

УДК 550.42

## СРАВНИТЕЛЬНО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В АНОМАЛЬНЫХ ЗОНАХ ПОЧВ СЕВЕРОДВИНСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА

**Зыкова Е.Н., Зыков С.Б., Яковлев Е.Ю., Ларионов Н.С.**

*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики  
им. академика Н.П. Лаврова РАН, Архангельск, e-mail: elenazy@yandex.ru*

Целью исследования является сравнительно-временной анализ содержания тяжелых металлов (ТМ) в аномальных зонах почв Северодвинского промышленного района (СПР). Задачи работы: изучение изменения содержания ТМ в аномальных зонах почв СПР за десятилетний период времени, сравнение полученных аналитических данных и характеристика экологической ситуации, сложившейся в исследуемом районе. В 2007 г. первым автором были проведены масштабные исследования, направленные на изучение эколого-геохимического состояния почв СПР. В результате этих исследований было выявлено интегральное геохимическое аномальное поле. В 2017 г. было проведено повторное опробование почв этой аномальной зоны, сделан сравнительный анализ данных, по результатам которых и написана данная работа. Всего в рамках данной работы было отобрано и проанализировано 11 проб почв, точки отбора проб (их координаты) дублируют таковые, отобранные в 2007 г. По каждой точке отбора построены гистограммы, в которых отображены значения содержания наиболее токсичных элементов, относящихся к I и II классам опасности. Проведен сравнительный анализ значений элементов, полученных в разные годы отбора проб. Для выполнения исследований был использован метод атомно-абсорбционной спектрометрии, позволяющий определять валовое содержание ТМ в почвах. В результате данного исследования были выявлены изменения содержания ТМ в почвах аномальной зоны СПР. Установлена общая тенденция уменьшения значений содержания многих элементов, что говорит о некотором улучшении экологической ситуации в исследуемом районе за последние десять лет. Исключение составляет содержание титана, почти во всех точках отбора отмечается сильный рост его значений.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, почвы, геоэкология, экологический мониторинг, атомно-абсорбционная спектрометрия, аномальные зоны, классы опасности загрязняющих веществ

## COMPARATIVE-TIME ANALYSIS OF HEAVY METAL CONTENT IN ANOMALOUS ZONES IN SOILS OF THE SEVERODVINSK INDUSTRIAL AREA

**Zykova E.N., Zikov S.B., Yakovlev E.Yu., Larionov N.S.**

*Federal Centre for Integrated Arctic Research named after N.P. Laverov RAS, Archangelsk,  
e-mail: elenazy@yandex.ru*

The purpose of the study was a comparative analysis of the content of heavy metals (HM) in anomalous soil zones of the Severodvinsk industrial region (SIR). The objectives of the work were: to study the change in the content of HM in abnormal soil zones (SIR) over a ten-year period of time, to compare the analytical data obtained and to characterize the ecological situation in the area under study. In 2007, the first author carried out large-scale studies aimed at studying the ecological and geochemical state of soil SIR. As a result of these studies, an integral geochemical anomalous field was identified. In 2017, repeated testing of the soils of this anomalous zone was carried out, a comparative analysis of the data based on the results was made, and this work was written. In total, 11 soil samples were taken and analyzed in the framework of this work, sampling points (their coordinates) duplicate those sampled in 2007. For each selection point, histograms are constructed in which the values of the contents of the most toxic elements belonging to Class I and II are displayed. A comparative analysis of the values of elements obtained in different years of sampling was carried out. To perform the research, the method of atomic absorption spectrometry was used, which makes it possible to determine the total content of HM in soils. As a result of this study, changes in the content of HM in the soils of the anomalous zone of the SIR were revealed. A general tendency has been found to reduce the content of many elements, indicating that there has been some improvement in the ecological situation in the area over the last ten years. The exception is the content of titanium, almost all points of selection there is a strong increase in its values.

**Keywords:** heavy metals, soils, geo-ecology, ecological monitoring, atomic absorption spectrometry, anomalous zones, hazard classes of pollutants

Целью настоящего исследования является сравнительно-временной анализ содержания тяжелых металлов в почвах аномальных зон Северодвинского промышленного района. Научная новизна исследования заключается в изучении изменения со временем содержания тяжелых металлов в почвах уже ранее выявленных аномальных зон исследуемого района, для мониторинга

экологической ситуации. Необходимость мониторинга обоснована сильным воздействием предприятий военно-промышленного и энергетического комплексов города Северодвинска на окружающую среду исследуемого района. Особенно актуальна оценка экологической ситуации пригородной части города, где расположены дачи горожан и места сбора ягод и грибов.

### Материалы и методы исследования

Объектом исследований являются почвы аномальных зон Северодвинского промышленного района, расположенные в пригородной части на расстоянии 5–10 км от города. Важными аргументами в пользу их выбора следует считать то, что эти почвы являются наиболее подверженными техногенному воздействию и менее исследованными по сравнению с городскими почвами. Так как город Северодвинск расположен на берегу Белого моря, то для исследуемой территории характерен атмосферный перенос антропогенных тяжелых металлов на территории, расположенные южнее города [1].

Исследуемые почвы представлены двумя подтипами: болотными переходными торфяно-глеевыми и глееподзолистыми (суглинками). Болотные переходные торфяно-глеевые почвы формируются из болотных низинных почв при потере верхними горизонтами связи с минеральными грунтовыми водами. Торф чаще всего коричневого или темно-коричневого цвета, среднеразложившийся с хорошо заметными остатками растений. Степень разложения торфа до 25%, мощность органогенного горизонта 30–50 см. Характерными признаками глееподзолистых почв являются оглеение верхней части профиля, отсутствие выраженного гумусо-

вого горизонта. Мощность почвенного профиля достигает 80–100 см. Формируются эти почвы под северотаежными хвойными еловыми лесами с мохово-кустарниковым покровом, на породах преимущественно суглинистого состава. Исследовался верхний почвенный горизонт (10 см). В болотных переходных торфяно-глеевых почвах отбирался верхний слой торфа, в глееподзолистых почвах – подзолистый горизонт.

В 2007 г. первым автором были проведены масштабные исследования, направленные на изучение эколого-геохимического состояния почв СПР. В результате этих исследований было выявлено, что в исследуемых почвах происходит накопление элементов первого (Pb, Zn) и второго классов опасности (Cr, Ni, Mo, Cu) в концентрациях, превышающих ПДК [2].

В мае 2017 г. провели повторное опробование этих же почв. Аналитические исследования проводились методом атомно-абсорбционной спектрометрии (ААС). На рис. 1 показаны точки отбора проб. Выбор точек отбора обоснован расположением эколого-геохимических аномалий выявленных в 2007 г. (результаты исследований отражены в кандидатской диссертации [2]). Точки отбора проб в 2017 г. совпадают с точками отбора в 2007 г. Сделано это с целью проведения мониторинга загрязнения почв тяжелыми металлами.

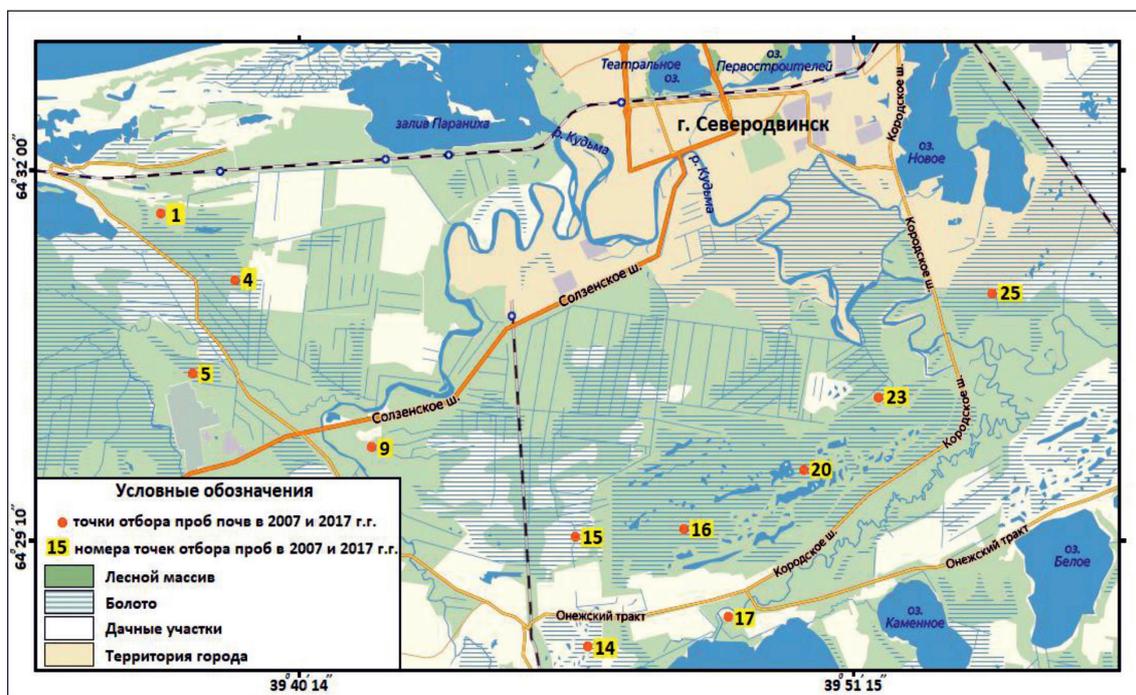


Рис. 1. Карта отбора проб почв на территории Северодвинского промышленного района

Точки с номерами 1, 4, 5, 9, 17 относятся к глееподзолиственному подтипу почв. Точки с номерами 14, 15, 16, 20, 23, 25 относятся к болотному переходному торфяно-глеевому подтипу почв (рис. 1).

В данной статье проведен анализ изменения значений тяжелых металлов в почвах с помощью построения гистограмм (рис. 2). На гистограммах синим цветом показаны значения валового содержания тяжелых металлов (мг/кг) в 2007 г., а красным в 2017 г. При изучении фоновых территорий исследуемые пробы характеризуются невысокими околочларковыми концентрациями. Для глееподзолистых типов почв фоновыми считались значения элементов менее 6 мг/кг, а для болотных переходных типов почв менее 2 мг/кг.

### Результаты исследования и их обсуждение

*Титан* не отнесен ни к вредным, ни к необходимым для жизнедеятельности организмов элементам. Однако предполагается, с одной стороны, его воздействие как биологического стимулятора, а с другой – как канцерогена, хотя точных данных не приводится.

Скачкообразный рост значений титана отмечается по 10 точкам отбора. Значения этого элемента колеблются от 70 до 858 мг/кг в 2017 г., тогда как в 2007 г. значения варьировали от 8 до 100 мг/кг. Биологическое действие титана на животных и человека изучено недостаточно, и он считается для них инертным металлом.

Техногеохимия *Ti* специально не изучалась. Совсем недавно он относился к металлам незначительного промышленного использования. В промышленности особенно крупные объемы *Ti* поступают на предприятия черной металлургии, огнеупоров, катализаторов, на ТЭЦ, а также на производства: лакокрасочные, эмалевые, химические, текстильные, стекольные, пластмассовые и др. Поскольку титан отнесен к элементам, не участвующим в техногенезе, его поведение в промышленных отходах с экологической позиции не изучается. Однако техногенная миграция его в настоящее время весьма интенсивна. Масштабы техногенной миграции этого металла увеличились, золы некоторых ТЭЦ и шлаки ряда металлургических предприятий содержат до 10% и более  $TiO_2$ . Титан почти не изучен экологически. Минерально-геохимический цикл преимущественно связан с эндогенными процессами [3]. Предположительно

высокие значения титана в почвах в 2017 г. связаны с масштабной утилизацией подводных лодок с титановыми корпусами на судоремонтном предприятии «Звездочка», проводимой в последние годы.

*Свинец* относится к элементам первого класса опасности. Главный загрязнитель окружающей среды свинцом – автотранспорт. Кроме главного источника загрязнения почв – выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания, большой вклад вносят металлургия, энергетика. Среди отраслей наиболее неблагоприятных по выбросам свинца являются предприятия цветной металлургии, машиностроения, металлообработки, строительной, печатной, электротехнической промышленности. Кроме перечисленных производств обращает внимание высокое содержание свинца в пыли различных предприятий строительных материалов (бетонное, кирпичное производства). Еще более высокие концентрации свинца накапливаются в продуктах мусоропереработки, а также в районах свалок твердых промышленных отходов. В биосфере концентрации свинца в основном связаны с техногенезом, имеют четкую тенденцию к быстрому увеличению во времени – в современных почвах в районах промышленных и городских агломераций [3]. Максимальные содержания элемента установлены в 2007 г. и составили 30 мг/кг в точках № 1 и № 15. В 2017 г. максимальное значение составило 23,18 мг/кг в точке № 20. Предельно допустимые концентрации свинца в почве 32 мг/кг. Значения свинца в точках опробования не превышают ПДК, но содержания этого элемента в указанных точках достаточно велики. Болотные почвы хорошо аккумулируют в себе данный элемент.

*Цинк* является токсичным элементом и так же как свинец относится к элементам I-го класса опасности. В почвах цинк широко распространен и легко подвижен, его накопление обычно происходит в поверхностных горизонтах почвы. Аномальные значения цинка сопряжены с болотными переходными торфяно-глеевыми почвами. Главная роль в загрязнении окружающей среды цинком принадлежит гальваническим предприятиям [3]. Предельно допустимые концентрации данного элемента в почвах составляют 55 мг/кг. В исследуемых почвах предельно допустимые концентрации превышены в 2007 г. в точке № 1 – 80 мг/кг и в точке № 15 – 60 мг/кг. В 2017 г. значения содержания цинка в исследуемых точках не превышают ПДК.



Рис. 2. Содержание элементов I и II классов опасности (мг/кг) в пробах почв аномальной зоны Северодвинского промышленного района (в 2007 и 2017 гг.)

Цинк и свинец являются наиболее токсичными тяжелыми металлами, выявленными в качестве загрязнителей почв Северодвинского промышленного района. Попадая в организм человека, данные элементы способны со временем накапливаться и вызывать тяжелые заболевания, в том числе и онкологические.

Никель относится к элементам 2-го класса опасности. Это относительно распространенный металл цветной металлургии. Загрязняют атмосферу никелем угольные и особенно мазутные ТЭЦ. Наиболее высокие концентрации никеля уста-

новлены в отходах гальванических производств. При использовании твердых бытовых отходов в качестве компостов большое количество никеля попадает в почвы [3]. Аномальное значение никеля установлено в 2007 г. в точке № 15 и составляет 150 мг/кг. В точке № 20 содержание исследуемого элемента достигает значения ПДК – 20 мг/кг. В 2017 г. значения этого элемента во всех точках отбора не превышают предельно допустимых концентраций.

Хром, так же как и никель, относится к элементам 2-го класса опасности. Предельно допустимые концентрации хрома в почвах

100 мг/кг. Самая высокая концентрация хрома в производственной пыли промышленных предприятий установлена для цветной металлургии, металлообработки, гальванических производств. Глобальный баланс перераспределения хрома показывает, что антропогенная составляющая давно превысила природную [3]. Аномальное значение хрома выявлено в 2007 г. в точке № 15 и составляет 400 мг/кг, что в 4 раза превышает ПДК. В точке № 5 в этом же году значение элемента достигает предельно допустимой концентрации 100 мг/кг. В 2017 г. значения этого элемента во всех точках отбора не превышают ПДК.

*Молибден* тоже является элементом 2-го класса опасности. В почвах нашей страны в большинстве случаев имеет место недостаток молибдена, особенно это характерно для таежно-лесных нечерноземных почв. Избыточность молибдена в почвах особенно типична для почв рудных районов. Техногенным источником данного элемента являются отрасли машиностроения и металлообработки, переработка бытовых и промышленных отходов, но наибольшие его объемы характерны для зол и шлаков ТЭЦ [3]. Предельно допустимые концентрации молибдена в почвах 5 мг/кг. В исследуемых точках за оба года содержания данного элемента не превышают ПДК.

*Медь* элемент второго класса опасности. В почвах медь является относительно малоподвижным элементом, так как легко образует труднорастворимые соединения. Техногенными источниками меди являются предприятия цветной металлургии, транспорт, сварка, гальванизация, сжигание минерального топлива. Накапливается в верхних почвенных горизонтах. Медь – экологически важнейший, жизненно необходимый элемент, характерный для всех природных и антропогенных систем. Антропогенное глобальное биосферное перераспределение меди значительно преобладает над природным [4]. Предельно допустимые концентрации меди в почвах 33 мг/кг. В исследуемых пробах почв содержания меди не превышали предельно допустимых концентраций.

Элементы первого и второго классов опасности оказывают наиболее неблагоприятное воздействие на здоровье людей [5]. Это необходимо учитывать, особенно в местах отдыха и при сельскохозяйственном использовании земель. Дачные участки горожан расположены в зоне техногенного воздействия предприятий города Северодвинска. Не меньшую угрозу для здоровья представляют леса и болота вокруг города,

где местное население активно собирает грибы и ягоды. Мониторинг состояния исследуемых почв крайне необходим в сложившейся ситуации.

В результате данного исследования были выявлены изменения содержания тяжелых металлов в почвах аномальной зоны Северодвинского промышленного района. Установлена общая тенденция уменьшения значений содержания многих элементов, что говорит о некотором улучшении экологической ситуации в исследуемом районе за последние десять лет. Это связано с переходом ТЭЦ–2 с мазута на газ. ТЭЦ–1 продолжает свою работу на угле. Военно-промышленный комплекс также несколько снизил темпы производства в последние годы. Исключение составляет содержание титана, почти во всех точках отбора отмечается сильный рост его значений. Предположительно высокие значения титана в почвах в 2017 г. связаны с масштабной утилизацией подводных лодок с титановыми корпусами на судоремонтном предприятии «Звездочка», проводимой в последние годы.

### Выводы

В заключение можно сказать, что в результате проведенного сравнительно-временного анализа содержания тяжелых металлов в аномальных зонах почв Северодвинского промышленного района была установлена общая тенденция уменьшения значений содержания многих элементов, что говорит о некотором улучшении экологической ситуации в исследуемом районе за последние десять лет. Это связано с переходом ТЭЦ–2 с мазута на газ. Военно-промышленный комплекс также несколько снизил темпы производства в последние годы. Исключение составляет содержание титана, почти во всех точках отбора отмечается сильный рост его значений. Предположительно высокие значения титана в почвах в 2017 г. связаны с масштабной утилизацией подводных лодок с титановыми корпусами на судоремонтном предприятии «Звездочка», проводимой в последние годы. Работы по данной тематике, проведенные в 2017 г., будут продолжены, планируется дальнейшее проведение исследовательских работ для ежегодного мониторинга загрязнения почв Северодвинского промышленного района.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства научных организаций (проект № АААА-А16-116052710105-1) и УрО РАН (проект № 18-5-5-26)*

## Список литературы

1. Виноградова А.А. Атмосферный перенос антропогенных тяжелых металлов в районы севера европейской территории России / А.А. Виноградова, Е.И. Котова, В.Ю. Топчая // География и природные ресурсы. – 2017. – № 1. – С. 108–116.
2. Зыкова Е.Н. Накопление тяжелых металлов в почвах техногенных ландшафтов на примере Северодвинского промышленного района: дис. ... канд. геогр. наук / Институт географии РАН. – Москва, 2007. – 128 с.
3. Алексеенко В.А. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов / В.А. Алексеенко, А.В. Алексеенко. – Ростов на/Д.: ЮФУ, 2013. – 198 с.
4. Семенова И.Н. Оценка загрязнения почвенного покрова г. Сибай республики Башкортостан тяжелыми металлами / И.Н. Семенова, Г.Р. Ильбулова // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 8–3. – С. 491–495.
5. Серегина Ю.Ю. Комплексная оценка загрязнения тяжелыми металлами почвенного покрова прибрежной зоны р. Белая Белорецкого района Республики Башкортостан / Ю.Ю. Серегина, И.Н. Семенова, Г.Ш. Кузина // Живые и биокосные системы: электронный научный журнал. – 2013. – № 3. URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-3/article-4/> (дата обращения: 10.06.2018).

## References

1. Vinogradova A.A. Atmosferny`j perenos antropogenny`x tyazhely`x metallov v rajony` severa evropejskoj territorii Rossii / A.A. Vinogradova, E.I. Kotova, V.Yu. Topchaya // Geografiya i prirodny`e resursy`. – 2017. – № 1. – P. 108–116.
2. Zy`kova E.N. Nakoplenie tyazhely`x metallov v pochvax texnogenny`x landshaftov na primere Severodvinskogo promy`shlennogo rajona: dis. ... kand. geogr. nauk / Institut geografii RAN. – Moskva, 2007. – 128 p.
3. Alekseenko V.A. Ximicheskie e`lementy` v geoimicheskix sistemax. Klarki pochv selitebny`x landshaftov / V.A. Alekseenko, A.V. Alekseenko. – Rostov na/D.: YuFU, 2013. – 198 p.
4. Semenova I.N. Ocenka zagryazneniya pochvennogo pokrova g. Sibaj respubliki Bashkortostan tyazhely`mi metallami / I.N. Semenova, G.R. Il`bulova // Fundamental`ny`e issledovaniya. – 2011. – № 8–3. – P. 491–495.
5. Seregina Yu.Yu. Kompleksnaya ocenka zagryazneniya tyazhely`mi metallami pochvennogo pokrova pribrezhnoj zony` r. Belaya Beloreczkogo rajona Respubliki Bashkortostan / Yu.Yu. Seregina, I.N. Semenova, G.Sh. Kuzhina // Zhivy`e i biokosny`e sistemy`: e`lektronny`j nauchny`j zhurnal. – 2013. – № 3. URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-3/article-4/> (data obrashheniya: 10.06.2018).