

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

УДК 631.4;574.56

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МАГНИТНОЙ ФАЗЫ ПОЧВ ЮЖНОЙ ТАЙГИ ПЕРМСКОГО КРАЯ

С. М. Горохова, аспирант; **М. В. Разинский**, аспирант;
А. А. Васильев, канд. с.-х. наук, доцент,
ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ,
ул. Петропавловская, 23, г. Пермь, Россия, 614990
E-mail: gorohova.s@hotmail.com

Аннотация. С целью совершенствования системы почвенного мониторинга сельскохозяйственных угодий с использованием методов экологического магнетизма изучали особенности минералогии и элементного состава магнитной фазы дерново-подзолистых почв агроландшафтов южной тайги Пермского края. Методом сухого фракционирования с использованием постоянного ферритового магнита выделена магнитная фаза почв из немагнитной матрицы мелкозема. Электронно-зондовый микроанализ магнитной фазы выполнен на аналитическом комплексе «TescanVegaII». Прямым экспериментальным путем определен элементный химический и минералогический состав частиц магнитной фазы. Установлено, что минералы магнитной фазы почв являются локальными внутрипрофильными геохимическими аномалиями. Выявлена приоритетная роль хрома, никеля, цинка среди элементов-примесей в химическом составе магнитной фракции мелкозема почв. В магнитной фазе присутствуют минералы железа высокотемпературного генезиса, которые могут иметь вулканогенное, космогенное и техногенное происхождение. Полученные данные подтверждают целесообразность использования методов экологического магнетизма для совершенствования мониторинга почвенного покрова агроландшафтов региона.

Ключевые слова: экологический магнетизм, дерново-подзолистые почвы, магнитные минералы железа, тяжёлые металлы, Пермский край.

Введение. Экологический магнетизм – это исследование магнетизма почв, горных пород и минералов, к которым относятся магнитные свойства магнитных минералов и изменения в их концентрации, размеров зерна или формы зерна [3–5, 17, 23, 30, 37, 38]. Основной принцип экологического магнетизма предполагает связь магнитных свойств минеральных ассоциаций с экологическими процессами, которые контролируют их. Железосодержащие минералы чувствительны ко многим экологическим процессам, что делает анализ магнитных минералов чрезвычайно полезным при изучении почвообразовательных процессов и контроле загрязнения окружающей среды [1, 8]. Экологический магнетизм является междисциплинарным предметом, который объединяет исследования по широкому кругу вопросов в области как наук о Земле, так и в областях физики, химии, биологии, почвоведения и экологии [1, 23]. В экологическом магнетизме для оценки элементного химического состава и концентрации оксидов железа широко используются немаг-

нитные методы, например, сканирующая электронная микроскопия (SEM) [12, 36]. Установлено, что техногенные частицы в почвах накапливаются в форме сферул, их минералогические и геохимические исследования были проведены по всему миру [19, 25, 35, 41, 43]. Детальное изучение минералогии и химии почвенных техногенных сферул металлургического генезиса выполнили канадские ученые [20, 21, 24, 26–29, 32, 39, 40, 42]. Серьезной экологической проблемой Пермского края является повышенная концентрация тяжёлых металлов во всех компонентах окружающей среды, в том числе в почвах [8–10, 16, 18]. В городских почвах Пермского края минералогия и химия магнитных частиц хорошо изучены [14, 15], установлена их роль в аккумуляции тяжёлых металлов. Магнитные частицы в почвах агроландшафтов Предуралья остаются практически не изученными. В связи с этим актуально изучить минералогию и элементный состав магнитной фазы дерново-подзолистых почв, которые преобладают в структуре почвенного покрова агроландшафтов Пермского края.

Цель исследования – охарактеризовать особенности минералогии и элементного состава магнитной фазы дерново-подзолистых почв агроландшафтов южной тайги Пермского края для совершенствования системы почвенного мониторинга сельскохозяйственных угодий с использованием методов экологического магнетизма.

Методика. Объектами исследования были дерново-подзолистые тяжелосуглинистые почвы агроландшафтов южной тайги Пермского края из Карагайского р-на (д. Ния), и микрорайона Бахаревка на южной окраине г. Перми. Местоположение, морфология и основные физико-химические свойства почв были определены и охарактеризованы ранее [1, 4]. Магнитная фаза была выделена из мелкозёма почв методом сухого фракционирования с использованием постоянного ферритового магнита. Электронно-зондовый микроанализ магнитной фазы выполнен физиком-аналитиком, канд. физ.-мат. наук В.А. Цельмовичем на аналитическом комплексе

«TescanVegaII» в Геофизической обсерватории «Борок» Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН.

Результаты. В магнитной фазе мелкозема дерново-подзолистых почв Карагайского района были выявлены разнообразные по форме и минералогическому составу микрочастицы (рис. 1, 2). Магнитные микрочастицы дерново-подзолистых почв относятся, в основном, к минералам группы железа: магнетит, титаномагнетит, ильменит, интерметаллиды железа, а также в их составе выявлены тэнит, силицид железа – редкие для почв минералы.

Частицы магнетита характеризуется острыми ребрами, ровными гранями, текстура зернистая (рис. 1А), характерна и сферическая форма магнетита (рис. 2А). Микрочастица тэнита имеет сферическую форму с неровной поверхностью (рис. 1В). Размер частицы 0,001 мм. Тэнит или сплав железа и никеля образуется в три этапа: 1 – нагревание исходных соединений до 2000°С, 2 – гомогенизация смеси, 3 – резкое остывание до 900°С [34]. Такие условия формирования минерала могут свидетельствовать о его космогенном или вулканогенном происхождении. Накопление магнетиков в почвах Предуралья связывают с литогенной обогащенностью почв рудными минералами [1, 7, 11, 13]. Кроме того, в почвы Пермского края магнетит, тэнит и интерметаллические сплавы железа (рис. 2В) могут поступать в результате трансграничного переноса техногенных частиц в составе выбросов промышленных предприятий Урала и других промышленных регионов Европы. Выявить различия между техногенными и литогенными магнитными частицами сложно, поэтому целесообразно повышенную концентрацию элементов группы железа в высокомагнитных почвах агроландшафтов Среднего Предуралья объяснять природно-техногенными факторами загрязнения.

Слабомагнитный минерал монацит относится к классу фосфатов, содержит редкоземельные элементы цериевой группы (рис. 1С). Микрочастица монацита имеет окатанную форму, поверхность частицы монацита изрезана абразивными бороздками. Размер частицы 0,01 мм.

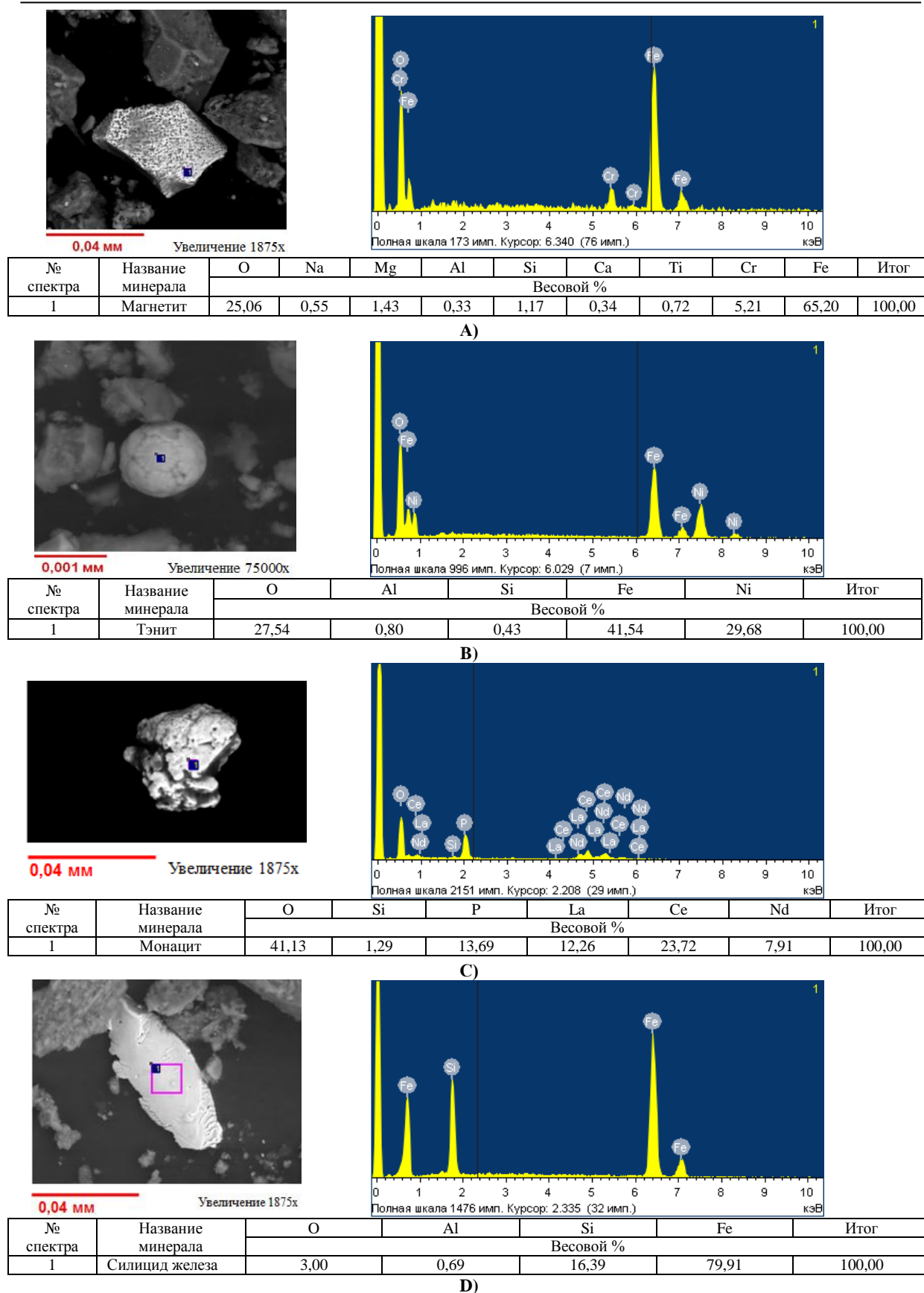


Рис. 1. Микроснимки, энергодисперсионные спектры и химический состав частиц магнитной фазы дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы: А) магнетит, В) тэнит, С) монацит, D) силицид железа (д. Ния, Карагайский район, разр. 2, Апах, 0-10 см)

Микрочастица силицида железа имеет характерный раковистый излом (рис. 1D). Сплав железа и кремния образуется при температуре около 1700° С. Это возможно при остывании

магмы вулканов, при выпадении на Землю частиц космической пыли или металлургической обработке рудного сырья [22, 31, 33].

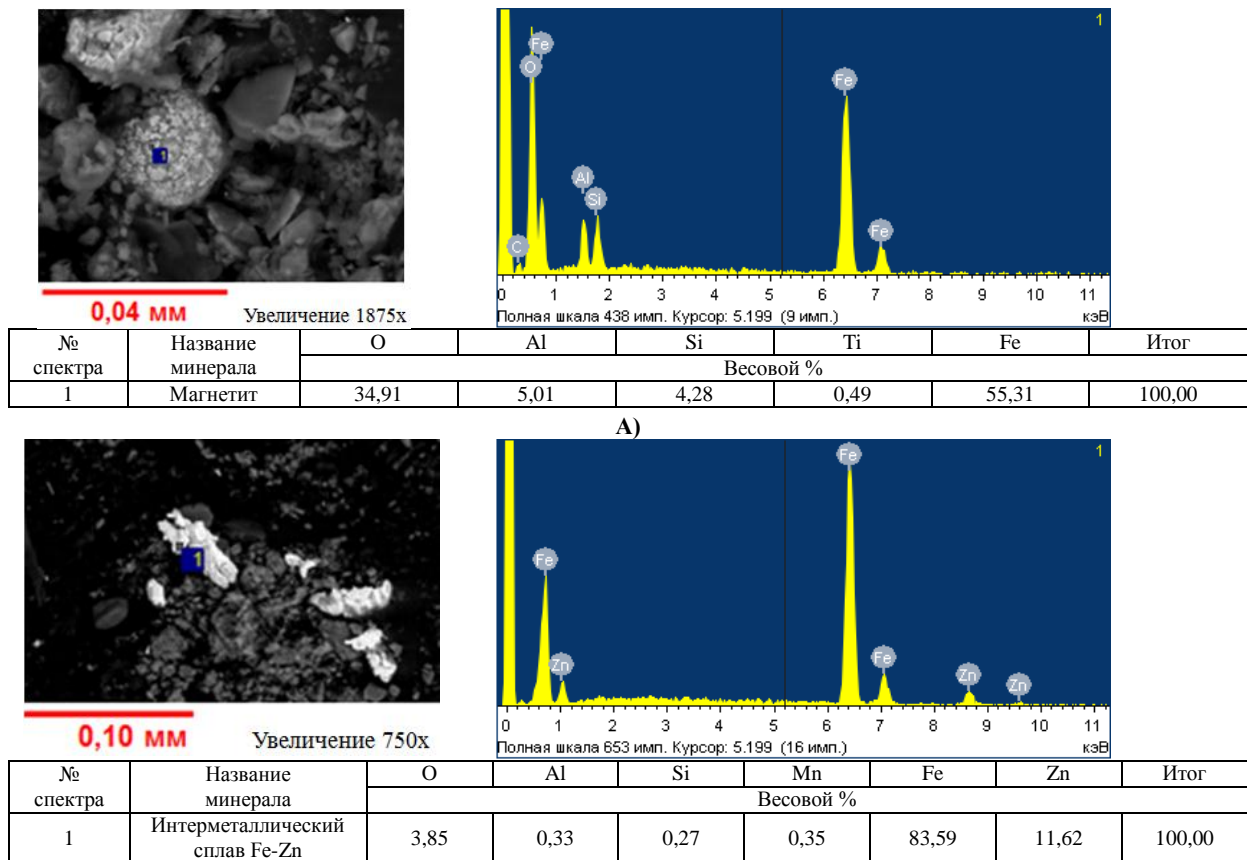
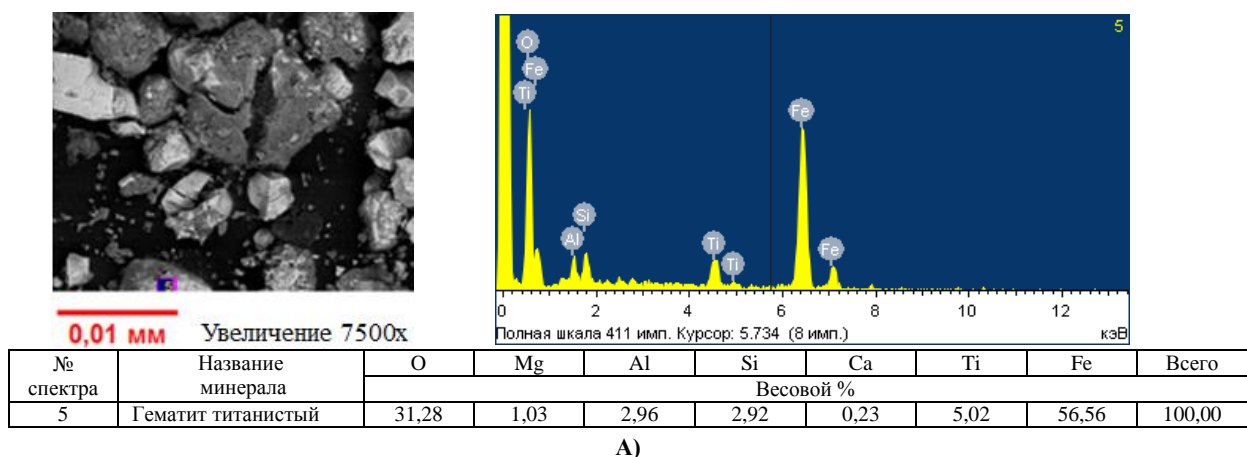


Рис. 2. Микроснимки, энергодисперсионные спектры и химический состав магнитной фазы дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы: А) магнетит, В) интерметаллический сплав Fe-Zn (д. Ния, Карагайский район, разр. 30, А пах, слой 0-20 см)

Микрочастица титанистого гематита из мелкозёма пахотной дерново-подзолистой почвы в микрорайоне Бахаревка г. Перми имеет неправильную форму, неровную поверхность и содержит 5% Ti. Размер составляет около 0,07 мм в видимой части микросним-

ка (рис. 3А) Частицы вюститита и титанистого магнетита имеют обломочную форму (рис. 3В, 3С), размер соответственно 0,017 мм и 0,037 мм. Частица вюститита имеет ноздреватую поверхность, обусловленную процессами выветривания.



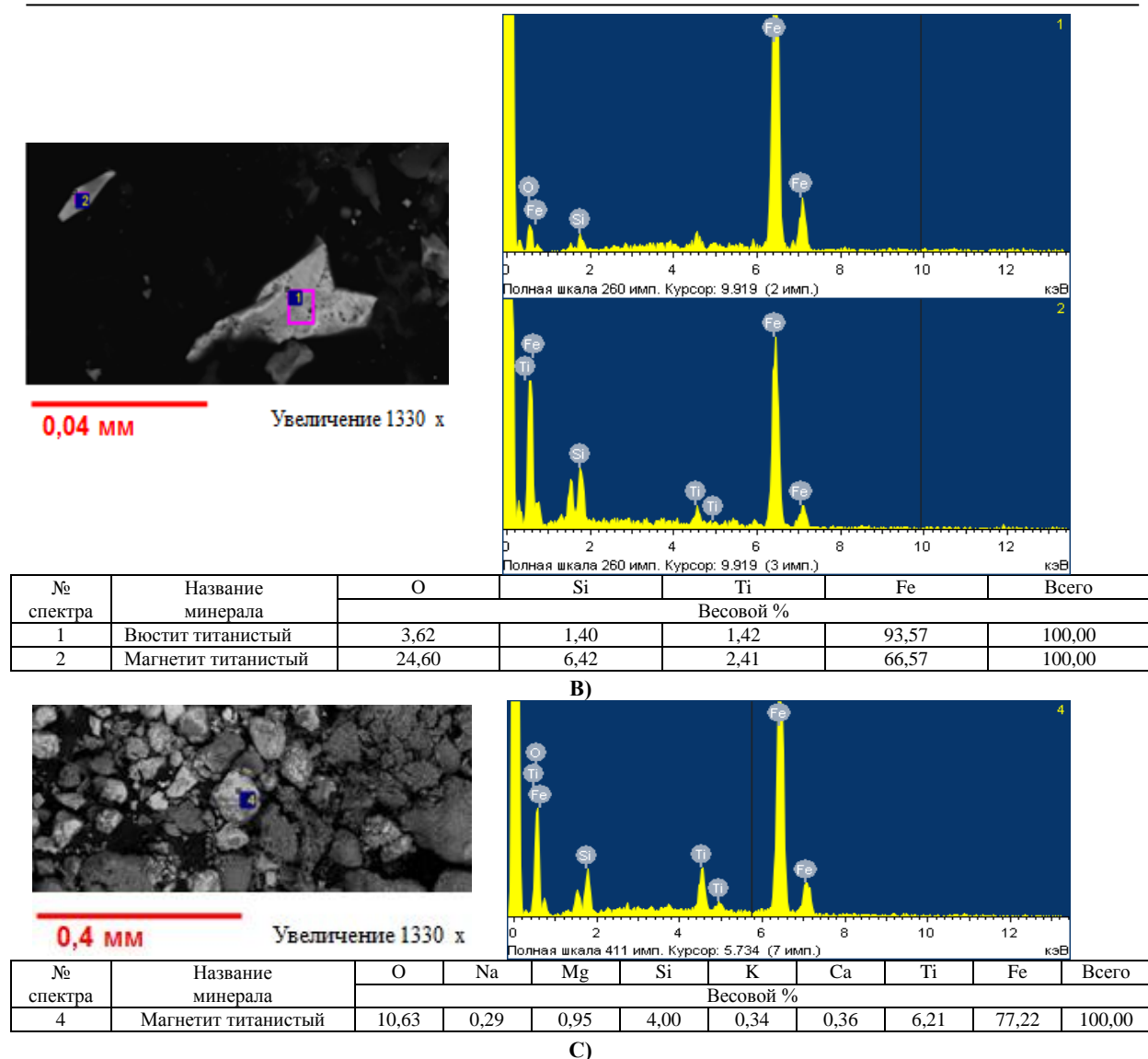


Рис. 3. Микроснимки, энергодисперсионные спектры и химический состав магнитной фазы дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы: А) гематит титанистый, В) вюстит (1), магнетит титанистый (2); С) магнетит титанистый кобальтозамещенный (микрорайон Бахаревка г. Перми, разр. 3, слой 0–10 см)

Магнитные частицы хромита, магнетита, тениита, интерметаллических сплавов являются потенциальными источниками никеля, хрома и других тяжелых металлов, которые при изменении физико-химических условий почвообразования могут поступать в почвенные растворы и представлять угрозу для биоты и гидросферы.

Выводы. Природное обогащение тяжелыми металлами литогенных магнитных частиц дерново-подзолистых почв может сочетаться с загрязнением почв тяжелыми металлами в составе техногенных магнитных частиц. Микролокальная концентрация потен-

циально опасных химических элементов в составе магнетита, хромита, интерметаллических сплавов дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почв на покровных элювиально-делювиальных и древнеаллювиальных отложениях Среднего Предуралья достигает очень высоких значений. В системе мониторинга почвенного покрова агроландшафтов Пермского края целесообразно вместе с традиционным элементным химическим анализом почв использовать методы экологического магнетизма: магнитную восприимчивость и сканирующую электронную микроскопию в сочетании с энергодисперсионным анализом.

Литература

1. Бабанин В. Ф., Трухин В. И., Карпачевский Л. О. Магнетизм почв. М.-Ярославль, 1995. 222 с.
2. Васильев А. А. Гидрологический режим, свойства и диагностика дерново-подзолистых поверхностно-оглеенных почв на покровных отложениях Предуралья : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 1994. 22 с.
3. Водяницкий Ю. Н. Природные и техногенные соединения тяжелых металлов в почвах // Почвоведение. 2014. № 4. С. 1–13.
4. Гилев В. Ю. Оксидогенез и редуктогенез в почвах на элювии и делювии пермских глин среднего Предуралья : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2007. 23 с.
5. Диаманетики [Электронный источник] Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/442009> (дата обращения 08.06.17).
6. Загурский А. М. Специфика микростроения и генезиса магнитных соединений железа в почвах : автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2008. 28 с.
7. Ковриго В. П. Почвы Удмуртской Республики. Ижевск : РИО Ижевская ГСХА. 2004. 490 с.
8. Копылов И. С. Литогеохимические закономерности пространственного распределения микроэлементов на Западном Урале и Приуралье // Вестник Пермского университета. Геология. 2012. № 2 (15). С. 16–34.
9. Копылов И. С. Гидрогеохимические аномальные зоны Западного Урала и Приуралья // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2012. № 12. С. 145–149.
10. Копылов И. С. Особенности геохимических полей и литогеохимические аномальные зоны Западного Урала и Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. 2011. № 1 (10). С. 26–37.
11. Лунев Б. С., Наумова О. Б., Болотов А. А. Медистые песчаники пермского края – комплексное полезное ископаемое // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2011. № 11. С. 43–47.
12. Наноматериалы и нанотехнологии / В. М. Анищик [и др.]. Минск: Изд. центр БГУ, 2008. 375 с.
13. Осовецкий Б. М. Меньшикова Е. А. Природно-техногенные осадки. Пермь : Перм. ун-т, 2006. 208 с.
14. Разинский М. В., Гетте Е. А., Васильев А. А. Валовое содержание тяжелых металлов в разномагнитных почвах города Губаха Пермского края // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Пермь. 2014. С. 316–319.
15. Разинский М. В., Чашин А. Н., Васильев А. А. Микрозондовая диагностика магнитных частиц в почвах г. Чусового Пермского края // Молодежная наука 2014: технологии, инновации. Пермь. 2014. С. 323–326.
16. Романова А. В. Оксидогенез железа и марганца и тяжелые металлы в аллювиальных почвах южной тайги Среднего Предуралья : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Уфа, 2012. 25 с.
17. Сагаев Э. Ф. Режимы и оксидогенез почв на древнеаллювиальных отложениях Средне-Камской низменной равнины : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2005. 22 с.
18. Харун Л. И., Май И. В. Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2014 году». Пермь. 2013. 232 с.
19. Banic C. et al. The physical and chemical evolution of aerosols in smelter and power plant plumes: an airborne study // *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*. 2006. V. 6. № 2–3. P. 111–120.
20. Bril H. et al. Secondary phases from the alteration of a pile of zinc-smelting slag as indicators of environmental conditions: an example from Swiętochłowice, Upper Silesia, Poland // *The Canadian Mineralogist*. 2008. V. 46. № 5. P. 1235–1248.
21. Connolly H. C., Hewins R. H. Chondrules as products of dust collisions with totally molten droplets within a dust-rich nebular environment: An experimental investigation // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1995. V. 59. № 15. P. 3231–3246.
22. Essene E. J., Fisher D. C. Lightning strike fusion: Extreme reduction and metal-silicate liquid immiscibility // *Science*. 1986. № 234(4773). P. 189–193.
23. Evans M. E., Heller F. *Environmental Magnetism: Principles and Applications of Enviromagnetics* // Academic Press. 2003. V. 86. 299 p., doi:10.1002/jqs.858.
24. Gregurek D. et al. Mineralogy and mineral chemistry of snow filter residues in the vicinity of the nickel-copper processing industry, Kola Peninsula, NW Russia // *Mineralogy and petrology*. 1999. V. 65. № 1–2. P. 87–111.
25. Gregurek D., Reimann C., Stumpfl E. F. Mineralogical fingerprints of industrial emissions-an example from Ni mining and smelting on the Kola Peninsula, NW Russia // *Science of the total environment*. 1998. V. 221. № 2. P. 189–200.
26. Knight R. D., Henderson P. J. Characterization of smelter dust from the mineral fraction of humus collected around Rouyn-Noranda, Quebec // *Metals in the Environment around Smelters at Rouyn-Noranda, Quebec, and Belledune, New Brunswick: Results and Conclusions of the GSC-MITE Point Sources Project. Bulletin*. 2005. 584 p.
27. Knight R. D., Henderson P. J. Smelter dust in humus around Rouyn-Noranda, Quebec // *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*. 2006. V. 6. № 2-3. P. 203-214.
28. Lanteigne S. et al. Mineralogy and weathering of smelter-derived spherical particles in soils: implications for the mobility of Ni and Cu in the surficial environment // *Water, Air, & Soil Pollution*. 2012. V. 223. № 7. P. 3619–3641.
29. Lanteigne S., Schindler M., McDonald A. Distribution of metals and metalloids in smelter-derived particulate matter in soils and mineralogical insights into their retention and release in a low-T environment // *The Canadian Mineralogist*. 2014. V. 52. № 3. P. 453–471.
30. Liu Q.S. et al. Environmental magnetism: principles and applications // *Reviews of Geophysics*. 2012. V. 50. № 4. RG4002, doi:10.1029/2012RG000393.
31. Mahesh A. et al. Space weathering on airless planetary bodies: clues from the lunar mineral hapekte // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2004. № 101 (18). V. 6847–6851.
32. McCammon C. Messbauer spectroscopy of minerals // *Mineral physics & crystallography: A handbook of physical constants*. 1995. V. 332–347.
33. Pechersky D. M. Metallic iron and nickel in Cretaceous and Cenozoic sediments: the results of thermomagnetic analysis // *J. Environ. Prot*. 2010. V. 1. № 2. P. 143–154.
34. Rowan L. R., Ahrens T. J. Observations of impact-induced molten metal-silicate partitioning // *Earth and Planetary Science Letters*. 1994. № 122 (1–2). P. 71–88.

35. Savard M. M., Bonham-Carter G. F., Banic C. M. A geoscientific perspective on airborne smelter emissions of metals in the environment: an overview // *Geochemistry: Exploration, environment, analysis*. 2006. V. 6. № 2–3. P. 99–109.
36. Scanning electronmicroscopy (SEM) [Электронный ресурс] Режим доступа URL: http://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/SEM.html (дата обращения 01.04.2017).
37. Thompson R. et al. Environmental Application of Magnetic Measurement // *Science*. 1980. V. 207. № 4430. P. 481–486.
38. Thompson R., Oldfield F. *Environmental magnetism*. London: Allen and Unwin. 1986. 227 p.
39. Vítková M. et al. Primary and secondary phases in copper-cobalt smelting slags from the Copperbelt Province, Zambia // *Mineralogical Magazine*. 2010. V. 74. № 4. P. 581–600.
40. Voytiuk Y. et al. Влияние деятельности предприятий чёрной металлургии на содержание и формы нахождения тяжёлых металлов в объектах окружающей среды // *Мінералогічний журнал*. 2011. V. 33. № 3. P. 77–83.
41. Wong H. K. T. et al. In-stack and in-plume characterization of particulate metals emitted from a copper smelter // *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*. 2006. T. 6. P. 131–137.
42. Wren C. Risk assessment and environmental management: A case study in Sudbury, Ontario, Canada. *Maraltes*. 2012. P. 450.
43. Zdanowicz C. M. et al. Metal emissions from a Cu smelter, Rouyn-Noranda, Quebec: characterization of particles sampled in air and snow // *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*. 2006. V. 6. P. 147–162.

MINERALOGICAL AND CHEMICAL FEATURES OF MAGNETIC PHASE OF SOILS OF SOUTH TAIGA OF PERMSKII KRAI

S. M. Gorokhova, Post-Graduate Student

M. V. Razinsky, Post-Graduate Student

A. A. Vasiliev, Cand. Agr. Sci., Associate Professor

Perm State Agro-Technological University

23, Petropavlovskaya St., Perm, 614990 Russia

E-mail: gorohova.s@hotmail.com

ABSTRACT

With a view to improving the system for monitoring soil farmland using methods of environmental magnetism the authors studied features of mineralogy and elemental composition of magnetic phase of soddy-podzolic soils in Southern Taiga's agrolandscapes of Perm Krai. By method of dry fractionation using permanent ferrite magnet, magnetic soil phase was selected from non-magnetic matrix of fine soil. Electron probe microanalysis of magnetic phase was made by the use of the analytical complex «TescanVegaII». Direct experiment determined cell chemical and mineralogical compositions of magnetic particle phase. It was found that magnetic minerals in soil phase are local inter-profile geochemical anomalies. The priority role of chromium, nickel, and zinc in the composition of impurity elements in the magnetic fraction of fine soil was established. Minerals of iron of high-temperature genesis are present in the magnetic phase of agrolandscape soils. The obtained data confirms the expediency of using the methods of ecological magnetism for improving monitoring of the soil cover of the agrolandscapes of the region.

Key words: ecological magnetism, sod-podzolic soils, magnetic iron minerals, heavy metals, Permskii Krai.

References

1. Nanomaterialy i nanotekhnologii (Nanomaterials and nanotechnologies), Anishchik V. M. [i dr.], Minsk, Izd. tsentr BGU, 2008, 375 p.
2. Babanin V. F., Trukhin V. I., Karpachevskii L. O. *Magnetizm pochv (Magnetism of soils)*, Moscow -Yaroslavl', YaGTU, 1995, 222 p.
3. Vasil'ev A. A. *Gidrologicheskii rezhim, svoistva i diagnostika dornovo-podzolistykh poverkhnostno-ogleennykh pochv na pokrovnykh otlozheniyakh Predural'ya (Hydrological regime, properties and diagnostics of sod-podzolic superficial-gley soils on the cover sediments of the Urals)*, avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk, Moscow, 1994, 22 p.
4. Vodyanitskii Yu. N. *Prirodnye i tekhnogennye soedineniya tyazhelykh metallov v pochvakh (Natural and technogenic compounds of heavy metals in soils)*, *Pochvovedenie*, 2014, No. 4, pp. 1–13.
5. Gilev V. Yu. *Oksidogenez i reduktogenez v pochvakh na elyuvii i delyuvii permskikh glin srednego Predural'ya (Oxidogenesis and reductogenesis in soils on eluvium and deluvium of Permian clays of the Middle Urals)*, avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk, Moscow, 2007, 23 p.
6. *Diamagnetiki (Diamagnetics)* [Электронный источник] Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/442009> (дата обращения 08.06.17).
7. Zagurskii A. M. *Spetsifika mikrostroeniya i genezisa magnitnykh soedinenii zheleza v pochvakh (Specificity of microstructure and genesis of magnetic compounds of iron in soils)*, avtoref. dis. ... kand. biol. nauk, Moscow, 2008, 28 p.

8. Kovrigo V. P. Pochvy Udmurtskoi Respubliki (Soil of the Udmurt Republic), Izhevsk, RIO Izhevskaya GSKhA, 2004 490 s.
9. Kopylov I. S. Litogeokhimicheskie zakonomernosti prostranstvennogo raspredeleniya mikroelementov na Zapadnom Urale i Priural'e (Lithochemical regularities of the spatial distribution of microelements in the Western Urals and the Urals), Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya, 2012. No. 2 (15). pp. 16–34.
10. Kopylov I. S. Gidrogeokhimicheskie anomal'nye zony Zapadnogo Urala i Priural'ya (Hydrogeochemical anomalous zones of the Western Urals and the Urals), Geologiya i poleznye iskopaemye Zapadnogo Urala. 2012, No. 12, pp. 145–149.
11. Kopylov I. S. Osobennosti geokhimicheskikh polei i litogeokhimicheskie anomal'nye zony Zapadnogo Urala i Priural'ya (Features of geochemical fields and lithochemical anomalous zones of the Western Urals and Urals), Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya, 2011, No. 1 (10), pp. 26–37.
12. Lunev B. S., Naumova O. B., Bolotov A. A. Medistye peschaniki permskogo kraja – kompleksnoe poleznoe iskopaemoe (Copper sandstones of the Perm region are a complex mineral), Geologiya i poleznye iskopaemye Zapadnogo Urala, 2011, No. 11, pp. 43–47.
13. Osovetskii B. M. Men'shikova E. A. Prirodno-tekhnogennye osadki (Natural and technogenic precipitation), Perm', Perm university, 2006, 208 p.
14. Razinskii M. V., Gette E. A., Vasil'ev A. A. Valovoe sodержanie tyazhelykh metallov v raznomagnitnykh pochvakh goroda Gubakha Permskogo kraja (The gross content of heavy metals in the mixed soil of the city of Gubakha in Perm region), Molodezhnaya nauka 2014: tekhnologii, innovatsii. Perm', 2014. pp. 316–319.
15. Razinskii M. V., Chashchin A. N., Vasil'ev A. A. Mikrozonodovaya diagnostika magnitnykh chastits v pochvakh g. Chusovogo Permskogo kraja (Microprobe diagnostics of magnetic particles in the soils of city Chusovoy Perm region), Molodezhnaya nauka 2014: tekhnologii, innovatsii, Perm', 2014, pp. 323–326.
16. Romanova A. V. Oksidogenez zheleza i margantsa i tyazhelye metally v allyuvial'nykh pochvakh yuzhnoi taigi Srednego Predural'ya (Oxygenogenesis of iron and manganese and heavy metals in alluvial soils of the southern taiga of the Middle Urals), avtoref. dis. ... kand. biol. nauk, Ufa, 2012, 25 p.
17. Sataev E. F. Rezhimy i oksidogenez pochv na drevneallyuvial'nykh otlozheniyakh Sredne-Kamskoi nizmennoi ravniny (Regimes and oxidation of soils on ancient alluvial sediments of the Middle Kamsky lowland plain), avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk, Moscow, 2005, 22 p.
18. Kharun L. I., Mai I. V. Doklad "O sostoyanii i ob khrane okruzhayushchei sredy Permskogo kraja v 2014 godu" (Report on the state and protection of the environment of Perm region in 2014 year), Perm', 2013, 232 p.
19. Banic C. et al. The physical and chemical evolution of aerosols in smelter and power plant plumes: an airborne study, Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, 2006, V. 6, No. 2-3. pp. 111–120.
20. Bril H. et al. Secondary phases from the alteration of a pile of zinc-smelting slag as indicators of environmental conditions: an example from Swiętochłowice, Upper Silesia, Poland, The Canadian Mineralogist, 2008, V. 46, No. 5, pp. 1235–1248.
21. Connolly H. C., Hewins R. H. Chondrules as products of dust collisions with totally molten droplets within a dust-rich nebular environment: An experimental investigation, Geochim. Cosmochim. Acta, 1995, V. 59. No. 15. pp. 3231–3246.
22. Essene E. J., Fisher D. C. Lightning strike fusion: Extreme reduction and metal-silicate liquid immiscibility, Science, 1986, No. 234(4773), pp. 189–193.
23. Evans M. E., Heller F. Environmental Magnetism: Principles and Applications of Enviromagnetics, Academic Press, 2003, V. 86, 299 p., doi:10.1002/jqs.858.
24. Gregurek D. et al. Mineralogy and mineral chemistry of snow filter residues in the vicinity of the nickel-copper processing industry, Kola Peninsula, NW Russia, Mineralogy and petrology, 1999, V. 65, No. 1-2. pp. 87–111.
25. Gregurek D., Reimann C., Stumpfl E. F. Mineralogical fingerprints of industrial emissions-an example from Ni mining and smelting on the Kola Peninsula, NW Russia, Science of the total environment, 1998, V. 221, No. 2. pp. 189–200.
26. Knight R. D., Henderson P. J. Characterization of smelter dust from the mineral fraction of humus collected around Rouyn-Noranda, Quebec, Metals in the Environment around Smelters at Rouyn-Noranda, Quebec, and Belledune, New Brunswick: Results and Conclusions of the GSC-MITE Point Sources Project. Bulletin, 2005, 584 p.
27. Knight R. D., Henderson P.J. Smelter dust in humus around Rouyn-Noranda, Quebec, Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, 2006, V. 6, No. 2-3, pp. 203–214.
28. Lanteigne S. et al. Mineralogy and weathering of smelter-derived spherical particles in soils: implications for the mobility of Ni and Cu in the surficial environment, Water, Air, & Soil Pollution, 2012, V. 223, No. 7, pp. 3619–3641.
29. Lanteigne S., Schindler M., McDonald A. Distribution of metals and metalloids in smelter-derived particulate matter in soils and mineralogical insights into their retention and release in a low-T environment, The Canadian Mineralogist, 2014, V. 52, No. 3, pp. 453–471.
30. Liu Q. S. et al. Environmental magnetism: principles and applications, Reviews of Geophysics, 2012, V. 50, No. 4. RG4002, doi:10.1029/2012RG000393.
31. Mahesh A. et al. Space weathering on airless planetary bodies: clues from the lunar mineral hapkeite, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2004, No. 101 (18), pp. 6847–6851.
32. McCammon C. Messbauer spectroscopy of minerals, Mineral physics & crystallography: A handbook of physical constants, 1995, pp. 332–347.
33. Pechersky D. M. Metallic iron and nickel in Cretaceous and Cenozoic sediments: the results of thermomagnetic analysis, J. Environ. Prot, 2010, V. 1, No. 2, pp. 143–154.

34. Rowan L. R., Ahrens T. J. Observations of impact-induced molten metal-silicate partitioning, *Earth and Planetary Science Letters*, 1994, No. 122 (1-2), pp. 71–88.
35. Savard M. M., Bonham-Carter G. F., Banic C. M. A geoscientific perspective on airborne smelter emissions of metals in the environment: an overview, *Geochemistry: Exploration, environment, analysis*, 2006, V. 6, No. 2-3, pp. 99–109.
36. Scanning electronmicroscopy (SEM) [Электронный ресурс] http://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/SEM.html (дата обращения 01.04.2017).
37. Thompson R. et al. Environmental Application of Magnetic Measurement, *Science*, 1980, V. 207, No. 4430, pp. 481–486.
38. Thompson R., Oldfield F. *Environmental magnetism*, London, Allen and Unwin, 1986, 227 p.
39. Vítková M. et al. Primary and secondary phases in copper-cobalt smelting slags from the Copperbelt Province, Zambia, *Mineralogical Magazine*, 2010, V. 74, No. 4, pp. 581–600.
40. Voytiuk Y. et al. Влияние деятельности предприятий чёрной металлургии на содержание и формы нахождения тяжёлых металлов в объектах окружающей среды, *Мінералогічний журнал*, 2011, V. 33, No. 3, pp. 77-83.
41. Wong H. K. T. et al. In-stack and in-plume characterization of particulate metals emitted from a copper smelter, *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 2006, V. 6, pp. 131–137.
42. Wren C. Risk assessment and environmental management: A case study in Sudbury, Ontario, Canada, *Maraltes*, 2012, 450 p.
43. Zdanowicz C. M. et al. Metal emissions from a Cu smelter, Rouyn-Noranda, Quebec: characterization of particles sampled in air and snow, *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 2006, V. 6, pp. 147–162.

УДК 631.524.84:631.53.01:634.24(470.53)

СЕМЕННАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ЧЕРЕМУХИ ОБЫКНОВЕННОЙ И ЧЕРЕМУХИ МААКА В УСЛОВИЯХ ПЕРМИ И ЧУСОВОГО

Н. Л. Колясникова, д-р биол. наук, профессор; **В. А. Романцова**,
ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ,
ул. Петропавловская, 23, г. Пермь, Россия, 614990
E-mail: Kolyasnikova@list.ru

Аннотация. Материал для исследований был собран с модельных деревьев *Padus avium* Mill., *Padus maackii* Rupr., произрастающих в г. Перми и Чусовом. Изучали фертильность пыльцы ацетокарминовым методом. Семенную продуктивность определяли по 10 модельным деревьям. Вели подсчет потенциальной и реальной семенной продуктивности на учетную единицу. В качестве учетной единицы взято по 10 годичных побегов с каждого дерева черемухи. Дана характеристика пыльцевых зерен двух видов черемухи. Фертильность пыльцы оказалась достаточно высока для успешного опыления. Она варьировала от 63,9 до 73,2% – у черемухи обыкновенной и от 74,6 до 81,5% – у черемухи Маака. Реальная семенная продуктивность обоих исследованных нами видов черемухи оказалась низкой, коэффициент продуктивности составил 14–34%, что связано, по-видимому, с неблагоприятными погодными условиями лета 2017 года в сравнении с многолетними данными.

Ключевые слова: черемуха обыкновенная, черемуха Маака, фертильность пыльцы, потенциальная, реальная семенная продуктивность.

Введение. Черемуха обыкновенная и черемуха Маака являются ценными декоративными растениями. Они перспективны для озеленения городов. Черемуха Маака – ветроустойчива, морозостойка, хорошо переносит стрижку, асфальтовое покрытие, мало подвергается нападению вредителей, хороший медо-

нос. Черемуха обыкновенная – лекарственное медоносное растение, теневынослива, чувствительна к поздневесенним заморозкам, не устойчива к вредителям [7, 12, 13].

Семенная продуктивность – один из важнейших показателей адаптации вида в конкретных условиях обитания. Различают по-