

Боброва А.В., Васильев А.А.  
Магнитный биомониторинг состояния окружающей среды в городе Пермь  
.....  
*Электронный научно-производственный журнал*  
**«АгроЭкоИнфо»**  
=====

УДК 574.24

**Магнитный биомониторинг состояния окружающей среды в городе  
Пермь**

*Боброва А.В., Васильев А.А.*

*Пермский ГАТУ*

**Аннотация**

*В статье приведены результаты исследований магнитной восприимчивости мхов-эпифитов на территории Мотовилихинского района г. Перми. Установлено, что эпифиты содержат в своем составе магнитные частицы, большая часть которых представлена магнетитовыми сферами. Показано, что основными компонентами валового химического состава магнитных частиц являются Fe, O, Si, а также Mg, Ca, Ti и тяжелые металлы. Выявлено полиэлементное обогащение магнитных частиц, аккумулированных эпифитами, металлами из группы Fe – Cr, Mn, Co.*

**Ключевые слова:** МАГНИТНЫЙ БИОМОНИТОРИНГ, ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ, МХИ-ЭПИФИТЫ, МАГНИТНЫЕ ЧАСТИЦЫ, СЭМ/ЭДС-АНАЛИЗ, СФЕРУЛЫ МАГНЕТИТА

---

**Введение**

Повышенная концентрация тяжелых металлов в объектах окружающей среды является серьезной экологической проблемой многих промышленных городов [1-9], поэтому одной из актуальных проблем экологии, геоэкологии и геохимии является мониторинг состояния компонентов окружающей среды на урбанизированных территориях. В настоящее время сформировалось перспективное междисциплинарное научное направление – магнетизм окружающей среды [10], суть которого заключается в существовании связи магнитных свойств объектов окружающей среды (почв, мхов, лишайников и др.) и экологических процессов, которые контролируют их. Многочисленными исследованиями была подтверждена корреляция между наличием в

Боброва А.В., Васильев А.А.

Магнитный биомониторинг состояния окружающей среды в городе Пермь

Электронный научно-производственный журнал

«АгроЭкоИнфо»

городских почвах, биологических объектах городов магнитных частиц и содержанием в них тяжелых металлов [4, 11-20].

Магнитные свойства почв и эпифитов определяются содержанием и магнетизмом оксидов и гидроксидов железа в их составе. Основными ионами, несущими магнитные свойства, являются ионы Fe, Mn, Ni и Co в составе магнитных частиц [21-22]. Также показано, что ионы Fe в решётке магнетита могут замещаться под действием высокотемпературных процессов (металлургия, теплоэнергетика, двигатели внутреннего сгорания) на ионы тяжелых металлов [23].

Повышенные концентрации содержания тяжелых металлов в объектах окружающей среды вызваны различными источниками загрязнения: дорожно-транспортная сеть, промышленные предприятия, ТЭЦ и др. Техногенная деятельность образует выбросы в окружающую среду различных минеральных отходов, в которых содержатся, в том числе, и сильномагнитные соединения. Они отличаются высокой дисперсией размера частиц, а также специфическими морфологическими свойствами и токсичностью нано-размерных сферул [4, 11-20, 24].

Город Пермь характеризуется неблагоприятной эколого-геохимической обстановкой, которая сформировалась под влиянием как природных, так и техногенных факторов. Мониторинг экологического состояния атмосферного воздуха в г. Перми проводится на семи стационарных постах государственной наблюдательной сети. Промышленные и транспортные выбросы определены как основные источники частиц, загрязняющих атмосферный воздух г. Перми.

В Мотовилихинском районе города Перми расположена промышленная зона на расстоянии 1 км от центра города, при этом некоторые металлообрабатывающие, машиностроительные и металлургические цеха находятся в непосредственной близости от жилых кварталов.

По многолетним данным (2011-2023 гг.) Мотовилихинский район признан самым загрязненным районом города [25]. Наблюдения за состоянием атмосферного воздуха на территории этого крупного промышленного района города проводятся лишь на одном стационарном посту. В связи с этим становится актуальным поиск новых эффективных методов контроля за состоянием атмосферы на территории г. Перми, в том числе рассмотрение метода биомониторинга с применением мхов-эпифитов.

Использование мхов для мониторинга состояния атмосферного воздуха проводится

Боброва А.В., Васильев А.А.

Магнитный биомониторинг состояния окружающей среды в городе Пермь

Электронный научно-производственный журнал

«АгроЭкоИнфо»

в Европе уже более 30 лет из-за их преимуществ по сравнению с другими более развитыми растениями [26]. Ранее, для оценки осаждения загрязняющих веществ в атмосфере вокруг промышленных объектов были выполнены исследования с использованием мхов в качестве активных и пассивных биоиндикаторов [27].

Исследования показали, что плотный покров поверхностных эпифитных мхов (*Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al., *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Hypnum cupressiforme* Hedw) является эффективной ловушкой металлов и аэрозольных частиц.

На территории Пермского края с 2022 года проводятся биомониторинговые исследования в рамках глобального проекта – программы оценки воздействия загрязнения воздуха на естественную растительность и сельскохозяйственные культуры (ICP Vegetation) [28-29]. В качестве модельных растений выбраны *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. и *Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al. Мхи собраны в 131 точке на территории Пермского края и в 117 точках на территории города Перми. Согласно исследованиям отечественных и зарубежных ученых *Pleurozium schreberi* используется для оценки состояния атмосферного воздуха. Он удобен в качестве биоиндикатора за счет широкого ареала распространения, постоянства нахождения в определенном месте и контакта с загрязняющими компонентами. Талломы этих мхов-эпифитов обладают высокой аккумулярующей способностью загрязняющих веществ [28].

Вместе с тем, состав и свойства магнитных частиц, аккумулярованных мхами-эпифитами на территории г. Пермь, пока остаются практически не изученными, не оценена их геохимическая роль, что и определяет актуальность проведения исследований методами магнетизма окружающей среды.

**Цель работы** – определить роль магнитных частиц в загрязнении талломов мхов-эпифитов для оценки возможности использования магнитного биомониторинга на территории г. Перми (на примере Мотовилихинского административного района).

**Объект исследования** – эпифитный мох, произрастающий на коре стволов тополя (*Populus*) городских посадок.

**Место исследований** – микрорайоны «Рабочий поселок», «Висим» и «Городские горки» в Мотовилихинском районе города Перми (58.018302° с.ш., 56.395344° в.д.) (рис. 1).

Боброва А.В., Васильев А.А.

Магнитный биомониторинг состояния окружающей среды в городе Пермь

*Электронный научно-производственный журнал*  
**«АгроЭкоИнфо»**

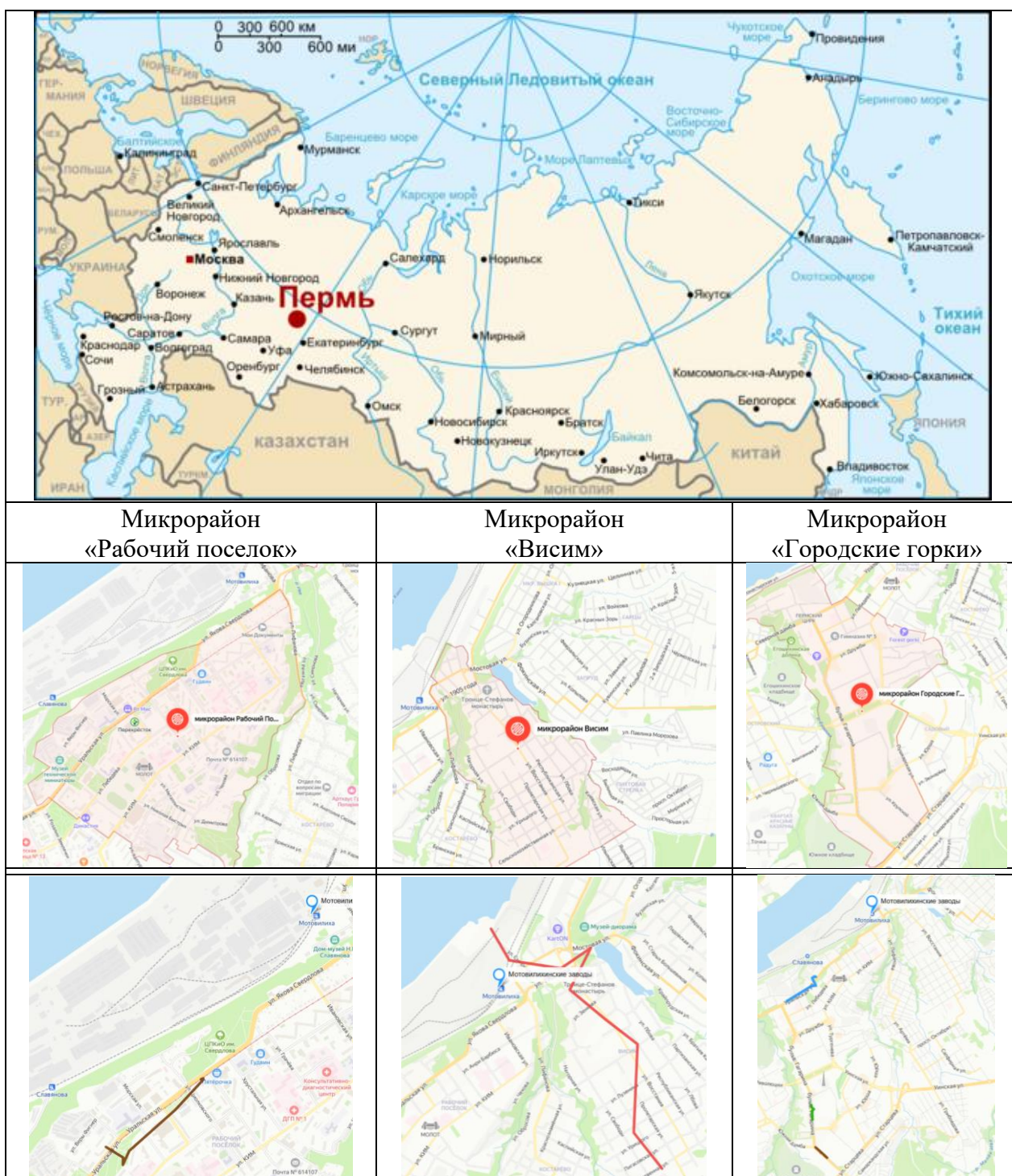


Рис. 1. Расположение микрорайонов исследования и маршрутов отбора образцов мхов-эпифитов

Территория проведения исследований находится в зоне влияния крупных предприятий металлургического и машиностроительного профиля: ПАО «Мотовилихинские заводы», АО «Пермский завод «Машиностроитель», АО

Боброва А.В., Васильев А.А.

Магнитный биомониторинг состояния окружающей среды в городе Пермь

Электронный научно-производственный журнал

«АгроЭкоИнфо»

Металлургический завод «Камасталь» и др. Для района характерно интенсивное транспортное внутрирайонное и транзитное движение: легковой автотранспорт, легкая и среднетоннажная грузовая техника, рельсовый (трамвай) и железнодорожный транспорт.

Климат г. Перми умеренно континентальный, территория города является зоной повышенного потенциала загрязнения атмосферы, так как процессы рассеивания примесей осложняются частыми инверсиями, застойными явлениями, штилями и другими метеорологическими явлениями. Среднегодовая температура и количество осадков в 2023 году составили 4,6 °С и 475 мм, соответственно [25].

### **Отбор образцов**

Образцы мхов-эпифитов отбирались маршрутным методом с поверхности стволов равномерно освещенных деревьев с использованием пластикового ножа и полиэтиленовых перчаток, не содержащих тальк, во избежание магнитного загрязнения. Высота отбора образцов составляла около 1,5 м. Длина вишнево-красных стеблей мхов-эпифитов составляла 5-7 см, тип роста – одиночные подушки в виде рыхлых дерновинок. Всего по шести маршрутам было отобрано 60 объединенных образцов мхов-эпифитов массой по 30-40 г. Каждый объединенный образец составлялся из 3-5 единичных образцов, отобранных с 3-5 деревьев тополя в каждой точке маршрута в соответствии с планом стратифицированной выборки.

Маршруты в микрорайонах «Городские горки» и «Рабочий поселок» охватывали придорожные и внутриворовые территории жилых домов, сквер у КДЦ «Мотовилихинский», сквер у «Дома специалистов», расположенные вдоль основных автомагистралей Мотовилихинского района – ул. Уральская и Бульвар Гагарина. В микрорайоне «Висим» образцы отбирались на улицах с разной интенсивностью движения автотранспорта и на разном удалении от производственных цехов промышленных предприятий района: Смирнова, 1; 1905 года, 47; Пролетарская, 24; Мостовая, 6; Висимская, 25; Восстания, 10; Республиканская, 81; Алексеевская, 86; перекресток ул. Алексеевская и ул. Сельскохозяйственная. Отдельный маршрут охватывал территорию ПКиО «Райский сад».

### **Методы исследований**

Для определения мхов-эпифитов использовались специальные определительные

Боброва А.В., Васильев А.А.

Магнитный биомониторинг состояния окружающей среды в городе Пермь

Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»

таблицы-ключи, построенные по дихотомическому принципу, принятому в большинстве российских ботанических определителей [30].

Образцы эпифитов были высушены в лаборатории при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния и помещены в пластиковые пакеты. Магнитная восприимчивость сухих образцов мхов измерялась прибором КТ-6 фирмы «SATISGEO» (Чехия). Чувствительность прибора –  $1 \times 10^{-5}$  СИ, диапазон измерения –  $0,00-999 \times 10^{-3}$  СИ.

Магнитная сепарация произведена в измельченных вручную до пылевидного состояния образцах эпифитов с магнитной восприимчивостью выше среднего арифметического значения. Использовался постоянный ферритовый магнит и последующая промывка магнитных частиц дистиллированной водой.

Электронно-зондовый микроанализ частиц магнитной фракции эпифитов выполнен методом сканирующей электронной микроскопии и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (СЭМ/ЭДС-метод) на сканирующем электронном микроскопе «Tescan Vega II», оснащенном системой рентгеноспектрального микроанализа INCA Energy 450 с рентгеновским спектрометром INCAx-sight. Диапазон определяемых элементов от Ве до U. Предел обнаружения определяемых элементов – 0,1-0,2 вес.%. Образцы изучены в режиме низкого вакуума при давлении в камере 200 Па и ускоряющем напряжении 20 кВ.

Исследования проведены на базе Геофизической обсерватории «Борок» филиала Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, аналитик – канд. физ.-мат. наук В.А. Цельмович.

Полученные результаты обработаны методами математической статистики с помощью программы Microsoft Excel.

### Результаты исследований и их обсуждение

Изучаемый эпифит был идентифицирован как *Pleurozium Schreberi* (Willd.) Mitt. – мох Шребера – плевроциум (плеуроциум, плевроциум, плеурозий) Шребера [30]. Данный вид мха в Мотовилихинском районе г. Перми распространен на коре деревьев тополя повсеместно и массово.

**Магнитная восприимчивость мхов-эпифитов.** Магнитная восприимчивость эпифитов имеет некоторые отличия по микрорайонам и отдельным территориям изученной части Мотовилихинского района (табл. 1).

Боброва А.В., Васильев А.А.  
 Магнитный биомониторинг состояния окружающей среды в городе Пермь  
 .....  
**Электронный научно-производственный журнал**  
**«АгроЭкоИнфо»**  
 =====

Таблица 1. Статические параметры магнитной восприимчивости ( $10^{-3}$  СИ) мхов-эпифитов

Маршрут	n	$M_{cp} \pm m$	$\sigma$	Lim	V, %	$M_0$	$M_d$
Микрорайон «Городские горки»							
Бульвар Гагарина от пл. Дружбы до Гипермаркета Лента	10	$0,17 \pm 0,02$	0,00	0,09-0,32	13	0,09	0,07
Улица Уральская от Цирка до КДЦ «Мотовилиха»	10	$0,22 \pm 0,03$	0,01	0,11-0,36	13	0,17	0,09
Бульвар Гагарина от Гипермаркета Лента до улицы Старцева	10	$0,22 \pm 0,03$	0,01	0,11-0,42	14	0,23	0,10
В целом по микрорайону	30	$0,20 \pm 0,02$	0,01	0,09-0,42	8	0,18	0,09
Микрорайон «Рабочий поселок»							
Улица Уральская от КДЦ «Мотовилиха» до ТЦ Гудвин	10	$0,39 \pm 0,06$	0,04	0,05-0,76	16	0,42	0,20
Микрорайон «Висим»							
Улицы микрорайона с разной интенсивностью движения транспорта	10	$0,40 \pm 0,10$	0,11	0,10-1,13	26	0,44	0,33
Условно фоновая территория							
ПКиО «Райский сад»	10	$0,15 \pm 0,01$	0,00	0,11-0,22	9	0,11	0,04

Анализ статистических данных показал, что наиболее вероятная величина магнитной восприимчивости ( $M_0$ ) эпифитов на территории Мотовилихинского района составляет:

- микрорайон «Городские горки» –  $0,18 \times 10^{-3}$  СИ;
- микрорайон «Рабочий поселок» –  $0,42 \times 10^{-3}$  СИ;
- микрорайон «Висим» –  $0,44 \times 10^{-3}$  СИ;
- территория ПКиО «Райский сад» –  $0,11 \times 10^{-3}$  СИ.

Средняя арифметическая величина магнитной восприимчивости ( $M_{cp}$ ) составляет:

- микрорайон «Городские горки» –  $0,20 \times 10^{-3}$  СИ;
- микрорайон «Рабочий поселок» –  $0,39 \times 10^{-3}$  СИ;
- микрорайон «Висим» –  $0,40 \times 10^{-3}$  СИ;
- территория ПКиО «Райский сад» –  $0,15 \times 10^{-3}$  СИ.

Показатели величин стандартного отклонения и коэффициента вариации – низкие (территория ПКиО «Райский сад» – 9 %, микрорайон «Рабочий поселок» – 16 %), что свидетельствует об однотипности источников магнитных частиц. Наиболее слабое варьирование показателей магнитной восприимчивости характерно для эпифитов на территории микрорайона «Городские горки» (7 %). Высокая степень вариабельности магнитной восприимчивости эпифитов выявлена на территории микрорайона «Висим» – до

Боброва А.В., Васильев А.А.  
 Магнитный биомониторинг состояния окружающей среды в городе Пермь  
 .....  
**Электронный научно-производственный журнал**  
**«АгроЭкоИнфо»**  
 =====

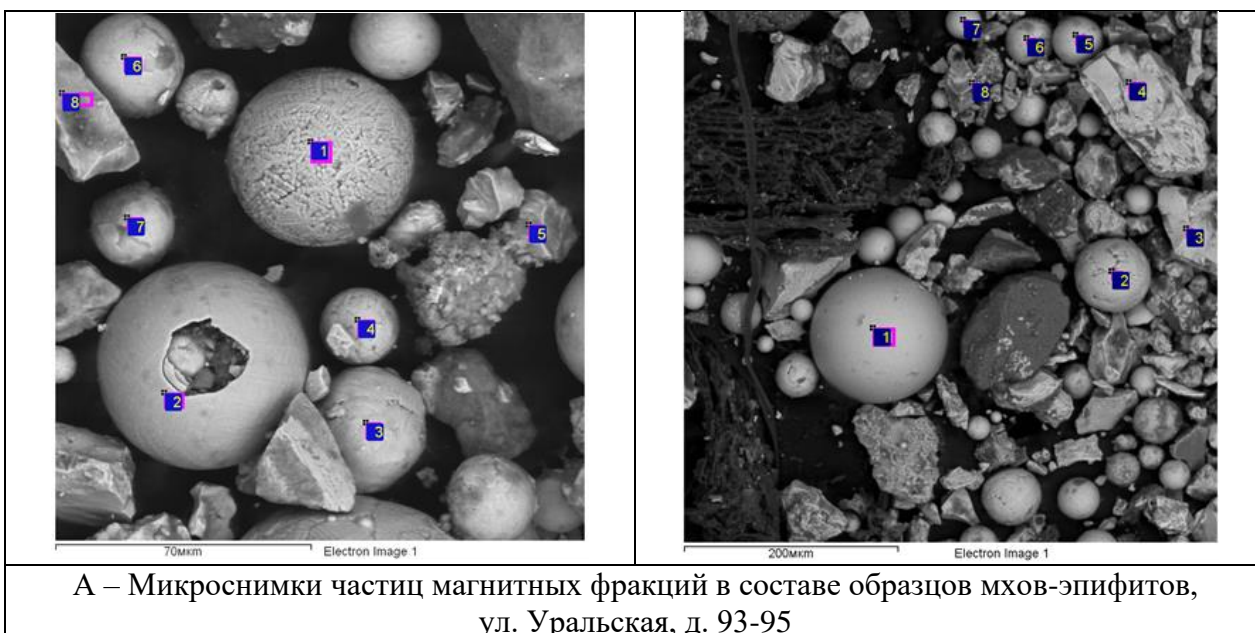
26 %, который наиболее близко расположен к производственным цехам крупных промышленных предприятий Мотовилихинского района.

Средняя арифметическая величина магнитной восприимчивости всей выборки образцов эпифитов в 2,3 раза, а медиана – в 2,2 раза выше, чем значение магнитной восприимчивости эпифитов на стволах деревьев в пределах условно фоновой территории – ПКиО «Райский сад», для которых значение  $M_0$  составляет  $0,11 \times 10^{-3}$  СИ. Для сравнения отметим, что магнитная восприимчивость эпифитов на стволах деревьев скверов на южной окраине г. Пермь в микрорайоне «Бахаревка» составляет всего  $0,01 \times 10^{-3}$  СИ. В чистом виде матрица органических талломов эпифитов диамагнитна, то есть имеет отрицательную магнитную восприимчивость [31].

Проведенные нами исследования магнитной восприимчивости мхов-эпифитов в г. Перми подтвердили данные, полученные ранее зарубежными учеными [11-12, 26, 32-35], которые установили высокую аккумулирующую способность эпифитов по отношению к взвешенным в атмосферном воздухе магнитным частицам.

### СЭМ/ЭДС-анализ частиц магнитной фракции

Магнитные частицы, аккумулированные эпифитами, имеют разнообразную морфологию. Более 50-60% всех магнитных частиц в составе магнитной фракции составляют частицы сферической формы диаметром от 70 до 300 мкм (рис. 2).

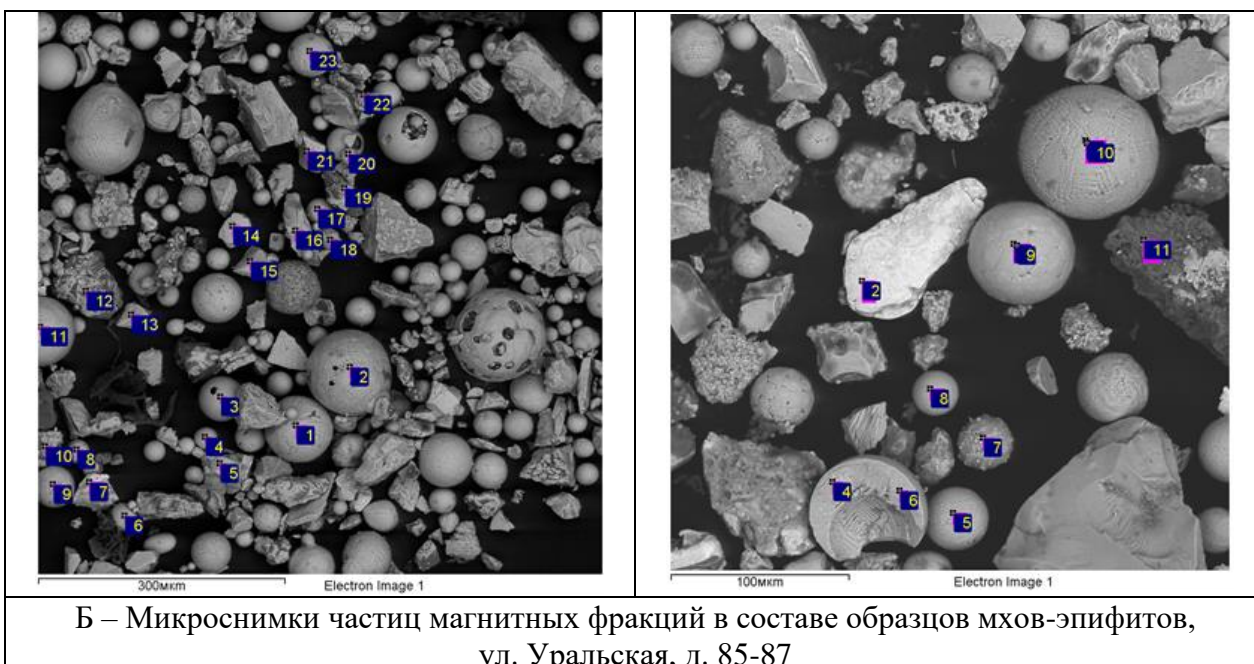




Боброва А.В., Васильев А.А.

Магнитный биомониторинг состояния окружающей среды в городе Пермь

**Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»**



Б – Микроснимки частиц магнитных фракций в составе образцов мхов-эпифитов, ул. Уральская, д. 85-87

Рис. 2. Общий вид частиц магнитных фракций в составе образцов мхов-эпифитов на территории Мотовилихинского района г. Перми

Магнитные частицы сферической формы присутствуют в атмосферном воздухе, почвах, эпифитах [3, 11, 32, 36-38] промышленных городов мира и являются индикаторами антропогенного загрязнения окружающей среды.

Цвет поверхности сферических частиц в отражённых электронах преимущественно светло-серый или серебристый, что указывает на их магнетитовый минералогический состав [39-40]. Сферулы имеют разную степень выветренности. Поверхность сферических частиц представлена различными типами: гладкая, полиморфно-ячеистая клиновидная, бугристо-зернистая или дендритовая (с «эффектом апельсиновой корки»).

Часть сферул имеет каверны, отверстия, газовые полости, которые образуются в газонасыщенной среде при сжигании топлива в двигателе автотранспорта, в процессе функционирования обжиговых и плавильных печей в металлургических цехах.

В обломочных магнитных частицах на сером и темно-сером цветовом фоне, типичном для силикатов, дифференцированы вкрапления светло-серого или серебристого цвета, которые характеризуют присутствие магнетита и его разновидностей (рис. 2).

Встречаемость элементов химического состава магнитных частиц мхов-эпифитов в точках энергодисперсионного анализа представлена в таблице 2.

Боброва А.В., Васильев А.А.

Магнитный биомониторинг состояния окружающей среды в городе Пермь

*Электронный научно-производственный журнал***«АгроЭкоИнфо»**

Таблица 2. Валовой химический состав магнитных частиц, аккумулярованных мхами-эпифитами, по данным СЭМ/ЭДС-анализа, % от массы

Элемент	Количество ЭДС-спектров	Среднее	Медиана	Минимум	Максимум	Число определений в спектрах
Магнитная фракция в составе эпифитов, улица Уральская, д. 93-95 (образец №1)						
O	8	23,98	26,09	1,21	33,83	8
Si	8	1,31	0,74	0,00	3,88	5
Fe	8	72,63	70,99	60,83	98,79	8
Mg	8	0,92	0,00	0,00	4,66	3
Cr	8	1,23	0,41	0,00	5,22	4
Магнитная фракция в составе эпифитов, улица Уральская, д. 93-95 (образец №2)						
O	8	26,37	26,60	21,40	32,34	8
Si	8	0,86	0,76	0,00	1,63	7
Fe	8	70,92	71,97	61,85	75,01	8
Mg	8	0,84	0,59	0,00	2,95	7
Ti	8	0,56	0,40	0,00	1,60	5
Co	8	0,46	0,33	0,00	1,24	4
Магнитная фракция в составе эпифитов, улица Уральская, д. 93-95 (образец №3)						
O	8	20,65	24,30	1,43	32,21	8
Si	8	1,52	1,29	0,00	3,77	7
Fe	8	77,84	72,75	65,32	98,57	8
Магнитная фракция в составе эпифитов, улица Уральская, д. 85-87 (образец №1)						
O	15	19,12	21,67	5,31	25,55	15
Si	15	0,55	0,48	0,00	2,16	10
Fe	15	79,20	77,75	70,73	93,09	15
Cr	15	0,78	0,56	0,00	3,75	11
Ti	15	0,35	0,00	0,00	2,64	4
Магнитная фракция в составе эпифитов, улица Уральская, д. 85-87 (образец №2)						
O	11	24,32	24,51	6,26	45,77	11
Si	11	2,58	0,48	0,00	22,61	7
Fe	11	69,43	74,76	4,79	92,71	11
Mg	11	2,51	0,00	0,00	25,15	5
Ca	11	1,16	0,20	0,00	9,93	6
Магнитная фракция в составе эпифитов, улица Уральская, д. 85-87 (образец №3)						
O	2	22,90	22,90	22,90	22,90	2
Fe	2	72,92	72,92	72,61	73,22	2
Mn	2	2,76	2,76	2,58	2,94	2
Cr	2	1,39	1,39	1,21	1,56	2

Боброва А.В., Васильев А.А.

Магнитный биомониторинг состояния окружающей среды в городе Пермь

**Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»**

Компонентами элементного химического состава магнитных частиц эпилитов являются Fe, O, Si, а также Mg, Ca, Ti. В составе магнитных частиц содержатся тяжелые металлы – Cr, Mn, Co (рис. 3-6).

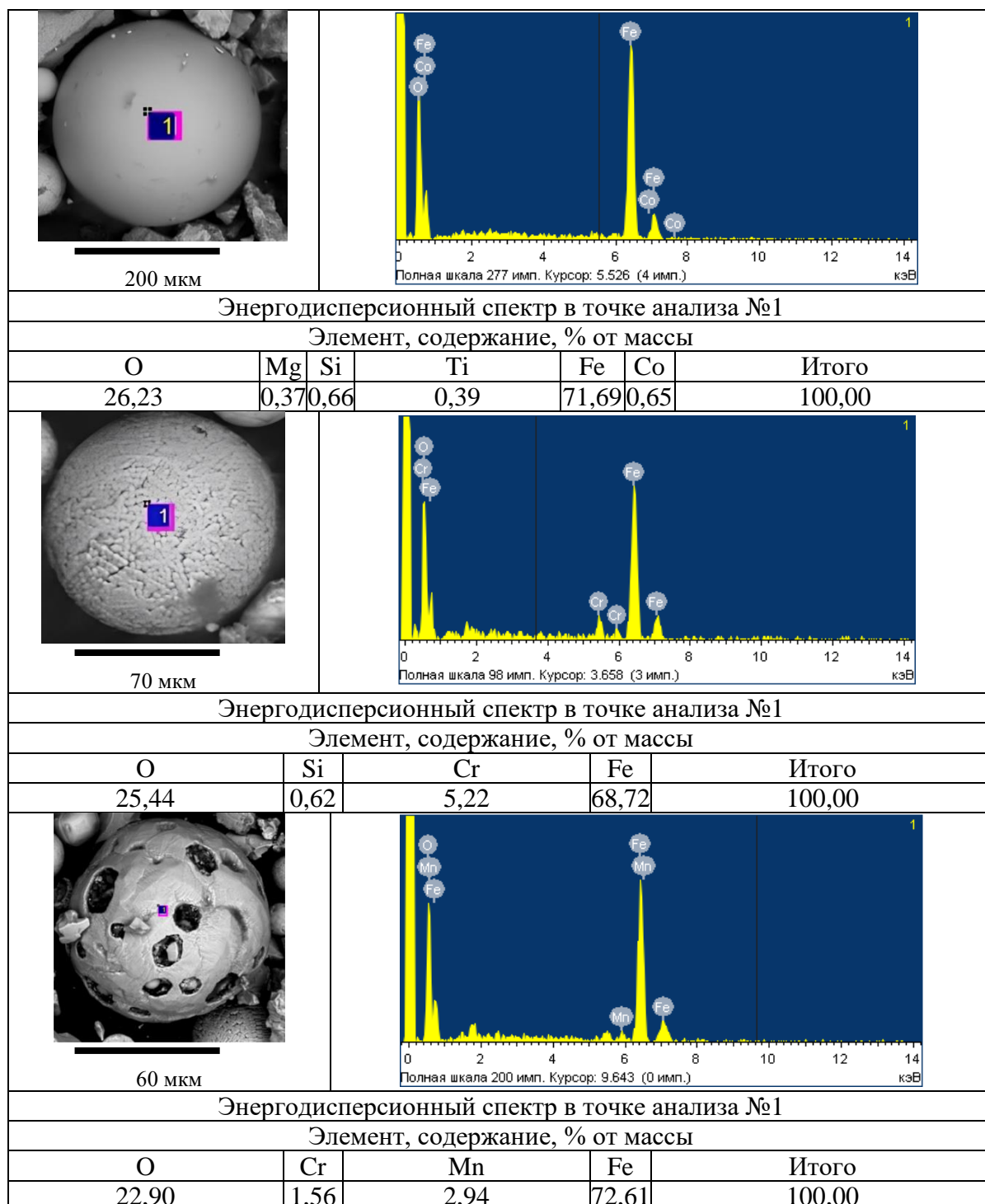


Рис. 3. Микроснимки частиц магнитной фракции в составе эпилитов, валовой химический состав в локальной точке проведения энергодисперсионного анализа

Боброва А.В., Васильев А.А.

Магнитный биомониторинг состояния окружающей среды в городе Пермь

Электронный научно-производственный журнал

«АгроЭкоИнфо»

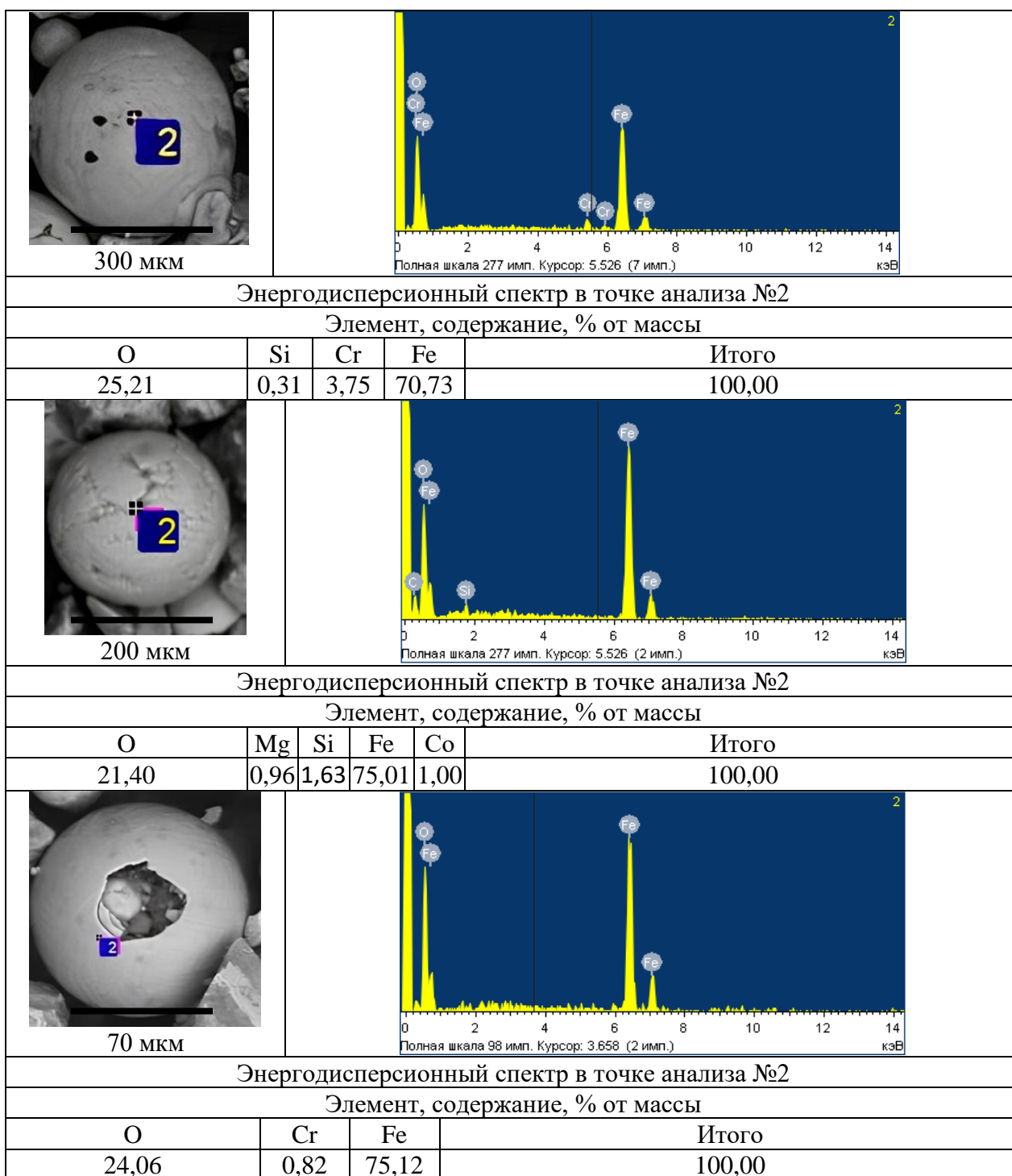


Рис. 4. Микроснимки частиц магнитной фракции в составе эпифитов, валовой химический состав в локальной точке проведения энергодисперсионного анализа

Полиэдрические магнитные частицы обладают разнообразием форм и размеров (рис.

5).

Боброва А.В., Васильев А.А.  
 Магнитный биомониторинг состояния окружающей среды в городе Пермь  
 .....  
**Электронный научно-производственный журнал**  
**«АгроЭкоИнфо»**  
 =====

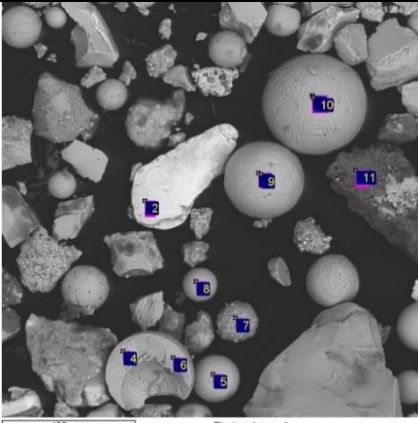
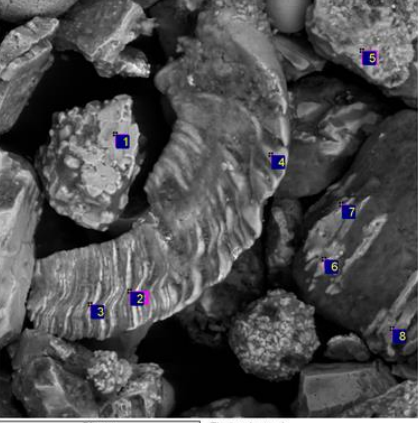
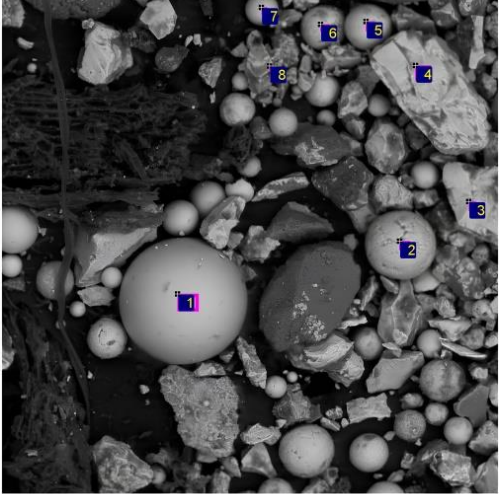
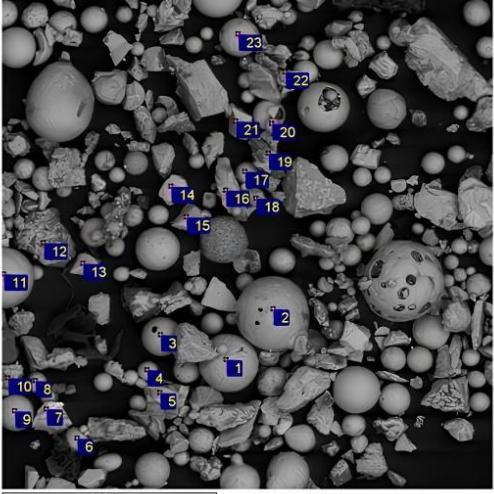
	Элемент	Энергодисперсионный спектр		
		Точка анализа №2	Точка анализа №11	
			Содержание, % от массы	
	O	6,26	45,77	
	Mg	–	25,15	
	Si	1,03	22,61	
Ca	–	1,68		
Fe	92,71	4,79		
Итого	100,00	100,00		
	Элемент	Энергодисперсионный спектр		
		Точка анализа №3	Точка анализа №7	
			Содержание, % от массы	
	O	23,37	1,43	
	Si	3,77	–	
	Fe	72,87	98,57	
Итого	100,00	100,00		

Рис. 5. Микроснимки частиц магнитной фракции в составе эпифитов, валовой химический состав в локальной точке проведения энергодисперсионного анализа

Среди частиц без выраженной сферической формы в магнитной фракции наиболее распространены анизометричные частицы с ровным изломом, гладкой и шероховатой поверхностями (рис. 6).

	
Элемент, содержание, % от массы	

Боброва А.В., Васильев А.А.

Магнитный биомониторинг состояния окружающей среды в городе Пермь

.....  
**Электронный научно-производственный журнал**  
**«АгроЭкоИнфо»**  
 =====

Энергодисперсионный спектр в точке анализа №4						Энергодисперсионный спектр в точке анализа №15				
О	Mg	Si	Ti	Fe	Итого	О	Ti	Cr	Fe	Итого
28,21	0,36	1,30	1,60	68,53	100,00	22,55	2,64	0,32	71,49	100,00

Рис. 6. Микроснимки частиц магнитной фракции в составе эпифитов, валовой химический состав в локальной точке проведения энергодисперсионного анализа

По химическому составу эти частицы железистые, с примесями Cr и Ti, представляют собой низкохромистые и низкотитанистые оксиды железа. Возможными источниками таких частиц могут быть пылевидные частицы промышленной, строительной и дорожно-транспортной пыли.

Результаты проведенных исследований подтвердили высокую аккумулятивную способность эпифитов. Анализ данных состава эпифитов, выполненный ранее в Аргентине и Китае с использованием СЭМ/ЭДС-анализа [10, 32], показал, что в талломах эпифитов на территории промышленных городов этих стран накапливаются как сферические, так и частицы обломочной формы с высоким содержанием железа и потенциально токсичных металлов (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, Mn, Ti) [24].

### Заключение

Магнитная восприимчивость мхов-эпифитов на коре стволов тополей в Мотовилихинском районе г. Перми отражает загрязнение атмосферного воздуха в этом районе города. Восприимчивость эпифитов выше на придорожных территориях улиц с интенсивным движением транспорта и вблизи производственных цехов промышленных предприятий.

Более 50-60 % всех магнитных частиц в составе магнитной фракции, аккумулятивной мхами-эпифитами, составляют магнетитовые частицы сферической формы диаметром от 70 до 300 мкм. Главными компонентами валового химического состава магнитных частиц являются Fe, O, Si, а также Mg, Ca, Ti. В составе магнитных частиц содержатся Ti, Cr, Mn, Co – металлы, характерные для выбросов предприятий черной металлургии и машиностроения.

Магнитный биомониторинг может быть использован на территории г. Перми в качестве дополнительного диагностического признака загрязнения взвешенными частицами атмосферного воздуха.

Боброва А.В., Васильев А.А.  
Магнитный биомониторинг состояния окружающей среды в городе Пермь  
.....  
*Электронный научно-производственный журнал*  
**«АгроЭкоИнфо»**  
=====

**Список использованных источников:**

1. Ананян, А. С. Биомониторинг тяжелых металлов на территории Калининградской области / А. С. Ананян, Ю. В. Королева, Ю. В. Алексеенко // *Международный научно-исследовательский журнал*. – 2020. – № 12-2(102). – С. 25-31. – DOI 10.23670/IRJ.2020.102.12.038.
2. Архипов, Е. А. Оценка загрязнения тяжёлыми металлами и мышьяком почв города Комсомольск-на-Амуре / Е. А. Архипов, А. М. Кошельков, И. В. Гладун // *Экология и промышленность России*. – 2024. – Т. 28, № 6. – С. 42-49. – DOI 10.18412/1816-0395-2024-6-42-49.
3. Боброва, А. В. Состав магнитной фазы почв и эпифитов на территории города Лысьва Пермского края / А. В. Боброва, А. А. Васильев, М. В. Разинский // *Экология урбанизированных территорий*. – 2023. – № 1. – С. 19-26. – DOI 10.24412/1816-1863-2023-1-19-26.
4. Боброва, А. В. Тяжёлые металлы в почвах и мхах-эпифитах Ленинского района г. Ижевск / А. В. Боброва, А. А. Васильев // *АгроЭкоИнфо*. – 2021. – № 4(46). – DOI 10.51419/20214402.
5. Васильева, Т. Н. Оценка состояния урбаноземов по содержанию поллютантов / Т. Н. Васильева, Л. В. Галактионова // *Аграрный вестник Урала*. – 2023. – Т. 23, № 12. – С. 2-11. – DOI 10.32417/1997-4868-2023-23-12-2-11.
6. Загрязнение почв города с машиностроительным производством тяжёлыми металлами и мышьяком и эпидемиологический риск для здоровья населения / А. А. Марцев, О. Г. Селиванов, Ю. Н. Курбатов [и др.] // *Гигиена и санитария*. – 2024. – Т. 103, № 3. – С. 208-215. – DOI 10.47470/0016-9900-2024-103-3-208-215.
7. Ковалева, Д. В. Исследование образцов почв Самарской области для определения катионов тяжелых металлов / Д. В. Ковалева, Я. Е. Одинцова // *Путохинские чтения: Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Кинель, 12 декабря 2023 года*. – Кинель: Самарский государственный аграрный университет, 2024. – С. 108-112.
8. Сычева, Д. Г. Источники, уровни накопления и экологическая опасность тяжелых металлов и металлоидов в почвах и фракции РМ10 г. Северобайкальска / Д. Г. Сычева, Н. Е. Кошелева // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2024. – Т. 335, № 3. – С. 137-153. – DOI 10.18799/24131830/2024/3/4259.
9. Трифонова, Т. А. Тяжёлые металлы в почвах различных функциональных зон урбанизированных территорий: оценка содержания и экологического риска / Т. А. Трифонова, И. Н. Курочкин, Ю. Н. Курбатов // *Теоретическая и прикладная экология*. – 2023. – № 2. – С. 38-46. – DOI 10.25750/1995-4301-2023-2-038-046.
10. Evans, M. E. *Environmental magnetism: principles and applications of enviromagnetics* / M. E. Evans, F. Heller. San Diego: Academic Press. – 2003. – 299 p.

11. A moss species for magnetic biomonitoring the airborne particle pollution / D. C. Marié, L. Martino, M. A.E. Chaparro [et al.] // *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. – 2024. – Vol. 76 (3). P. A040324. DOI 10.18268/BSGM2024v76n3a040324.
12. Atmospheric pollution assessed by in situ measurement of magnetic susceptibility on lichens / D. C. Marié, M. A. E. Chaparro, A. M. Sinito [et al.] // *Ecological Indicators*. – 2018. – Vol. 95. – P. 831-840. – DOI 10.1016/j.ecolind.2018.08.029.
13. Atmospheric pollution history at Linfen (China) uncovered by magnetic and chemical parameters of sediments from a water reservoir / M. Ma, S. Hu, L. Wang [et al.] // *Environmental Pollution*. – 2015. – Vol. 204. – P. 161-172. – DOI 10.1016/j.envpol.2015.04.028.
14. Heavy metal pollution and soil magnetic susceptibility in urban soil of Beni Mellal City (Morocco) / M. El Baghdadi, A. Barakat, S. Nadem, M. Sajieddine // *Environmental Earth Sciences*. – 2012. – Vol. 66, No. 1. – P. 141-155. – DOI 10.1007/s12665-011-1215-5.
15. Magnetic Biomonitoring Using Native Lichens: Spatial Distribution of Traffic-Derived Particles / R. Q. Gómez, M. A. E. Chaparro, M. A. E. Chaparro [et al.] // *Water, Air, & Soil Pollution*. – 2021. – Vol. 232, No. 4. – P. 124. – DOI 10.1007/s11270-021-05047-w.
16. Magnetic Properties and Heavy-metal Contents of Contaminated Seabed Sediments of Penny's Bay, Hong Kong / L. S. Chan, S. L. Ng, A. M. Davis [et al.] // *Marine Pollution Bulletin*. – 2001. – Vol. 42, No. 7. – P. 569-583.
17. Pre- and post-monsoon variations in the magnetic susceptibilities of soils of Mumbai metropolitan region: Implications to surface redistribution of urban soils loaded with anthropogenic particulates / S. S. Gudadhe, S. J. Sangode, D. C. Meshram [et al.] // *Environmental Earth Sciences*. – 2012. – Vol. 67, No. 3. – P. 813-831. – DOI 10.1007/s12665-012-1528-z.
18. Водяницкий, Ю. Н. Использование магнитной восприимчивости для экспрессной оценки загрязнения городских почв тяжелыми металлами / Ю. Н. Водяницкий, А. Т. Савичев // *Геохимия ландшафтов (к 100-летию А.И. Перельмана): Доклады Всероссийской научной конференции, Москва, 18–20 октября 2016 года*. – Москва: Географический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, 2016. – С. 24-27.
19. Водяницкий, Ю. Н. Магнитная восприимчивость как индикатор загрязнения тяжелыми металлами городских почв (обзор литературы) / Ю. Н. Водяницкий, С. А. Шоба // *Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение*. – 2015. – № 1. – С. 13-20.
20. Постолова, М. Е. Применение коэффициента магнитности для оценки степени привноса техногенных магнитных частиц в городские почвы Центрального района г. Санкт-Петербурга / М. Е. Постолова, Е. М. Нестеров // *Геология, геоэкология, эволюционная география: Труды Международного семинара, Санкт-Петербург, 15–16 декабря 2017 года. Том XVI*. – Санкт-Петербург: Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, 2017. – С. 172-175.
21. Васильев, А. А. Железо и тяжелые металлы в аллювиальных почвах Среднего Предуралья / А. А. Васильев, А. В. Романова; Пермская государственная



сельскохозяйственная академия имени академика Д.Н. Прянишникова. – Пермь: ИПЦ Прокрость, 2014. – 231 с.

22. Изучение различных форм соединений железа и их роль в процессе почвообразования / В. Ф. Бабанин, А. В. Филатов, В. О. Бойченко [и др.] // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2017. – Т. 60, № 7. – С. 91-96. – DOI 10.6060/tcct.2017607.5443.

23. Водяницкий, Ю. Н. Соединения железа и их роль в охране почв. - Российская академ. с.-х. наук, Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева. – Москва: Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева Россельхозакадемии, 2010. – 282 с.

24. Chaudhuri, S. Global ambient air quality monitoring: Can mosses help? A systematic meta-analysis of literature about passive moss biomonitoring / S. Chaudhuri, M. Roy // Environment, Development and Sustainability. – 2024. – Vol. 26, No. 3. – P. 5735-5773. – DOI 10.1007/s10668-023-03043-0.

25. Министерство природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Пермского края: офиц. сайт. Пермь. URL: [https://prioda.permkrai.ru/](https://priroda.permkrai.ru/) (дата обращения: 21.12.2024).

26. Magnetic properties of terrestrial moss (*Hylocomium splendens*) along a north-south profile crossing the city of Oslo, Norway / K. Fabian, C. Reimann, S. A. Mcenroe, B. Willemoes-Wissing // The Science of the Total Environment. – 2011. – Vol. 409, No. 11. – P. 2252-2260. – DOI 10.1016/j.scitotenv.2011.02.018.

27. Calasans, C. F. Elemental mercury contamination survey in a chlor-alkali plant by the use of transplanted Spanish moss, *Tillandsia usneoides* (L.) / C. F. Calasans, O. Malm // The Science of the Total Environment. – 1997. – Vol. 208, No. 3. – P. 165-177.

28. Гатина, Е. Л. К реализации биомониторинга атмосферных выпадений тяжелых металлов и других токсичных элементов в Пермском крае / Е. Л. Гатина, Д. В. Трясцын, А. А. Шарипова // Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды: Материалы всероссийской научной конференции молодых ученых, посвященной памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка, Пермь, 20–21 апреля 2023 года / Под редакцией С.А. Бузмакова. – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2023. – С. 276-278.

29. Киршина, А. В. Тяжелые металлы во мхах-биомониторах и в почвах на территории городов / А. В. Киршина // Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды: Материалы Всероссийской научной конференции молодых ученых, посвященной памяти Г.А. Воронова, Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка, Пермь, 25–27 апреля 2024 года. – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2024. – С. 488-490.

30. Краткий определитель мохообразных Подмосковья: к 100-летию Звенигородской биостанции МГУ: учебное пособие / Е. А. Игнатова [и др.]; с цв. фот. О. В. Иванова; Московский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, Биологический фак. – Москва: Товарищество науч. изд. КМК, 2011. – 320 с.

31. Dearing, J. Environmental Magnetic Susceptibility. Using the Bartington MS2 System / J. Dearing. Chi Publishing, Kenilworth. – 1999. – 43 p.

32. Biomonitoring of urban air pollution: Magnetic studies and SEM observations of corticolous foliose and microfoliose lichens and their suitability for magnetic monitoring / M. A. E. Chaparro, J. M. Lavernia, A. M. Sinito // Environmental Pollution. – 2013. – Vol. 172. – P. 61-69. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.08.006>.

33. Chaparro, M. A. E. Airborne particle accumulation and loss in pollution-tolerant lichens and its magnetic quantification / M. A. E. Chaparro // Environmental Pollution. – 2021. – Vol. 288. – P. 117807. – DOI 10.1016/j.envpol.2021.117807.

34. Magnetic properties and element concentrations in lichens exposed to airborne pollutants released during cement production / L. Paoli, A. Winkler, A. Guttová [et al.] // Environmental Science and Pollution Research. – 2017. – Vol. 24, No. 13. – P. 12063-12080. – DOI 10.1007/s11356-016-6203-6.

35. Salo, H. Magnetic biomonitoring by moss bags for industry-derived air pollution in SW Finland / H. Salo, J. Mäkinen // Atmospheric Environment. – 2014. – Vol. 97. – P. 19-27. – DOI 10.1016/j.atmosenv.2014.08.003.

36. Vasiliev, A. Technogenic magnetic particles in soils and ecological–geochemical assessment of the soil cover of an industrial city in the Ural, Russia / A. Vasiliev, S. Gorokhova, M. Razinsky // Geosciences (Switzerland). – 2020. – Vol. 10, No. 11. – P. 1-34. – DOI 10.3390/geosciences10110443.

37. Васильев, А. А. Тяжелые металлы в почвах города Чусового: оценка и диагностика загрязнения: монография / А. А. Васильев, А. Н. Чащин, А. А. Васильев, А. Н. Чащин. - М-во сельского хоз-ва Российской Федерации, Пермская гос. с.-х. акад. им. Д. Н. Прянишникова. – Пермь: ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2011. – 188 с.

38. Макаров, А. Б. Магнитные сферулы из почв вблизи шлакового отвала Нижнетагильского металлургического комбината / А. Б. Макаров, Б. М. Осовецкий, И. А. Антонова // Известия Уральского государственного горного университета. – 2017. – № 4(48). – С. 42-45. – DOI 10.21440/2307-2091-2017-4-42-45.

39. Глухов, М. С. Магнитные микросферы в импактитах и осадочных породах / М. С. Глухов, Р. Х. Сунгатуллин, В. А. Цельмович // Минералы: строение, свойства, методы исследования. – 2019. – № 10. – С. 62-64.

40. Цельмович, В. А. Микроструктура и состав частиц самородного железа космического происхождения / В. А. Цельмович, Л. П. Максе // Труды Всероссийского ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии: Материалы семинара, Москва, 14–15 апреля 2020 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Ленина и ордена Октябрьской революции Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук, 2020. – С. 278-281.

Боброва А.В., Васильев А.А.

Магнитный биомониторинг состояния окружающей среды в городе Пермь

.....  
*Электронный научно-производственный журнал*  
**«АгроЭкоИнфо»**  
=====

**Цитирование:**

Боброва А.В., Васильев А.А. Магнитный биомониторинг состояния окружающей среды в городе Пермь [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2025. – № 1. – Режим доступа: [http://agroecoinfo.ru/STATYI/2025/1/st\\_101.pdf](http://agroecoinfo.ru/STATYI/2025/1/st_101.pdf) DOI: <https://doi.org/10.51419/202151101>.