

УДК: 631.48

DOI: 10.35595/2414-9179-2025-2-31-358-370

А. А. Васильев¹, А. В. Боброва², А. Н. Чашин³

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ ПОЧВ И ЭПИФИТОВ (НА ПРИМЕРЕ МОТОВИЛИХИНСКОГО РАЙОНА Г. ПЕРМИ)

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена исследованию пространственной организации магнитной восприимчивости почв и эпифитов в условиях урбанизированной территории и геоинформационному картографированию полученных результатов с применением веб-ГИС-технологий. Объектом исследований является почвенный покров и эпифитный покров на стволах деревьев в пределах Мотовилихинского района г. Перми. Цель исследований — выполнить пространственное моделирование магнитной восприимчивости почв и эпифитов упомянутого района. Выбор данной территории обусловлен высокой плотностью жилой застройки, которая при этом в северной части примыкает к промышленной зоне ПАО «Мотовилихинские заводы» (комплекс предприятий металлургии и машиностроения). Общая площадь, на которой проведено исследование, составляет 10,59 км². Исследования проведены в м-бе 1:25 000. Измерения магнитной восприимчивости выполнялись прибором КТ-6, который позволяет получить значения в $\text{æ} \times 10^{-3}$ СИ. Общее число точек исследований составило 130. Для создания веб-ГИС «Геоинформационная система магнитной восприимчивости эпифитов Мотовилихинского района г. Перми» использовались стандартные технологии формирования графического пользовательского интерфейса, распределенная СУБД PostgreSQL с расширением PostGIS и ГИС-сервер Geoserver. Выполненное исследование показало тесную связь карт магнитной восприимчивости почв и эпифитов и среднюю связь данных отдельных измерений. Эпифиты демонстрируют более сильную отрицательную корреляцию с расстоянием до промышленного источника ($r = -0,51$), чем почвы ($r = -0,32$), что отражает их высокую чувствительность к атмосферным выбросам. Размещение полученных результатов в виде веб-ГИС позволило создать доступную и интерактивную платформу для визуализации данных, которая может применяться в природоохранной, научно-исследовательской и учебной деятельности. Особое значение веб-карта имеет для жителей и администрации г. Перми, поскольку позволяет оценить эколого-геохимическое состояние окружающей среды. Открытый доступ организован по ссылке <http://epifit-perm.na4u.ru>.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: магнитная восприимчивость, городские почвы, эпифиты, геоинформационное картографирование, веб-картографирование

¹ ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова», ул. Петропавловская, д. 23, Пермь, Россия, 614990, *e-mail*: chascshin@mail.ru

² ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова», ул. Петропавловская, д. 23, Пермь, Россия, 614990, *e-mail*: chascshin@mail.ru

³ ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова», ул. Петропавловская, д. 23, Пермь, Россия, 614990, *e-mail*: chascshin@mail.ru

Andrey A. Vasil'ev¹, Anastasia V. Bobrova², Aleksey N. Chashchin³

**GEOINFORMATION MAPPING
OF MAGNETIC SUSCEPTIBILITY OF SOILS AND EPIPHYTES
(ON THE EXAMPLE OF MOTOVILIKHINSKY DISTRICT OF PERM)**

ABSTRACT

The article is devoted to the study of the spatial organization of magnetic susceptibility of soils and epiphytes in urbanized areas and geoinformation mapping of the obtained results using web GIS technologies. The object of the study is the soil cover and epiphytic cover on tree trunks within the Motovilikha District of Perm. The purpose of the study is to perform spatial modeling of magnetic susceptibility of soils and epiphytes of the Motovilikha District of Perm. The choice of this territory is due to the high density of residential development, which in the northern part adjoins the industrial zone of PAO “Motovilikhinskiye zavody” (a complex of metallurgy and mechanical engineering enterprises). The total area on which the study was carried out is 10.59 km². The studies were carried out on a scale of 1:25 000. Magnetic susceptibility measurements were performed using a KT-6 device, which allows obtaining values in $\text{æ} \times 10^{-3}$ SI. The total number of research points was 130. To create the web GIS “Geoinformation system of magnetic susceptibility of epiphytes of Motovilikha District of Perm” standard technologies of formation of graphical user interface, distributed DBMS PostgreSQL with extension PostGIS and GIS server Geoserver were used. The conducted research showed close connection of maps of magnetic susceptibility of soils and epiphytes and average connection of data of individual measurements. Epiphytes demonstrate stronger negative correlation with distance to industrial source ($r = -0.51$) than soils ($r = -0.32$), which reflects their high sensitivity to atmospheric emissions. Placing the obtained results in the form of web GIS allowed to create an accessible and interactive platform for data visualization, which can be used in environmental protection, scientific research and educational activities. Web map is of particular importance for residents and administration of Perm, as it allows them to assess the ecological and geochemical state of the environment. Open access is organized at the link <http://epifit-perm.na4u.ru>.

KEYWORDS: magnetic susceptibility, urban soils, epiphytes, geoinformation mapping, web mapping

ВВЕДЕНИЕ

Оценка и картографирование состояния окружающей среды промышленных городов является актуальным направлением экологических исследований [Dehkordi et al., 2024]. Это обусловлено прямым воздействием качества окружающей среды на здоровье человека [Jensen, 1998; Monib et al., 2024]. При этом важное значение приобретают экспресс-методы диагностики техногенного воздействия на урбанизированную территорию. Изучение содержания и состава высокомагнитных частиц в компонентах окружающей среды позволяет оценить степень их загрязнения тяжелыми металлами [Боброва, Васильев, 2021; 2025]. Наиболее эффективным методом является измерение магнитной восприимчивости (МВ) [Водяницкий, Шоба, 2015], который позволяет без дорогостоящих лабораторных

¹ FSBEI HE “Perm State Agro-Technological University named after academician D.N. Pryanishnikov”, 23, Petropavlovskaya str., Perm, 614990, Russia, e-mail: chascshin@mail.ru

² FSBEI HE “Perm State Agro-Technological University named after academician D.N. Pryanishnikov”, 23, Petropavlovskaya str., Perm, 614990, Russia, e-mail: chascshin@mail.ru

³ FSBEI HE “Perm State Agro-Technological University named after academician D.N. Pryanishnikov”, 23, Petropavlovskaya str., Perm, 614990, Russia, e-mail: chascshin@mail.ru

исследований получить информацию о степени техногенного загрязнения почв и растительности урбанизированной территории [Чевычелов и др., 2021; Da Silva Júnior et al., 2021].

Одним из высокоинформативных биоиндикаторов аэрального загрязнения урбанизированных экосистем являются эпифиты [Королёва, 2006]. Исследованиями многих авторов доказано, что в городской среде мхи и лишайники концентрируют тяжелые металлы [Сухарева, 2018; Мосталыгина и др., 2020]. В рамках данного исследования они представляют эпифитные мхи на стволах лиственных древесных пород городских насаждений. Эпифиты способны концентрировать из атмосферного воздуха техногенные магнитные частицы, которые являются носителями тяжелых металлов [Боброва, Васильев, 2021; 2025].

Город Пермь является крупнейшим в России промышленным центром, в котором ежегодно тяжелые металлы поступают на поверхность почвенного и растительного покровов. Изучению и картографированию эколого-магнитного состояния почв г. Перми посвящен ряд работ [Васильев, Лобанова, 2015], однако картографирование магнитной восприимчивости эпифитов и оценка пространственной зависимости содержания высокомагнитных соединений в составе почв и эпифитов не проводились.

В связи с этим была сформулирована цель исследований — выполнить пространственное моделирование магнитной восприимчивости почв и эпифитов на примере Мотовилихинского района г. Перми.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследований является почвенный покров и эпифитный покров на стволах деревьев в пределах Мотовилихинского района г. Перми (рис. 1). Выбор данной территории обусловлен высокой плотностью жилой застройки, которая в северной части примыкает к цехам крупной машиностроительной компании ПАО «Мотовилихинские заводы», объединяющей металлургические и машиностроительные производственные мощности. Общая площадь, на которой проведено исследование, составляет 10,59 км².

Почвенный покров территории представлен урбаноземами и техногенными поверхностными образованиями [Васильев, Лобанова, 2015].

Исследования выполнялись в м-бе 1:25 000 в летний период 2024 г. На местности были отобраны образцы мхов-эпифитов с поверхности коры деревьев с использованием пластикового ножа и полиэтиленовых перчаток. Высота отбора проб около 1,5 м. Отбор смешанных образцов почв проведен с глубины 0–5 см в 10 точках приствольных кругов тех деревьев, с коры которых отбирались пробы эпифитов.

Измерения магнитной восприимчивости (МВ) сухих образцов почв и эпифитов выполнялись в лабораторных условиях прибором КТ-6, который позволяет получить значения в ед. СИ. Прибор обладает чувствительностью до $1 \cdot 10^{-5}$ СИ, при этом рабочий диапазон измерений охватывает интервал от $-9,99 \cdot 10^{-5}$ до $99,99 \cdot 10^{-5}$ СИ. Общее число точек синхронного отбора смешанных образцов почв и проб эпифитов составило 130. Местоположения точек опробования отражены на рис. 1.

Работы с пространственными данными включали исследование пространственной структуры (анализ показателей вариационной статистики, тренда, вариограммы), кросс-валидацию и геостатистическое моделирование в ArcGIS, модуль Spatial Analyst. Для построения карт использовался метод ординарного кригинга (ordinary kriging). Корреляционный анализ включал вычисление коэффициентов корреляции Пирсона между магнитной восприимчивостью почв и магнитной восприимчивостью эпифитов по точкам измерений. На основании результатов определения корреляции растровых карт была оценена пространственная зависимость магнитной восприимчивости почв и эпифитов. Кроме того, методом евклидова расстояния ArcGIS была создана карта расстояний, которая вместе с

картами магнитной восприимчивости также использовалась для оценки закономерностей пространственной неоднородности и взаимосвязи магнитной восприимчивости почв и эпифитов. Корреляция растров выполнялась инструментом Scatterplot в SAGA GIS. Оформление картографических материалов и загрузка слоев в СУБД PostgreSQL с расширением PostGIS выполнено в QGIS 3.28.

На заключительном этапе применялись технологии интернет-картографирования [Абдуллин, Пономарчук, 2020; Спесивцев, Ларин, 2021; Farkas, 2017] — результаты исследований были обобщены в веб-карте «Геоинформационная система магнитной восприимчивости эпифитов Мотовилихинского района г. Перми».

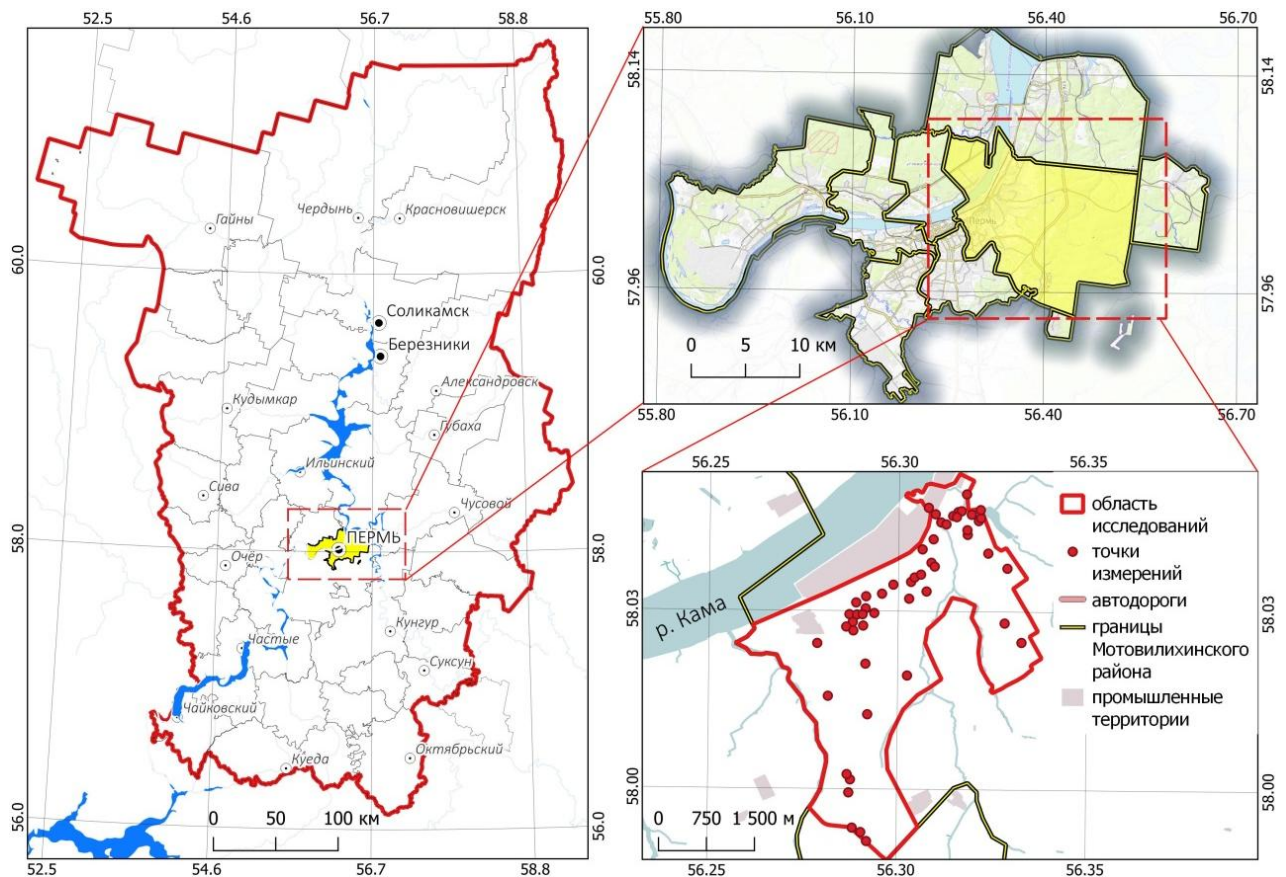


Рис. 1. Местоположение территории исследований
Fig. 1. Location of the study area

Общая схема создания веб-ГИС приведена на рис. 2. Для публикации данных использовался открытый ГИС-сервер — сервлет GeoServer, предоставляющий доступ к картографической информации через стандартный формат передачи пространственных данных — WMS. Серверная часть системы размещена на виртуальном выделенном сервере (VDS). Пользовательский интерфейс веб-ГИС реализован с использованием технологий HTML, CSS и JavaScript. Слои карт MB отображаются в веб-приложении на основе картографической JavaScript-библиотеки OpenLayers [Лаззат, Ахметова, 2023].

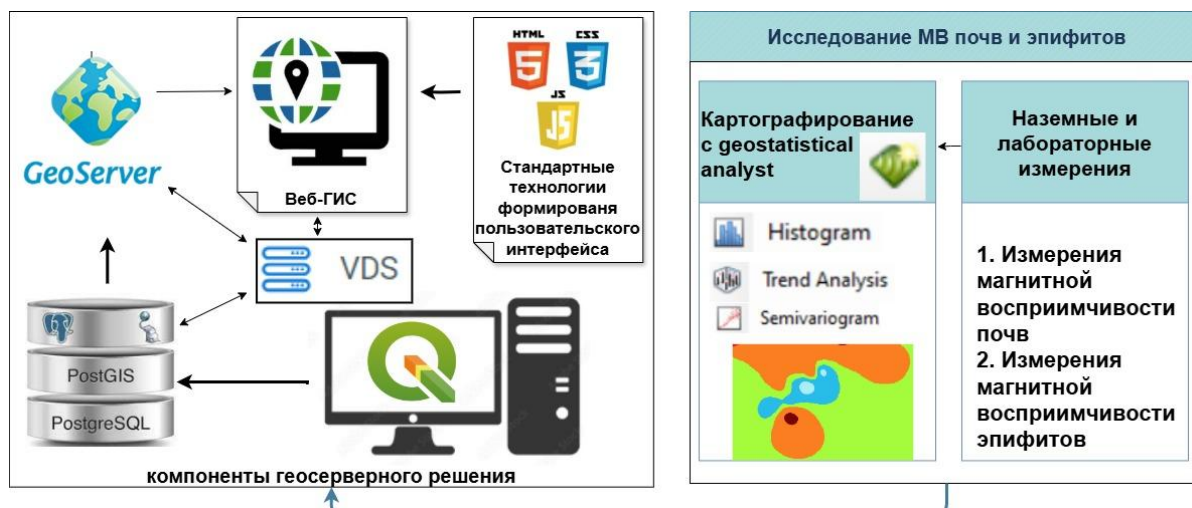


Рис. 2. Схема картографирования МВ с применением ГИС-сервера
 Fig. 2. Mapping scheme of ecological-magnetic state using GIS server

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка результатов измерения магнитной восприимчивости почв Мотовилихинского района г. Перми показала, что по шкале, ранее предложенной для почв г. Перми [Васильев, Лобанова, 2015], она варьируется от очень низкого до очень высокого уровня. Восприимчивость изменяется от $0,12 \times 10^{-3}$ СИ на детской площадке у жилого дома 95 по ул. Уральская, до $19,31 \times 10^{-3}$ СИ на ул. Смирнова, в районе железнодорожного переезда и в непосредственной близости от производственных цехов ПАО «Мотовилихинские заводы» (табл. 1). Значения МВ эпифитов изменяются в диапазоне от 0,01 до $1,13 \times 10^{-3}$ СИ. Сравнение средней ($0,28 \times 10^{-3}$ СИ) и медианы ($0,22 \times 10^{-3}$ СИ) позволяет охарактеризовать выборку данных магнитной восприимчивости эпифитов нормальным распределением. Данные по МВ почв не соответствуют нормальному распределению, что указывает на необходимость их преобразования по методу нормальных меток для корректного картографирования.

Табл. 1. Описательная статистика магнитной восприимчивости почв и эпифитов, 10^{-3} СИ ($n = 130$)
 Table 1. Descriptive statistics of soil and epiphytes magnetic susceptibility, 10^{-3} SI ($n = 130$)

Компоненты городской среды	Значения статистических показателей				Стандартное отклонение
	мин	макс	среднее	медиана	
почва	0,12	19,31	2,57	1,54	3,04
эпифиты	0,01	1,13	0,28	0,22	0,20

Перед созданием карт определялось наличие тренда в данных магнитной восприимчивости. Графики тренда МВ почв и эпифитов приведены на рис. 3. Из рисунка видно, что в данных присутствует тренд, наиболее выраженный в направлении запад-восток. Нисходящий тренд в направлении север-юг подтверждает влияние выбросов промышленного производства как основного источника загрязнения в данной части города. При этом эпифиты (рис. 3б) демонстрируют более четкую и устойчивую отрицательную зависимость по сравнению с почвой (рис. 3а), что свидетельствует, с одной стороны, об их

высокой чувствительности к антропогенному воздействию, а с другой — об участии городского мусора, привозных материалов и прочего в загрязнении почв магнитными частицами. Перед геостатистическим моделированием учитывалась форма пространственного тренда, отраженная на графиках. Тренд второго порядка удалялся. В результате было устранено влияние общего градиента и выявлены локальные аномалии.

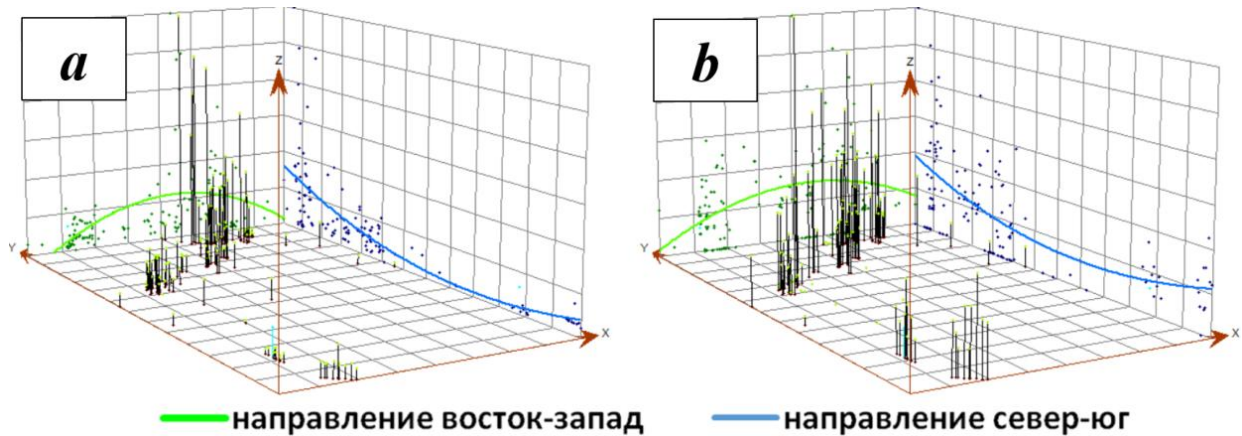


Рис. 3. Графики трендов: *a* — почвы, *b* — эпифиты
Fig. 3. Trend graphs: *a* — soils, *b* — epiphytes

Анализ вариограмм магнитной восприимчивости показал различия в пространственной структурированности показателя у почв и эпифитов (рис. 4). Вариограмма почв демонстрирует более выраженную пространственную автокорреляцию с ростом значений полудисперсии (γ) на малых расстояниях и сглаживанием на расстояниях около 2–3 км, что указывает на наличие локальных аномалий загрязнения. В то же время вариограмма эпифитов имеет меньшую амплитуду и более сглаженный характер, что свидетельствует о меньшей пространственной зависимости и, вероятно, большей чувствительности эпифитов к аккумуляции полых сферул магнетита, перемещающихся в городском воздухе. Это подтверждает сведения [Боброва, Васильев, 2025] о высокой аккумулирующей способности эпифитов в отношении техногенных магнитных частиц из аэральные источники загрязнения.

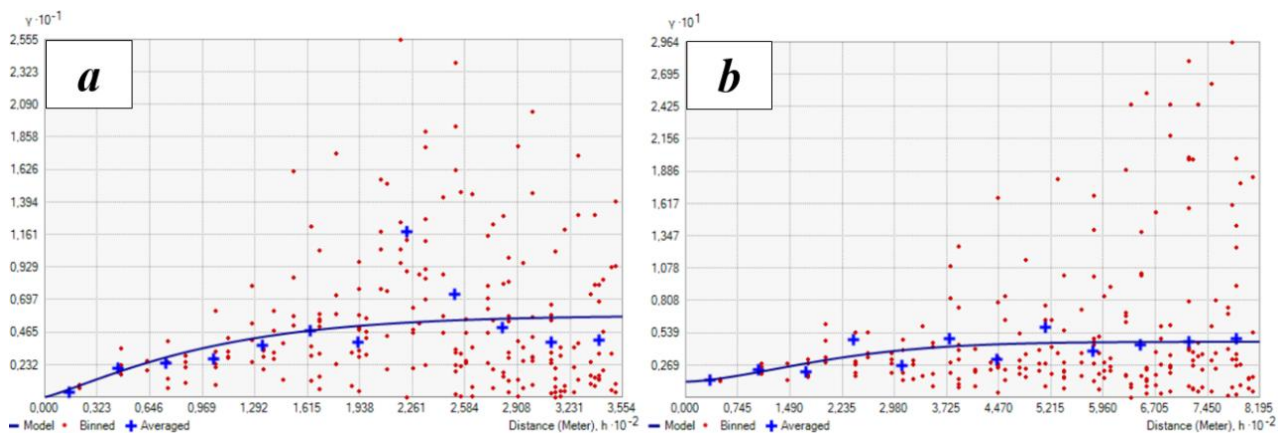


Рис. 4. Вариограммы: *a* — почвы, *b* — эпифиты
Fig. 4. Variograms: *a* — soils, *b* — epiphytes

Метод создания карт пространственного распределения восприимчивости выбирался из двух геостатистических (ординарный кригинг, простой кригинг) и двух детерминационных (обратно-взвешенное расстояние (ОВР), сплайн с натяжением). Критерием выбора являлось значение среднеквадратической ошибки RMSE, определенное в результате проведенной кросс-валидации. Установлено, что для полученных данных восприимчивости, наименьшая RMSE у метода ординарный кригинг. В связи с этим данный метод использовался для создания карт, представленных на рис. 5.

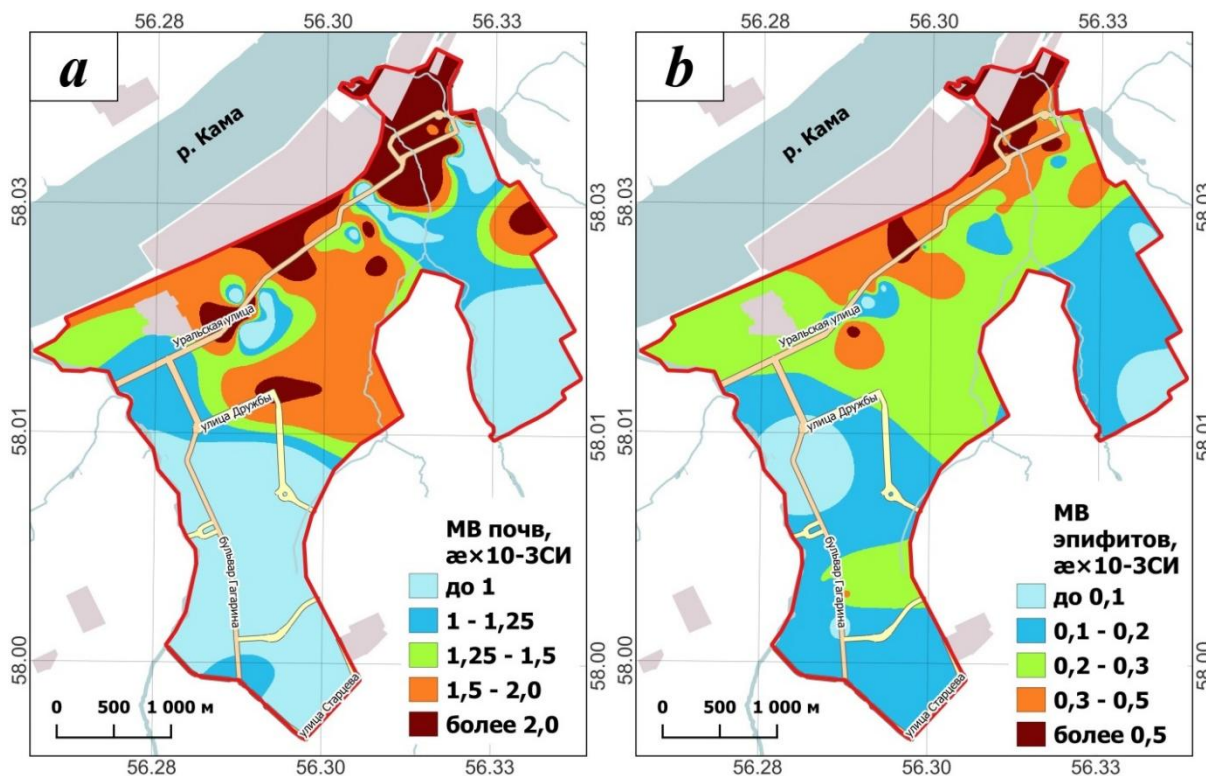


Рис. 5. Карты магнитной восприимчивости: а — почвы, б — эпифиты
 Fig. 5. Magnetic susceptibility map: a — soils, b — epiphytes

Из рис. 5 видно, что наибольшие значения магнитной восприимчивости наблюдаются в северной части участка, что указывает на формирование локальных ареалов накопления частиц техногенного магнетита вблизи промышленной зоны Мотовилихинского района. Сходство распределения МВ в почвах и эпифитах подтверждает возможность их использования как взаимодополняющих индикаторов аэриального загрязнения городской экосистемы. Удаление пространственного тренда второго порядка, выполненное перед интерполяцией, позволило выделить локальные аномалии и повысить точность оценки степени загрязнения. Карты демонстрируют сходство пространственного распределения МВ в почвах и эпифитах.

Для оценки взаимосвязи между значениями магнитной восприимчивости почв и эпифитов использовались два подхода: точечный анализ на основе исходных измерений и пространственный анализ интерполированных растровых данных. Первый метод был реализован в среде Microsoft Excel с использованием стандартной линейной регрессии по парным значениям в одних и тех же точках. Второй подход — в программе SAGA GIS, где анализ проводился по растровым наборам данных, полученных методом ординарного кригинга, с последующим построением регрессионной модели. Графики зависимостей

магнитной восприимчивости почв и эпифитов представлены на рис. 6. Применение обоих методов позволяет выявить различия между локальной (точечной) и пространственной (растровой) структурой взаимосвязи. Точечный анализ отражает степень связи между отдельными измерениями, в то время как корреляция растровых слоев учитывает пространственную непрерывность данных и сглаженные тренды, что особенно актуально при исследовании техногенного загрязнения.

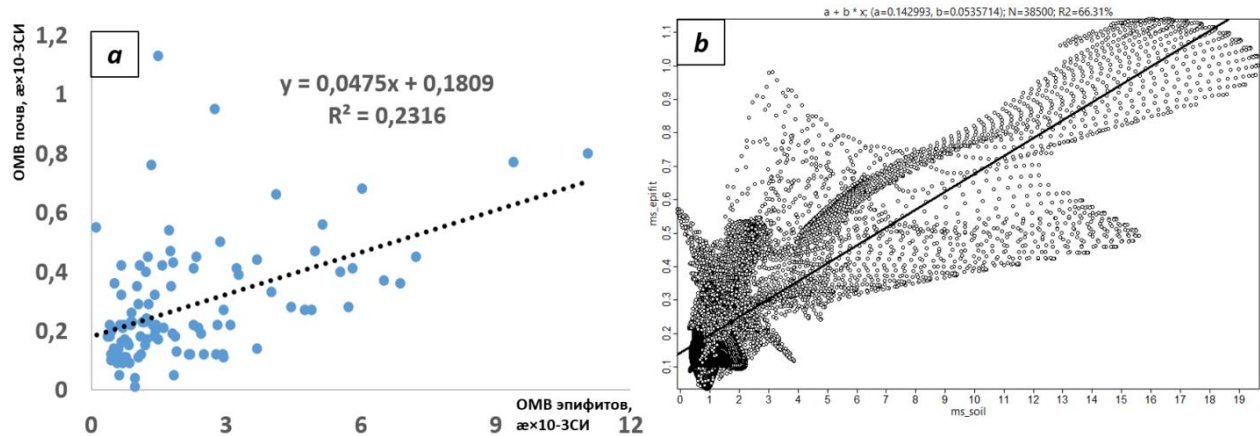


Рис. 6. Графики оценки корреляционной зависимости магнитной восприимчивости эпифитов от магнитной восприимчивости почв: а — на основе точечных измерений (в EXCEL), б — график корреляции растров (в SAGA GIS)

Fig. 6. Graphs of the assessment of the correlation dependence of the magnetic susceptibility of epiphytes on the magnetic susceptibility of soils: a — based on point measurements (in EXCEL), b — raster correlation graph (in SAGA GIS)

Сравнительный анализ коэффициентов корреляции между значениями магнитной восприимчивости почв и эпифитов, выполненный как на основе точечных измерений, так и на основе интерполированных растровых данных, выявил существенные различия (табл. 2). При анализе по исходным точкам коэффициент корреляции составил 0,48, что указывает на умеренную взаимосвязь между показателями. В то же время корреляция между растровыми слоями, полученными методом кригинга, оказалась значительно выше и равна 0,81, что свидетельствует о выраженной пространственной сопряженности магнитной восприимчивости почв и эпифитов.

Табл. 2. Оценка связи магнитной восприимчивости почв и эпифитов
Table 2. Evaluation of the relationship between the magnetic susceptibility of soils and epiphytes

Вид анализа	n	r	R ²	Уравнение регрессии
Точечные измерения (Excel)	130	0,48	0,2316	$y = 0,0475x + 0,1808$
Растровый анализ (SAGA GIS)	38 500	0,81	0,6631	$y = 0,0142993 + 0,10535714x$

Подобное расхождение может быть связано с тем, что пространственная интерполяция, выполненная с применением геостатистического подхода (метод ординарного кригинга), позволяет сгладить локальные вариации и «шум» измерений, выявляя более устойчивые закономерности в распределении загрязняющих веществ. Таким образом, корреляционный анализ растровых данных оказывается более чувствительным инструментом для оценки пространственной структуры техногенного загрязнения и взаимосвязи

между различными компонентами окружающей среды. Это подчеркивает методологическую значимость использования интерполированных данных в экологическом картографировании и пространственном моделировании процессов загрязнения.

Для оценки пространственного влияния источника загрязнения ПАО «Мотовилихинские заводы» была создана карта расстояний (метод евклидова расстояния, ArcGIS) в пределах исследуемой территории. Далее с помощью корреляционного анализа в среде SAGA GIS была определена степень зависимости магнитной восприимчивости почв и эпифитов от расстояния до основного источника аэрального загрязнения на исследованной территории (рис. 7).

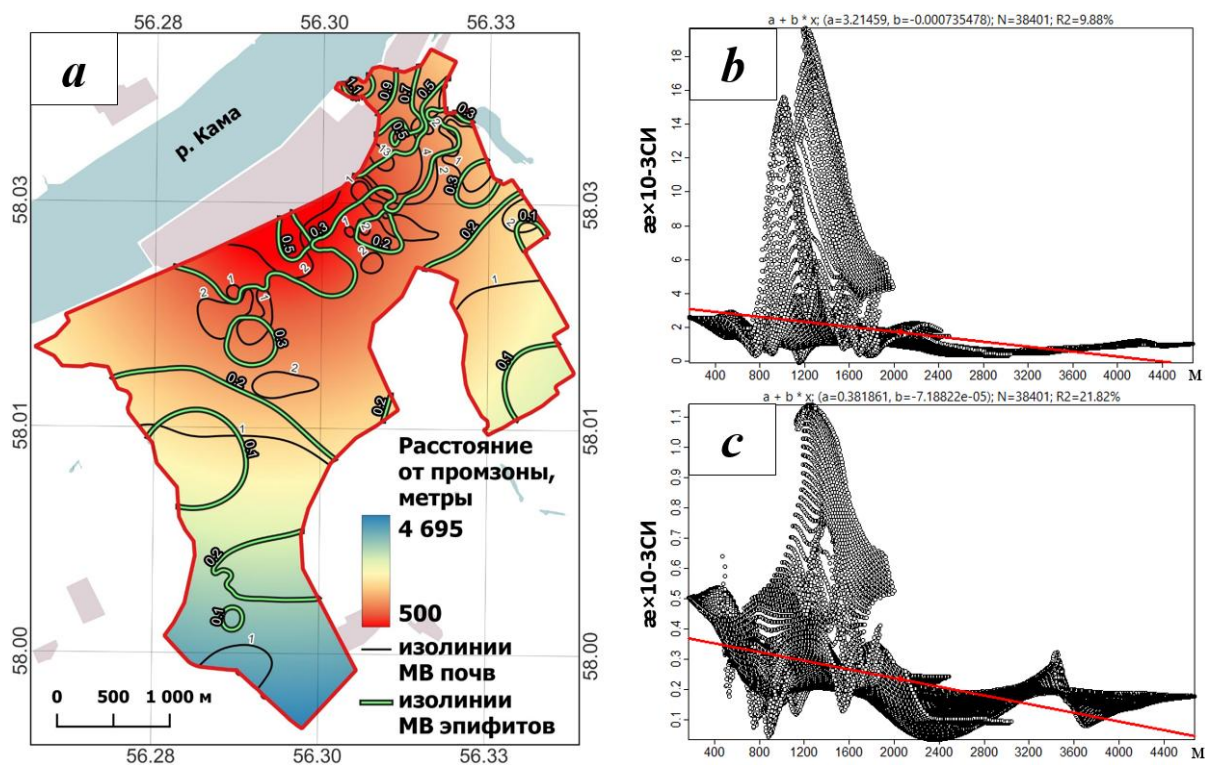


Рис. 7. Анализ влияния удаленности от источника выбросов техногенных магнитных частиц на величину магнитной восприимчивости: а — наложение изолиний восприимчивости почв и эпифитов на карту расстояний; б — график зависимости МВ почв от расстояния; в — график зависимости МВ эпифитов от расстояния

Fig. 7. Analysis of the influence of distance from the source of emissions of highly magnetic compounds on the value of magnetic susceptibility: а — superposition of isolines of soil and epiphyte susceptibility on the distance map; б — plot of dependence of soil susceptibility on distance; в — plot of dependence of epiphyte susceptibility on distance

Полученные результаты демонстрируют отрицательные средние значения коэффициентов корреляции для почв ($r = -0,31$) и эпифитов ($r = -0,47$). Это указывает на тенденцию снижения уровня загрязнения с увеличением расстояния от источника техногенных магнитных частиц. Более высокая корреляция для эпифитов подчеркивает их чувствительность к атмосферным выбросам и высокую эффективность как биоиндикаторов техногенного загрязнения.

Таким образом, пространственный анализ в сочетании с корреляцией растров позволяет не только оценить степень загрязнения, но и выявить характер распространения загрязняющих веществ в урбанизированном ландшафте.

Итоговое представление результатов исследований выполнено в формате веб-ГИС «Геоинформационная система магнитной восприимчивости эпифитов Мотовилихинского района г. Перми» (рис. 8), предоставляющей открытый доступ к электронным картам. Такой формат представления пространственных данных является современным и наглядным инструментом визуализации, обеспечивающим удобное взаимодействие с результатами: пользователь может переключать слои, соотносить их с базовыми картами (космоснимок, OpenStreetMap), а также получать атрибутивную информацию по точкам измерений магнитной восприимчивости. Система полностью функционирует на выделенном сервере, на котором установлены GeoServer, PostgreSQL с расширением PostGIS, а также размещен хостинг веб-сайта с интерфейсом Веб-ГИС. Эффективная визуализация картографических данных достигается передачей в формате WMS непосредственно из сервлета GeoServer. Это делает веб-ГИС удобным инструментом для анализа и представления данных в научных и прикладных целях. Веб-ГИС может применяться в природоохранной, научно-исследовательской и учебной деятельности. Особое значение база данных имеет для жителей, работников медицинских учреждений, городской администрации, поскольку позволяет объективно оценить экологическое состояние окружающей среды на этой территории г. Перми. Доступ к веб-карте организован по адресу <http://epifit-perm.na4u.ru>.

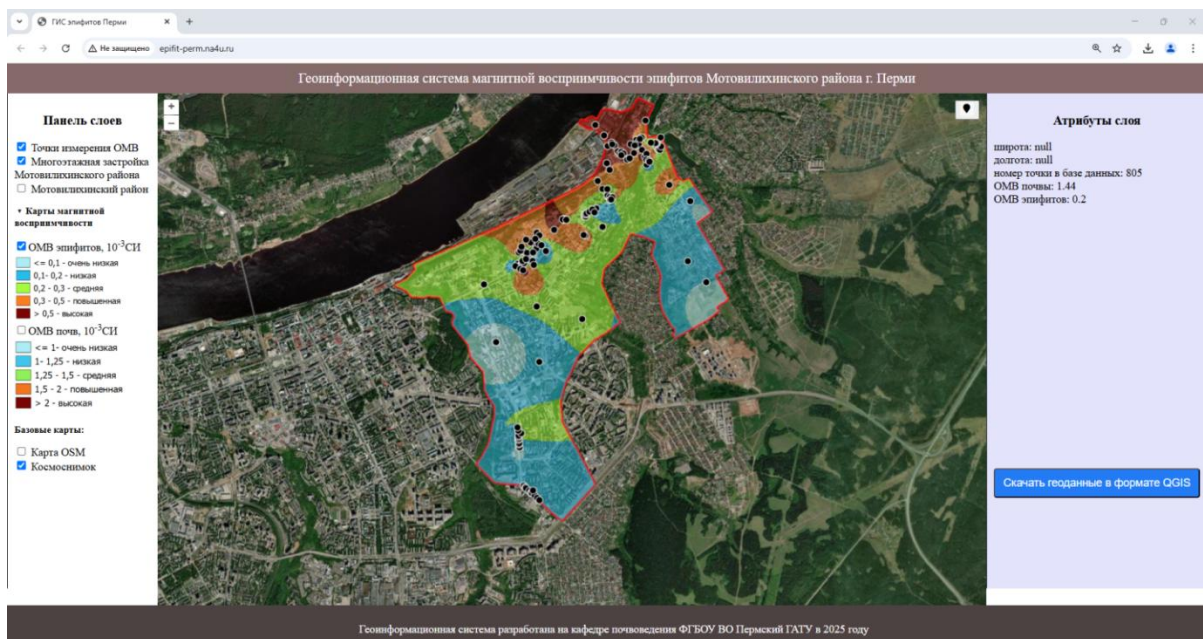


Рис. 8. Внешний вид веб-приложения
Fig. 8. The appearance of the web application

ВЫВОДЫ

Таким образом, магнитная восприимчивость почв и эпифитов может эффективно использоваться для оценки пространственного распределения техногенного магнитного загрязнения. Эпифиты демонстрируют более сильную отрицательную корреляцию с расстоянием до промышленного источника ($r = -0,47$), чем почвы ($r = -0,32$), что отражает их высокую чувствительность к атмосферным выбросам. Корреляционный анализ, проведенный как по точкам измерений ($r = 0,48$), так и по растровым картам ($r = 0,81$), подтвердил значимость использования геостатистических методов для выявления пространственной взаимосвязи. Построенные карты и вариограммы выявили общее сходство пространственных структур магнитной восприимчивости почв и эпифитов, обусловленное положением

источника загрязнения. Размещение полученных результатов в виде веб-ГИС позволило создать доступную и интерактивную платформу для визуализации данных. Система, функционирующая на выделенном сервере с GeoServer и PostgreSQL/PostGIS, демонстрирует эффективный подход к публикации экологической картографической информации. Основные области применения созданной веб-ГИС: природоохранная, эколого-геохимическая, санитарно-гигиеническая, научно-исследовательская и учебная.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абдуллин Р. К., Пономарчук А. И. Технологии интернет-картографирования: учебное пособие. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2020. 132 с.

Боброва А. В., Васильев А. А. Тяжелые металлы в почвах и мхах-эпифитах Ленинского района г. Ижевск. АгроЭкоИнфо, 2021. № 4. Электронный ресурс: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/4/st_402.pdf (дата обращения 01.04.2025). DOI: 10.51419/20214402.

Боброва А. В., Васильев А. А. Магнитный биомониторинг состояния окружающей среды в городе Пермь. АгроЭкоИнфо, 2025. № 1. Электронный ресурс: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2025/1/st_101.pdf (дата обращения 01.04.2025).

Васильев А. А., Лобанова Е. С. Магнитная и геохимическая оценка почвенного покрова урбанизированных территорий Предуралья на примере города Перми: монография. Пермь: Пермская ГСХА, 2015. 243 с.

Водяницкий Ю. Н., Шоба С. А. Магнитная восприимчивость как индикатор загрязнения тяжелыми металлами городских почв (обзор литературы). Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение, 2015. № 1. С. 13–20.

Королёва Ю. В. Использование мхов *Hylocomium splendens* и *Pleurozium schreberi* для оценки абсолютных значений атмосферных выпадений тяжелых металлов в Калининградской области. Вестник РГУ им. И. Канта, 2006. № 7. С. 29–34.

Лаззат К., Ахметова Н. З. Внешний вид и доступность веб-карт в приложениях и на сайтах. European Research Materials, 2023. № 2. Электронный ресурс: <https://ojs.publisher.agency/index.php/ERM/article/view/1189>.

Мосталыгина Л. В., Елизарова С. Н., Костин А. В. Сорбционная способность мхов и лишайников Зауралья по отношению к ионам свинца. Химия растительного сырья, 2020. № 3. С. 315–321.

Снесивцев Д. С., Ларин Е. Г. Разработка картографического веб-сервиса природного парка «Кондинские озера». ИнтерКарто. ИнтерГИС. М.: Географический факультет МГУ, 2021. Т. 27. Ч. 2. С. 42–51. DOI: 10.35595/2414-9179-2021-2-27-42-51.

Сухарева Т. А. Элементный состав зеленых мхов фоновых и техногенно нарушенных территорий. Ученые записки Петрозаводского государственного университета, 2018. № 3(172). С. 89–96.

Чевычелов А. П., Алексеев А. А., Кузнецов Л. И. Использование показателя магнитной восприимчивости почв для оценки экологического состояния почвогрунтов г. Якутска. Природные ресурсы Арктики и Субарктики, 2021. Т. 26. № 1. С. 78–92.

Da Silva Júnior J. F., Siqueira D. S., Teixeira D. B., Panosso A. R., Júnior J. M., Pereira G. T. Multivariate Split Moving Windows and Magnetic Susceptibility for Locating Soil Boundaries of São Paulo, Brazil. Geoderma Regional, 2021. V. 26. P. e00418. DOI: 10.1016/j.geodrs.2021.e00418.

Dehkordi M. M., Nodeh Z. P., Dehkordi K. S., Khorjestan R. R. Soil, Air, and Water Pollution from Mining and Industrial Activities: Sources of Pollution, Environmental Impacts, and Prevention and Control Methods. *Results in Engineering*, 2024. V. 23. P. 102729.

Farkas G. Applicability of Open-Source Web Mapping Libraries for Building Massive Web GIS Clients. *Journal of Geographical Systems*, 2017. V. 19. No. 3. P. 273–295.

Jensen S. S. Mapping Human Exposure to Traffic Air Pollution Using GIS. *Journal of Hazardous Materials*, 1998. V. 61. No. 1–3. P. 385–392.

Monib A. W., Niazi P., Azizi A., Sediqi S., Baseer A. Q. Heavy Metal Contamination in Urban Soils: Health Impacts on Humans and Plants: A Review. *European Journal of Theoretical and Applied Sciences*, 2024. V. 2. No. 1. P. 546–565.

REFERENCES

Abdullin R. K., Ponomarchuk A. I. Internet Mapping Technologies: A Tutorial. Perm: Perm State National Research University, 2020. 132 p. (in Russian).

Bobrova A. V., Vasilyev A. A. Heavy Metals in Soils and Epiphytic Mosses of the Leninsky District of Izhevsk. *AgroEcoInfo*, 2021. No. 4. Web resource: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/4/st_402.pdf (accessed 01.04.2025) (in Russian). DOI: 10.51419/20214402.

Bobrova A. V., Vasilyev A. A. Magnetic Biomonitoring of the State of the Environment in the City of Perm. *AgroEcoInfo*, 2025. No. 1. Web resource: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2025/1/st_101.pdf (accessed 01.04.2025) (in Russian).

Chevchelov A. P., Alekseev A. A., Kuznetsov L. I. Using the Indicator of the Magnetic Susceptibility of Soils to Assess the Environmental State of the Soil of Yakutsk. *Arctic and Subarctic Natural Resources*, 2021. V. 26. No. 1. P. 78–92 (in Russian).

Da Silva Júnior J. F., Siqueira D. S., Teixeira D. B., Panosso A. R., Júnior J. M., Pereira G. T. Multivariate Split Moving Windows and Magnetic Susceptibility for Locating Soil Boundaries of São Paulo, Brazil. *Geoderma Regional*, 2021. V. 26. P. e00418. DOI: 10.1016/j.geodrs.2021.e00418.

Dehkordi M. M., Nodeh Z. P., Dehkordi K. S., Khorjestan R. R. Soil, Air, and Water Pollution from Mining and Industrial Activities: Sources of Pollution, Environmental Impacts, and Prevention and Control Methods. *Results in Engineering*, 2024. V. 23. P. 102729.

Farkas G. Applicability of Open-Source Web Mapping Libraries for Building Massive Web GIS Clients. *Journal of Geographical Systems*, 2017. V. 19. No. 3. P. 273–295.

Jensen S. S. Mapping Human Exposure to Traffic Air Pollution Using GIS. *Journal of Hazardous Materials*, 1998. V. 61. No. 1–3. P. 385–392.

Korolyova Yu. V. Use of Mosses *Hylocomium Splendens* and *Pleurozium Schreberi* to Assess the Absolute Values of Atmospheric Heavy Metal Deposition in the Kaliningrad Region. *Bulletin of the I. Kant Russian State University*, 2006. No. 7. P. 29–34 (in Russian).

Lazzat Q., Akhmetova N. Z. Appearance and Accessibility of Web Maps in Applications and Websites. *European Research Materials*, 2023. No. 2. Web resource: <https://ojs.publisher.agency/index.php/ERM/article/view/1189> (in Russian).

Monib A. W., Niazi P., Azizi A., Sediqi S., Baseer A. Q. Heavy Metal Contamination in Urban Soils: Health Impacts on Humans and Plants: A Review. *European Journal of Theoretical and Applied Sciences*, 2024. V. 2. No. 1. P. 546–565.

Mostalygina L. V., Elizarova S. N., Kostin A. V. Sorption Capacity of Mosses and Lichens of the Trans-Urals in Relation to Lead Ions. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja (Chemistry of Plant Raw Material)*, 2020. No. 3. P. 315–321 (in Russian).

Spesivtsev D. S., Larin E. G. Design and Development of the Kondinsky Lakes Nature park's Web Map. *InterCarto. InterGIS*. Moscow: Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, 2021. V. 27. Part 2. P. 42–51 (in Russian). DOI: 10.35595/2414-9179-2021-2-27-42-51.

Sukhareva T. A. Elemental Composition of Green Mosses from Background and Technogenically Disturbed Areas. *Proceedings of Petrozavodsk State University*, 2018. No. 3(172). P. 89–96 (in Russian).

Vasilyev A. A., Lobanova E. S. Magnetic and Geochemical Assessment of the Soil Cover of the Urbanized Territories of the Cis-Urals on the Example of the City of Perm: A Monograph. Perm: Perm State Agricultural Academy, 2015. 243 p. (in Russian).

Vodyanitsky Yu. N., Shoba S. A. Magnetic Susceptibility as an Indicator of Heavy Metal Pollution of Urban Soils (Literature Review). *Moscow University Bulletin. Series 17. Soil Science*, 2015. No. 1. P. 13–20 (in Russian).
