

## АНАЛИЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПОЧВ И РАСТЕНИЙ ДЕЛЬТЫ РЕКИ ДОН И ПОБЕРЕЖЬЯ ТАГАНРОГСКОГО ЗАЛИВА

Невидомская Д.Г., Минкина Т.М., Кравцова Н.Е., Чаплыгин В.А., Щербаков А.П.

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

**Аннотация.** Проведены комплексные исследования в наземных компонентах экосистем дельты реки Дон и побережья Таганрогского залива. Заложены площадки мониторинга, которые дали представление об источниках поступления, потоках миграции и зонах аккумуляции тяжелых металлов в почвах и растениях. Установлена высокая подвижность Zn, Pb, Ni и Cu в почвах, определены статистически значимые линейные корреляции между валовым содержанием Zn, Cr, Ni, Mn, Cr и Pb в почвах и растениях.

**Ключевые слова.** Загрязнение, тяжелые металлы, почвы, растения, валовое содержание, подвижные формы.

## ANALYSIS OF POLLUTION BY HEAVY METALS OF SOILS AND PLANTS OF THE DELTA OF THE DON RIVER AND THE COAST OF THE TAGANROG BAY

Nevidomskaya D.G., Minkina T.M., Kravtsova N.E., Chaplygin V.A., Scherbakov A.P.

Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation

**Abstract.** Complex studies in the terrestrial components of the ecosystems in the Don River and the coast of the Taganrog Bay were carried out. Monitoring plots were selected that gave an idea of the sources of input, migration flows and zones of accumulation of heavy metals in soils and plants. High mobility of Zn, Pb, Ni, and Cu in soils was established, statistically significant linear correlations between the total content of Zn, Cr, Ni, Mn, Cr, and Pb in soils and plants were determined.

**Keywords.** Pollution, heavy metals, soils, plants, total content, mobile forms.

Территория Нижнего Дона, включающая пойму, дельту реки Дон и побережья Таганрогского залива одна из самых населенных и разнообразно используемых в Южном регионе. Богатейшее разнообразие почв данной территории, среди которых самые плодородные почвы мира – черноземы, определило высокую степень сельскохозяйственной и промышленной освоенности, но в тоже время значительно усилило антропогенную нагрузку на все компоненты природной среды [1-3]. Район исследования имеет достаточно высокие показатели плотности населения, поскольку в настоящее время здесь проживает более полутора миллиона человек с плотностью населения – 613 чел./км<sup>2</sup>, что значительно превышает средний показатель по региону – 42 чел./км<sup>2</sup> [4, 5]. Несомненно, антропогенный прессинг сопровождается химическим загрязнением окружающей среды, представляя потенциальную опасность для биоценозов и человека. Одними из наиболее распространенных неорганических загрязняющих веществ, попадающих в компоненты природных систем из антропогенных источников, являются тяжелые металлы (ТМ). Растительные организмы способны аккумулировать ТМ, что определяется комплексом морфофизиологических особенностей, которые позволяют растениям приспосабливаться к условиям загрязнения [1, 6].

Целью данной работы – провести экстраполяцию данных с применением вероятностно-статистического анализа для выявления распределения и доступности ТМ в почвах и растениях дельтовых и прибрежных ландшафтов реки Дон и Таганрогского залива.

Территория исследования включала дельту реки Дон, северное и южное побережья Таганрогского залива (российская часть) (рис. 1). Маршрутно-полевые исследования осуществлялись в 2016-2018 гг. и включали закладку площадок мониторинга и отбор почвенных и растительных образцов [7]. Почвенный покров представлен: аллювиально-луговыми почвами, аллювиально-слоистыми почвами, луговыми почвами, лугово-болотными почвами, солончаками [8]. Образцы высших растений с площадок мониторинга представлены следующими видами и семействами: тростник южный – *Phragmites australis* Cav. (семейства Мятликовые), рогоз узколистый – *Typha angustifolia* L. (семейства Рогозовые), осока береговая – *Carex riparia* Curtis (семейства Осоковые), цикорий обыкновенный – *Cichorium intybus* L. (семейства Астровые), клубнекамыш приморский – *Bolboschoenus maritimus* L. *Palla*

(семейства Осоковые), щавель конский – *Rumex confertus* Willd (семейства Гречишные), тысячелистник обыкновенный – *Achillea millefolium* L. (семейства Астровые), амброзия полыннолистная – *Ambrosia artemisiifolia* L. (семейства Астровые). Полученные показатели содержания ТМ в растениях сравнивались с максимально допустимыми уровнями ТМ, регламентированными для кормовых трав [9]. Уровень загрязнения почв оценивали путем сопоставления с предельно-допустимыми концентрациями (ПДК) ТМ по их валовому содержанию, подвижной форме [10] и фоновым значениям [11]. Валовое содержание Mn, Cr, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd в почвах определяли рентген-флуоресцентным методом. Подвижные соединения ТМ экстрагировали 1 н ацетатно-аммонийным буфером, рН 4,8, почва: раствор 1 : 10, время экстракции 18 ч. Содержание ТМ в подвижных вытяжках из почв анализировали методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии. Минерализацию проб растений проводили методом сухого озоления по ГОСТ [12]. Кислотную экстракцию ТМ из золы проводили растворением в 20% HCl и измеряли их концентрацию методом атомно-абсорбционной спектрометрии.

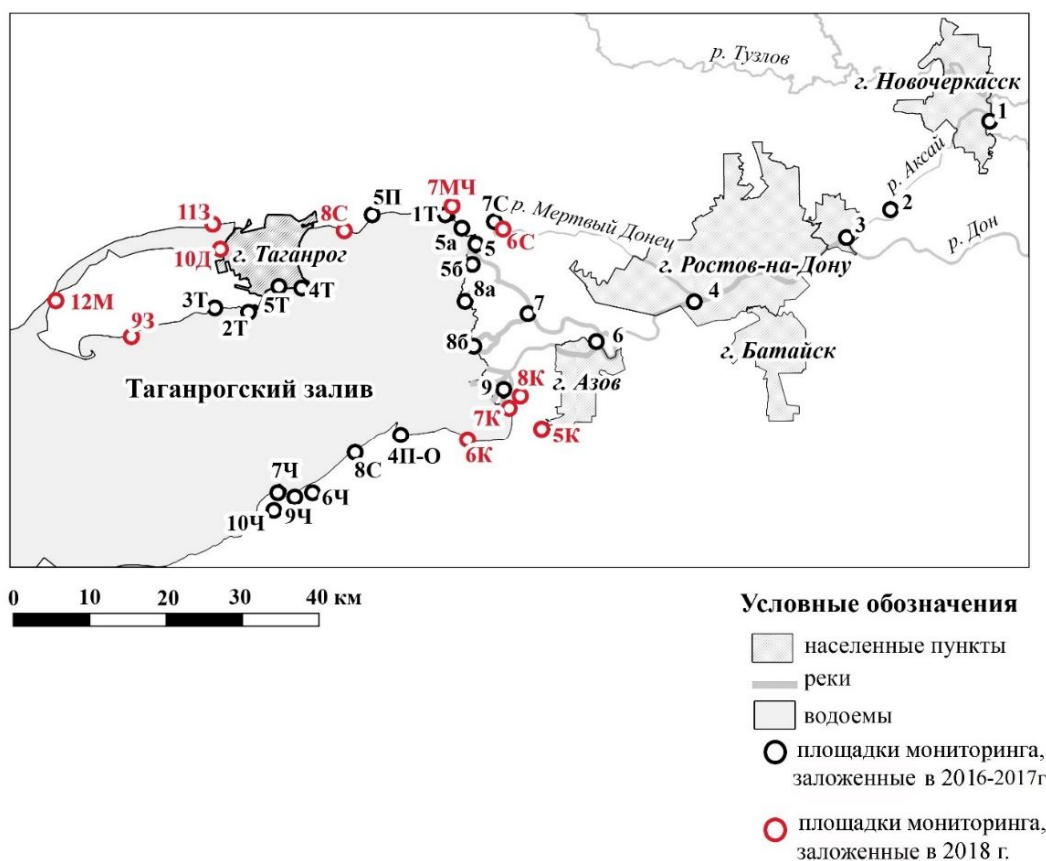


Рисунок 1 - Расположение площадок мониторинга на исследуемой территории дельты реки Дон и побережья Таганрогского залива

Математическая обработка данных проводилась в программе *STATISTICA 13.3*. Исследуемая выборка составила более 70 почвенных образцов и столько же растительных образцов.

Результаты физико-химических анализов исследуемых почв установили варьирование уровня рН от слабощелочной до сильнощелочной (7,3–8,9), содержание гумуса изменялось в зависимости от почвенного типа (0,3-1,2% – в аллювиально-слоистых почвах; 0,4–3,8% – в аллювиально-луговых почвах; 1,4–2,5% – в солончаке). Профиль солончака характеризовался высокой степенью засоления – 1,23–6,34% по хлоридно-сульфатному типу. Гранулометрический состав варьировал от песчаного и супесчаного в аллювиально-слоистых почвах до легкосуглинистого и среднесуглинистого в солончаке.

Анализ данных показал, что средние значения валовых концентраций ТМ уменьшаются в следующем порядке: Mn > Cr > Zn > Ni > Cu > Pb > Cd. Для подвижных форм ряд уменьшения концентраций такой: Mn > Zn > Pb > Ni > Cu > Cr > Cd. Содержание ТМ значительно варьировало, отражая разнообразие природных и антропогенных источников. По совокупному анализу данных, на большинстве площадок мониторинга отмечается высокое содержание Zn, которое связано в основном с твёрдым стоком реки Дон, суммарно в вершину дельты Дона поступает, мг/с: Mn 100700, Zn 8430, Ni 1410, Cu 870, Cr 217, Pb 136, Cd 51 [13]. Установлено, что увеличивающиеся потоки растворенных и взвешенных форм ТМ связаны с большими объемами промышленно-бытовых стоков города-миллионника – Ростова-на-Дону [5]. Свой вклад в химическое загрязнение вносит северное побережье

Таганрогского залива, где сконцентрировано 15,28% промышленного производства от всего объема производства Ростовской области [4].

Выявлены высокие положительные корреляции между валовой и подвижной формами Zn, что указывает на высокую концентрационную взаимосвязь Zn между формами металла и биодоступность данного металла в системе почва-растение. Высокие положительные корреляции были установлены между валовыми формами Ni и Cu, Zn, Pb, Cr между Cu и Zn, Cr. Значимые коэффициенты корреляции выявлены между содержанием илистых частиц (<0,001 мм) и валовыми формами Mn, Zn и Cr, а также между подвижными формами Ni и Zn.

Концентрации ТМ в частях растений уменьшаются в следующем порядке:

надземная часть: Mn > Zn > Cr > Cu > Pb > Ni > Cd;

подземная часть Mn > Zn > Cu > Cr > Pb > Ni > Cd.

Установлено, что в надземной части больше всего подвержены изменениям содержания Pb и Zn, а в подземной части преимущественно Zn.

При значительном антропогенном загрязнении эссенциальные элементы могут накапливаться в организме растений в концентрациях, превышающих физиологически необходимые уровни, и способных вызывать токсическое действие на клеточном уровне [6]. Особенно это вызывает опасения, если исследуемые ТМ по степени опасности относятся к классу высоко опасных веществ [14].

Установлены высокие и средние корреляции между валовым содержанием Zn ( $r=0,71$ ), Cr ( $r=0,57$ ), Ni ( $r=0,47$ ), Mn ( $r=0,45$ ), Cr ( $r=0,40$ ), Pb ( $r=0,34$ ) в почвах и в растениях. Выявлена положительная высокая статистически значимая корреляция между подвижными формами Zn ( $r=0,73$ ) в почвах и содержанием металла в растениях. Средняя, но статистически значимая положительная связь прослеживается для Ni ( $r=0,53$ ), Pb ( $r=0,50$ ) и Cr ( $r=0,43$ ). Для интерпретации коэффициента корреляции на рисунке 2 представлен визуальный анализ диаграмм рассеяния, отображающих зависимости накопления Zn и Ni в частях растений от концентрации их подвижных форм. Полученные линейные функциональные зависимости подтверждают выявленные ранее закономерности по высокой подвижности Zn, Cu и Pb в аллювиальных почвах исследуемой территории и их биодоступность для растений [6].

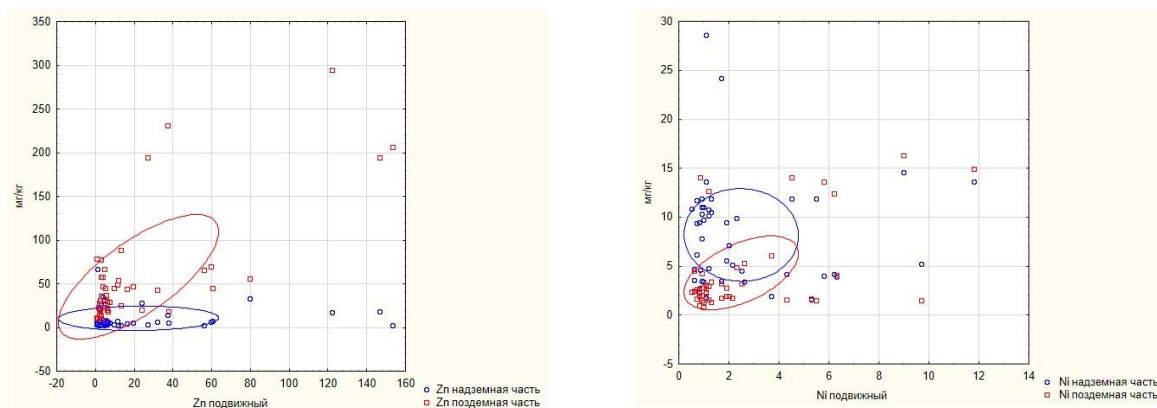


Рисунок 2 - Зависимости накопления Zn и Ni в надземной и подземной частях растений от концентрации их подвижных форм в почве

Ранее проведенные исследования выявили, что в дельте реки Дон и северном побережье Таганрогского залива возникают зоны импактного химического загрязнения (морской порт, автодороги, свалки мусора, бытовые стоки и пр.). На примере высших прибрежно-водных растений-макрофитов рода *Турфа* L., произрастающих на территории дельты реки Дон были выявлены морфологические аномалии репродуктивных органов и тканей в виде генетического полиморфизма и появления тератных форм, которые являются следствием ростигибирующего токсического действия ТМ [1, 6]. Проявление разного рода аномалий биологических систем в импактных зонах изучено еще недостаточно, что обусловлено сложностью проблемы из-за многофакторности и видовых особенностей живых организмов.

Таким образом, с применением вероятностно-статистического анализа выполнена оценка распределения и биодоступности ТМ в почвах и растениях экосистем дельты реки Дон и побережья Таганрогского залива, определены основные источники поступления ТМ в исследуемых компонентах. Установлена высокая подвижность Zn, Pb, Ni и Cu в гидроморфных аллювиальных почвах. Показано, что в надземной части растений наибольшей вариабельностью отличаются Pb и Zn, а в подземной части

преимущественно Zn. Определены высокие и средние корреляции между валовым содержанием Zn, Cr, Ni, Mn, Cr и Pb в почвах и содержанием в растениях.

#### Список использованных источников

1. Heavy metals in the soil-plant system of the Don River estuarine region and the Taganrog Bay coast /T.M. Minkina [et al.]// Journal of Soils and Sediments. – 2017. – Vol. 17. – P. 1474–1491.
2. Content and distribution of heavy metals in herbaceous plants under the effect of industrial aerosol emissions/T.M. Minkina [et al.]// Journal of Geochemical Exploration. – 2017. – Vol. 174. – P. 113-120.
3. Selective response of water ecosystems to the anthropogenic effect /A.M. Nikanorov// Doklady Earth Sciences. – 2014. – Vol. 459(2). – P. 1573–1575.
4. Geoecological monitoring of the sea of Azov coastline (Rostov region) /O.V. Ivlieva [et al.]// 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017, 29 June - 5 July, Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining, Conference Proceedings. – 2017. – P. 217-224.
5. Экологический вестник Дона "О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2018 году" / под ред. М.В. Фишкина. Министерство природных ресурсов и экологии Ростовской области: Ростов-на-Дону, 2019. – 369 с.
6. Bioindication of soil pollution in the delta of the Don River and the coast of the Taganrog Bay with heavy metals based on anatomical, morphological and biogeochemical studies of macrophyte (*Typha australis* Schum. & Thonn) /T.M. Minkina [et al.]// Environmental Geochemistry and Health. – 2019. – <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00379-3>.
7. ГОСТ Р 58595-2019 «Почвы. Отбор проб». Москва. Стандартинформ, 2019. – 4 с.
8. Безуглова О.С., Хырхырова М.М. Почвы Ростовской области: учебное пособие. Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2008. – 352 с.
9. Временный максимально допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках / Утвержден Главным управлением ветеринарии Госагропрома СССР от 07.08.87 г., № 123-4/281-87.
10. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почвах. Госкомприрода СССР, № 02-2333 от 10.12.90.
11. Use of Background Concentrations of Heavy Metals for Regional Monitoring of Soil Contamination by the example of Rostov Oblast /O.V. Chernova, O.S. Bezuglova// Eurasian Soil Science. – 2019. – Vol. 52. – No.8. – P. 1007–1017.
12. ГОСТ 26657-97. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения содержания фосфора. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997. – 68 с.
13. Heavy metal flows in aquatic systems of the Don and Kuban river deltas /A.N. Tkachenko [et al.]// Doklady Earth Sciences. – 2017. – Vol. 474. – No. 1 – P. 587–590.
14. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. Москва: Стандартинформ, 2008. – 4 с.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект № 19-05-50097.