

УДК: 004.02; 631.4

DOI: 10.35595/2414-9179-2021-4-27-92-104

И.О. Алябина<sup>1</sup>, О.В. Чернова<sup>2</sup>, В.А. Кириллова<sup>3</sup>, О.М. Голозубов<sup>4</sup>, С.А. Шоба<sup>5</sup>

## ОЦЕНКА ЗАЩИТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ К ЗАГРЯЗНЕНИЮ ТЯЖЁЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И МЕТАЛЛОИДАМИ

### АННОТАЦИЯ

Тяжёлые металлы и другие микроэлементы, не подверженные деструкции, относятся к приоритетным загрязнителям. Значительные количества тяжёлых металлов и близких им элементов с переменной валентностью поступают на поверхность почв в составе аэрозолей. Накапливаясь в почвах, они крайне медленно удаляются из неё, лишь меняя в ходе миграции уровень содержания или формы нахождения, превращая почву со временем в источник вторичного загрязнения. В связи с этих крайне актуальной задачей является оценка территории, особенно такой высокоразвитой и густонаселённой как Московская область, с точки зрения её защитного потенциала к загрязнению тяжёлыми металлами. В работе предложен и опробован алгоритм картографической оценки защитного потенциала почвенного и растительного покрова области методами ГИС-анализа на основе базы данных «Цифровая среднемасштабная Почвенная карта Московского региона» и векторной карты лесистости. Используемая для расчётов формула включает данные о гранулометрическом составе почв, содержания в них органического вещества, о положении почвы в ландшафте и степени облесённости территории. Согласно предложенному подходу, в Московской области почвенный покров с учётом облесённости по уровню защитного потенциала к загрязнению тяжёлыми металлами и металлоидами образует 4 группы. Максимальная оценка получена для почв незеродированных дерново-подзолистых среднего или тяжёлого гранулометрического состава, серых лесных, чернозёмов и торфяных болотных почв под лесной растительностью (17 % площади). Среднюю оценку получили незеродированные дерново-подзолистые почвы разной степени оподзоленности и оглеения (45 %). Ещё ниже защитный потенциал 22 % территории, представленной эродированными серыми лесными почвами, различными дерново-подзолистыми, аллювиальными и торфяными болотными. Эта группа наиболее неоднородна по характеристикам гранулометрического состава, содержания органического вещества и степени облесённости. В группу с минимальным защитным потенциалом вошли эродированные почвы, почвы овражно-балочных комплексов, лёгкие по гранулометрическому составу дерново-подзолистые, а также аллювиальные торфяные и торфянистые почвы (около 16 %).

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ГИС-технологии, Информационная система «Почвенно-географическая база данных России», устойчивость почв.

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, 119992, Москва, Россия, *e-mail*: [alyabina@soil.msu.ru](mailto:alyabina@soil.msu.ru)

<sup>2</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Ленинский проспект, д. 33, 119071, Москва, Россия, *e-mail*: [ovcher@mail.ru](mailto:ovcher@mail.ru)

<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, 119992, Москва, Россия, *e-mail*: [fekda-star@mail.ru](mailto:fekda-star@mail.ru)

<sup>4</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, 119992, Москва, Россия, *e-mail*: [oleggolozubov@gmail.com](mailto:oleggolozubov@gmail.com)

<sup>5</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, 119992, Москва, Россия, *e-mail*: [s.a.shoba1945@gmail.com](mailto:s.a.shoba1945@gmail.com)

**Irina O. Alyabina<sup>1</sup>, Olga V. Chernova<sup>2</sup>, Vasilisa A. Kirillova<sup>3</sup>,  
Oleg M. Golozubov<sup>4</sup>, Sergey A. Shoba<sup>5</sup>**

## **ASSESSMENT OF THE PROTECTIVE POTENTIAL OF THE MOSCOW REGION SOIL COVER TO CONTAMINATION WITH HEAVY METALS AND METALLOIDS**

### **ABSTRACT**

Heavy metals and other trace elements that are not subject to degradation are among the priority pollutants. Significant amounts of heavy metals and related elements with variable valence are deposited on the soil surface as part of aerosols. Accumulating in the soil, they are very slowly removed from it, only changing the level of content or the state during migration, turning the soil over time into a source of secondary pollution. In this regard, an extremely urgent task is to assess the territory, especially such a highly developed and densely populated area as the Moscow Region, in terms of its protective potential to heavy metal pollution.

The paper proposes and tested an algorithm for the cartographic assessment of the protective potential of the soil and vegetation cover of the region using GIS analysis methods based on the database “Digital medium-scale soil map of the Moscow region” and a vector map of forest cover. The formula used for calculations includes data on the soil texture, the content of organic matter in soil, the position of the soil in the landscape and the degree of forest cover of the territory.

According to the proposed approach, in the Moscow region, the soil cover, taking into account the forest cover, forms 4 groups according to the level of protective potential for contamination with heavy metals and metalloids. The maximum estimate was obtained for non-eroded sod-podzolic soils of medium or fine texture, gray forest soils, chernozems and peat bog soils under forest vegetation (17 % of the area). Unerroded soddy-podzolic soils of varying degrees of podzolization and gleying (45 %) received an average rating. Even lower is the protective potential of 22 % of the territory represented by eroded gray forest soils, various sod-podzolic, alluvial and peat bog soils. This group is the most heterogeneous in terms of soil texture, organic matter content and degree of forest cover. The group with a minimum protective potential included eroded soils, soils of gully-girder complexes, sod-podzolic soils of coarse texture, as well as alluvial peat and peaty soils (about 16 %).

**KEYWORDS:** GIS technologies, Information System “Soil-Geographical Database of Russia”, soil sustainability.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Московский регион включает в себя два субъекта Российской Федерации: крупнейший мегаполис страны Москву площадью 2,6 тыс. км<sup>2</sup> и Московскую область с

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science, Leninskie Gory 1, 12, 119992, Moscow, Russia, *e-mail*: [alyabina@soil.msu.ru](mailto:alyabina@soil.msu.ru)

<sup>2</sup> Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Leninskii pr. 33, 119071, Moscow, Russia, *e-mail*: [ovcher@mail.ru](mailto:ovcher@mail.ru)

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science, Leninskie Gory 1, 12, 119992, Moscow, Russia, *e-mail*: [fekda-star@mail.ru](mailto:fekda-star@mail.ru)

<sup>4</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science, Leninskie Gory 1, 12, 119992, Moscow, Russia, *e-mail*: [oleggolozubov@gmail.com](mailto:oleggolozubov@gmail.com)

<sup>5</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science, Leninskie Gory 1, 12, 119992, Moscow, Russia, *e-mail*: [s.a.shoba1945@gmail.com](mailto:s.a.shoba1945@gmail.com)

территорией 44,3 тыс. км<sup>2</sup><sup>1</sup>. Экономически Московская область и Москва тесно связаны в единый промышленный регион, один из самых крупных в стране. В результате хозяйственной деятельности на территории области в окружающую среду попадают значительные объемы чужеродных соединений, токсичных в большей или меньшей степени. Основными источниками техногенного загрязнения являются предприятия теплоэнергетики, металлургии, химической промышленности и производства строительных материалов, приуроченные главным образом к промышленным центрам области. Территория региона покрыта густой транспортной сетью, загруженность трасс федерального значения и густота сети автодорог обуславливают важную роль автотранспорта в общем объеме загрязняющих веществ [Черногаева и др., 2019]. Ещё одним приоритетным источником загрязнения в области является коммунально-бытовое хозяйство. В сельскохозяйственные экосистемы загрязняющие вещества могут поступать также с органическими и минеральными удобрениями, средствами защиты растений и осадками сточных вод, используемыми в качестве удобрений или мелиорантов.

Основную массу поллютантов в конечном итоге принимает на себя почвенный покров, аккумулируя их, закрепляя и предупреждая тем самым поступление в растения и природные воды. Особую группу приоритетных загрязнителей составляют тяжёлые металлы и другие микроэлементы, не подверженные деструкции в отличие от органических загрязняющих веществ. Значительные количества тяжёлых металлов и близких им элементов с переменной валентностью (ТМ) находятся в приземном слое атмосферы и поступают на поверхность почв в составе аэрозолей. Накапливаясь в почвах, они крайне медленно удаляются при выщелачивании и потреблении растениями, лишь меняя в ходе миграции уровень содержания или формы нахождения. Загрязненная почва, буферная система которой уже не может справляться с поступающими загрязнениями, представляет опасность не только с точки зрения поступления в организм человека токсичных веществ с продуктами питания, она может являться также источником вторичного загрязнения приземного слоя воздуха.

В отечественной и зарубежной научной, научно-практической литературе опубликованы многочисленные подходы к оценке устойчивости почв, экосистем, ландшафтов. И сами методики расчётов, и полученные результаты существенно различаются, поскольку напрямую зависят от поставленных задач, использованных методологических подходов, технических алгоритмов. Наиболее эффективным является применение геоинформационных систем, позволяющих одновременно учитывать всевозможную информацию, в первую очередь, картографическую, о почвах и других природных характеристиках [Снакин и др., 1995; De Paz et al., 2006; Молочко, 2009; Черницова и др., 2010; Mohamed et al., 2014].

Способность к закреплению микроэлементов почвенной массой определяется следующими основными почвенными характеристиками: гранулометрическим составом, содержанием органического вещества и литолого-геохимическим фоном (реакцией среды, окислительно-восстановительными условиями, наличием или отсутствием геохимических барьеров). Причем, если утяжеление гранулометрического состава, повышение содержания органического вещества и биологическая аккумуляция растительностью способствуют повышению защитного потенциала экосистемы по отношению практически ко всем неорганическим поллютантам, то геохимические условия, такие как реакция среды и окислительно-восстановительные условия могут оказывать влияние разной силы

---

<sup>1</sup> Российский статистический ежегодник. 2016: Стат. сб. Пред. ред. коллегии А.Е. Суринов. М.: Росстат, 2016. 725 с.  
Russian Statistical Yearbook. 2016: Statistical collection. Ed. by the Board of A. E. Surinov. M.: Rosstat, 2016. 725 p.

и направленности на подвижность разных элементов [Carinon, 2007; Kabata-Pendias, Szteke, 2015]. Использование цифровых карт с такого рода данными даёт возможность группировать территории с близкими характеристиками, оценивать потенциальную реакцию экосистем на внешние воздействия применительно к различным парагенетическим ассоциациям элементов и конкретным загрязнителям.

Целью представленного исследования является разработка алгоритма картографической оценки защитного почвенно-растительного потенциала территории к загрязнению тяжёлыми металлами и металлоидами (с учётом содержания органического вещества в почвах, их гранулометрического состава, положения в ландшафте и степени облесённости) на основе Цифровой среднемасштабной почвенной карты Московского региона.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Работа выполнена на основе Базы данных «Цифровая среднемасштабная Почвенная карта Московского региона»<sup>1 2</sup>. Карта входит в состав Информационной системы «Почвенно-географическая база данных России» – ИС ПГБД РФ (<https://soil-db.ru/>) и предназначена для структурированного доступа (по атрибутам и географическому положению) к пространственным и атрибутивным данным, которые лежат в основе решения в онлайн режиме практических задач (оценка, мониторинг, рациональное землепользование) на федеральном, региональном, муниципальном уровнях, а также применения в научных и учебных целях.

Первичными картографическими материалами при создании Базы данных (БД) послужили:

- Карта «Почвы Московской области и прилегающих территорий» (масштаб 1:300000), 1985 г. и врезки к ней;
- Карта «Почвы Московской области и прилегающих территорий» (масштаб 1:300000), 2009 г.;
- Государственная почвенная карта СССР (масштаб 1:1000000), лист N-37, 1955 г.;
- Почвенная карта РСФСР (масштаб 1:2500000), 1988 г.
- Границы административных районов Московской области.

Корректировка и актуализация почвенных контуров проводились по материалам дистанционного зондирования и цифровой модели высот.

База данных содержит совокупность пространственно-определённых (в географической системе координат GCS WGS84, или в кодировке ESPG 4326) полигонов, описывающих контуры почвенных выделов с погрешностью позиционирования, соответствующей исходному масштабу карт-оригиналов. Основной вид хранения – в виде

<sup>1</sup> Болдырева В.Э., Голозубов О.М., Литвинов Ю.А., Минаева Е.Н., Пулин А.В. Цифровая среднемасштабная почвенная карта Московского региона. Под ред. И.О. Алябиной. Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова. Факультет почвоведения, М., 2019. <https://soil-db.ru/map/moscow-region> (дата обращения 30.04.2021).

Boldyreva V. E., Golozubov O. M., Litvinov Yu. A., Minaeva E. N., Pulin A.V. Digital medium-scale soil map of the Moscow region. Edited by I. O. Alyabina. Lomonosov Moscow State University. Faculty of Soil Science, Moscow, 2019. <https://soil-db.ru/map/moscow-region> (accessed 30.04.2021).

<sup>2</sup> Алябина И.О., Болдырева В.Э., Голозубов О.М., Литвинов Ю.А., Минаева Е.Н., Пулин А.В. Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2020621226. База данных «Цифровая среднемасштабная почвенная карта Московского региона». Дата государственной регистрации в Реестре баз данных 15 июля 2020 года.

Alyabina I.O., Boldyreva V.E., Golozubov O.M., Litvinov Yu.A., Minaeva E.N., Pulin A.V. Certificate of state registration of the database No. 2020621226. Database "Digital medium-scale soil map of the Moscow region". The date of state registration in the Database Register is July 15, 2020.

таблицы в СУБД MS SQL Spatial. БД содержит атрибутивную информацию, характеризующую почвенные контуры. Информация о почвенных комбинациях в БД представляется в виде дублирования контуров с весовыми коэффициентами.

Разработку алгоритма картографической оценки потенциала закрепления ТМ в почвах с учётом облесённости и ландшафтных условий, а также все необходимые расчёты проводили в программе MapInfo Professional v 17.0.2. Картографическая таблица в ГИС включает 7234 контура, которые не дублируются (находятся в одном слое) и содержат, в числе прочих, следующие поля атрибутивных данных:

- Id почвенного контура
- Индекс почвы (почвенной комбинации) контура
- Почва (непочвенное образование) 1
- Гранулометрический состав 1
- Доля компонента 1 в почвенной комбинации
- Почва 2
- Гранулометрический состав 2
- Доля компонента 2 в почвенной комбинации
- Почва 3
- Гранулометрический состав 3
- Доля компонента 3 в почвенной комбинации
- Порода

Наряду с почвенной картой в работе использовали составленную на основе космических снимков векторную карту лесистости территории Московской области, куда вошли также зарастающие залежные земли. Карта предоставлена Государственным центром агрохимической службы «Московский» Министерства сельского хозяйства Российской Федерации.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно используемой карте, почвенный покров территории включает 37 почвенных разностей, а также нарушенные земли и исключенные из рассмотрения водные поверхности и населённые пункты (табл. 1). Варианты почвообразующих пород представлены в таблице 2.

*Табл. 1. Почвенные разности и непочвенные образования Цифровой среднemasштабной почвенной карты Московского региона*

*Table 1. Soil differences and non-soil formations of the Digital medium-scale soil map of the Moscow region*

SOIL_ID	SOIL
1	Дерново-слабо- и среднеподзолистые
2	Дерново-сильноподзолистые
3	Дерново-подзолистые смытые
4	Дерново-подзолистые слабogleеватые
5	Дерново-подзолистые gleеватые и gleевые
6	Дерново-подзолистые gleевые иллювиально-железистые
7	Торфянисто- и торфяно-подзолистые оглеенные
8	Светло-серые лесные
9	Серые лесные

SOIL_ID	SOIL
10	Тёмно-серые лесные
11	Серые лесные смытые
12	Серые и светло-серые лесные слабоглееватые
13	Серые лесные глееватые и глеевые
14	Дерново-карбонатные оподзоленные
15	Дерново-глееватые
16	Чернозёмы оподзоленные
17	Чернозёмы оподзоленные смытые
18	Чернозёмы выщелоченные
19	Чернозёмы выщелоченные смытые
20	Лугово-чернозёмные
21	Чернозёмно-луговые
22	Лугово-болотные иловатые
23	Болотные верховые торфянисто-и торфяно-глеевые
24	Болотные верховые торфяные на мелких и средних торфах
25	Болотные переходные торфянисто- и торфяно-глеевые
26	Болотные переходные торфяные на мелких и средних торфах
27	Болотные низинные торфянисто- и торфяно-глеевые
28	Болотные низинные торфяные на мелких и средних торфах
29	Болотные торфяные выработанные
30	Аллювиальные дерновые кислые
31	Аллювиальные дерновые насыщенные
32	Аллювиальные луговые кислые
33	Аллювиальные луговые насыщенные
34	Аллювиальные болотные иловато-перегнойно-глеевые
35	Аллювиальные болотные иловато-торфяно-глеевые
36	Аллювиальные болотные иловато-торфяные
37	Смытые и намытые почвы оврагов, балок, пойм малых рек и прилегающих склонов
38	Нарушенные земли
7777	водные поверхности
8888	населённые пункты

*Табл. 2. Почвообразующие породы Цифровой среднemasштабной почвенной карты Московского региона*

*Table 2. Parent rocks of the Digital medium-scale soil map of the Moscow region*

PARENT ROCK_ID	PARENT ROCK
-9999	не определено
1	Глинистые и тяжелосуглинистые
2	Глинистые и тяжелосуглинистые валунные и галечниковые
3	Песчаные
4	Песчаные и супесчаные валунные и галечниковые
5	Среднесуглинистые и легкосуглинистые

PARENT ROCK_ID	PARENT ROCK
6	Среднесуглинистые и легкосуглинистые валунные и галечниковые
7	Среднесуглинистые и легкосуглинистые, подстилаемые суглинками валунными и галечниковыми
8	Супеси и пески, подстилаемые суглинками и глинами валунными и галечниковыми
9	Торф
10	Частая смена по глубине и площади пород различного механического состава с преобладанием суглинков и глин
11	Частая смена по глубине и площади пород различного механического состава с преобладанием супесей и песков
12	Чередование по площади пород различного механического состава с преобладанием песков и супесей
13	Чередование по площади пород различного механического состава с преобладанием суглинков и глин

Для расчёта защитного потенциала почвенного и растительного покрова определённой территории тяжёлыми металлами и металлоидами предложено уравнение:

$$P_p = (T + O) \cdot I + F, \quad (1)$$

где:

- $P_p$  (protective potential) – защитный потенциал почвенного и растительного покрова в условиях возможного загрязнения, баллы;
- $T$  (texture) – способность почвенной массы к сорбции и закреплению загрязняющих веществ, оценённая по гранулометрическому составу, баллы;
- $O$  (organic matter) – способность почвенной массы к сорбции и закреплению загрязняющих веществ, оценённая по содержанию органического вещества, баллы;
- $F$  (forestry) – способность почвы к биологической аккумуляции загрязнений, оценённая по степени облесённости территории, баллы;
- $I$  – коэффициент ландшафтной позиции, вносящий поправку на изменение сорбционных свойств почвенной массы и перераспределение массы загрязнений в различных элементах рельефа.

Характеристики гранулометрического состава почв, содержания в них органического вещества, а также ландшафтные позиции, занимаемые почвами, получены с Цифровой среднемасштабной почвенной карты Московского региона. Для каждого полигона почвенных комбинаций оценки были рассчитаны с весовыми коэффициентами, соответствующими доле входящих в них компонентов.

В группу с высоким содержанием органического вещества (3 балла) вошли все болотные почвы. Чернозёмные, тёмно-серые лесные, дерново-карбонатные и другие почвы с содержанием гумуса более 6 % получили 2 балла. Преобладающие на территории области менее гумусированные почвы (в различной степени оподзоленные и оглеенные дерново-подзолистые, серые лесные, различные смытые и др.) – 1 балл. Итоговая оценка варьирует от 0 (в нарушенных землях) до 3 баллов. Карта способности почвенной массы к сорбции и закреплению загрязняющих веществ по содержанию органического вещества представлена на рисунке 1.

Гранулометрический состав почв на карте имеет только три градации: легко- и среднесуглинистый; среднесуглинистый; средне- и тяжелосуглинистый, поэтому способность почвенной массы к сорбции и закреплению загрязняющих веществ по гранулометрическому составу характеризовали на основе данных о гранулометрическом

составе почв и почвообразующих породах (см. табл. 2). Итоговая оценка этого показателя также лежит в диапазоне от 0 до 3 баллов (рис. 2).

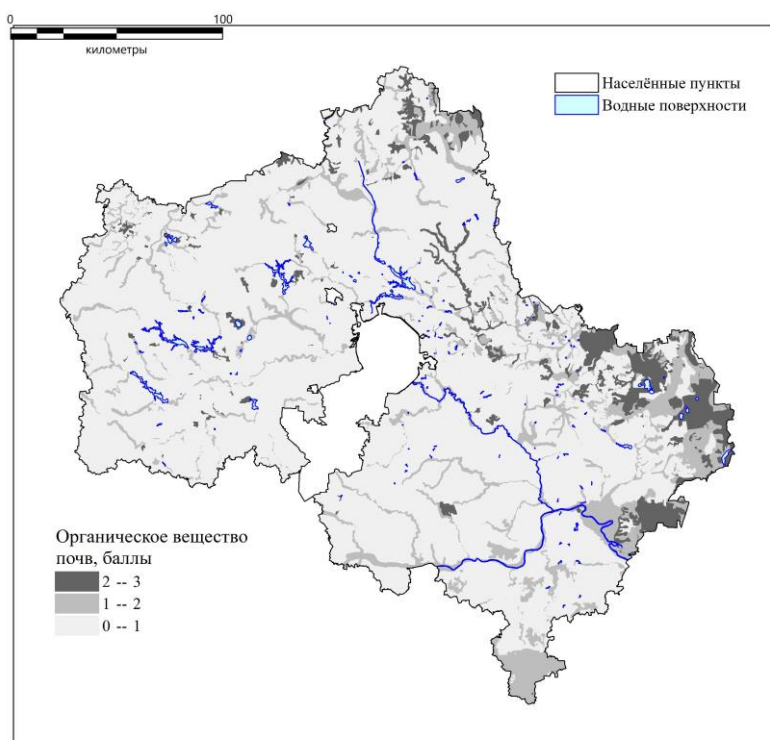


Рис. 1. Балльная оценка содержания органического вещества в почвах  
Fig. 1. Numerical score assessment of organic matter content in soils

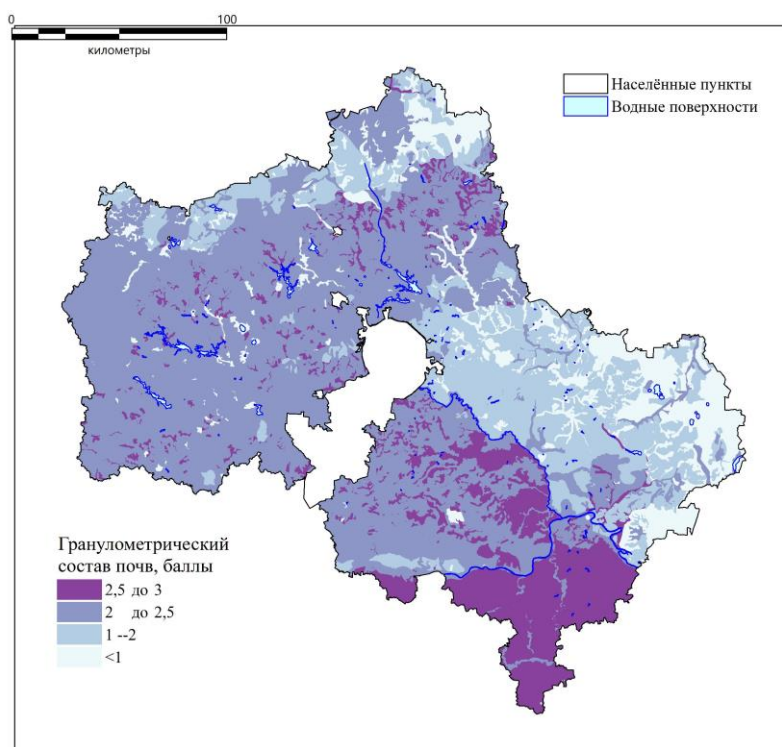
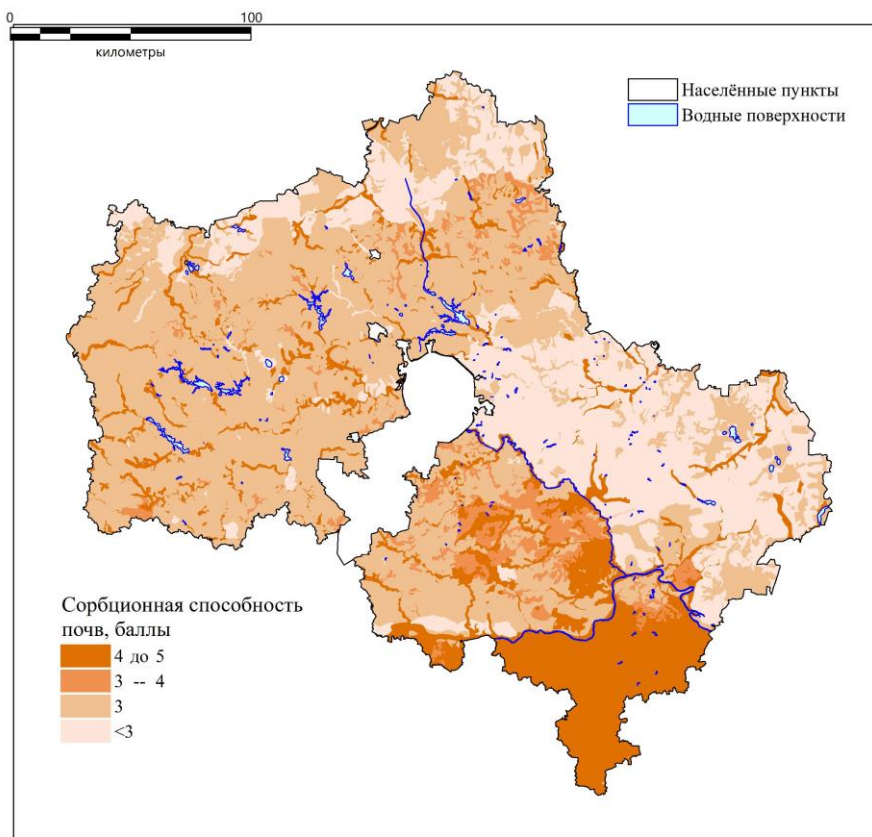


Рис. 2. Балльная оценка гранулометрического состава почв  
Fig. 2 Numerical score assessment of soil texture



На рисунке 3 показана суммарная балльная оценка сорбционной способности почв, связанной с содержанием органического вещества и гранулометрическим составом. Она колеблется от 0 до 5 баллов.



*Рис. 3. Балльная оценка сорбционной способности почв*  
*Fig. 3. Numerical score assessment of soil sorption capacity*

Для учёта ландшафтных позиций в расчётной формуле почвы разделили на три группы (рис. 4). В одну вошли различные аллювиальные почвы, занимающие подчинённые аккумулятивные ландшафты. Для них коэффициент ландшафтной позиции (I), вносящий поправку на изменение сорбционных свойств почвенной массы и перераспределение массы загрязнений в различных элементах рельефа, был принят равным 0,8. Во вторую группу объединили все смытые разности, включая смытые и намытые почвы оврагов, балок, пойм малых рек и прилегающих склонов, которые располагаются в различных транзитных позициях ( $I = 0,5$ ). Остальные почвы отнесли в группу почв элювиальных ландшафтов с коэффициентом ландшафтной позиции равным 1.

Дополнительно в предлагаемой формуле учитывается способность территории к биологической аккумуляции загрязнений, оцениваемая по облесённости – доли покрытой лесом площади (рис. 5). При переходе к балльной оценке лесистость более 70 % приняли за 2 балла, 20-70 % – за 1 балл, облесённость менее 20 % не учитывали (0 баллов).

Итоговая карта защитного потенциала почвенного покрова с учётом облесённости к загрязнению тяжёлыми металлами и металлоидами приведена на рисунке 6. Суммарная балльная оценка на территории Московской области варьирует от 0 (в нарушенных почвах) до 7 баллов.

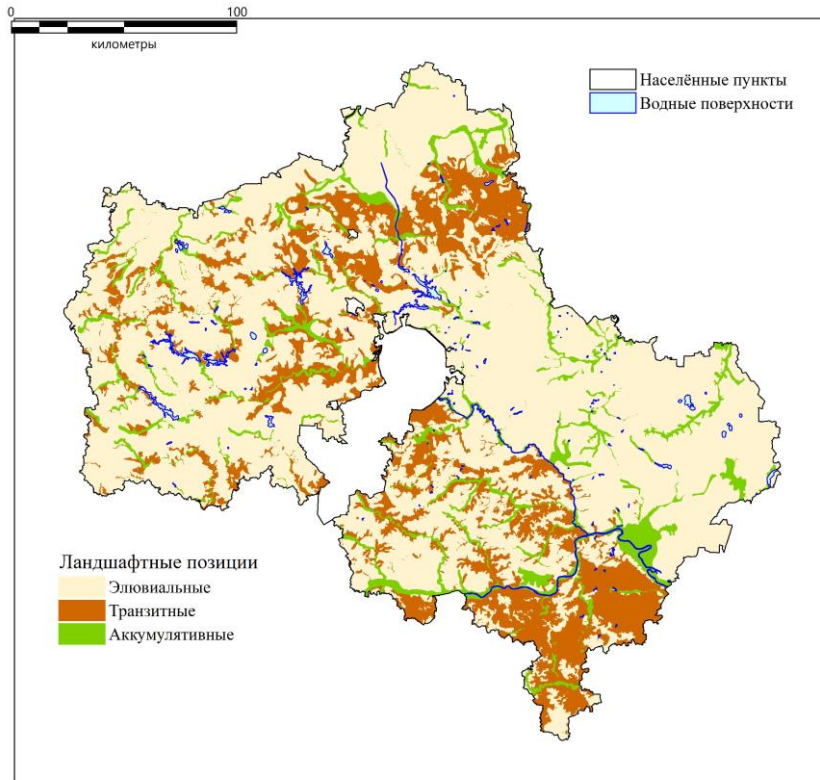


Рис. 4. Ландшафтные позиции, занимаемые почвами

Fig. 4. Landscape positions occupied by soils

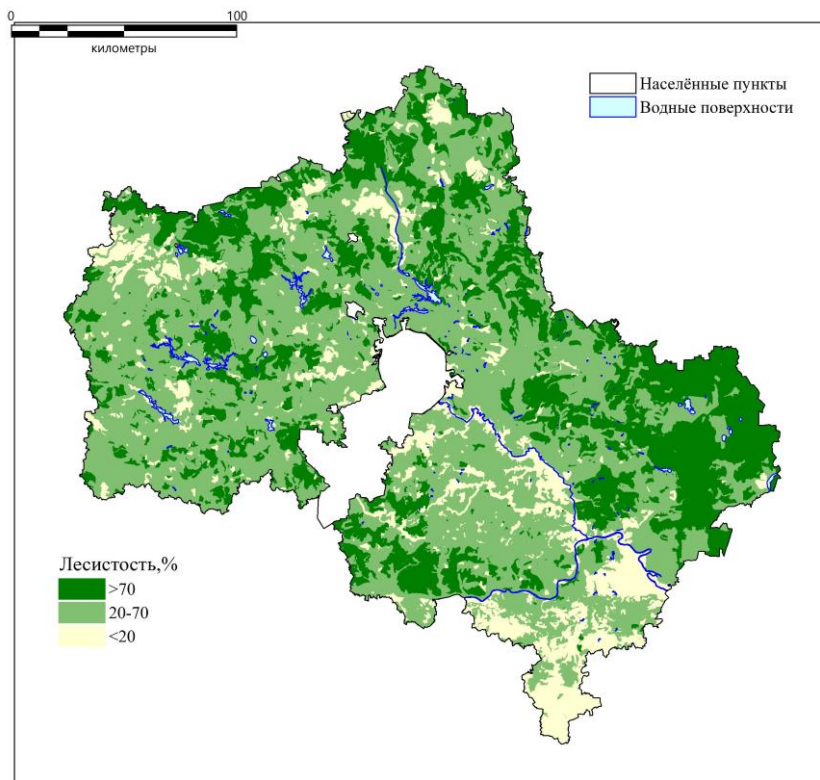


Рис. 5. Лесистость территории

Fig. 5. Forest cover of the territory

Территории с почвенным покровом, характеризующимся наиболее высоким защитным потенциалом к загрязнению тяжёлыми металлами и металлоидами (5-7 баллов), занимают около 17 % площади области. Большая часть этой площади приходится на незеродированные дерново-подзолистые почвы среднего или тяжёлого гранулометрического состава (71 %); немногим более 12 % представлено торфяными болотными почвами, главным образом под лесной растительностью; 11 % – серыми лесными почвами и чернозёмами. В основном территории с устойчивым почвенным покровом характеризуются выровненным рельефом, а также высокой и средней облесённостью.

Способность к закреплению загрязняющих веществ 45 % площади почвенного покрова области оценивается от 4-х до 5-ти баллов. В этой группе абсолютно преобладают незеродированные дерново-подзолистые почвы разной степени оподзоленности и оглеения (78 %). Наиболее значительные массивы таких почв занимают западную часть и восток области.

Ещё ниже защитный потенциал почв 22 % территории области (от 3-х до 4-х баллов). В этой группе почв значительная доля представлена эродированными почвами, преимущественно серыми лесными (22 %), около 60 % – различными дерново-подзолистыми, остальная часть приходится на аллювиальные и торфяные болотные почвы. Эта группа наиболее неоднородна по своим характеристикам: гранулометрический состав изменяется от лёгкого до тяжёлого, содержание органического вещества охватывает весь возможный интервал значений, облесённость территории также изменяется от 0 до 100 %.

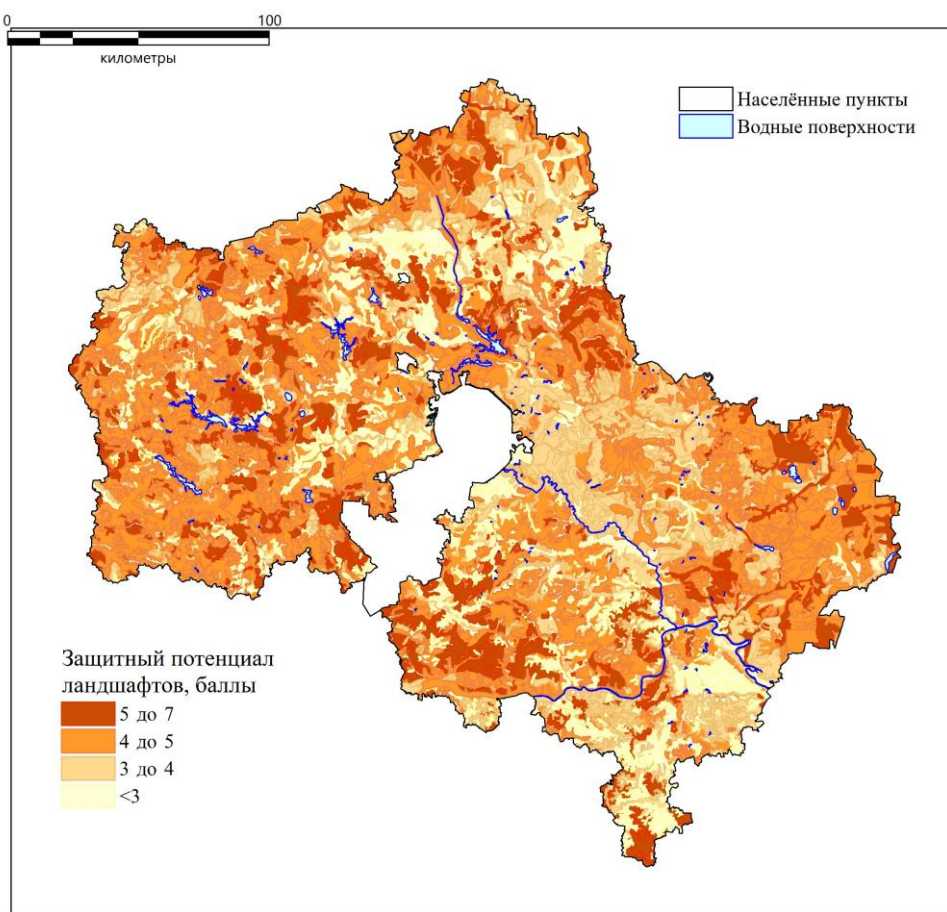


Рис. 6. Защитный потенциал почвенного покрова к загрязнению ТМ

Fig. 6. Protective potential of soil cover to contamination with heavy metals and metalloids

Минимальный защитный потенциал к загрязнению ТМ (<3 баллов) получен для 16 % почв Московской области. Абсолютное большинство почв этой группы представлено эродированными разностями и почвами овражно-балочных комплексов (74 %), небольшие площади занимают лёгкие по гранулометрическому составу дерново-подзолистые почвы (14 %) и еще меньшие – аллювиальные торфяные и торфянистые. Основные массивы почв с минимальным защитным потенциалом приурочены к склонам Клинско-Дмитровской гряды на севере, а также к Заокскому эрозионному плато и Заосетринской эрозионной равнине на юге области.

## ВЫВОДЫ

Рассчитана картографическая оценка защитного потенциала почвенного и растительного покрова в условиях возможного загрязнения тяжёлыми металлами и металлоидами. Согласно предложенному алгоритму, максимальная оценка получена для 17 % почвенного покрова Московской области. В первую очередь, это почвы незэродированные дерново-подзолистые среднего или тяжёлого гранулометрического состава, серые лесные и чернозёмы, а также торфяные болотные почвы под лесной растительностью. На территории с минимальным защитным потенциалом приходится около 16 % области. В группу вошли эродированные почвы, почвы овражно-балочных комплексов, а также лёгкие по гранулометрическому составу дерново-подзолистые и аллювиальные торфяные и торфянистые почвы.

Использованная для расчётов формула включает данные о гранулометрическом составе почв, содержании в них органического вещества, о положении почвы в ландшафте и степени облесённости территории. Данные входят в состав Информационной системы «Почвенно-географическая база данных России» и предназначены для использования прикладными программами, функционирующими онлайн, в режиме реального времени. Разработанные в ГИС подходы позволят прогнозировать реакцию экосистем на негативные антропогенные воздействия, они послужат основой для создания подсистемы расчёта откликов почвенного покрова Московской области на разного рода потенциальные загрязнения. Алгоритм пополнит библиотеку методов интеллектуального анализа ИС ПГБД РФ, направленных на решение в онлайн режиме практических задач (оценка, мониторинг, рациональное землепользование) на федеральном, региональном, муниципальном уровнях, а также применения в научных и учебных целях.

Уточнение полученных достаточно общих оценок для применения к различным парагенетическим ассоциациям элементов и конкретным загрязнителям потребует дополнительного привлечения крупномасштабной информации и дальнейших исследований.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, грант № 19-05-50093 Микромир.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The study was funded by the Russian Foundation of Basic Research, grant No 19-05-50093 Microcosm.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Молочко А.В.* Применение ГИС-технологий при оценке степени устойчивости территории к загрязнению нефтью и нефтепродуктами (на примере районов промышленной добычи нефти в Саратовской области). Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о земле. 2009. Т. 9. № 2. С. 13–18.

2. *Снакин В.В., Алябина И.О., Кречетов П.П.* Экологическая оценка устойчивости почв к антропогенному воздействию. Известия РАН. Серия географическая, 1995. № 5. С. 50–57.
3. *Черницова О.В., Касимов Н.С., Королева Т.В., Кречетов П.П.* ГИС-технологии при оценке воздействия пусков ракет-носителей на окружающую среду. Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География 2010. № 2. С. 19–25.
4. *Черногаева Г.М., Жадановская Е.А., Малеванов Ю.А.* Источники загрязнения и качество атмосферного воздуха Московского региона. Известия РАН. Серия географическая, 2019. № 2. С. 109–116. DOI: 10.31857/S2587-556620192109-116.
5. *Carinon C.* Derivation methods of soil screening values in Europe. A review and evaluation of national procedures towards harmonization. Ispra: European Commission. 2007. 306 p.
6. *De Paz J-M., Sánchez J., Visconti F.* Combined use of GIS and environmental indicators for assessment of chemical, physical and biological soil degradation in a Spanish Mediterranean region. Journal of Environmental Management. 2006. V. 79. Issue 2. P. 150–162. DOI: 10.1016/j.jenvman.2005.06.002.
7. *Kabata-Pendias A., Szteke B.* Trace elements in abiotic and biotic environments. CRC Press, Taylor & Francis group, London, New York, 2015. 458 p.
8. *Mohamed E.S., Saleh A.M., Belal A.A.* Sustainability indicators for agricultural land use based on GIS spatial modeling in North of Sinai-Egypt. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. 2014. V. 17. Issue 1. P. 1–15. DOI: 10.1016/j.ejrs. 2014.05.001.

#### REFERENCES

1. *Carinon C.* Derivation methods of soil screening values in Europe. A review and evaluation of national procedures towards harmonization. Ispra: European Commission. 2007. 306 p.
2. *Chernitsova O.V., Kasimov N.S., Koroleva T.V., Krechetov P.P.* GIS-technologies for the assessment of the environmental impact of booster launchingю. Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografiya 2010. No 2. P. 19–25 (in Russian).
3. *Chernogaeva G.M., Zhadanovskaya E.A., Malevanov Yu.A.* Sources of pollution and the quality of atmospheric air in the Moscow region. Izvestiya RAS. Geographical Series, 2019. No. 2. P. 109–116. DOI: 10.31857/S2587-556620192109-116 (in Russian).
4. *De Paz J-M., Sánchez J., Visconti F.* Combined use of GIS and environmental indicators for assessment of chemical, physical and biological soil degradation in a Spanish Mediterranean region. Journal of Environmental Management. 2006. V. 79. Issue 2. P. 150–162. DOI: 10.1016/j.jenvman.2005.06.002.
5. *Kabata-Pendias A., Szteke B.* Trace elements in abiotic and biotic environments. CRC Press, Taylor & Francis group, London, New York, 2015. 458 p.
6. *Mohamed E.S., Saleh A.M., Belal A.A.* Sustainability indicators for agricultural land use based on GIS spatial modeling in North of Sinai-Egypt. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. 2014. V. 17. Issue 1. P. 1-15. DOI: 10.1016/j.ejrs.2014. 05.001.
7. *Molochko A.V.* The use of GIS technologies in assessing the degree of stability of the territory to oil and oil products pollution (on the example of industrial oil production areas in the Saratov region). Izvestiya Saratovskogo universiteta. New series. Series: Earth Sciences. 2009. V. 9. No 2. P. 13–18 (in Russian).
8. *Snakin V.V., Alyabina I.O., Krechetov P.P.* Ecological assessment of soil resistance to anthropogenic impact. Izvestiya RAS. Geographical Series, 1995. No 5. P. 50–57 (in Russian).