



С. Н. Горбов
О. С. Безуглова

Тяжелые металлы и радионуклиды в почвах Ростовской агломерации



УДК 631.4: 504.5(470.61)(078)

ББК 40.3я7

Г67

*Печатается по решению Комитета при Ученом совете ЮФУ
по естественнонаучному и математическому направлению
науки и образования (протокол № 4 от 3 июня 2020 г.)*

Рецензенты:

доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой прикладной
экологии Санкт-Петербургского государственного университета
Е. В. Абакумов;

доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой почвоведения
и оценки земельных ресурсов Южного федерального университета
Т. М. Минкина

Авторы: доктор биологических наук *С. Н. Горбов;*
доктор биологических наук *О. С. Безуглова*

Горбов, С. Н.

Г67 Тяжелые металлы и радионуклиды в почвах Ростовской
агломерации : монография / С. Н. Горбов, О. С. Безуглова ;
Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Та-
ганрог : Издательство Южного федерального университета,
2020. – 124 с.

ISBN 978-5-9275-3529-3

DOI 10.18522/801273349

В монографии изложены результаты многолетних исследований по изучению хими-
ческого состава, включая радиоактивные элементы, почв «Большого Ростова» – ядра Ро-
стовской агломерации, являющейся четвертой по размеру моноцентрической агломера-
цией в России.

Книга предназначена для научных работников, специалистов, занимающихся мони-
торинговыми исследованиями почвенного покрова Юга России, испытывающего избыточ-
ное антропогенное влияние. Она также может быть полезна для работников градострои-
тельных и природоохранных структур, студентов вузов.

УДК 631.4: 504.5(470.61)(078)

ББК 40.3я7

ISBN 978-5-9275-3502-6

© Южный федеральный университет, 2020

© Горбов С. Н., Безуглова О. С., 2020

© Оформление. Макет. Издательство

Южного федерального университета, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

I. Урбанизация как фактор трансформации окружающей среды	4
II. Химическое загрязнение городских почв Ростовской агломерации тяжелыми металлами и его оценка	9
2.1. Тяжелые металлы в почвах города	10
2.2. Эколого-геохимическое и гигиеническое нормирование почв урбандиапазона	17
2.3. Приоритетные тяжелые металлы в почвах урбандиапазона Большого Ростова	29
2.4. Валовое содержание микроэлементов в почвах Ростовской агломерации и их профилное распределение в различных типах почв	35
2.5. Диагностические горизонты городских почв как возможный индикатор экологической оценки	50
2.6. Оценка степени загрязнения естественных и антропогенно-преобразованных почв Ростовской агломерации тяжелыми металлами	63
2.7. Генотоксичность городских почв	76
III. Радионуклидный состав почв урбандиапазона Ростовской агломерации	87
3.1. Удельная активность радионуклидов ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K и ^{137}Cs в черноземах рекреационных территорий Ростовской агломерации	89
3.2. Удельная активность ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K и ^{137}Cs в антропогенно-преобразованных почвах	91
Заключение	94
Литература	95
Приложения	109
Приложение 1	111
Приложение 2	118

I. УРБАНИЗАЦИЯ КАК ФАКТОР ТРАНСФОРМАЦИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Урбанизация (от лат. urbanus – городской) – явление, возникшее давно, но приобретшее глобальные масштабы только в XX столетии. Под урбанизацией понимается процесс становления городов, неуклонного увеличения их количества, площади и численности населения. В ходе этого процесса сельские поселения приобретают черты городских образований, растет роль городов в социально-экономическом развитии общества. Меняется состав и менталитет населения, ведущего специфический образ жизни, появляются городские популяции растений и животных, происходит формирование своеобразного почвенного покрова.

Общемировая тенденция современного мира – устойчивый рост количества, территории и численности населения городов. Если в 1800 г. в мире насчитывалось менее 50 городов с населением 100 тыс. человек и более, то в 1950 г. было уже 906 таких городов, а в 1980 г. – 2202 города (Игнатова, 2010). Иными словами, среднестатистическая скорость возникновения новых городов в мире за период 1800–1950 гг. составляла 5,7 города в год, а в 1950–1980 гг. – уже 43,2 города в год. Обращает внимание изменение тенденций внутри процесса урбанизации (рис. 1). Скорость урбанизации в развитых странах явно замедлилась, в то же время этот процесс ускорился в развивающихся и в наименее развитых странах. Одновременно возросла концентрация населения в крупных и сверхкрупных агломерациях. По данным на 2016–2017 гг. в мире насчитывалось 54 города с населением свыше 5 млн человек, 15 мегагородов с населением более 10 млн человек, из них 3 города с населением более 20 млн (Крупнейшие города мира, 2017). Согласно данным ООН в городах проживает половина населения Земли, и к 2030 г. эта величина достигнет 60 % (Кошелева, 2010). Однако в России уже сегодня в городах проживает почти 75 % населения. И это не самый высокий показатель, в настоящее время

наиболее урбанизированными являются Великобритания (92 % населения проживает в городах), Кувейт (91 %), Израиль (90 %), Австралия (85 %), Швеция (83 %). Подобного рода концентрация экономической жизни приводит к формированию обширных зон почти сплошной урбанизации, представляющей собой гигантские поселения ленточного типа, замыкающиеся в единую сеть (Горбов, Безуглова, 2019).

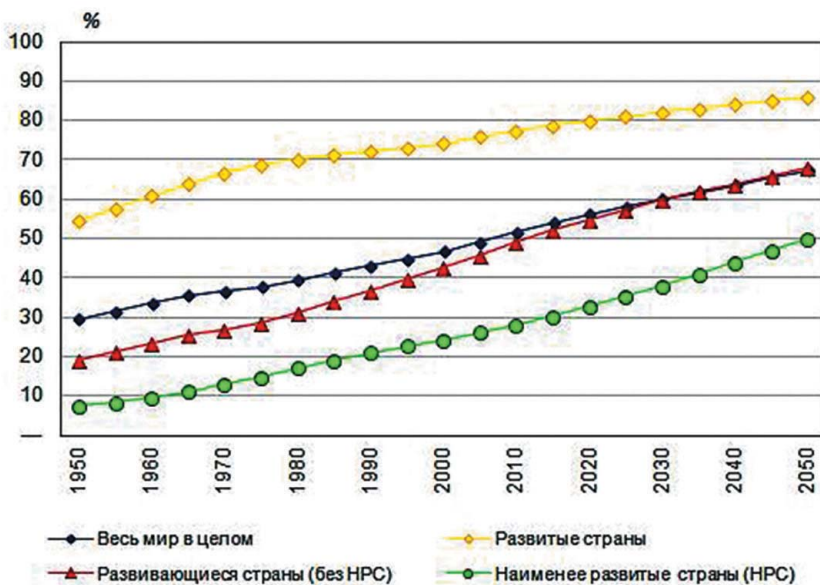


Рис. 1. Доля городского населения по основным группам стран мира, 1950–2050 гг., % от общей численности населения (Шербакова, 2013)

Урбанизация как процесс тесно переплетается с явлением субурбанизации – развитием пригородов. Первоначально она проявляется в возникновении вокруг крупных городов пригородов, демографический рост которых на каком-то этапе начинает обгонять развитие центра. Вынос за пределы города промышленных предприятий, с одной стороны, и переселение в пригородную зону жителей из центрального города, с другой сто-

роны, приводят к формированию городских агломераций – взаимосвязанных групп поселений городского типа, объединенных в динамичные системы – мегаполисы – различными видами связей (трудовых, производственных, инфраструктурных, рекреационных). Самый большой на Земле по численности населения мегалополис Токайдо сформировался вдоль Тихоокеанского побережья Японии по линии Токио – Осака. В нем проживает около 70 млн человек, что составляет почти 60 % населения Японии и 2/3 ее промышленного производства. В Европе, например, это Рейнская зона, охватывающая три страны – агломерации Германии, Нидерландов и Бельгии, в которой проживает по разным оценкам 30–35 млн человек.

Такие глобальные проблемы природопользования, как загрязнение окружающей среды, деградация почв и растительности, наблюдаются на урбанизированных территориях еще более выпукло. Во многих городах мира, как в России, так и в других странах, экологическая ситуация близка к критической. Техногенное геохимическое воздействие на окружающую среду в таких мегаполисах, являющихся одновременно крупными промышленными центрами, во много раз сильнее (Cordsen, 1996; Безуглова и др., 2000, 2010; Александрова, 2000; Стороженко и др., 2000; Бармин и др., 2008, 2011; Прокофьева и др., 2010; Дабахов и др., 2011а; Синцов и др., 2013; Водяницкий и др., 2013; Новиков, 2014; Павлова и др., 2015; Сазонова и др., 2015; Невенчанная, Михайлова, 2015; Дербенцева, Брикманс, 2015; Мальцева, Юшин, 2016; Исяньюлова, Батталова, 2016; Айдосов, Заурбеков, 2016; Айдинов и др., 2017; Шишкина, 2017а, 2017б; Суворов, 2019). Как следствие, территории городов, особенно крупных промышленных центров, по сути, представляют собой техногенные геохимические и биогеохимические провинции (рис. 2). Благодаря своей депонирующей способности, почвы городов защищают сопредельные среды и человека, продолжая даже в таких экстремальных условиях выполнять свои функции, и в первую очередь – протекторную. При этом следует помнить, что города, становясь центрами концентрации несвойственных природным экосистемам веществ, могут быть мощными источниками техногенного загрязнения.

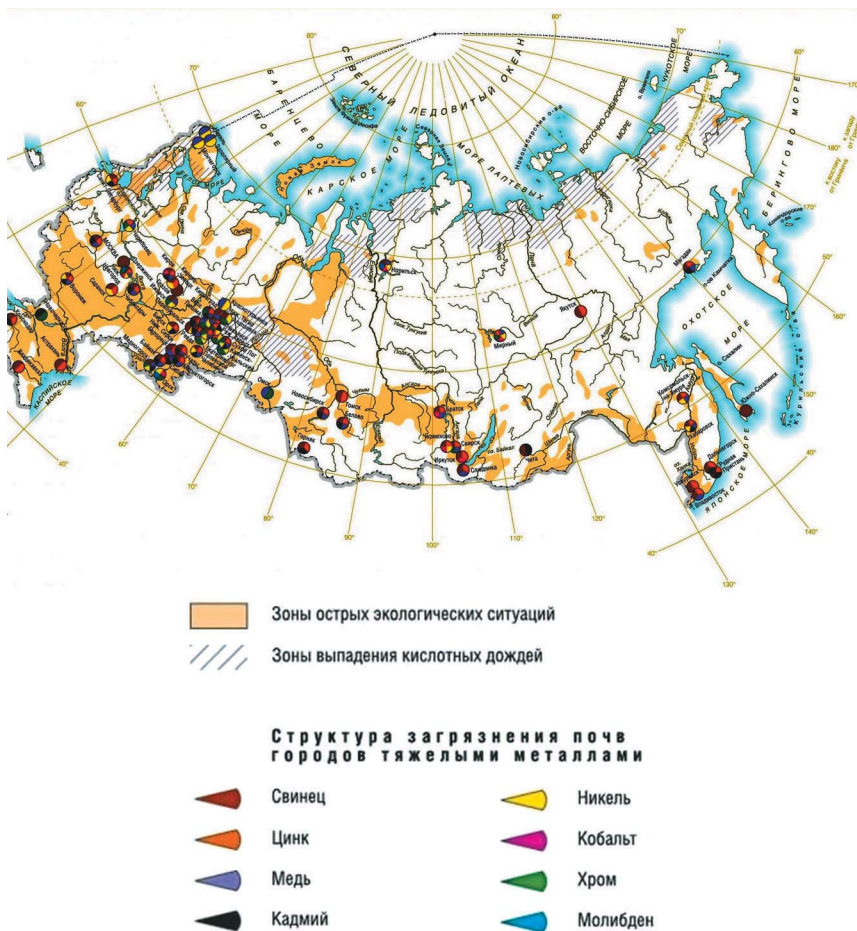


Рис. 2. Загрязнение почв России тяжелыми металлами, масштаб 1 : 30 000 000 (Мотузова и др. Атлас почв РФ. Электронная версия Национального атласа почв Российской Федерации)

Таким образом, антропогенные нарушения почвенных процессов и экосистемных функций почв – неизбежный итог урбанизации, который отражается на качестве жизни городских жителей.

И, следовательно, изучение городских и антропогенно-измененных почв становится одним из самых востребованных и актуальных направлений почвоведения. Задачи этого направления включают развитие современных методов их изучения, классификации и картографирования, оценки и прогнозирования состояния. Этим объясняется внимание к изучению городских почв и появление множества публикаций, вплоть до крупных монографических работ и учебников (Burghardt, 1989, 1997; Приваленко, 1993; Строганова и др., 1997, Строганова, 1998; Приваленко, Безуглова, 2003; Безуглова и др., 2010; Безуглова и др., 2012; Матинян, Бахматова, 2012; Levin et al., 2017).

II. ХИМИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ГОРОДСКИХ ПОЧВ РОСТОВСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И ЕГО ОЦЕНКА

В прогнозировании экологического состояния почвенного покрова городских агломераций одним из наиболее значимых направлений является изучение роли тяжелых металлов и их соединений в естественных и антропогенно-преобразованных поверхностных и глубинных горизонтах городских почв. Металлы, обладающие изначально различными кларками, имеют самые разнообразные формы и ареалы распространения в земной коре; как следствие, их вынос на поверхность и распределение в ходе педогенеза по почвенному профилю зависят от совокупности факторов почвообразования, которые в последнее время усугубляются деятельностью человека. При этом массоперенос тяжелых металлов и их соединений на дневную поверхность является в большинстве своем процессом управляемым, и может быть сопряжен, например, с разработкой месторождений (Водяницкий и др., 2012). В то время как обратный процесс – привнесение металлов в объекты окружающей среды в целом и в почву в частности – носит зачастую неконтролируемый, а иногда и стихийный характер, выраженный в сборе и захоронении ТБО, сбросах промышленных предприятий, влиянии транспортного трафика, возникновении локальных техногенных катастроф.

Ростовская агломерация, и прежде всего ее ядро – «Большой Ростов» (рис. 3), за последнее десятилетие претерпела значительные изменения индустриальной и транспортной локализации. Основная масса промышленных предприятий городов Ростов-на-Дону и Аксай сосредоточена на левом берегу реки Дон, тем самым была создана своеобразная гидропреграда между основными источниками промышленных загрязнений и селитебными зонами городов. Как следствие, главенствующая роль в аэроагрузке в настоящее время принадлежит транспорту из-за изменений магистральной карты агломерации, наряду с этим меняются условия и особенно-

сти урбанистического процесса, а также его взаимодействие с окружающей средой.

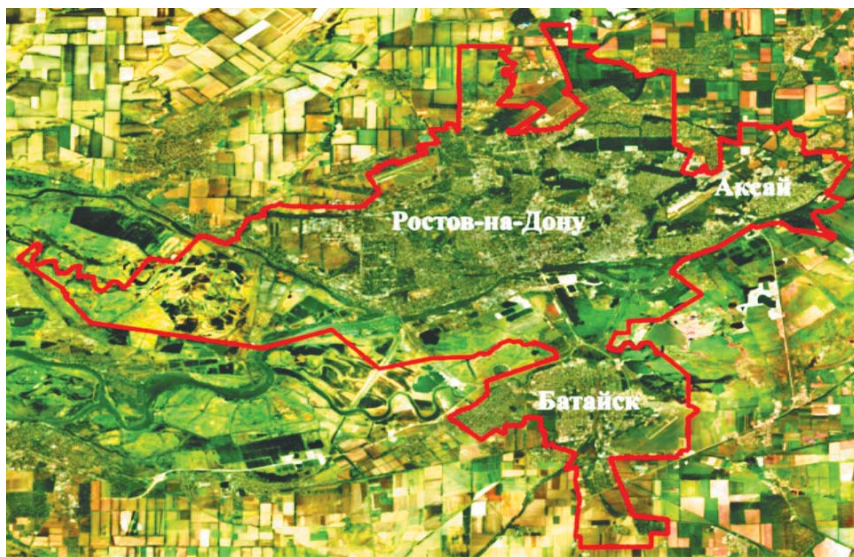


Рис. 3. Границы «Большого Ростова» – ядра Ростовской агломерации (Горбов, Безуглова, 2019)

В условиях города любые изменения режимов почвообразования, определяющих урбопедогенез, отражаются на почвенном покрове и его свойствах, поэтому изучение механизмов сопротивляемости и приспособляемости почв к различным формам загрязнения, а особенно связанным с антропогенным воздействием, становятся все актуальнее.

2.1. Тяжелые металлы в почвах города

В настоящий момент уже не вызывает сомнения тот факт, что изучение вопросов возникновения и трансформации урболандшафтов является острой и первостепенной задачей, направленной на понимание процессов устойчивого развития городской среды в целом. При этом всестороннее изучение почв городских террито-

рий неразрывно связано, прежде всего, с исследованиями загрязнения этих объектов различного рода поллютантами, в том числе тяжелыми металлами (ТМ) (Минкина и др., 2001; Lu et al., 2003; Ладонин, Пляскина, 2009; Никифорова, Кошелева, 2009; Водяницкий и др., 2010; Shamilishvili et al., 2015).

При этом основная масса публикаций посвящена изучению накопления ТМ и их трансформации в верхних горизонтах городских почв (Ладонин, Пляскина, 2009; Плеханова, Бамбушева, 2010; Шишкина, 2017а; 2017б). И лишь немногие работы сопряжены с исследованием содержания ТМ во всей почвенной толще и их миграции по профилю (Безуглова и др., 2000; Смагин, 2010; Корчагина и др., 2014; Дубинина и др., 2016; Bezuglova et al., 2016).

В химии почв тяжелые металлы как особая группа элементов выделяются из-за токсического действия, оказываемого на растения при высокой их концентрации (Водяницкий, 2012). Используемые перечни ТМ, как правило, не точны, так как зачастую само количество тяжелых металлов не конкретизируется и ограничено расплывчатой фразой «более 40 химических элементов». Тем не менее в работе Д. С. Орлова с соавторами (2005) к «наиболее типичным тяжелым металлам-загрязнителям» относят всего одиннадцать: Pb, Cd, Hg, Zn, Mo, Ni, Co, Sn, Ni, Cu и V. Ю. Н. Водяницкий (2012) считает целесообразным присоединить к ним и тяжелые металлоиды (раньше их называли полуметаллы), к примеру, два из них – Sb, As. Эти элементы как опасные металлоиды включены во многие списки тяжелых элементов. Согласно современным тенденциям урбопочвоведения (Norra, Cheng, 2017) среди металлов, содержащихся в городских почвах, наибольшее беспокойство вызывают свинец, мышьяк, барий, кадмий, медь, ртуть, никель и цинк. Несмотря на то, что все эти элементы естественным образом присутствуют в горных породах и минералах, многие из них являются результатом развития производства и промышленности в городе.

Может показаться странным, что в эту группу отнесены Zn, Cu, Co, Mo, широко известные как микроэлементы, высокая физиологическая значимость которых в процессах метаболизма не только научно доказана, но и учитывается в практике сельского хозяйства и медицины (Микроэлементы в сельском хозяйстве..., 1963; Ковальский, 1982; Биологическая роль микроэлементов, 1983).

Однако все дело в концентрации химического элемента в среде обитания: при дефиците его содержания для живых организмов он рассматривается как микроэлемент, при избытке – как тяжелый металл. Как отмечает В. Б. Ильин (1991), будет правильным говорить не о токсичных элементах, а токсичных концентрациях.

Загрязнение ТМ территории крупных городов может являться существенным фактором риска для нормального функционирования городских экосистем. При отсутствии крупных металлургических производств загрязнение городской территории тяжелыми металлами характеризуется малой интенсивностью поступления поллютантов на поверхность в течение длительного периода времени. При этом почвы могут испытывать воздействие сразу нескольких источников загрязнения, расположенных в пределах городской территории (Ладонин, Пляскина, 2009).

По мнению Д. Хиллера (Hiller, 1996), основные и наиболее значимые пути поступления загрязняющих веществ, и в первую очередь ТМ, в антропогенно-трансформированные и индустриальные почвы урболандшафтов следующие:

- из атмосферы (индустриальное производство, малые предприятия, транспорт);
- из гидросферы (токсичные речные отложения, внутритпочвенные и грунтовые воды);
- посредством естественных эрозионных и аккумулятивных процессов (вода, ветер);
- посредством привноса и удаления субстрата (переотложение естественных, но уже загрязненных субстратов, переотложение техногенных субстратов, привнос мусора и строительных материалов).

Однако главным источником ТМ в городских почвах, по мнению Н. Е. Кошелевой с соавторами (2015), является техногенная пыль. Химический состав выпадающих из атмосферы частиц сильно различается в зависимости от их размера и происхождения. Они состоят из крупных частиц диаметром < 10 мкм, мелких – меньше 2,5 мкм и больше 1 мкм и очень мелких частиц диаметром $< 0,1$ мкм.

Наряду с источниками загрязнения немаловажную роль играют и места депонирования ТМ. В условиях урболандшафтов они

представлены, прежде всего, поверхностными горизонтами городских почв, являющимися, по сути, геохимическими барьерами, на которых и сорбируются основные поллютанты (Перельман, 1975; Мотузова, 1988; Глазовская, 2012).

Так, накопление химических элементов в почвах г. Москвы контролируется целым рядом факторов, обуславливающих формирование различных классов геохимических барьеров: хемосорбционного (оксиды Fe и Mn сорбируют Bi, Sb, As, Cu, Pb, Zn), биогеохимического органоминерального (органическое вещество почв связывает Sb, As, Pb), сорбционно-седиментационного (гранулометрический состав почв – Cd, Cu) и щелочного (кислотно-основные свойства – Cd, Cu, Zn) (Кошелева и др., 2015).

Техногенная трансформация физико-химических свойств почвенного покрова урболандшафтов приводит к тому, что в почвах городов значительно повышается содержание тяжелых металлов относительно фоновых аналогов. В подтверждение этому можно привести огромное количество примеров.

Для такого мегаполиса, как Москва, где большинство почв не исчерпало своей буферной емкости, в отдельных районах зафиксировано превышение нормативов по основным загрязнителям, причем для большинства из них аккумуляция свыше ПДК наблюдается во всей метровой толще и даже за ее пределами (Смагин, 2010).

По данным Кошелевой с соавторами (2015), в результате техногенного воздействия промышленных предприятий и автотранспорта в почвах Восточного административного округа Москвы по сравнению с фоновыми возрастают концентрации ТМ с коэффициентами накопления K_c 2,9–7,6. Особенно сильно городские почвы обогащены подвижными формами элементов: $Zn\ 36 > Bi\ 22 > As\ 10 > Sb\ 7 > Cu\ 5 > Cd\ 3 > Pb\ 1,3$. Заметно увеличивается по сравнению с фоном подвижность Zn (в 6,7 раза), Bi (4,3), As (2,5), Cu (1,6). В выпадениях Pb и Cd преобладают труднорастворимые соединения, поэтому их подвижность, напротив, уменьшается.

Исследования почвенного покрова парковых ансамблей Санкт-Петербурга, проведенные Н. Н. Матинян и К. А. Бахматовой (2012), указывают на локальное загрязнение даже рекреационной зоны города тяжелыми металлами. Определение со-