

*Л. Ф. Попова, Е. Н. Наквасина*

## ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ НОРМИРОВАНИЯ ЦИНКА И МЕДИ В ПОЧВАХ АРХАНГЕЛЬСКА

В статье прослежено лимитирующее влияние цинка и меди в системе «почва-растение», дано научное обоснование и разработана региональная система экологического нормирования содержания этих тяжелых металлов (ТМ) в почвах г. Архангельска. Ключевыми точками сравнения были приняты концентрации тяжелых металлов в почве, приводящие к снижению их накопления (транслокации) в растениях, превышению в их тканях предельно допустимой концентрации и максимально допустимого уровня, а также эффект средней фитотоксичности почв на применяемый тест-объект (кресс-салат). Критический уровень этих металлов в растении достигается при содержании в почве подвижных форм цинка уже на уровне 5,0–13,0 мг/кг, а меди – 2,0 мг/кг. Это ниже уровня предельно допустимой концентрации подвижных форм этих ТМ в почвах в 1,5–1,8 раза. Замечено снижение аккумуляции цинка надземной частью разнотравья при содержании в почвах 45–50 мг/кг, меди – 4,2–5,2 мг/кг. Установлена достоверная обратная связь между фитотоксичностью и содержанием в почвах цинка и меди. При этом их концентрация в почве, приводящая к средней степени фитотоксичности (30 %), составила для цинка 30 мг/кг, для меди – 2,0 мг/кг, что в 1,3–1,5 раза выше предельно допустимой концентрации подвижных форм этих ТМ в почвах. На основании регрессионного анализа и сравнения с нормативными показателями, принятыми в России, разработаны принципы регионального нормирования для условий Севера. Установлены концентрации валового содержания и содержания подвижных форм цинка и меди, влияющие на экологическое состояние разнотравья и фитотоксичность почв, определена усредненная лимитирующая концентрация (валовое содержание и подвижные формы) этих металлов, являющихся загрязнителями почв Архангельска.

**Ключевые слова:** *городские почвы, цинк, медь, экологическое состояние разнотравья, фитотоксичность почв, лимитирующие концентрации.*

### Введение

Урбанизация привела к изменению всех компонентов природной среды и формированию искусственных экосистем – природно-антропогенных территориальных комплексов, для которых характерно нарушение естественных связей между различными их компонентами, замена естественного режима функционирования на искусственно обусловленный режим. Воздействие человека на природу, особенно влияние антропогенного фактора на возобновляемые ресурсы – почву и растительность, становится направляющей силой дальнейшей эволюции экосистем. Состояние городских почв напрямую определяет не только продуктивность и устойчивость зеленых насаждений, но и экологическую обстановку в городе в целом. Именно почвы осуществляют жизненно важные функции по ремедиации окружающей среды – деструкцию органических отходов, очищение атмосферы и поверхностных вод, формирование микроклимата, закрепление земной поверхности и геостабилизацию, депонирование зачатков жизни и генной информации, биофильных элементов и макроэргических химических соединений [1–3].

В естественных условиях почвы и живые организмы в обязательном порядке содержат определенное количество тяжелых металлов (ТМ), но чрезмерное накопление этих химических элементов может оказаться причиной разрушения целостности природного комплекса. Наиболее распространенными, неспецифическими из них явля-

ются Pb, Cu, Zn, Cd. Попадая в различных формах на поверхность почв, они могут либо накапливаться, либо рассеиваться в зависимости от характера геохимических барьеров, свойственных данной территории. Влияние ТМ на живые организмы зависит прежде всего от концентрации подвижных форм металла в почве, а степень их подвижности определяется геохимической обстановкой и уровнем техногенного воздействия [4, 5].

В связи с повсеместным загрязнением городских почв тяжелыми металлами в настоящее время возникла необходимость нормирования их содержания [6–9]. В почвенной геохимии при характеристике содержания ТМ оперируют такими понятиями, как: среднее содержание (кларк), пределы колебаний, оптимальная норма содержания, предельно допустимая концентрация, ориентировочно допустимая концентрация.

В последнее время и в России, и за рубежом при оценке состояния окружающей среды и нормировании ее качества экологический подход стал доминирующим. В основе экологического нормирования загрязнения почв может лежать тот факт, что различные экологические функции почвы (аккумуляция и трансформация веществ и энергии в биогеоценозе, санитарная функция, функция буферного и защитного биогеоценотического экрана) нарушаются при различной концентрации загрязняющего вещества в почве.

В настоящее время в отечественной и мировой науке и практике создан значительный задел по проблеме нормирования химического загрязне-

ния почв и экосистем [10–12]. Однако многие задачи по-прежнему не решены. Для многих загрязняющих веществ (элементов) не разработаны экологически безопасные нормы их содержания в почве (например, нефть и нефтепродукты, многие тяжелые металлы и т. д.). В то же время для тех веществ, нормативы для которых установлены, значения этих нормативов (ПДК и ОДК) носят общий («глобальный») характер. Они разработаны, как правило, либо для «почвы в целом» (ПДК), либо для «крупных групп почв» (ОДК), сходных по основным свойствам почвы, определяющим устойчивость к загрязнению (гранулометрический состав, pH и др.). Однако значения этих нормативов, по мнению С. И. Колесникова с соавторами [10, 11], часто оказываются несостоятельными в силу как объективных, так и субъективных причин, поэтому представляется актуальным создание методики, позволяющей устанавливать «региональные» и «локальные» нормативы содержания в почве загрязняющих веществ (элементов) с учетом местных экологогеохимических особенностей территории.

В работе на основе данных многолетних исследований биогеохимического состояния растительного покрова сделана попытка обосновать региональные нормативы «экологического» содержания Zn и Cu в почвах одного из самых северных городов России – Архангельска, по своим природно-климатическим характеристикам приравненного по местоположению к условиям Крайнего Севера. Это обусловлено тем, что при полиэлементном загрязнении почв Архангельска основными техногенными поллютантами почвенно-растительного покрова являются Zn и Cu [13].

#### Материалы и методы

Объектом исследования выбран почвенно-растительный покров. На территории г. Архангельска было заложено 115 пробных площадей (ПП) в 4 основных функциональных зонах города (в жилой – 97 ПП, в промышленной – 12 ПП, в зоне городских лесов – 5 ПП, в зоне городских лугов – 11 ПП). Для анализа почвенного покрова в соответствии с ГОСТ [14] взяты смешанные образцы из верхнего 0–20 см, а также разнотравье (смешанный образец), произрастающее на исследуемых пробных площадях. Отбор проб растений проводился в соответствии с ГОСТ [15].

Исследования выполнены на базе лаборатории биогеохимических исследований института естественных наук и технологий «Северного (Арктического) федерального университета имени М. В. Ломоносова» и частично на оборудовании ЦКП НО «Арктика» САФУ при финансовой поддержке Минобрнауки России. Определение ТМ в почвах (валовое содержание, подвижные формы) и расте-

ниях проведено с применением стандартных и аттестованных методик.

Полученные данные обрабатывали статистически при помощи пакета программ Microsoft Excel 7,0. Достоверность различий средних сравниваемых величин определялась по *t* критерию Стьюдента. За достоверное принимали различие на уровне значимости 95 % ( $p < 0,05$ ). В качестве исходных показателей использовали для почв ПДК, ОДК, для растений – ПДК и МДУ (табл. 1).

Таблица 1

Основные показатели оценки содержания цинка и меди в почвах и травянистых растениях г. Архангельска

Химический элемент	Содержание ТМ в почвах, мг/кг				Содержание ТМ в разнотравье, мг/кг	
	Валовое содержание			Содержание подвижных форм	ПДК <sup>5</sup>	МДУ <sup>6</sup>
	Кларк <sup>1</sup>	ОДК <sup>2</sup>	ПД-К <sub>ВС</sub> <sup>3</sup>	ПДК <sub>ПФ</sub> <sup>4</sup>		
Цинк – Zn	90	220/55	87	23,0	150–300	50
Медь – Cu	30	132/33	53	3,0	15–20	30

Примечания: 1. Кларк [10]. 2. ОДК – суглинистые почвы с pH > 5,5 / песчаные и супесчаные почвы [16]; 3, 4. ПДК<sub>ВС</sub> и ПДК<sub>ПФ</sub> [17]; 5. ПДК [18, 19]; 6. МДУ [20].

Фитотоксичность почв исследовали, используя в качестве тест-объекта кресс-салат на водных вытяжках из почв [21–23]. Оценку фитотоксичности почв осуществляли по проценту угнетения прорастания семян (количественный показатель), роста корней проростков кресс-салата (биометрический показатель) по отношению к контролю (на дистиллированной воде). Степень фитотоксичности оценивали согласно общепринятой шкале: снижение показателя на 10 % – экологически чистая почва; снижение показателей на 10–30 % – слабая степень фитотоксичности почв; снижение показателей на 30–50 % – средняя степень фитотоксичности почв; снижение выше 50 % – высокая (недопустимая) степень фитотоксичности почв.

Содержание ТМ (валовое содержание и подвижные формы) соотносили с их накоплением в разнотравье (надземная часть). Ключевыми точками сравнения были приняты концентрации ТМ в почве, приводящие к снижению их накопления (транслокации) в растениях, превышению в их тканях ПДК и МДУ, а также эффект средней фитотоксичности почв на применяемый тест-объект (кресс-салат), позволяющие оценить уровень экологического воздействия в системе «почва-расте-

ние». Лимитирующие концентрации валового содержания и содержания подвижных форм ТМ в почвах Архангельска определяли методом регрессионного анализа (при коэффициенте аппроксимации выше 0,5). Ниже рассмотрим полученные результаты на примере Zn и Cu как основных загрязнителей почв в техногенно-антропогенных (селитебная и промышленная) зонах Архангельска.

### Результаты и обсуждение

Установлено, что при увеличении валового содержания Zn и Cu в почве растет их концентрация в растении (рис. 1 А), достигая максимума при содержании Zn в почве 300 мг/кг, что в 3 раза превышает ПДК<sub>ВС</sub> (87 мг/кг), а Cu – 45 мг/кг, что в 1,2 раза ниже ПДК<sub>ВС</sub>. При этом критический уровень в растении достигается для Zn уже при 50 мг/кг (МДУ) и 150 мг/кг (ПДК), а для Cu – при 27 мг/кг (ПДК). Это обусловлено тем, что влияние ТМ на живые организмы зависит прежде всего от концентрации подвижных форм металлов в почве, связанных с особенностями состава, свойств и режимов почв, определяющих особенности их трансформации и подвижности.

Подвижность цинка и меди в почвах техногенно-антропогенных зон г. Архангельска довольно высока (коэффициент подвижности  $K_{П, Zn} = 1,5 \pm 0,7$ ;  $K_{П, Cu} = 2,2 \pm 0,9$ ), а содержание непрочно связанных соединений этих металлов колеблется от 40 % до 75 % от валового содержания (рис. 2). Вследствие чего наблюдаются превышения ПДК подвижных форм Zn и Cu в почвах и ПДК в растениях.

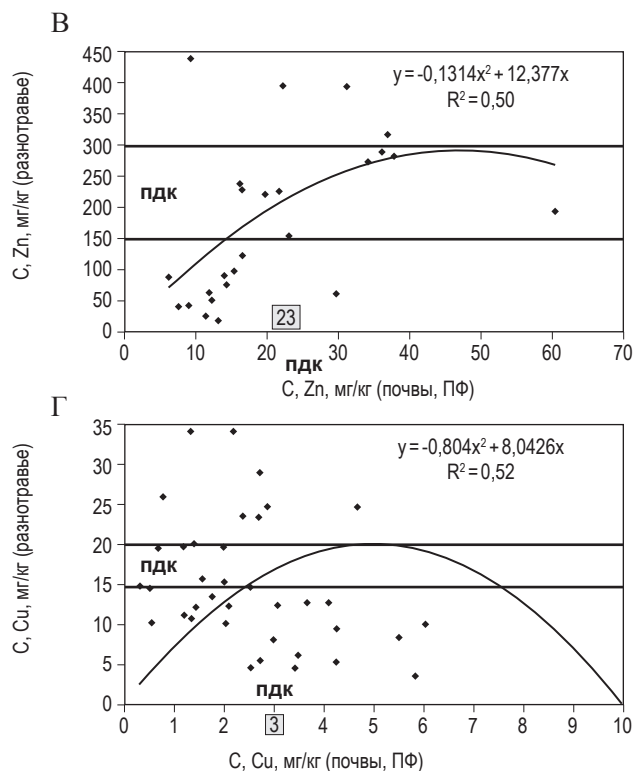
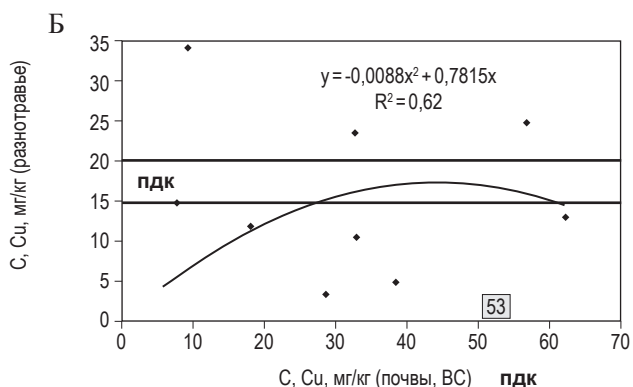
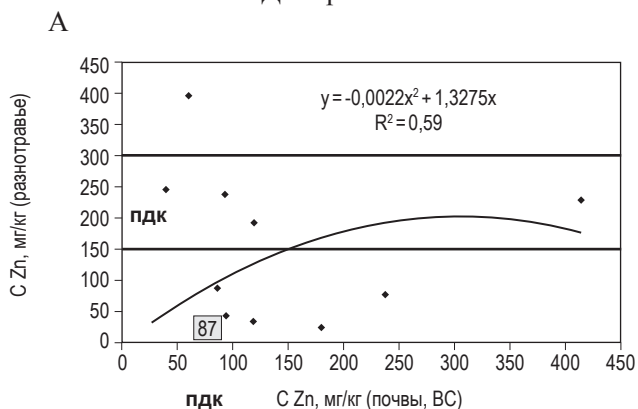


Рисунок 1. Зависимость между накоплением цинка (А, В) и меди (Б, Г) в надземной части разнотравья и их содержанием в почвах техногенно-антропогенных зон г. Архангельска (А, Б – валовое содержание ТМ; В, Г – содержание подвижных форм ТМ)

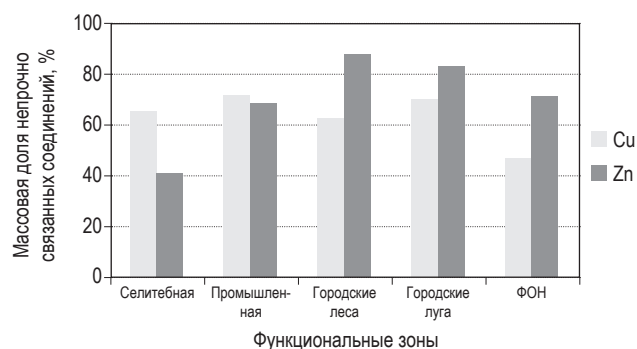


Рис. 2. Массовая доля непрочно связанных соединений меди и цинка (%) от их валового содержания в почвах основных функциональных зон г. Архангельска

Цинк и медь – это не только техногенные поллютанты, но и микроэлементы, необходимые для нормальной жизнедеятельности растений. Однако критический уровень этих ТМ в растении достигается при содержании в почве подвижных форм (ПФ) Zn уже на уровне 5 мг/кг (МДУ) и 13 мг/кг (ПДК), а Cu – 2 мг/кг (ПДК). Это ниже уровня ПДК<sub>ПФ</sub> этих ТМ в почвах в 1,5–1,8 раза. Снижение аккумуляции Zn и Cu надземной частью разнотравья замечено при содержании этих ТМ в почвах выше их уровня ПДК<sub>ПФ</sub>: Zn – 45–50 мг/кг (2,0–2,2 ПДК), Cu – 4,2–5,2 мг/кг (1,4–1,7 ПДК) (см. рис. 1

Б). Это обусловлено тем, что при резком увеличении валового содержания ТМ в почвах сокращается доля самых подвижных легко обменных соединений (наиболее доступных для растений) (рис. 3).

Так, установлено, что с увеличением валового содержания ТМ в поверхностном слое городских почв Архангельска происходит пропорциональное увеличение содержания всех трансформационных форм (коэффициент корреляции  $r$  до 0,96), при этом резко уменьшается доля самых подвижных обменных форм ТМ, доступных для растений ( $r$  до -0,76). Эти изменения начинаются с валового содержания меди в 1,0 ПДК, а цинка – в 1,5 ПДК.

Кроме того, снижение транслокации ТМ в надземную часть разнотравья при дальнейшем росте содержания в почвах их подвижных форм может быть обусловлено и проявлением выработанных в процессе эволюции приспособительных механизмов устойчивости, в том числе задержкой поглощения ТМ корнями, способностью регулировать их транспорт из корней в побеги, функционированием ряда барьеров (корень-стебель, стебель-соцветие) на пути транспорта металлов к наиболее важным для жизнедеятельности растений органам и др. [24].

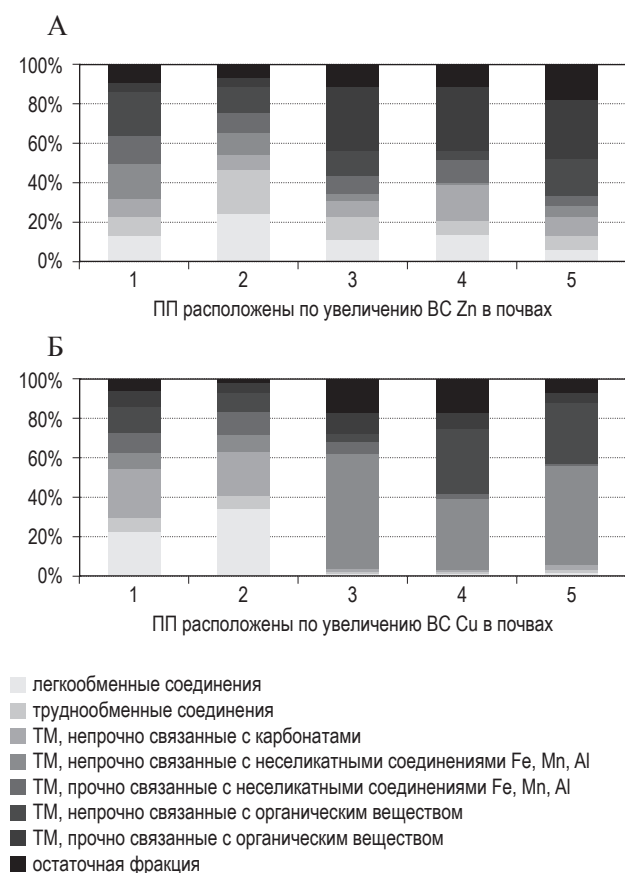


Рис. 3. Изменение фракционного состава соединений цинка (А) и меди (Б),%, при увеличении их валового содержания в поверхностном слое почв г. Архангельска

Оценка степени фитотоксичности почвенных образцов, взятых в техногенно-антропогенных зонах г. Архангельска, показала, что только 3 % проанализированных почв по степени фитотоксичности можно считать экологически чистыми. На улицах Архангельска преобладают почвы со слабой степенью фитотоксичности (66 %). Они встречаются как на магистральных проспектах, так и на менее оживленных улицах. 31 % исследованных почв характеризуются средней степенью фитотоксичности. Почвы с высокой (недопустимой) степенью фитотоксичности в г. Архангельске не выявлены [23, 25].

Установлена достоверная связь между фитотоксичностью и содержанием в почвах ТМ. При этом концентрация подвижных форм Zn и Cu в почве, приводящая к средней степени фитотоксичности (30 %), составила: для цинка – 30 мг/кг, что в 1,3 раза выше ПДК<sub>ПФ</sub> Zn; для меди – 2,0 мг/кг, что в 1,5 раза ниже ПДК<sub>ПФ</sub> Cu (рис. 4) соответственно.

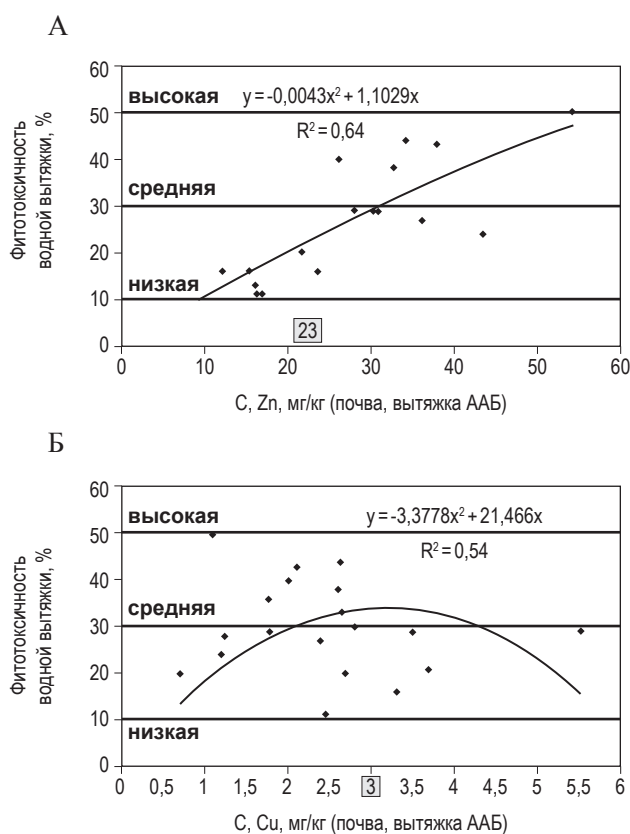


Рис. 4. Зависимость между фитотоксичностью почв г. Архангельска и содержанием в них подвижных форм цинка (А) и меди (Б).

Почву можно считать экологически чистой (фитотоксичность водной вытяжки < 10 %) только при содержании ПФ цинка в почве до 10 мг/кг, а меди – до 0,5 мг/кг (ацетатно-аммонийная буферная вытяжка). При содержании ПФ цинка в почве более 30 мг/кг, а меди – 2,0–4,2 мг/кг фитотоксичность



Таблица 2

## Содержание цинка и меди в почвах г. Архангельска

Показатели	Химические элементы	
	Цинк – Zn	Медь – Cu
Минимальное валовое содержание ТМ <sup>1</sup> , мг/кг		
суглинистые почвы, pH > 5,5	30	8
песчаные и супесчаные почвы	10	2
ФОН по Архангельской области <sup>2</sup> , мг/кг		
Валовое содержание	35	8
Подвижные формы	3,3	1,3
Среднее содержание ТМ в почвах Архангельска, мг/кг		
Валовое содержание	95	22
Подвижные формы	24	2,8
Концентрация ТМ в почвах (слой 0–20 см) г. Архангельска, мг/кг, приводящая к		
снижению транслокации ТМ в растениях	320 <sup>3</sup>	47
превышению ПДК ТМ в растениях	> 150	> 27
превышению МДУ ТМ в растениях	> 15	> 2,0
превышению МДУ ТМ в растениях	> 50	не уст. <sup>4</sup>
средней (30 %) фитотоксичности почвенной вытяжки	> 5	не уст.
	> 30	2,0
Усредненная лимитирующая концентрация ТМ в почвах Архангельска, мг/кг		
Валовое содержание	50	27
Подвижные формы	5,0	2,0

почвы максимальная для почв Архангельска (средняя, > 30 %).

Обращает внимание выраженное снижение фитотоксичности почв с увеличением как валового содержания, так и содержания подвижных форм ТМ. Подобное явление связано с формами нахождения и растворимостью соединений ТМ в почвах. В первую очередь с долей водорастворимых соединений в составе непрочно связанных, переходящих в водную вытяжку почвы, применяемую при тестировании на фитотоксичность. Это обусловлено сокращением доли легкообменных форм ТМ с увеличением их валового содержания вследствие закрепления в ППК.

Проанализировав полученные экспериментальные данные, определили концентрации валового содержания и содержания подвижных форм Zn и Cu в почвах г. Архангельска, влияющие на экологическое состояние (содержание ТМ) разнотравья и фитотоксичность почв и в соответствии с законом минимума Либиха установили усредненные лимитирующие концентрации (ВС и ПФ) этих ТМ в почвах для условий Архангельска (табл. 2).

### Заключение

Специфика почвенного покрова и условия его формирования на Севере отражаются в закономерностях воздействия загрязнения почв на содержание Zn и Cu в растениях. Это показывает необходимость использования для экологического обоснования региональных показателей нормирования содержания ТМ в почвах комплексного биогеохимического подхода в системе «почва-растение», отражающего изменение подвижности ТМ в связи с трансформацией их соединений в почве. Особое внимание при этом следует обращать на соотношение прочно и непрочно связанных с почвенными компонентами соединений ТМ и долю легкообменных форм в фракционном составе соединений ТМ.

*Примечания:* 1. Содержание ТМ, отражающее минимальный уровень потребности растений в микроэлементном питании [26, 27]. 2. Средние значения содержания ТМ в почвах Архангельской области по данным станции агрохимической службы «Архангельская». 3. В числителе валовое содержание, в знаменателе – содержание подвижных форм ТМ. 4. Не уст. – концентрация не установлена.

Использование комплексного подхода позволило обосновать концентрации валового содержания и содержания подвижных форм этих ТМ в почвах г. Архангельска, влияющие на экологическое состояние разнотравья и фитотоксичность почв, установить усредненные лимитирующие концентрации (ВС и ПФ) Zn и Cu, являющихся загрязнителями почв г. Архангельска.

### Список литературы

1. Почвы в биосфере и жизни человека: монография. М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2012. 584 с.
2. Смагин А. В., Шоба С. А., Макаров О. А. Экологическая оценка почвенных ресурсов и технологии их воспроизводства (на примере г. Москвы). М.: МГУ, 2008. 360 с.
3. Soils: Basic Concepts and Future Challenges. Cambridge University Press. 2006. 310 p.
4. Ладонин Д. В., Карпунин М. М. Влияние компонентов почвы на поглощение тяжелых металлов в условиях техногенного загрязнения // Почвоведение. 2008. № 11. С. 105–115.
5. Минкина Т. Тяжелые металлы в почвах. Процессы миграции, трансформации и аккумуляции: монография. Германия. LAP LAMBERT Academic Publishing. 2011. 518 с.
6. Байбеков Р. Ф., Савич В. И., Овчаренко М. М., Габбасова И. М., Афзалов Р. Ш. Методы исследования городских почв: учебное пособие. М.: ФГОУ ВПО РГАУ–МСХА им. К. А. Тимирязева, 2007. 202 с.
7. Матвеев Ю. М., Попова И. В., Чернова О. В. Регламентация и нормирование содержания химических соединений в почвах (концепция и методология установления предельно допустимых концентраций) // Охрана окружающей природной среды. Почвы. М.: ВНИИ природы, 2001. С. 49–64.

8. Опекунов А. Ю. Экологическое нормирование и оценка воздействия на окружающую среду. СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 2006. 260 с.
9. Шунелько Е. В., Федорова А. И. Экологическая оценка городских почв и выявление уровня токсичности тяжелых металлов методом биотестирования // Вестн. Воронежского ун-та. Воронеж. 2006. № 2. С. 93–104.
10. Колесников С. И., Казеев К. Ш., Вальков В. Ф. Экологическое состояние и функции почв в условиях химического загрязнения. Ростов-на-Дону: Изд-во Росиздат, 2006. 385 с.
11. Колесников С. И., Казеев К. Ш., Денисова Т. В., Даденко Е. В. Разработка региональных экологических нормативов содержания загрязняющих веществ в почвах юга России [Электронный ресурс] // Научный журнал КубГАУ, № 82 (08), 2012. URL: <http://ej.kubagro.ru/2012/08/pdf/73.pdf> (дата обращения: 05.05.2014).
12. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами. М.: Изд-во Минздрав СССР, 1987. 25 с.
13. Попова Л. Ф., Никитина М. В., Наквасина Е. Н. Химические элементы в почвенно-растительном покрове Архангельска. Архангельск: Изд-во САФУ, 2013. 146 с.
14. ГОСТ 17.4.4.02–84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки почв для химического, бактериологического и гельминтологического анализа. Постановление Госкомитета СССР по стандартам от 19.12.1984, № 4731. М.: Стандарт информ, 2008. 8 с.
15. ГОСТ 27262–87. Корма растительного происхождения. Методы отбора проб. Постановление Госкомитета СССР по стандартам от 30.03.1987, № 1073. М.: Изд-во Стандартов, 2002. 9 с.
16. ГН 2.1.7. 2511–09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы. [Электронный ресурс]. Утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ 18.05.2009, № 32. М., 2009. URL: <http://www.complexdoc.ru> (дата обращения: 05.05.2014).
17. МУ 2.1.7.730–99. Методические указания: Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест: утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 7.02.1999; введ в действие с 05.04.1999. М. 1999. 20 с.
18. Алексеев В. А., Суворин А. В., Власова Е. В. Металлы в окружающей среде: прибрежные аквальные ландшафты Черноморского побережья России: монография. М.: Изд-во ФГБНУ «НИИ ПМТ», 2012. 360 с.
19. Sauerbeck D. Welche Schwermetallgehalte in Pflazen dürfen überschritten wrden, um Wachstusbeeinträchtigungen zu vermeiden? // Landwirtschaftliche Forschung, Kongressband. 1982. Н. 39. S. 108–129.
20. 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 07.08.87 г., № 128–4/281. М., 1987.
21. Аллелопатия растений и почвоутомление: Избранные труды / отв. ред. А. М. Гродзинский. Киев: Наукова думка, 1991. 429 с.
22. Федорова А. И., Никольская А. Н. Практикум по экологии и охране окружающей среды. М.: Владос, 2001. 281 с.
23. Пермогорская Ю. М. Почвенный покров как компонент городской экосистемы Архангельска: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 Петрозаводск, 2006. 167 с.
24. Титов А. Ф., Таланова В. В., Казнина Н. М., Лайдинен Г. Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 172 с.
25. Наквасина Е. Н., Пермогорская Ю. М., Попова Л. Ф. Почвы Архангельска. Структурно-функциональные особенности, свойства, экологическая оценка: монография. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2006. 124 с.
26. СанПиН 2.1.7.1287–03. Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 16.04.2003, № 53, изменения утверждены 25.04.2007, № 20. М.: Минздрав России, 2007. 14 с.
27. Управление качеством городских почв / под ред. С. А. Шобы, А. С. Яковлева. М.: МАКС Пресс, 2010. 96 с.

Попова Л. Ф., кандидат химических наук.

**Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова.**

Набережная Северной Двины, 17, Архангельск, Россия, 163002.

E-mail: [ludap9857@mail.ru](mailto:ludap9857@mail.ru)

Наквасина Е. Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

**Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова.**

Набережная Северной Двины, 17, Архангельск, Россия, 163002.

E-mail: [e.nakvasina@narfu.ru](mailto:e.nakvasina@narfu.ru)

*Материал поступил в редакцию 18.06.2014.*

L. F. Popova, E. N. Nakvasina

## ECOLOGICAL JUSTIFICATION OF RATIONING OF ZINC AND COPPER IN SOILS OF ARKHANGELSK

Northern (Arctic) Federal University Named After M. Lomonosov, Arkhangelsk

The article traces the limiting impact of zinc and copper in the soil-plant system, gives the scientific rationale and develops a regional system of environmental regulation of the content of heavy metals in soils of Arkhangelsk. Key points of comparison are concentrations of heavy metals in the soil, leading to a decrease in their accumulation (translocation) in plants, excess tissue in their maximum allowable concentrations and maximum allowable level, as well as the effect of the average soil phytotoxicity test applied to test-object (watercress). Critical level of these metals in the plant is achieved with a soil content of mobile forms of zinc at 5.0–13.0 mg / kg, copper – 2.0 mg / kg. This is below the maximum allowable concentration of mobile forms of heavy metals in soils of 1.5–1.8 times. Observes the decrease in the accumulation of zinc aerial parts of plants when the content in the soils of 45–50 mg / kg, copper – 4.2–5.2 mg / kg. There is a significant inverse relationship between phytotoxicity and content in the soils of zinc and copper. However, their concentration in the soil, leading to a moderate degree of phytotoxicity (30 %) accounted for zinc – 30 mg / kg for copper – 2.0 mg / kg, which is 1.3–1.5 times higher than the maximum allowable concentration mobile forms of heavy metals in soils. Based on regression analysis and comparison with regulatory measures adopted in Russia, has developed principles for the valuation of the regional conditions of the North. Set the concentration of total content and the content of mobile forms of zinc and copper, affecting the ecological status of grasses and soil phytotoxicity, picked averaged limiting concentration (total content and mobile forms) of these metals, which are soil polluters of Arkhangelsk.

**Key words:** *urban soils, zinc, copper, ecological condition grasses, soil phytotoxicity, limiting concentration.*

### References

1. *Pochvy v biosfere i zhizni cheloveka: monografiya* [Soils in the biosphere and human life: a monograph]. M.: VPO MGUL, 2012, 584 p. (in Russian).
2. Smagin A. V., Shoba S. A., Makarov O. A. *Ekologicheskaya otsenka pochvennykh resursov i tekhnologii ikh vosproizvodstva (na primere g. Moskvy)*. [Environmental assessment of soil resources and technologies of reproduction (on the example of Moscow)]. Moscow: MGU Publ., 2008, 360 p. (in Russian).
3. *Soils: Basic Concepts and Future Challenges*. Cambridge University Press. 2006, 310 p.
4. Ladonin D. V., Karpukhin M. M. Vliyanie komponentov pochvy na pogloshchenie tyazhelykh metallov v usloviyakh tekhnogennogo zagryazneniya [Influence of soil components on the uptake of heavy metals in conditions of technogenic pollution]. *Soil Science*, 2008, no. 11, pp. 105–115 (in Russian).
5. Minkina T. *Tyazhelye metally v pochvakh. Protsessy migratsii, transformatsii i akkumulyatsii* [Heavy metals in soils. Processes of migration, transformation and accumulation: Monograph]. Germany. LAP Lambert Academic Publishing. 2011, 518 p. (in Russian).
6. Baybekov R. F., Savich V. I., Ovcharenko M. M., Gabbasova I. M., Afzalov R. Sh. *Metody issledovaniya gorodskikh pochv: uchebnoe posobie* [Methods of study of urban soils: a tutorial]. Moscow, FGOU VPO RGAU – MSHA im. K. A. Timiryazeva Publ., 2007, 202 p. (in Russian).
7. Matveev Yu. M., Popova I. V., Chernova O. V. Reglamentatsiya i normirovanie sodержaniya khimicheskikh soedineniy v pochvakh (kontseptsiya i metodologiya ustanovleniya predel'no dopustimyykh kontsentratsiy) [Regulation and standardization of chemical compounds in the soil (the concept and methodology of establishing maximum permissible concentrations)]. *Okhrana okruzhayushchey prirodnoy sredy. Pochvy – Environmental Protection*. Soil. M., VNIIPrirody Publ., 2001, pp. 49–64. (in Russian).
8. Opekunov A. Yu. *Ekologicheskoe normirovanie i otsenka vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredyu* [Environmental regulation and assessment of environmental impacts]. St. Petersburg, Izd-vo SPb un-ta Publ., 2006, 260 p. (in Russian).
9. Shunel'ko E. V., Fedorova A. I. *Ekologicheskaya otsenka gorodskikh pochv i vyyavlenie urovnya toksichnosti tyazhelykh metallov metodom biotestirovaniya* [Environmental assessment of urban soils and identification of the level of heavy metal toxicity by the method of biotesting]. *Vestnik Voronezhskogo universiteta. Farmatsiya. – Herald of the Voronezh University. Ser. Chemicals. Biology. Pharmacy*. Voronezh, 2006, no 2, pp. 93–104 (in Russian).
10. Kolesnikov S. I., Kazeev K. Sh., Val'kov V. F. *Ekologicheskoe sostoyanie i funktsii pochv v usloviyakh khimicheskogo zagryazneniya* [Ecological condition and function of soil chemical pollution]. Rostov-on-Don, Izd Rosizdat Publ., 2006. 385 p. (in Russian).
11. Kolesnikov S. I., Kazeev K. Sh., Denisova T. V., Dadenko E. V. *Razrabotka regional'nykh ekologicheskikh normativov sodержaniya zagryaznyayushchikh veshchestv v pochvakh yuga Rossii* [Development of regional environmental standards of contaminants in soils of southern Russia]. *Nauchny Zhurnal KubGAU – Scientific Journal of KubGAU*, 2012, no. 82 (08). URL: <http://ej.kubagro.ru/2012/08/pdf/73.pdf> (Accessed: 5 May 2014) (in Russian).
12. *Metodicheskie ukazaniya po otsenke stepeni opasnosti zagryazneniya pochvy khimicheskimi veshchestvami* [Guidelines for hazard assessment of soil contamination by chemicals]. Moscow: Izd-vo Minzdrav SSSR Publ., 1987, 25 p. (in Russian).
13. Popova L. F., Nikitina M. V., Nakvasina E. N. *Khimicheskie elementy v pochvenno-rastitel'nom pokrove Arkhangel'ska: monografiya. Arkhangel'sk* [Chemical elements in the soil-plant cover of Arkhangelsk: monograph]. Arkhangelsk, Izd-vo SAFU Publ., 2013, 146 p. (in Russian).
14. GOST 17.4.4.02–84. Okhrana prirody. Pochvy. *Metody otbora i podgotovki pochvy dlya khimicheskogo, bakteriologicheskogo i gel'mintologicheskogo analiza* [The Nature Conservancy. Soil. Methods of sampling and preparation of soil for chemical, bacteriological and helminthological analysis.] Resolution of the USSR State Committee on Standards of 19.12.1984, no 4731. Moscow, Standart inform Publ., 2008, 8 p. (in Russian).

15. GOST 27262–87. *Korma rastitel'nogo proiskhozhdeniya. Metody otbora prob.* [Feed of plant origin. Sampling methods]. Resolution of the USSR State Committee on Standards of 30.03.1987, no 1073. Moscow, Izd-vo Standartov Publ., 2002, 9 p. (in Russian).
16. GN 2.1.7. 2511–09. *Orientirovochno dopustimye kontsentratsii (ODK) khimicheskikh veshchestv v pochve. Gigienicheskie normativy* [The approximate allowable concentration (APC) of chemicals in soil. Hygienic standards.]. Approved by the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation 18.05.2009, no. 32. Moscow, 2009. URL: <http://www.complexdoc.ru> (accessed 5 May 2014). (in Russian).
17. MU 2.1.7.730–99. *Metodicheskie ukazaniya: Gigienicheskaya otsenka kachestva pochvy naseleennykh mest: utv.* [Guidelines: Hygienic evaluation of soil quality localities: approved]. Chief state sanitary doctor of Russia 07.02.1999: entry with effect from 05.04.1999. Moscow, 1999, 20 p. (in Russian).
18. Alexeenko V. A., Suvorinov A. V., Vlasova E. V. *Metally v okruzhayushchey srede: pribrezhnye akval'nye landshafty Chernomorskogo poberezh'ya Rossii* [Metals in the Environment: coastal aquatic landscapes of the Black Sea coast of Russia: monograph]. Moscow: Izd FGBNU "NII PMT" Publ., 2012, 360 p. (in Russian).
19. Sauerbeck D. Welche Swermetallgehalte in Pflanzen dürfen überschritten werden, um Wachstumsbeeinträchtigungen zu vermeiden? [What Swermetallgehalte in dwelling plants may be exceeded in order to avoid Wachstumsbeeinträchtigungen?]. *Agricultural research, conference proceedings.* 1982, no. 39, p. 108–129 (in German).
20. *Vremennyy maksimal'no dopustimyy uroven' (MDU) sodержaniya nekotorykh khimicheskikh elementov i gossipola v kormakh dlya sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh i kormovykh dobavkakh* [Temporary maximum allowable level (MRL) content of some chemical elements and gossypol in farm animals' feed and feed additives]. Approved by Chief Veterinary Gosagroprom USSR of 07.08.87, no 128–4/281. Moscow, 1987 (in Russian).
21. *Allelopatiya rasteniy i pochvoutomlenie* [Allelopathy of plants and pochvoutomlenie: Selected Works] / Ed. A. M. Grodzinski. Naukova Dumka, 1991, 429 p. (in Russian).
22. Fedorova A. I., Nikol'skaya A. N. *Praktikum po ekologii i okhrane okruzhayushchey sredy* [Workshop on ecology and environmental protection]. Moscow, Vados Publ., 2001, 281 p. (in Russian).
23. Permogorskaya Yu. M. *Pochvennyy pokrov kak komponent gorodskoy ekosistemy Arkhangel'ska*: dis. kand. biol. nauk [Soil cover as a component of urban ecosystem of Arkhangelsk: dis. cand. biol. sci.]. Petrozavodsk, 2006, 167 p. (in Russian).
24. Titov A. F., Talanova V. V., Kaznina N. M., Laydinen G. F. *Ustoychivost' rasteniy k tyazhelym metallam* [Plant resistance to heavy metals]. Petrozavodsk, Karel'skiy nauchniy tsentr Publ., 2007, 172 p. (in Russian).
25. Nakvasina E. N., Permogorskaya Yu. M., Popova L. F. *Pochvy Arkhangel'ska. Strukturno-funktsional'nye osobennosti, svoystva, ekologicheskaya otsenka* [Soil of Arkhangelsk. Structural and functional features, properties, environmental assessment: monograph]. Arkhangelsk, Izd-vo AGTU Publ., 2006, 124 p. (in Russian).
26. SanPin 2.1.7.1287–03. *Pochva, ochistka naseleennykh mest, bytovye i promyshlennyye otkhody, sanitarnaya okhrana pochvy. Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k kachestvu pochvy.* [Soil, cleaning, household and industrial waste, soil sanitary protection. Sanitary requirements for the quality of the soil]. Approved by the Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation from 16.04.2003, no 53, approved changes 25.04.2007, no 20. Moscow, Minzdrav Rossii Publ., 2007, 14 p. (in Russian).
27. *Upravlenie kachestvom gorodskikh pochv* [Quality management of urban soils]. Ed. S. A. Shoby, A. S. Yakovlev. Moscow, MAKS Press, 2010, 96 p. (in Russian).

Popova L. F.

**Northern (Arctic) Federal University Named After M. Lomonosov.**

Naberezhnaia Severnoi Dvinu, 17, Arkhangelsk, Russia, 163002.

E-mail: ludap9857@mail.ru

Nakvasina E. N.

**Northern (Arctic) Federal University Named After M. Lomonosov.**

Naberezhnaia Severnoi Dvinu, 17, Arkhangelsk, Russia, 163002.

E-mail: e.nakvasina@narfu.ru