

УДК 528.942

## КАРТА АНТРОПОГЕННОЙ НАРУШЕННОСТИ ПОЧВ РОССИИ

© 2024 г. Академик РАН И. Ю. Савин<sup>1,2,\*</sup>, К. С. Орлова<sup>1</sup>, С. А. Аветян<sup>1,3</sup>

Поступило 10.11.2023 г.

После доработки 12.11.2023 г.

Принято к публикации 14.11.2023 г.

Почвы выполняют важную роль по сохранению устойчивости биосферы, а также обеспечивают человечество продуктами питания, одеждой и являются основой для жизни человека на Земле. В процессе нерационального землепользования почвы часто деградируют, а иногда полностью уничтожаются. Но инвентаризация уничтоженных почв на систематической основе до сих пор не ведется ни в одной стране мира. В России на традиционных почвенных картах уничтоженные почвы также не отражаются. Нами предпринята попытка создания первой карты страны, на которой показаны уничтоженные в результате направленного антропогенного воздействия почвы. На карте отражены территории, где почвенный покров был уничтожен в результате строительства зданий, сооружений, автомобильных и железных дорог, карьеров и насыпей при добыче полезных ископаемых. В качестве основного источника информации использовалась краудсорсинговая база данных OpenStreetMap, а также результаты визуального дешифрирования нарушенных почв по спутниковым данным интернет-ресурса GoogleEarth<sup>TM</sup>. Данные о нарушенности почв были агрегированы на почвенно-географические выделы Единого государственного реестра почвенных ресурсов России (масштаб 1: 2 500 000). Карта представлена в формате ГИС (шейп-файл). Карта содержит информацию о площади и доли нарушенных почв, а также о типе воздействия, в результате которого произошли нарушения.

*Ключевые слова:* антропогенная деградация почв, уничтожение почв, Россия, OpenStreetMap, картографирование почв, ГИС

DOI: 10.31857/S2686739724030168

Важная роль почв в функционировании биосферы и в хозяйственной деятельности человека предопределила появление почвоведения как науки. Функции и сервисы почв многочисленны и достаточно хорошо изучены [1]. Их эффективность и выраженность предопределяется свойствами почв, они, в свою очередь, формируются под влиянием факторов почвообразования, одним из которых является хозяйственная деятельность человека [2, 3].

Человек использует почвы в хозяйственной деятельности (в сельском хозяйстве, в строительстве) с учетом их свойств. Так, например, в распашку вовлекаются лишь почвы, обладающие достаточно высоким уровнем естественного

плодородия. Но использование почв человеком в подавляющем большинстве случаев приводит к изменению свойств почв, что меняет их качество и часто приводит к их деградации. По данным GLASOD [4], в мире около 15% почв в той или иной степени деградировано в результате направленного антропогенного воздействия. Деградация почв ведет к утрате почвами их важных функций и сервисов, что, с одной стороны, дестабилизирует биосферу, а с другой делает менее эффективным и более затратным землепользование. Все это предопределяет необходимость оперативной инвентаризации антропогенно измененных почв и мониторинга их состояния.

Самым мягким вариантом направленного изменения почв человеком является их распашка, а самым сильным — полное уничтожение почвы как природного тела. Инвентаризация и мониторинг пахотных почв достаточно хорошо налажены во многих странах мира, в том числе и в России [5, 6]. Но этого нельзя сказать про почвы, полностью уничтоженные в результате хозяйственной деятельности человека. Традиционно

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт экологии, Российский Университет Дружбы Народов, Москва, Россия

<sup>3</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

\*E-mail: savin\_iyu@esoil.ru

они не отражались на крупномасштабных почвенных картах [7, 8]. Лишь в последние годы появились почвенные карты отдельных регионов или полей, на которых показаны антропогенно нарушенные почвы [9–12].

Результатом наших исследований стало создание новой цифровой карты почв России, полностью уничтоженных в результате хозяйственной деятельности человека.

В качестве основной информации для компиляции карты использовались данные интернет-ресурса OpenStreetMap (<https://www.openstreetmap.org/#map=3/60.06/102.48>). Это некоммерческий веб-картографический проект. В его рамках создаются и постоянно обновляются карты объектов, обычно показываемых на традиционных топографических картах. Для создания карт используются данные с персональных GPS-трекеров, результаты аэро- и космической съемки, панорамы улиц, архивы которых собраны на всю территорию мира некоторыми компаниями (Махаг, Bing, ESRI, Mapbox и др.), а также персональные знания человека, который вносит информацию в эту базу данных. По сути, это база пространственных данных, созданная в рамках краудсорсинговых технологий, которая постоянно пополняется и уточняется.

Было проведено достаточно большое количество исследований качества этой базы данных в разных частях мира, которые показали, что качество базы данных зависит от типа картографируемого объекта и региона, в котором он расположен [13–15]. Согласно этим данным, ошибка позиционирования представленных данных для строений и дорог не превышает 15–20%, а число пропусков или ложных объектов не превышает 10–15%. Общей закономерностью является то, что более населенные регионы характеризуются более высокой точностью. Кроме того, более крупные объекты выделяются с большей точностью (например, точность выделения дорог с асфальтовым покрытием гораздо выше, чем грунтовых дорог).

Для произведения расчетов и визуализации полученных результатов использован программный пакет QGIS3.28.11 “Firenze”. Данные о нарушенных участках извлекались с сервиса OpenStreetMap (<https://download.geofabrik.de/>). Почвенные выделы получены из пакета файлов почвенной карты РФ масштаба 1 : 2 500 000 (<https://egrpr.esoil.ru/content/1DB.html>).

Анализ данных OSM производился для слоев: `gis_osm_landuse_a_free_1` (участки с различными типами землепользования), `gis_osm_buildings_a_free_1` (здания и постройки), `gis_osm_roads_free_1` (автомобильные дороги) и `gis_osm_railways_free_1` (железнодорожные пути).

В слое `gis_osm_landuse_a_free_1` расчет производился для всех атрибутов, которые в поле “`fclass`” имели значение “`quarry`” (свалки, мусорные полигоны, выработки, образованные при добыче полезных ископаемых).

В слое `gis_osm_buildings_a_free_1` расчет производился для всех атрибутов без исключения.

В слое `gis_osm_roads_free_1` расчет производился для атрибутов, которые в поле “`fclass`” имели значение “`motorway`” или “`motorway_link`”, или “`trunk`”, или “`trunk_link`”, или “`primary`”, или “`primary_link`”, или “`secondary`”, или “`secondary_link`”, или “`tertiary`”, или “`tertiary_link`”, или “`unclassified`”, или “`residential`”, или “`busway`”, или “`service`”.

В слое `gis_osm_railways_free_1` расчет производился для атрибутов, которые в поле “`fclass`” имели значение “`rail`”.

Для каждого полигонального атрибута была рассчитана его площадь в границах почвенного выдела, для линейного – сперва рассчитана длина отрезка в границах почвенного выдела, далее умножена на ширину в зависимости от класса дороги (ранжирование по полю “`fclass`”). Далее указана принятая ширина для дорог различного типа в слое `gis_osm_roads_free_1`: “`motorway`”, “`motorway_link`” – 30 м, “`trunk`”, “`trunk_link`” – 20 м, “`primary`”, “`primary_link`” – 20 м, “`secondary`”, “`secondary_link`” – 10 м, “`tertiary`”, “`tertiary_link`” – 10 м, “`unclassified`” – 5 м, “`residential`” – 5 м, “`busway`” – 5 м, “`service`” – 5 м; в слое `gis_osm_railways_free_1` – `rail` – 20 м. Считалось, что почвенный покров полностью нарушен в результате строительства этих объектов в пределах указанных для них буферных зон.

Полученные площади отдельных объектов суммировались в границах каждого почвенного выдела, результатом деления суммы площадей атрибутов на площадь почвенного выдела, являлось получение доли нарушенных почв в границах каждого почвенного выдела. Доля была рассчитана в процентах и в гектарах.

Для крупных площадных объектов (карьерные выработки, отвалы, обширные заасфальтированные участки в промышленных зонах), не отраженных в данных OSM, производилось ручное дешифрирование по актуальным



**Рис. 1.** Распространенность почв России, нарушенных в результате направленного антропогенного воздействия (процент от площади контура ЕГРПР).

космическим снимкам, которые были получены с использованием сервиса GoogleEarth™.

Площади уничтоженных почв под дорогами, карьерами и строениями вычислялась с учетом указанных буферных зон (см. выше) в QGIS и после этого агрегировалась на почвенно-картографические выделы Единого государственного реестра почвенных ресурсов России (исходный масштаб 1 : 2 500 000) (ЕГРПР) [16].

Карта создана с использованием QGIS и затем конвертирована в формат шейп-файла. Она может быть легко импортирована в другие географические информационные системы. В качестве атрибутов карта содержит информацию о площади почв в России, уничтоженных направленным антропогенным воздействием.

На рис. 1 показаны территории с уничтоженными почвами в России. В табл. 1 приведен перечень почв, которые в наибольшей степени подверглись уничтожению в результате прямого антропогенного воздействия.

Карта по уровню специальной нагрузки соответствует традиционным почвенным картам

масштаба 1:2 500 000 и содержит информацию по состоянию на 2010–2020 годы.

В большинстве случаев почвы в России уничтожены в результате строительства автодорог и поселений. Гораздо меньшие площади почв уничтожены при добыче полезных ископаемых и функционировании промышленных предприятий. Общая площадь, на которой почвы были уничтожены человеком, составляет около 31 864 км<sup>2</sup>, что составляет около 0.2% от всей территории страны. Больше всего почв было уничтожено в г. Санкт-Петербурге (17.08% от площади субъекта), г. Москве (16.69%), Московской (2.61%), Калининградской (1.21%) и Кемеровской (1.11%) областях страны. Наименее изменен человеком почвенный покров республики Якутия (0.03%), Ямало-Ненецкого АО (0.03%), Камчатского края (0.02%), Тюменской области (0.01%) и Ненецкого АО (0.01%).

В табл. 1 приведены данные о том, каких почв страны было уничтожено больше всего. Из данных таблицы следует, что в наибольшей степени в России были уничтожены дерново-подзолистые преимущественно мелко- и неглубокоподзолистые

**Таблица 1.** Площади почв России, уничтоженных в результате направленного антропогенного воздействия (почвы ранжированы по площади и доле)

Наименование почв в терминах ЕГРПР	Доля уничтоженных почв от всей площади почв в стране (%)	Наименование почвы в терминах ЕГРПР	Площадь уничтоженных почв (км <sup>2</sup> )
Пойменные слитые	8.15	Дерново-подзолистые преимущественно мелко- и неглубокоподзолистые	2131.28
Лугово-черноземные карбонатные	6.98	Черноземы выщелоченные	1718.86
Лугово-коричневые	5.46	Серые лесные	1353.97
Пойменные карбонатные	3.09	Пойменные кислые	1273.89
Темно-каштановые солонцеватые и солончакватые и солонцы (автоморфные)	2.77	Пойменные слабокислые и нейтральные	1239.37
Подзолисто-желтоземные	2.58	Дерново-подзолистые преимущественно неглубокоподзолистые	1235.97
Черноземы выщелоченные мицелярно-карбонатные (черноземы глубокие выщелоченные)	1.65	Дерново-подзолистые иллювиально-железистые	1174.61
Буровато-темно-серые лесные (переходные к бурым лесным)	1.54	Подзолы иллювиально-железистые и иллювиально-гумусовые без разделения (подзолы иллювиально-мало- и многогумусовые)	969.93
Иловато-болотные	1.52	Черноземы обыкновенные	901.68
Серопески	1.33	Темно-серые лесные	781.58
Черноземы типичные мицелярно-карбонатные (черноземы глубокие слабовыщелоченные)	1.23	Черноземы южные и обыкновенные мицелярно-карбонатные (черноземы глубокие карбонатные)	756.88
Луговые дифференцированные (в том числе осолоделые)	1.20	Черноземы оподзоленные	674.39
Дерново-палево-подзолистые и подзолисто-буроземные	1.07	Дерново-карбонатные (включая выщелоченные и оподзоленные)	518.58
Серые лесные остаточного-карбонатные	1.06	Торфяные болотные верховые	497.11
Черноземы слитые	1.06	Черноземы типичные	491.25
Коричневые типичные	1.05	Черноземы южные	483.74
Лугово-черноземные выщелоченные	1.02	Торфяно- и торфянисто-подзолисто-глеевые	477.73
Черноземы языковатые и карманистые выщелоченные	0.94	Буро-таежные (буроземы грубогумусовые)	443.75
Пойменные слабокислые и нейтральные	0.93	Подзолы глеевые торфянистые и торфяные, преимущественно иллювиально-гумусовые	440.89
Дерново-подзолистые со вторым осветленным горизонтом	0.88	Подзолы иллювиально-железистые (подзолы иллювиально-малогумусовые)	440.83
Черноземы южные и обыкновенные мицелярно-карбонатные (черноземы глубокие карбонатные)	0.87	Черноземы языковатые и карманистые выщелоченные	424.86

почвы. В несколько меньшей степени – черноземы выщелоченные, серые лесные и пойменные кислые почвы.

По нашим самым грубым оценкам уничтожение таких площадей почв в России потенциально эквивалентно потерям около 500–600 тонн зерна в год. Кроме того, уничтожение почв ведет к ухудшению экологической обстановки. Суммарный запас углерода в почвах страны уменьшился приблизительно на 40–50 тыс. тонн. Изменяется также и энергетический баланс земной поверхности. Подобная смена гумусированных поверхностных горизонтов почв на строения, асфальт и безгумусный грунт потенциально должно приводить к повышению отражения солнечной энергии на территории страны приблизительно на 0.1%. Эти процессы также могли оказать влияние на повышение парниковых газов в атмосфере и на наблюдаемые изменения климата.

Полученные данные уточняют существующую информацию о состоянии почвенных ресурсов страны и могут использоваться для уточнения моделей функционирования биосферы и атмосферы Земли.

#### ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования выполнены при поддержке гранта Минобрнауки России (соглашение № 075-15-2022-321).

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах. М.: Наука. 1990. 261 с.
2. Добровольский Г.В. Структурно-функциональная роль почвы в биосфере. М.: ГЕОС. 1999. 278 с.
3. Wang J., Zhen J., Hu W., Songchao Chen S., Lizaga I., Zeraatpisheh M., Xiaodong Yang X. Remote sensing of soil degradation: Progress and perspective // International Soil and Water Conservation Research. 2023. V. 11. № 3. P. 429–454.
4. Bridges E.M., Oldeman L.R. Global Assessment of Human-Induced Soil Degradation // Arid Soil Research and Rehabilitation. 1999. 13(4). P. 319–325.
5. Савин И.Ю., Столбовой В.С., Аветян С.А., Шишконокова Е.А. Карта распаханности почв России // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2018. № 94. С. 38–56.
6. Иванов А.Л., Савин И.Ю., Столбовой В.С., Аветян С.А., Шишконокова Е.А., Кашианов А.Н. Карта агрогенной эродированности почв России // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2020. Т. 493. № 2. С. 99–102.
7. Герасимова М.И., Караваева Н.А., Таргульян В.О. Деградация почв: методология и возможности картографирования // Почвоведение. 2000. № 3. С. 358–365.
8. Богданова М.Д., Герасимова М.И. Почвенные карты в новом Экологическом атласе России // Почвоведение. 2019. № 12. С. 1454–1470.
9. Савин И.Ю. Картографирование экраноземов Московской агломерации по спутниковым данным LANDSAT // Исследование Земли из космоса. 2013. № 5. С. 55–61.
10. Михайлов И.С., Михайлов С.И. Опыт создания и содержание почвенноэкологической карты Ямало-Ненецкого автономного округа // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2017. № 87. С. 55–72.
11. Сухачева Е.Ю., Апарин Б.Ф., Андреева Т.А., Казаков Э.Э., Лазарева М.А. Принципы и методы создания цифровой среднemasштабной почвенной карты Ленинградской области // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2019. № 1. С. 100–113.
12. Герасимова М.И., Ананко Т.В., Савицкая Н.В. Разработка подходов к введению антропогенно-измененных почв в содержание почвенной карты Российской Федерации (на примере Московской области) // Почвоведение. 2019. № 1. С. 19–30.
13. Girres G.F., Touya G. Quality Assessment of the French OpenStreetMap Dataset // Transactions in GIS. 2010. V. 14. № 4. P. 435–459.
14. Haklay M. How good is volunteered geographical information? A comparative study of OpenStreetMap and Ordnance Survey datasets // Environment and Planning B: Planning and Design. 2010. V. 37. № 4. P. 682–703.
15. Neis P., Zielstra D., Zipf A. The Street Network Evolution of Crowdsourced Maps: OpenStreetMap in Germany 2007–2011 // Future Internet. 2012. V. 4, № 1. P. 1–21.
16. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии. 2014. 768 с.

**MAP OF ANTHROPOGENIC SOIL DISTURBANCE IN RUSSIA****Academician of the RAS I. Yu. Savin<sup>a,b,#</sup>, K. S. Orlova<sup>a</sup>, S. A. Avetyan<sup>a,c</sup>**<sup>a</sup>*Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russian Federation*<sup>b</sup>*Institute of Environmental Engineering, RUDN University, Moscow, Russian Federation*<sup>c</sup>*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation*<sup>#</sup>*E-mail: savin\_iyu@esoil.ru*

Soils play an important role in maintaining the sustainability of the biosphere, as well as providing food, clothing and the basis for human life on Earth. In the process of irrational land use, soils are often degraded and sometimes completely destroyed. But, inventory of destroyed soils on a systematic basis is still not conducted in any country of the world. In Russia, traditional soil maps do not reflect the destroyed soils either. We have made an attempt to create the first map of the country, which shows soils destroyed as a result of directed anthropogenic impact. The map shows areas where soil cover was destroyed as a result of construction of buildings, structures, roads and railroads, quarries and embankments during mining. The crowdsourcing database OpenStreetMap was used as the main source of information, as well as the results of visual interpretation of disturbed soils using GoogleEarth<sup>TM</sup> satellite data. The data on disturbed soils were aggregated to soil-geographical sections of the Unified State Register of Soil Resources of Russia (scale 1 : 2500000) (UGRSR). The map is presented in GIS format (shapefile). The map contains information on the area and share of disturbed soils, as well as the type of impact that resulted in disturbance.

*Keywords:* anthropogenic soil degradation, soils destruction, Russia, OpenStreetMap, soil mapping, GIS