийского НИИ мелиорированных земель (Калининский район, Тверская область). Хозяйство находится на юге Тверской области, в 15 км от Твери. Территория характеризуется умеренно-континентальным климатом.

Температура воздуха зимой составляет в среднем $-8\text{ }^\circ\text{C}$, летом $+20\text{ }^\circ\text{C}$ (на рис. 1 представлены данные о количестве осадков и средней температуре воздуха на территории Калининского района, где расположено хозяйство).

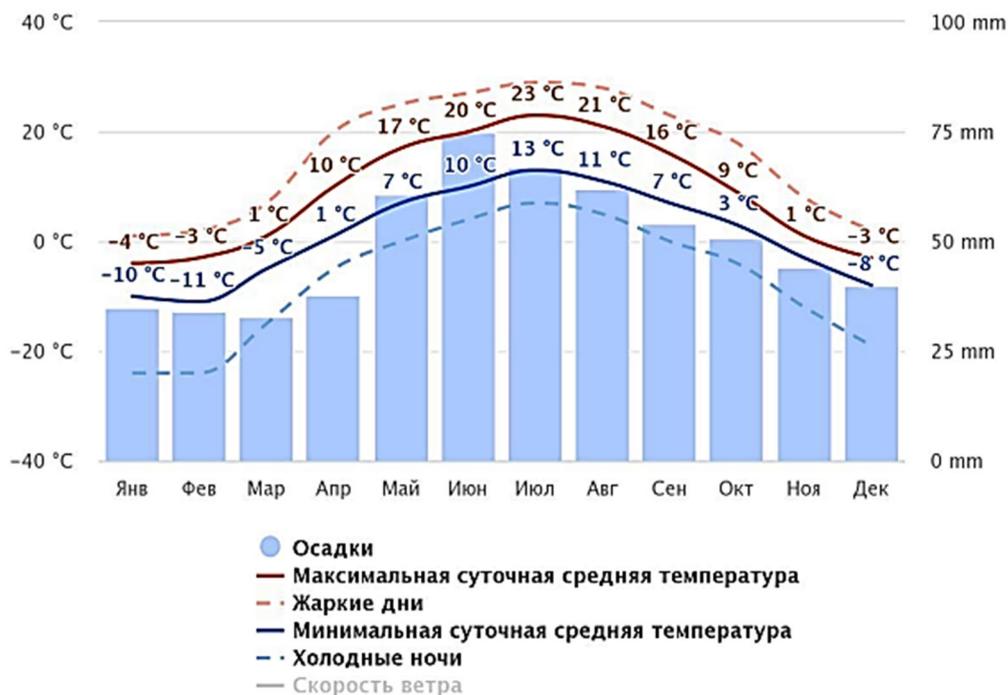


Рис. 1. Средняя температура воздуха и количество осадков на территории Калининского района Тверской области [6]

Источник: составлено авторами.

В центральной части Восточно-Европейской равнины расположена Тверская область с характерным равнинным рельефом с чередующимися возвышенностями и низменностями.

На территории хозяйства преобладают дерново-среднеподзолистые поверхностно-глееватые осушенные слабокаменистые почвы (29,22 %) и дерново-среднеподзолистые поверхностно-слабоглееватые осушенные почвы (18,71 %).

Метод проведения исследования

Последовательность исследований представлена на рис. 2.

На первом этапе была создана база данных ГИС, содержащая данные о земельных ресурсах хозяйства. База данных включала в себя следующие карты:

1. *Почвенная карта.* За основу была взята бумажная почвенная карта хозяйства в масштабе 1:10000, созданная специалистами РОСГИПРОЗЕМа в конце 80-х гг. прошлого века, которая была привязана географически, векторизована и сопровождалась атрибутивной информацией о свойствах почв (рис. 3).

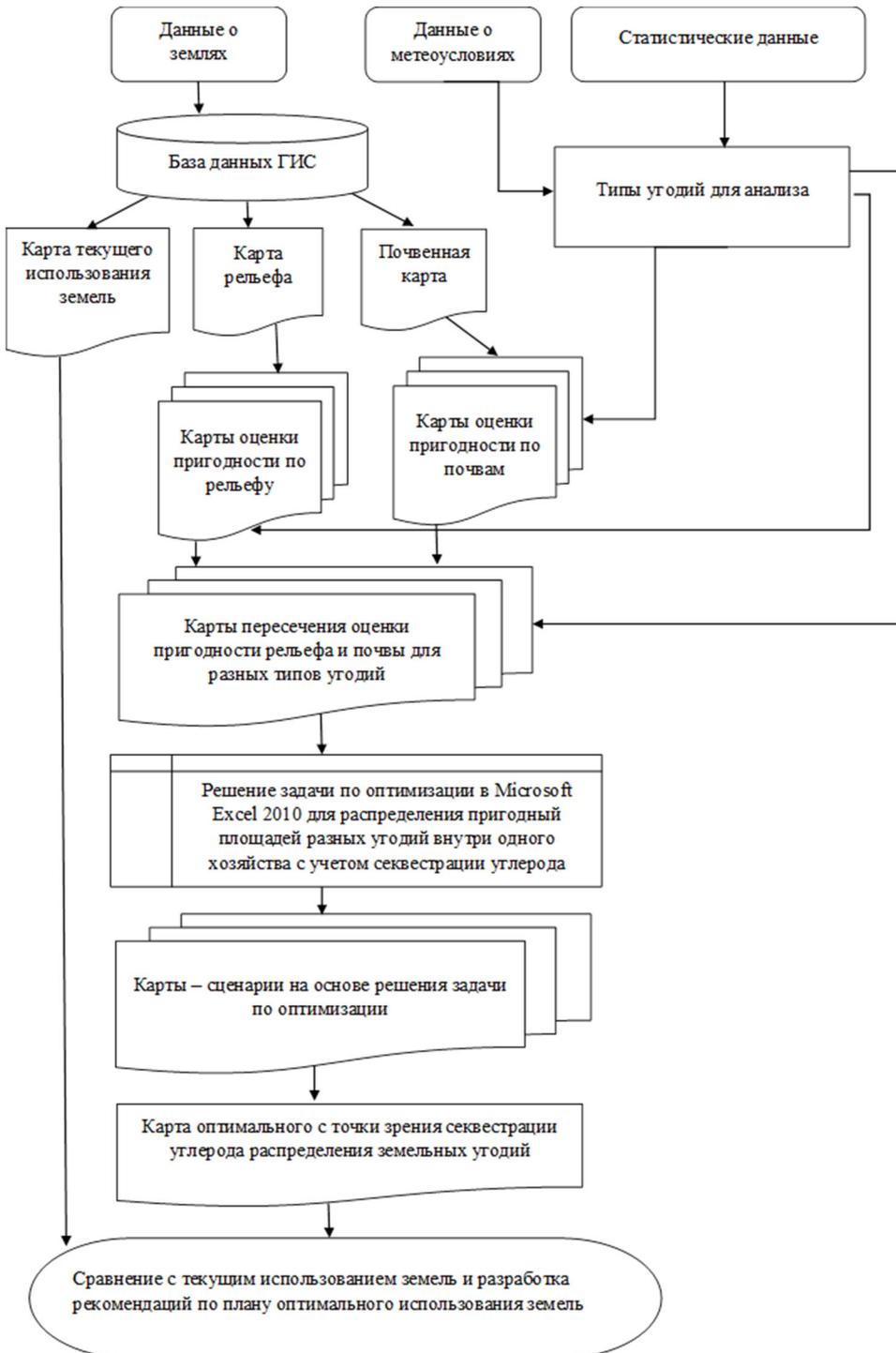


Рис. 2. Схема последовательности работ по разработке оптимального сценария размещения земельных угодий хозяйства с точки зрения повышения секвестрации углерода

Источник: составлено авторами.

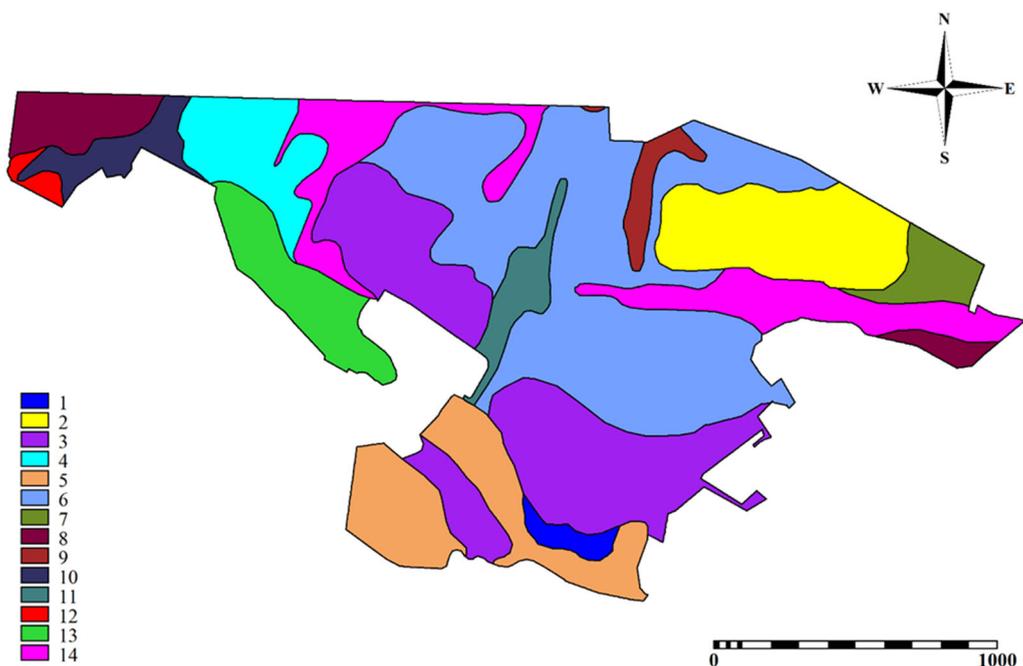


Рис. 3. Почвенная карта хозяйства:

- 1 – дерново-среднеподзолистые эрозионно опасные; 2 – дерново-среднеподзолистые слабокаменистые осушенные поверхностно-слабоглеевые; 3 – дерново-среднеподзолистые поверхностно-слабоглееватые осушенные; 4 – дерново-среднеподзолистые поверхностно-слабоглееватые; 5 – дерново-среднеподзолистые осушенные поверхностно-глееватые; 6 – дерново-среднеподзолистые поверхностно-глееватые осушенные слабокаменистые; 7 – дерново-среднеподзолистые поверхностно-глееватые осушенные слабокаменистые; 8 – дерново-среднеподзолистые поверхностно-глееватые слабокаменистые; 9 – дерново-сильноподзолистые профильно-глееватые слабокаменистые осушенные; 10 – дерново-сильноподзолистые профильно-глееватые; 11 – дерново-сильноподзолистые профильно-глееватые осушенные; 12 – дерново-сильноподзолистые поверхностно-глееватые в комплексе до 10 % с дерново-сильноподзолистыми профильно-глееватыми; 13 – перерытые земли; 14 – дерново-сильноподзолистые профильно-глееватые осушенные
- Источник:* составлено авторами.

2. *Карты характеристик рельефа.* Для характеристики рельефа использовались данные об абсолютных высотах местности SRTM¹ (рис. 4). Данные имеют пространственное разрешение 90 м и получены по состоянию на начало текущего века. В ГИС была построена производная карта уклонов местности, которая и использовалась при анализе.

3. *Карта фактического использования земель.* Для оценки текущего использования земель были проанализированы снимки территории хозяйства, полученные с использованием беспилотного летательного аппарата Phantom 4 DJI FC 330 в 2020 и 2021 гг. Распознавание объектов происходило с использованием камеральных методов дешифрирования путем визуального анализа снимков с пространственным разрешением от 10 до 50 см. Карта использования земель хозяйства представлена на рис. 5.

¹ EarthExplorer. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (accessed: 17.12.2023).

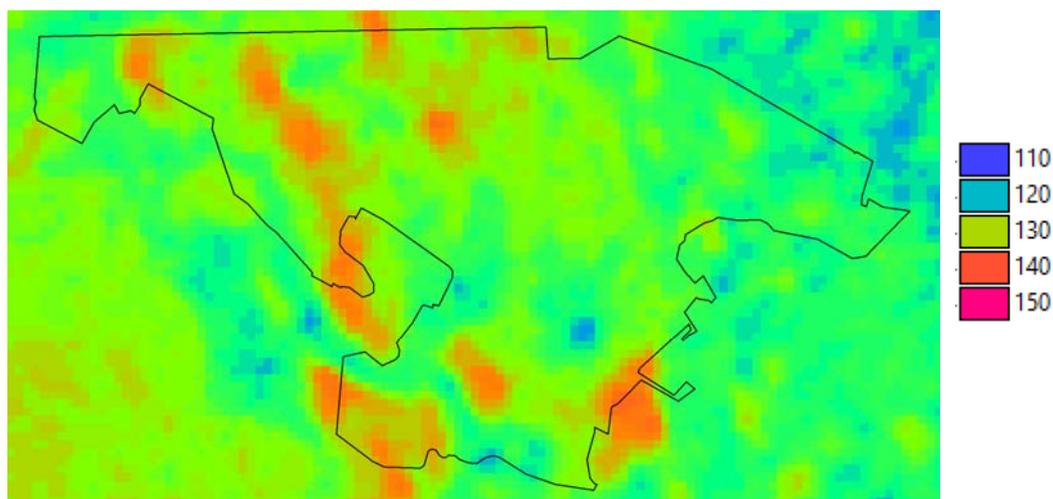


Рис. 4. Цифровая модель местности SRTM для территории хозяйства
Источник: составлено авторами.

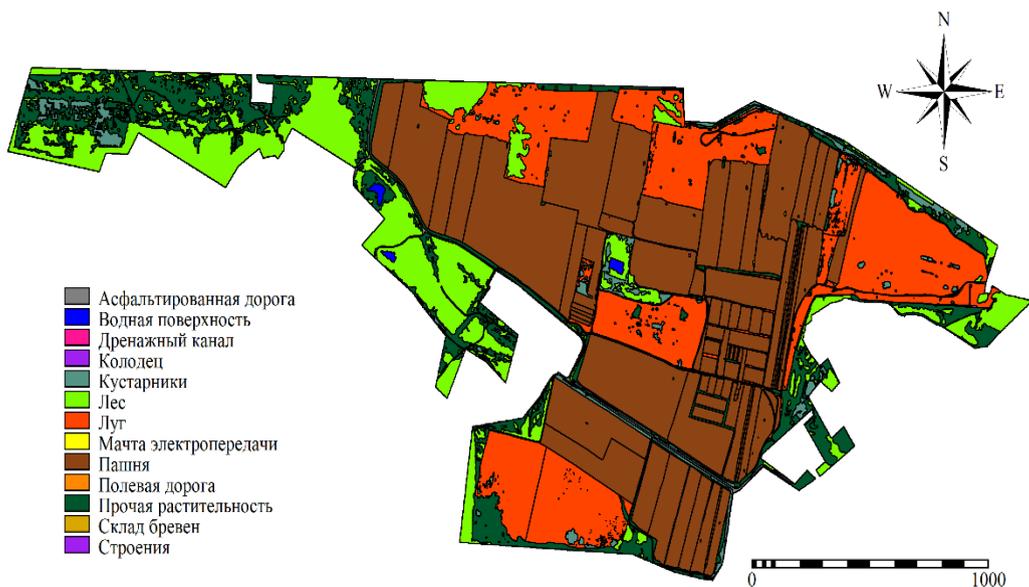


Рис. 5. Карта текущего использования земель хозяйства поселка Эммаус.
Источник: составлено авторами.

Дополнительно были собраны литературные данные по секвестрации углерода для различных типов земельных угодий [1; 6]².

² 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 3. Consistent Representation of Lands. URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_03_Ch3_Representation.pdf (accessed: 07.01.2024).

На основе базы данных ГИС созданы карты оценки пригодности рельефа и почв для основных типов сельскохозяйственных угодий. Оценка пригодности проводилась на основе подходов к оценке земель ФАО, адаптированных к российским условиям [9].

С учетом пересечения между собой карт пригодности в ГИС были определены площади земель, пригодных под то или иное угодье.

Решив задачу оптимизации площадей с учетом их секвестрационного углеродного потенциала методом линейного программирования, были получены площади распределения типов угодий на территории хозяйства, что позволило создать карты-сценарии для земельных угодий с учетом секвестрации углерода и выбрать наиболее оптимальный сценарий. После этого было проведено сравнение текущего использования земельных ресурсов и оптимального сценария с точки зрения секвестрации углерода.

Пространственный анализ данных проводился с использованием пакета прикладных задач ILWIS 3.3³. Задачи оптимизации решались с использованием Microsoft Excel 2010⁴.

Результаты и обсуждение

Оценка пригодности земель по рельефу

С применением программного обеспечения ILWIS были созданы карты оценки пригодности для различных типов угодий в соответствии с уклоном местности. Оценивалась пригодность под такие угодья, как пашня, пастбище, болото и лес, с использованием следующих градаций: пригодные, непригодные и ограничено пригодные (табл. 1). На рис. 6–9 представлены карты оценки пригодности рельефа для разных угодий (черный контур – граница хозяйства, зеленый цвет – пригодные земли, желтый цвет – ограниченно пригодные, красный цвет – непригодные земли).

Таблица 1. Критерии оценки пригодности для разных типов угодий

Тип угодья	Пригодно	Ограниченно пригодно	Непригодно
Пашня	< 2	2–5	> 5
Пастбище	< 5	5–8	> 8
Лес	< 8	8–12	> 12
Болото	< 2	–	> 2

Источник: составлено авторами.

³ ILWIS – Remote Sensing and GIS software. URL: <https://www.itc.nl/ilwis/> (accessed: 07.01.2024).

⁴ См.: Постановка и решение задачи с помощью надстройки «Поиск решения» // Служба поддержки Майкрософт. URL: <https://support.microsoft.com/ru-ru/office/постановка-и-решение-задачи-с-помощью-надстройки-поиск-решения-5d1a388f-079d-43ac-a7eb-f63e45925040> (дата обращения 11.11.2023); Решение задач оптимизации в Microsoft Excel 2010: учеб. пособие / Н. И. Шадрина, Н. Д. Берман; [науч. ред. Э. М. Вихтенко]. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2016. 101 с.

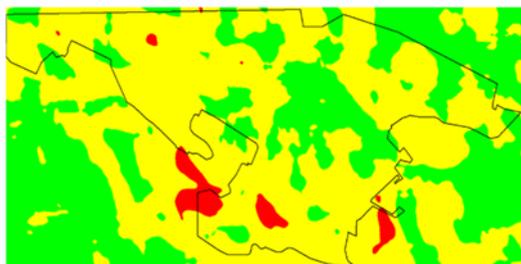


Рис. 6. Карта пригодности рельефа для пашни
Источник: составлено авторами.

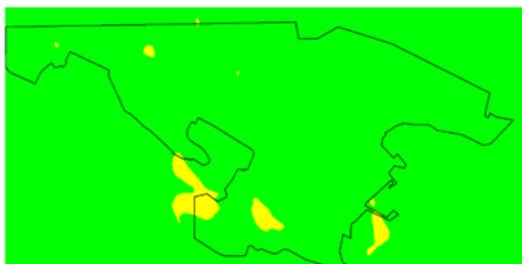


Рис. 7. Карта пригодности рельефа для пастбища
Источник: составлено авторами.

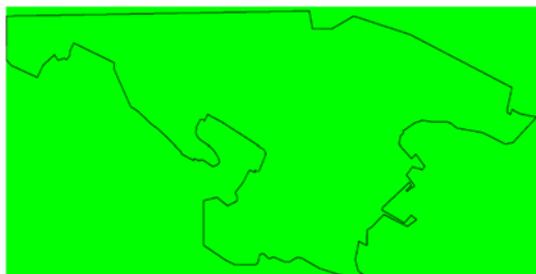


Рис. 8. Карта пригодности рельефа для леса
Источник: составлено авторами.

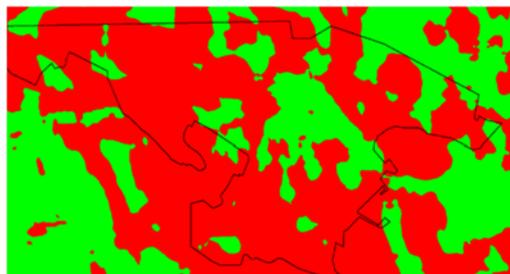


Рис. 9. Карта пригодности рельефа для болота
Источник: составлено авторами.

Оценка пригодности земельных ресурсов по типам почв

Аналогично на основе почвенной карты были созданы карты с оценкой пригодности почв для разных типов угодий (рис. 10–13).

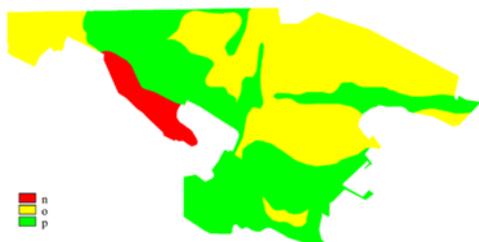


Рис. 10. Карта пригодности почв для пашни:
p – пригодно; o – ограниченно пригодно;
n – непригодно
Источник: составлено авторами.

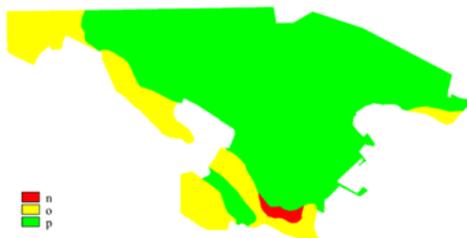


Рис. 11. Карта пригодности почв для пастбища:
p – пригодно; o – ограниченно пригодно;
n – непригодно
Источник: составлено авторами.

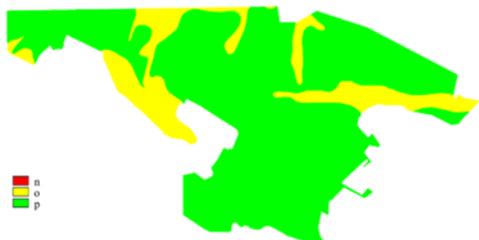


Рис. 12. Карта пригодности почв для леса:
p – пригодно; o – ограниченно пригодно;
n – непригодно
Источник: составлено авторами.



Рис. 13. Карта пригодности почв для болота:
p – пригодно; o – ограниченно пригодно;
n – непригодно
Источник: составлено авторами.

Интегральная оценка пригодности земель

Для создания итоговых карт пригодности земель необходимо было создать пересечения карт по пригодности рельефа и почв для пашни, пастбища, леса и болота. Карты представлены на рис. 14–17.

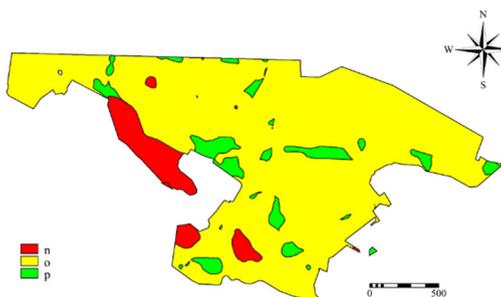


Рис. 14. Карта пригодности земель для пашни: *p* – пригодно; *o* – ограниченно пригодно; *n* – непригодно
Источник: составлено авторами.

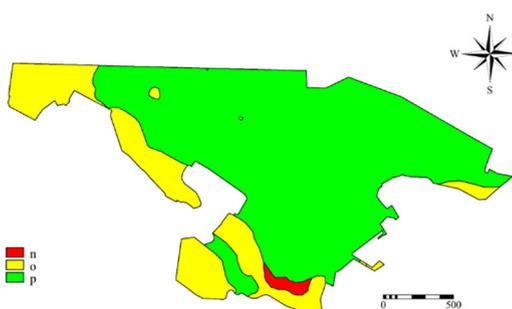


Рис. 15. Карта пригодности земель для пастбища: *p* – пригодно; *o* – ограниченно пригодно; *n* – непригодно
Источник: составлено авторами.

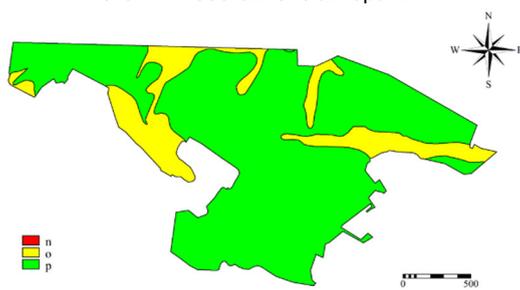


Рис. 16. Карта пригодности земель для леса: *p* – пригодно; *o* – ограниченно пригодно; *n* – непригодно
Источник: составлено авторами.

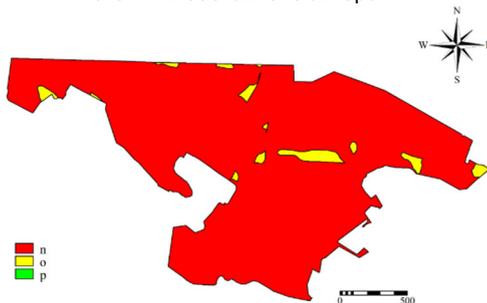


Рис. 17. Карта пригодности земель для болота: *p* – пригодно; *o* – ограниченно пригодно; *n* – непригодно
Источник: составлено авторами.

В качестве основы для оптимизации размещения угодий на территории хозяйства использовались данные табл. 2, составленной на основе данных литературного обзора [6; 7]⁵.

С помощью методов линейного программирования была построена модель оптимального состава угодий на территории хозяйства с использованием информации табл. 2 и пригодности земель. Данный метод использовался с целью получения рациональной структуры размещения угодий с максимальным поглощением углерода для каждого типа угодий. Задача решалась с максимизируемым критерием оптимальности – средним запасом углерода. В конечном итоге метод линейного программирования позволил рассчитать площади угодий, при которых будет достигаться максимальная поглощающая способность земель хозяйства (табл. 3).

⁵ ФАО, 1976. URL: <https://www.fao.org/3/x5310e/x5310e00.htm> (дата обращения: 10.12.2023)

Таблица 2. Запасы органического углерода в различных типах почв на различных угодьях

Угодье	Почвы	Запасы $C_{орг}$, кг/м ²		
		min	max	среднее
Пахотные	Дерново-подзолы, дерново-подзолистые почвы	4,40	7,8	6,1
Леса	Дерново-подзолы, дерново-подзолистые почвы	5,30	8,7	7
Переувлажненные луговые, заболоченные леса	Подзолы глеевые, дерново-подзолисто-глеевые, торфяно- и торфянисто-подзолисто-глеевые, дерново-глеевые и перегнойно-глеевые	10,00	25	17,5
Болота	торфяно-болотные	24,00	65	44,5
Луга, лугово-кустарниковая растительность, заброшенная пашня	Пойменные слабокислые и нейтральные, луговые и луговатые	21,20	36,8	29

Источник: составлено авторами.

Таблица 3. Площади текущего использования земель с разными оценками пригодности, м²

Тип угодья	Ограниченно пригодно	Пригодно	Средний запас углерода, кг/м ²
Пашня	2 572 442	196 198	6,1
Пастбище	627 028	2 320 629	29
Лес	518 833	2 457 809	17,5
Болото	86 509	0	44,5
Всего угодий	2 976 642		

Источник: составлено авторами.

Таблица 4. Результат решения задачи оптимизации, м²

Тип угодья	Ограниченно пригодно	Пригодно	Сумма пригодных + ограниченно пригодных
Пашня	298	0	298
Пастбище	568 908	2 320 628	2 889 536
Лес	298	0	298
Болото	86 509	0	86 510

Источник: составлено авторами.

Решение задачи оптимизации показало (табл. 4), что земли, занятые болотами и пастбищами, обладают максимальной поглощающей способностью на территории исследований. Поэтому при создании карты оптимального распределения угодий сначала учитывались земли, максимально пригодные для болот и пастбищ, а оставшиеся земли были распределены между пашнями и лесами. Полученная карта представлена на рис. 18.

Сравнение карты данного сценария с картой фактического использования земель показывает, что его внедрение потребует коренного изменения специализации хозяйства. Необходимая конверсия одних угодий в другие представлена в табл. 5.

Согласно данным, приведенным в табл. 5 и на карте (рис. 18), около 67 % земель хозяйства должны быть конвертированы в другие угодья. Для увеличения секвестрации углерода и перехода к полностью карбоновой ферме необходимо будет постепенно изменить специализацию хозяйства с растениеводства на животноводство, а пашню (включая заброшенную) необходимо будет преобразовать в пастбища и сенокосы.

Таблица 5. Сравнение площадей использования земельных ресурсов и площадей в соответствии с оптимальным с точки зрения секвестрации углерода на территории хозяйства Эммаусс

Текущее использование земель	Предлагаемый тип угодий	Класс пригодности	Площадь, м ²
Пашня	Болото	Ограниченно пригодно	40 809,1
	Лес	Ограниченно пригодно	423,7
	Пастбище	Пригодно	1 254 997,8
	Пастбище	Ограниченно пригодно	97 264,6
	Пашня	Ограниченно пригодно	276,3
Водная поверхность	Пастбище	Пригодно	2260,0
	Пастбище	Ограниченно пригодно	3904,8
Луг	Болото	Ограниченно пригодно	10 652,7
	Пастбище	Пригодно	614 018,0
	Пастбище	Ограниченно пригодно	110 059,5
Дренажный канал	Пастбище	Пригодно	1008,4
	Пастбище	Ограниченно пригодно	22,9
Лес	Болото	Ограниченно пригодно	24 469
	Пастбище	Пригодно	163 456
	Пастбище	Ограниченно пригодно	214 832
Прочая растительность	Болото	Ограниченно пригодно	6597
	Пастбище	Пригодно	159 202
	Пастбище	Ограниченно пригодно	130 736
Полевая дорога	Болото	Ограниченно пригодно	958
	Пастбище	Пригодно	24 645
	Пастбище	Ограниченно пригодно	6341
Мачта электропередачи	Пастбище	Пригодно	1128
	Пастбище	Ограниченно пригодно	19
Асфальтированная дорога	Пастбище	Пригодно	16 365
	Пастбище	Ограниченно пригодно	1625
Сооружения	Пастбище	Пригодно	208
	Пастбище	Ограниченно пригодно	2175
Кустарники	Болото	Ограниченно пригодно	2175
	Пастбище	Пригодно	61 287
	Пастбище	Ограниченно пригодно	5668
Склад бревен	Болото	Ограниченно пригодно	141
	Пастбище	Пригодно	747

Источник: составлено авторами.

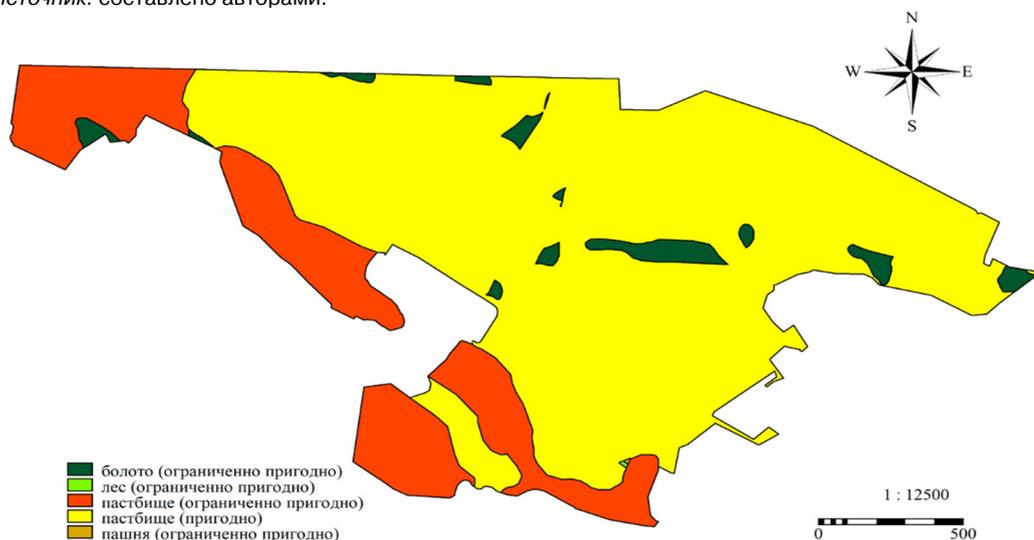


Рис. 18. Карта оптимального с точки зрения секвестрации углерода распределения земельных угодий

Источник: составлено авторами.

Следует также отметить, что полученные результаты базируются лишь на анализе ресурсного потенциала земель и не включают в себя экономический анализ последствий предлагаемой конверсии земель, без которого практическое внедрение разработанного сценария вряд ли целесообразно. Однако они могут рассматриваться как основа для разработки рекомендаций по постепенной оптимизации землепользования хозяйства с целью придания ему большей эффективности с точки зрения секвестрации углерода и постепенного перехода к полностью карбоновой ферме.

Заключение

В рамках исследования был предложен пространственный сценарий оптимального размещения земельных угодий с учетом секвестрации углерода на примере хозяйства Всероссийского НИИ мелиорированных земель (Тверская область, Калининский район, поселок Эммаусс).

Подобный сценарий позволяет дать оценку потенциалу использования земельных угодий хозяйства в качестве карбоновой фермы и оценивать возможности поглощения углерода сельскохозяйственными угодьями. Предложенный подход необходимо учитывать при разработке внутривладельческого плана землеустройства планируемой карбоновой фермы. Важно отметить, что исследование осуществлялось лишь на основе потенциала земельных ресурсов. Далее необходимо проводить исследования экономической эффективности такого типа размещения угодий, а также исследования для выбора потенциальных культур для размещения внутри карбоновой фермы.

Создание карбоновых ферм может послужить механизмом достижения целей, поставленных в рамках COP26 по снижению выбросов парниковых газов, а также стимулировать развитие рынка торговли квотами на углерод.

Список литературы

- [1] Шарков И.Н., Антипина П.В. Некоторые аспекты углерод-секвестрирующей способности пахотных почв // Почвы и окружающая среда. 2022. Т. 5. № 2. С. 10.
- [2] Калинина Е.В., Рудакова Л.В., Шварцбург Я.Д. Углеродный баланс карбоновой фермы // Экология и промышленность России. 2023. Т. 27. № 9. С. 28–32. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2023-9-28-32>
- [3] Дочкина Д.Д., Филимонова И.В. Социально-экономическое влияние развития карбоновых ферм на территории регионов // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2022. № 4. С. 218–226.
- [4] Михайлов Д.М., Шажаев И.Ш., Чуманская В.В., Абрамов В.И. Проблемы и перспективы регулирования углеродного рынка в контексте устойчивого развития регионов // Экономические отношения. 2022. Т. 12. № 2. С. 265–284. <https://doi.org/10.18334/eo.12.2.114843>
- [5] Столбовой В. С. Регенеративное земледелие и смягчение изменений климата // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 7. С. 19–26. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10703>

- [6] Коломыц Э.Г., Сурова Н.А. Методы расчетов углеродного баланса лесных экосистем при глобальных изменениях климата // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2019. Т. 28. № 2. С. 189–218.
- [7] Ji H., Han J., Xue J., Hatten J. A., Wang M., Guo Y., Li P. Soil organic carbon pool and chemical composition under different types of land use in wetland: Implication for carbon sequestration in wetlands // The Science of the total environment. 2020. Vol. 716. 136996. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136996>
- [8] Щенащенко Д. Г., Мухортова Л. В., Швиденко А. З., Ведрова Э. Ф. Запасы органического углерода в почвах России // Почвоведение. 2013. № 2. С. 107–116.
- [9] Иванов А.Л., Савин И.Ю., Егоров А.В. Методология оценки ресурсного потенциала земель России для сельскохозяйственного производства (на примере хмеля) // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2014. № 73. С. 29–94. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2014-73-29-94>

Сведения об авторах:

Коновалова Алёна Павловна, аспирант, ассистент департамента рационального природопользования, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 115093, Москва, Подольское шоссе, д. 8. ORCID: 0009-0000-4958-6274, eLIBRARY SPIN-код: 8874-2330. E-mail: psareva_ap@pfur.ru

Савин Игорь Юрьевич, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, профессор департамента рационального природопользования институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 115093, Москва, Подольское шоссе, д. 8; главный научный сотрудник, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 119017, Москва, Пыжёвский пер., д. 7, стр. 2. ORCID: 0000-0002-8739-5441, eLIBRARY SPIN-код: 5132-0631. E-mail: savigory@gmail.com