
**ДЕГРАДАЦИЯ,
ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ОХРАНА ПОЧВ**

УДК 631.41

**ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ ФОНОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ
ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ РЕГИОНАЛЬНОМ
МОНИТОРИНГЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ**

© 2019 г. О. В. Чернова¹, О. С. Безуглова², *

¹Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Ленинский пр-т, 33, Москва, 119071 Россия

²Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет,
пр-т Стачки, 194/1, Ростов-на-Дону, 344006 Россия

*e-mail: lola314@mail.ru

Поступила в редакцию 26.08.2018 г.

После доработки 17.10.2018 г.

Принята к публикации 28.11.2018 г.

При мониторинге загрязнения почв тяжелыми металлами сложной задачей является выбор целевых показателей: фоновых или пороговых значений. Определение фоновых концентраций имеет важное практическое значение, так как загрязнение чистых почв до уровней ниже нормативов ПДК и ОДК не фиксируется и не наказывается. Данные фоновых концентраций при оценке загрязнения применяются редко, поскольку в большинстве случаев эти значения не определены. Исследование почв особо охраняемых природных территорий Ростовской области позволило выявить региональную особенность почвенного покрова – повышенные концентрации ряда тяжелых металлов и других микроэлементов в почвах, обусловленные богатством материнских пород этими элементами. Полученные данные свидетельствуют о невозможности использования при мониторинге загрязнения почв Ростовской области существующих санитарно-гигиенических нормативов валовых концентраций микроэлементов, как ПДК, так и ОДК. Более перспективным представляется использование фоновых показателей, характеризующих почвы охраняемых территорий области. Для корректного ведения экологического мониторинга необходимо иметь набор характеристик минимально антропогенно-измененных почв области (фоновых и условно-фоновых), отражающих почвенное разнообразие региона: типологическое, по гранулометрическому составу и составу почвообразующих пород.

Ключевые слова: Ростовская область, особо охраняемые территории, черноземы, каштановые почвы, тяжелые металлы

DOI: 10.1134/S0032180X19080045

ВВЕДЕНИЕ

Невозобновляемый характер природных ресурсов и ограниченность ассимиляционной емкости биосферы обуславливают необходимость контроля происходящих в окружающей среде негативных процессов. Существенным фактором нарушения биологического круговорота элементов является загрязнение, слежение за которым в настоящее время стало одним из приоритетных направлений мониторинга, в частности почвенного. В почвенном мониторинге – глобальном, региональном и локальном – наиболее сложной задачей является выбор целевых показателей: фоновых или пороговых значений [34].

Методически наиболее сложно нормировать содержание в природных объектах соединений, имеющих как естественное, так и техногенное происхождение, к ним относятся многие микроэлементы, в том числе и тяжелые металлы. При мониторинге загрязнения в большинстве стран

мира, в том числе в России, законодательно нормируются максимальные валовые концентрации тяжелых металлов, то есть применяются санитарно-гигиенические подходы [1, 24, 31, 32]. Однако при этом не учитывается форма нахождения элементов, хотя большая их часть не представляет непосредственной опасности для человека и их переход в продукты, используемые человеком, невозможен. При оценке загрязнения обычно определяются площади почв, в которых в результате того или иного техногенного воздействия аккумулированы наиболее распространенные поллютанты в концентрациях, превышающих установленные критические показатели [35]. Загрязнение чистых и условно чистых почв выпадает из сферы мониторинга, несмотря на важность выявления негативных изменений, еще не достигших критического уровня.

Нормативы валовых концентраций микроэлементов в региональном мониторинге. В природо-

охранной практике России, как и во всем мире, нормативы качества почв устанавливаются в форме нормативов предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ, те же показатели используются и при расчете платежей за загрязнение окружающей среды и являются основными реперными точками при ведении мониторинга. Согласно методике, при установлении ПДК загрязняющих веществ учитывается связь почвы с сопредельными средами и накопление токсических веществ в пищевых цепях [21]. Определяют ПДК на основе модельных экспериментов при соблюдении принципа экстремальности: испытывают почву с максимальной фильтрующей и минимальной сорбционной способностью, поэтому во многих регионах концентрации микроэлементов в незагрязненных почвах оказываются выше установленных нормативов. Чтобы преодолеть существующие несоответствия в нормативном законодательстве, в 1995 г. были установлены ориентировочно допустимые количества (ОДК) валового содержания шести тяжелых металлов и мышьяка для почв различного гранулометрического состава с учетом реакции среды, превышение которых свидетельствует о возможности негативных последствий для экосистемы. Полученные расчетно-экспертным методом нормативы ОДК отчасти разрешили проблему, поскольку уменьшилось количество регионов, в почвах которых фоновые концентрации превышают нормативные оценочные показатели. С другой стороны, в большинстве случаев концентрация контролируемых элементов в почвах значительно ниже нормативных показателей ОДК, а действующая в России система платежей за загрязнение природной среды основана на расчетах с использованием нормативов ПДК и ОДК, поэтому загрязнение чистых почв до уровней ниже этих показателей не фиксируется и не наказывается. Кроме того, при техногенном загрязнении в окружающую среду в большом количестве поступают элементы, для которых не установлены санитарно-гигиенические нормативы (Ba, Be, Bi, Nb, Cr, Mo, Se, Sn, Sr, Tl и др.). В такой ситуации в качестве эколого-геохимического норматива рекомендовано использовать удвоенное фоновое содержание элементов в почвах регионов [20, 24].

Региональные фоновые концентрации элементов при оценке загрязнения применяются редко, поскольку в большинстве случаев эти значения не определены. Лишь для немногих областей, например, для Томской, законодательно установлены фоновые концентрации элементов-загрязнителей в типичных почвах, которые могут использоваться для вычисления вреда, причиненного окружающей среде [19]. Поэтому вопрос установления фоновых концентраций тяжелых металлов и некоторых других микроэлементов-загрязнителей в почвах стоит весьма остро, осо-

бенно в регионах высокой антропогенной преобразованности. Сведения о фоновых значениях концентраций микроэлементов необходимы также при ведении регионального и локального почвенного мониторинга. В их отсутствии в качестве точек отсчета используют кларковые значения, рассчитанные для обширных регионов или земной коры в целом, либо усредненные данные о содержании контролируемых элементов в почвенном покрове рассматриваемого региона или в почвах сходного генезиса. Иногда в качестве фоновых показателей используют характеристики почв незагрязненных территорий или условно-фоновые показатели, например, содержание поллютантов в почвах парков и лесопарковых зон при исследовании городских почв [3, 4, 7, 8, 10, 16, 22].

На уровни концентраций элементов в незагрязненных почвах влияет множество факторов: минералого-петрографический состав почвообразующих пород, геохимические особенности территории, гидрологический режим, набор почвообразовательных процессов и специфические почвенные характеристики, в том числе количество и состав органического вещества, реакция среды, гранулометрический состав и др. Кроме того, содержание микроэлементов характеризуется высоким варьированием в пределах одного региона и классификационного выдела. Еще в середине прошлого века Зыриным [11] было отмечено, что степень варьирования концентраций микроэлементов различна и снижается в ряду: $Mn > B > [Cu, Zn, Ni, Co, V, Cr] > Mo > I$ (элементы в скобках в различных почвах могут меняться местами). Все перечисленное осложняет выбор фоновых показателей и приводит к неоднозначности интерпретации результатов мониторинга.

Таким образом, для корректного ведения почвенного мониторинга необходимо установить региональные фоновые концентрации приоритетных поллютантов, в том числе тяжелых металлов. При многообразии почв, почвообразующих пород и географических условий в нашей стране трудно надеяться на создание единых нормативов, пригодных для использования на всей территории России. Однако выделение крупных, однородных по своим природно-климатическим характеристикам регионов и создание для них системы фоновых показателей на основе систематизации и анализа большого объема накопленных к настоящему времени фактических данных поможет оптимизировать работы в области экологического мониторинга.

Цель исследования – рассмотрение возможности установления региональных фоновых концентраций тяжелых металлов и оценка варьирования валовых концентраций ряда тяжелых металлов в почвах фоновых и условно-фоновых территорий на локальном уровне для Ростовской

области – территории с крайне высокой антропогенной преобразованностью.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследовали валовое содержание и локальную вариабельность ряда микроэлементов в целинных и минимально антропогенно-измененных почвах Ростовской области. Большая часть разрезов заложена в пределах особо охраняемых природных территорий (ООПТ) областного подчинения, поскольку в пределах охраняемых территорий федерального уровня (государственный природный биосферный заповедник “Ростовский” и природный заказник “Цимлянский”) не представлено все разнообразие почв области. Для изучения выбраны почвенные разности, сформированные в автоморфных условиях под различными целинными или минимально нарушенными растительными ассоциациями на различных по генезису и гранулометрическому составу почвообразующих породах. Вблизи ряда опорных разрезов с площадок $10 \times 10 \text{ м}^2$ по регулярной сетке отобрано по 15 образцов из слоя 0–20 см для исследования естественного варьирования (ГОСТ 17.4.4.02–84) содержания органического углерода и валовых концентраций ряда микроэлементов (Cr, Ni, As, Sr, Co, Zn, Pb, Cu, Ti). В образцах из опорных разрезов определены основные химические и физико-химические характеристики [2] и гранулометрический состав (ГОСТ 12536–2014).

Объектами исследования послужили следующие почвы:

– в пределах ООПТ областного подчинения “Разнотравно-типчаково-ковыльная степь” в Чертковском районе – черноземы южные малогумусные среднесуглинистые (среднемощный на красно-бурой структурной глине, подстилаемой элювием песчаника (Haplic Kastanozem (Loamic)) под богатой разнотравно-типчаково-ковыльной целинной степью (разр. 1601) и неполноразвитый на элювии песчаника (Eutric Cambisol (Loamic, Humic)) под разреженной разнотравно-типчаково-ковыльной степью (разр. 1602));

– под лесной растительностью на ООПТ “Фоминская дача” – черноземы южные мощные среднегумусные легкоглинистые (Haplic Chernozems (Clayic, Pachic)) на желто-бурых суглинках (под пологом леса из столетних посадок дуба с подростом клена (разр. 1603) и на поляне в широколиственном лесу с разнотравно-злаковым травяным покровом (разр. 1604));

– на ООПТ “Кундрюченские пески” – примитивная супесчаная слабогумусированная почва (серопески) (Eutric Arenosol (Humic)), сформированная под псаммофитной луговой растительностью (разр. 1605);

– в пределах одного из участков ООПТ “Раздорские склоны” – чернозем обыкновенный карбонатный маломощный малогумусный тяжелосуглинистый (Haplic Chernozem (Loamic)) на лёссовидном суглинке, заложенный под незначительно нарушенной разнотравно-типчаковой степной растительностью (разр. 1606);

– на ООПТ “Персиановская степь” – чернозем обыкновенный мощный среднегумусный тяжелосуглинистый (Haplic Chernozem (Loamic, Pachic)) на желто-бурых суглинках под густой целинной разнотравно-типчаковой растительностью (разр. 1607);

– на двух участках ООПТ “Хороли” – черноземы обыкновенные карбонатные малогумусные легкоглинистые на желто-бурой глине (среднесмытый маломощный (Haplic Chernozem (Clayic)) под разнотравно-типчаково-злаковой степью (разр. 1501) и слабосмытый среднемощный (Haplic Chernozem (Clayic, Pachic)) под восстановленной в течение более 20-летнего залежного режима разнотравно-злаковой растительностью (разр. 1502));

– вблизи ООПТ “Разнотравно-типчаково-ковыльная степь” в Зерноградском районе – чернозем обыкновенный карбонатный слабосмытый среднемощный малогумусный тяжелосуглинистый (Haplic Chernozem (Loamic, Pachic)) на легкой глине под богатой разнотравно-типчаково-ковыльной степью (разр. 1503);

– в пределах Краснопартизанского участка Ростовского государственного заповедника описан комплекс, состоящий из лугово-каштановой почвы (Haplic Kastanozem (Loamic)) под целинной разнотравно-типчаковой степью (разр. 1701); солонца каштанового среднего столбчатого (Haplic Solonetz (Albic, Loamic, Columnic, Cutanic, Differentic)) под разреженной типчаково-полынной растительностью (разр. 1702) и каштановой слабосолонцеватой почвы (Luvic Kastanozem (Loamic, Protosodic)) под разнотравно-злаковой растительностью (разр. 1703). Все почвы тяжелосуглинистого гранулометрического состава, развитые на желто-бурых тяжелых суглинках;

– на территории Стариковского участка Ростовского заповедника – каштановая среднесолонцеватая среднесуглинистая почва (Luvic Kastanozem (Loamic, Protosodic)) на желто-буром лёссовидном тяжелом суглинке под целинной типчаковой степью (разр. 1704);

– на небольшом участке (15 га), оставшемся от ООПТ “Приманычская степь”, до 2017 г. занимавшей площадь 150 га, – чернозем обыкновенный карбонатный среднемощный среднесуглинистый (Calcic Chernozem (Loamic, Pachic)) на желто-буром суглинке под умеренно-сухой типчаково-разнотравно-ковыльной растительностью террасной степи (разр. 1705);

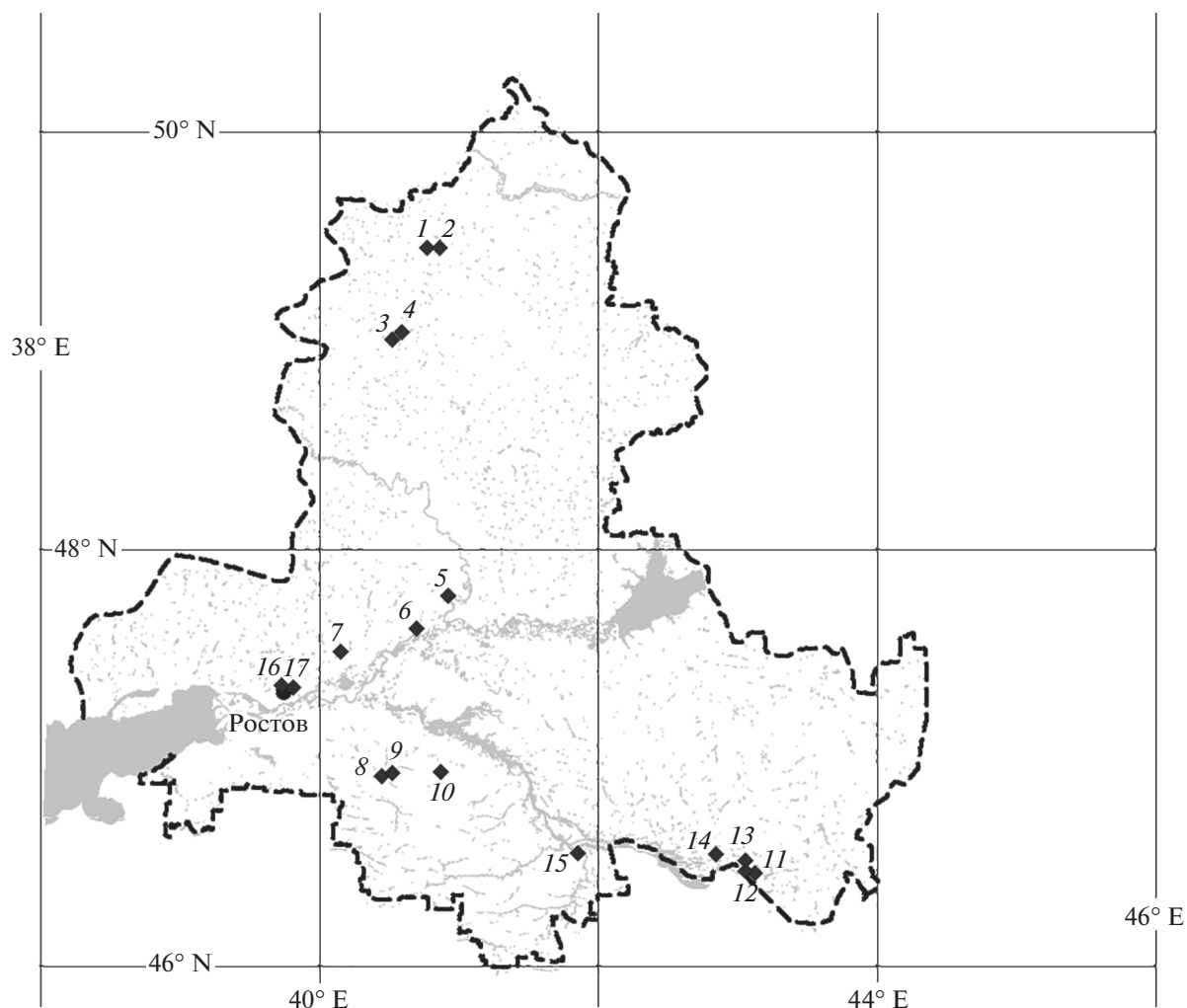


Рис. 1. Расположение исследованных разрезов на особо охраняемых природных территориях: 1 – 1601, 2 – 1602, 3 – 1603, 4 – 1604, 5 – 1605, 6 – 1606, 7 – 1607, 8 – 1501, 9 – 1502, 10 – 1503, 11 – 1701, 12 – 1702, 13 – 1703, 14 – 1704, 15 – 1705, 16 – 1701Б, 17 – 1702Б (названия почв приводятся в тексте).

– на территории Ботанического сада ЮФУ описаны черноземы обыкновенные карбонатные мощные тяжелосуглинистые (Haplic Chernozem (Loamic, Pachic)) на желто-буром лёссовидном суглинке: под целинной разнотравно-типчаково-злаковой степью (1701Б) и восстанавливающейся на протяжении 70 лет залежного режима степной растительностью в типчаковой стадии зарастания (1704Б).

Названия почв даны в соответствии с Классификацией и диагностикой почв СССР [20]. Схема расположения точек исследования приводится на рис. 1.

В отобранных по профилю образцах и пробах почв для исследования естественного варьирования определяли содержание гигроскопической влаги (ГОСТ 28268-89), гранулометрический состав почв пипеточным методом (ГОСТ 12536-2014), валовой состав макро- и микроэлементов (Cr, Ni,

As, Sr, Co, Zn, Pb, Cu, Ti) методом рентгенфлуоресцентной спектроскопии на приборе Спектроскан-МАКС [18].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Фоновые концентрации микроэлементов в почвах ООПТ. Концентрации тяжелых металлов и других микроэлементов в целинных и старозалежных почвах обследованных охраняемых территорий Ростовской области в большинстве случаев высоки и часто превышают кларки элементов в почвах [5, 17], а также условные фоновые значения, которые до настоящего времени использовались при обследовании почв области [30] (табл. 1).

Сравнение с государственными нормативами загрязнения (ПДК и ОДК для соответствующих групп почв) также выявило обогащенность фоновых почв области микроэлементами. Так, кон-

Таблица 1. Некоторые нормативные уровни концентраций микроэлементов в почвах, ppm

Норматив	V	Cr	Ni	Zn	Pb	Cu	Mn	Co	Sr	As
Кларки в почвах [4]	100	200	40	50	10	20	850	8	300	5
Каштановые почвы/черноземы* [13]	37/125	72/121	20/30	43/57	25	20/30	460/745	3/12		8
Фон* (каштановые почвы/черноземы) [30]	63/90	161/109	20/46	50/62		16/30	690/930	12/6	110/130	
ПДК	150	90			32		1500			2
ОДК										
пески, супеси			20	55	32	33				2
суглинки и глины (рН > 5.5)			80	220	130	132				10

* Первое значение относится к каштановым почвам, второе – к черноземам; единственное значение характеризует черноземы.

центрация As почти во всех почвах превышает показатели ПДК и ОДК, а содержание Ni лишь немного ниже установленного уровня ОДК.

Из почв обследованных памятников природы заметно сниженным содержанием ряда микроэлементов (Ni, Zn, Cu, Co) характеризуются только примитивная супесчаная почва, сформированная на аллювиальных песчаных отложениях (разр. 1605), и черноземы южные среднесуглинистые на элювии песчаников (разр. 1601, 1602) (табл. 1, 2).

При этом концентрации элементов по профилям различных почв значительно изменяются. В поверхностных дерновых горизонтах отмечается концентрирование некоторых тяжелых металлов (Zn, Pb), что согласуется с известными фактами о накоплении этих элементов в обогащенных органическим веществом горизонтах, а также о превышении атмосферного поступления этих металлов над выщелачиванием и вовлечением в биомассу растений [13].

Однако в тяжелых по гранулометрическому составу материнских породах (красно-бурых и желто-бурых суглинках и глинах) концентрации микроэлементов также повышенные, и только в аллювиальных песках и элювии песчаника они заметно меньше. Таким образом, региональной особенностью почвенного покрова является повышенное содержание ряда микроэлементов, обусловленное богатством материнских пород.

Локальное природное варьирование валовых концентраций микроэлементов. Многие исследователи отмечают высокую изменчивость концентраций микроэлементов в почвах [12, 17, 25, 36], причем даже сформированных на породах сходного состава и генезиса [28], поэтому была исследована природная изменчивость концентраций микроэлементов в фоновых почвах Ростовской области. Изучая вариабельность концентраций микроэлементов в поверхностном слое почв охраняемых территорий, стремились охватить почвы, различающиеся типологически, по гранулометрическому составу, сформированные на разных поч-

вообразующих породах и под разными растительными ассоциациями.

Использованные объемы выборок (по 15 образцов вблизи каждого опорного разреза) не позволяют корректно оценить тип распределения. Однако симметричность распределений значений в выборках и сопоставимость медианы и среднего арифметического во всех рассмотренных случаях позволяет предположить, что распределение значений валовых концентраций микроэлементов близко к нормальному.

В табл. 3 приводятся результаты вариационно-статистического анализа данных по содержанию некоторых микроэлементов в ряде целинных и минимально антропогенно-измененных почв охраняемых территорий Ростовской области. Исследование изменчивости концентраций микроэлементов вблизи опорных разрезов показало, что в пределах небольшой площади $10 \times 10 \text{ м}^2$ для разных элементов минимальные и максимальные значения могут различаться в 1.5–3 раза, иногда до 4–5 раз.

Результаты единичных определений могут значительно отличаться от среднего, однако границы типичных значений (2, 3 квартили) оказываются значительно уже. Несколько более высокими коэффициентами вариации по сравнению с остальными рассмотренными элементами характеризуются валовые концентрации Co ($V_{\min} = 6$, $V_{\max} = 50$, $V_{\text{cp}} = 19\%$) и Pb ($V_{\min} = 8$, $V_{\max} = 31$, $V_{\text{cp}} = 16\%$). В большинстве случаев коэффициент вариации не превышает 33%, что свидетельствует об однородности рассмотренных совокупностей.

При проведении почвенного мониторинга поверхностные образцы практически никогда не анализируют с повторностями, обычно исследуют смешанные образцы, полученные при смешении пяти точечных проб из пахотного слоя почвы, или образцы из генетических горизонтов, отобранные по профилю почв в соответствии с государственными стандартами (ГОСТ 17.4.4.02-84). Оценены различия между среднеарифметическими значениями концентраций элементов в поверхностном слое 0–20 см почв ($n = 15$) и показа-

Таблица 2. Валовые концентрации микроэлементов в некоторых фоновых почвах Ростовской области, ppm

Горизонт	Глубина, см	V	Cr	Ni	Zn	Pb	Cu	Mn	Co	Sr	As
Чернозем обыкновенный карбонатный легкоглинистый на желто-бурой глине (разр. 1501)											
A1d	0–12	106	99	68	94	32	62	1042	23	138	11
A1	12–21	106	108	66	87	9	64	854	24	169	7
AB	21–32	110	103	68	92	11	68	912	27	182	7
B2	32–43	113	112	68	91	17	70	914	28	185	9
BC	43–62	109	104	70	89	24	70	934	27	138	10
Cca	62–103	109	95	65	89	36	69	886	29	229	13
C	103–дно	112	99	71	109	39	70	998	29	234	13
Чернозем южный легкосуглинистый на красно-бурой глине, подстилаемой элювием песчаника (разр. 1601)											
Ad	0–5	120	86	29	54	37	15	610	11	91	12
A	5–20	141	97	28	47	15	23	559	3	96	8
B1	20–30	133	92	27	40	25	22	432	9	78	10
B2	30–45	136	104	26	40	31	31	267	8	68	10
BC	45–55	130	99	23	33	3	20	21	8	53	6
C1	55–80	176	134	25	39	32	10	272	–	76	11
C2	80–140	107	75		20	27	12	62	1	50	9
Чернозем южный легкоглинистый на желто-бурых суглинках (разр. 1603)											
Ad	0–12	135	109	65	104	51	55	1148	22	167	–
A	12–40	135	107	68	96	34	56	1035	20	159	13
B1	40–65	139	117	71	90	39	57	992	20	164	–
B2	65–120	128	98	54	87	18	57	785	21	251	–
BC	120–дно	132	98	55	86	34	58	890	24	270	–
Примитивная супесчаная слабогумусированная почва (разр. 1605)											
Ad	0–10	–	44	–	10	–	1	107	10	28	5
A1	10–35	–	33	–	–	–	–	70	–	21	1
B	35–55	–	34	–	6	–	–	59	6	24	1
Каштановая слабосолонцеватая тяжелосуглинистая почва на желто-буром тяжелом суглинке (разр. 1703)											
Ad	0–10	98	109	58	100	34	48	1173	16	157	–
A	10–20	108	118	70	95	29	62	1079	14	142	11
B1	20–45	110	148	76	104	29	68	975	20	145	–
B2	45–63	107	124	65	92	34	68	817	26	218	–
BC	63–80	98	112	59	83	29	66	745	22	258	–
Cca	80–95	103	121	58	90	39	65	825	22	266	–
C	95–120	101	118	60	88	32	69	827	24	286	–

Примечание. Прочерк – значение в пределах ошибки метода.

телями средневзвешенного (с учетом мощности генетических горизонтов) содержания элементов в том же слое. Относительные ошибки средневзвешенных значений по сравнению со средними арифметическими изменяются для разных элементов и почв от 0 до 32% (в среднем составляя около 10%).

Таким образом, расчеты показали, что средневзвешенные валовые концентрации микроэлементов, рассчитанные с учетом мощностей генетических горизонтов, хорошо совпадают со среднеарифметическими значениями концентраций элементов в поверхностном слое почв и могут использоваться в качестве ориентировочных уровней содержания

тяжелых металлов и других микроэлементов при ведении почвенного мониторинга.

Изменчивость оценок валовых концентраций микроэлементов, полученных с использованием разных методов. Необходимо иметь в виду, что рассмотренные выше данные получены с использованием одного метода определения валовых концентраций микроэлементов в почвах и на одном приборе. За историю развития исследований содержания микроэлементов в почвах методы анализов и приборы постоянно совершенствовались, в настоящее время разными исследователями применяются различные методики подготовки проб и методы определения элементов. Поэтому далее предпри-

Таблица 3. Локальное пространственное варьирование валовых концентраций микроэлементов в ненарушенных почвах Ростовской области, ppm

Показатель	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Pb
Чернозем южный среднемошный малогумусный легкосуглинистый (разр. 1601)							
Среднее арифметическое \pm ошибка среднего	5 \pm 0.7	40 \pm 1.3	30 \pm 1.1	70 \pm 3.7	10 \pm 0.4	107 \pm 1.8	24 \pm 1.9
Медиана	5	42	31	65	11	108	25
Стандартное отклонение	2.7	5.0	4.3	14.3	1.4	7.0	7.5
Границы типичных значений	3–7	37–44	27–33	61–80	10–11	103–112	19–29
Чернозем южный неполноразвитый малогумусный легкосуглинистый (разр. 1602)							
Среднее арифметическое \pm ошибка среднего	9 \pm 0.8	26 \pm 2.1	23 \pm 1.2	51 \pm 3.0	9 \pm 0.2	116 \pm 1.8	18 \pm 1.2
Медиана	8	30	23	50	9	115	17
Стандартное отклонение	3.1	7.9	4.5	11.4	0.8	6.9	4.8
Границы типичных значений	7–11	21–32	20–26	44–59	9–10	112–121	15–21
Чернозем южный мощный среднегумусный легкоглинистый (разр. 1603)							
Среднее арифметическое \pm ошибка среднего	18 \pm 0.7	67 \pm 0.6	53 \pm 0.7	98 \pm 1.9	13 \pm 0.1	146 \pm 1.9	36 \pm 1.2
Медиана	17	67	53	96	13	144	36
Стандартное отклонение	2.5	2.1	2.4	7.2	0.3	7.2	4.5
Границы типичных значений	16–20	66–69	52–55	93–103	12–13	141–151	33–39
Чернозем обыкновенный карбонатный маломощный малогумусный тяжелосуглинистый (разр. 1606)							
Среднее арифметическое \pm ошибка среднего	19 \pm 0.9	65 \pm 0.8	53 \pm 1.3	106 \pm 3.0	14 \pm 0.1	152 \pm 3.8	42 \pm 1.6
Медиана	20	66	54	102	14	149	41
Среднее квадратичное отклонение	3.2	2.6	4.7	10.5	0.1	13.1	5.4
Границы типичных значений	17–21	63–67	50–57	98–113	14–15	143–161	39–46
Чернозем обыкновенный карбонатный маломощный малогумусный легкоглинистый (разр. 1501)							
Среднее арифметическое \pm ошибка среднего	26 \pm 0.4	72 \pm 0.4	66 \pm 0.5	92 \pm 0.4	12 \pm 0.2	140 \pm 1.9	33 \pm 1.2
Медиана	26	71	65	93	12	137	34
Стандартное отклонение	1.6	1.5	1.8	1.6	0.9	7.2	4.6
Границы типичных значений	25–27	71–73	64–67	91–93	11–12	135–146	30–36
Чернозем обыкновенный карбонатный среднемошный среднесуглинистый (разр. 1705)							
Среднее арифметическое \pm ошибка среднего	15 \pm 0.5	51 \pm 0.6	50 \pm 0.9	83 \pm 0.5	11 \pm 0.3	135 \pm 0.7	29 \pm 1.2
Медиана	15	51	51	83	11	135	30
Стандартное отклонение	1.9	2.3	3.7	1.7	1.2	2.9	4.6
Границы типичных значений	14–16	50–53	48–52	82–85	10–11	133–137	26–33
Лугово-каштановая почва тяжелосуглинистая (разр. 1701)							
Среднее арифметическое \pm ошибка среднего	16 \pm 0.5	55 \pm 0.9	52 \pm 0.8	94 \pm 1.7	11 \pm 0.3	154 \pm 0.8	30 \pm 1.2
Медиана	16	54	51	93	11	155	30
Стандартное отклонение	1.9	3.3	3.2	6.5	1.2	3.3	4.7
Границы типичных значений	15–18	52–57	50–54	90–98	10–12	152–156	27–33
Каштановая среднесолонцеватая среднесуглинистая почва (разр. 1704)							
Среднее арифметическое \pm ошибка среднего	15 \pm 0.6	53 \pm 1.0	53 \pm 0.8	79 \pm 1.2	10 \pm 0.3	153 \pm 2.7	28 \pm 1.2
Медиана	16	54	52	80	10	151	27
Стандартное отклонение	2.4	3.9	3.2	4.6	1.3	10.3	4.7
Границы типичных значений	14–17	50–56	51–55	77–82	9–11	146–159	25–31

Таблица 4. Содержание и характеристики варьирования микроэлементов в поверхностном горизонте почв ООПТ “Персиановская степь”, ppm

Источник данных	Ni	Cu	Zn	Pb	As
Горбов с соавт., 2015 [6]	67	57	88	28	11
Капралова, Колесников, 2012 [14]	23	35	80	30	8
Гончарова с соавт., 2015 [5]		57	85	30	
Шишкина, 2017 [29]	57	43	96	22	2
Закруткин с соавт., 2017 [9]	52	20	72	18	5
Собственные данные, разр. 1607	62	50	96	27	
	Статистические характеристики				
Среднее арифметическое ± ошибка среднего	52 ± 8	44 ± 6	86 ± 4	26 ± 2	6 ± 2
Медиана	57	46	86	28	6
Стандартное отклонение	17.5	14.3	9.4	4.9	3.8
Размах значений (min–max)	23–67	20–57	72–96	18–30	2–11
Границы типичных значений	52–62	37–55	81–94	23–30	4–9

нята попытка сравнить имеющиеся в литературе сведения о содержании микроэлементов в почвах фоновых территорий области с полученными нами результатами.

Максимальное количество информации удалось найти для степного кластера ООПТ областного значения “Персиановская заповедная степь”. Этот охраняемый ландшафт комплексного профиля площадью 84.05 га состоит из двух кластеров: участка целинный степи и лесного массива – дубравы им. В.В. Докучаева. Персиановская заповедная степь площадью 66 га является уникальным массивом ненарушенных почв под целинной растительностью ксерофитных приазовских степей. Большая часть площади участка гарантированно не распаивалась с начала XX в., хотя отдельные участки неоднократно горели и периодически подвергались сенокосению и выпасу. Почвы участка представлены черноземами обыкновенными карбонатными среднемощными среднетугумными тяжелосуглинистыми на желто-бурых лёссовидных суглинках. Характеристики почв этого участка наиболее часто используют в работах по оценке локального загрязнения в регионе. Несмотря на то, что все данные относятся к работам текущего столетия и все исследования проведены спектральными методами в профессиональных исследовательских лабораториях, полученные результаты различаются. Наиболее различны данные по валовым концентрациям мышьяка, для определения которого использовали спектральный и атомно-адсорбционный методы (табл. 4).

Таким образом, единичные определения концентраций микроэлементов не могут однозначно характеризовать почву, даже в пределах небольшого по площади участка с однородным почвенным покровом. Необходимо учитывать варьирование концентраций элементов в пределах большой территории, включающее в себя природную изменчивость и последствия фонового техноген-

ного воздействия, имея в виду случайное точечное загрязнение от неконтролируемых источников. Также следует учитывать возможное расхождение результатов определений, полученных с использованием разных методик отбора образцов и методов анализов или на приборах одного класса в различных условиях эксперимента, которое может достигать 15–35%, что обычно оговаривается в методиках исследований [18, 26, 27].

Использование фоновых показателей валовых концентраций микроэлементов в почвенном мониторинге. Ранжирование исследованных почв вне зависимости от их генезиса по гранулометрическому составу позволило выявить тенденцию к повышению концентраций ряда микроэлементов с утяжелением почв, наиболее выраженную для Ni, Zn, Pb и Co (рис. 2).

Содержание микроэлементов в супесчаной почве на аллювиальных песках в несколько раз ниже, чем в тяжелосуглинистых и глинистых почвах, причем концентрации некоторых элементов не приводятся, поскольку находятся на границе чувствительности прибора. По содержанию микроэлементов среднесуглинистые разновидности почв занимают промежуточное положение. Валовые концентрации элементов в тяжелосуглинистых и глинистых почвах, как указано ранее, высоки, разброс значений составляет около 15% для Cr, 20–30% для Ni, Cu и Zn и достигает 40% и более для Pb и Co. Проверку возможности использовать полученные показатели для оценки загрязнения почв в результате техногенного воздействия провели, сравнив обобщенные опубликованные результаты мониторинговых исследований [23, 33] с полученными нами данными (рис. 3). Валовые концентрации тяжелых металлов в тяжелосуглинистых почвах вблизи Новочеркасской ГРЭС превышают концентрации соответствующих элементов в удаленных почвах, используемых цитируемыми авторами в качестве фоновых.

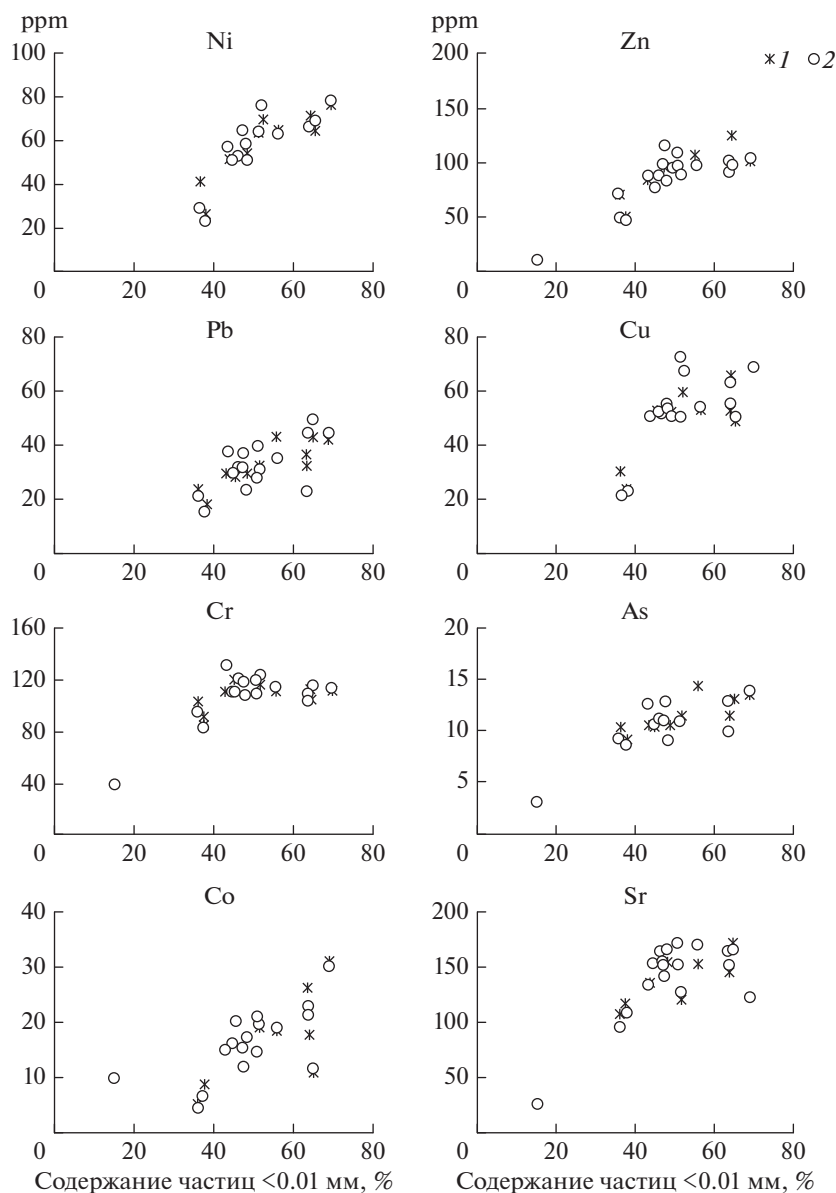


Рис. 2. Валовые концентрации микроэлементов в слое 0–20 см фоновых почв различного гранулометрического состава: 1 – средние арифметические (15 поверхностных образцов); 2 – средневзвешенные показатели из разрезов.

Сравнение результатов мониторинга загрязнения с полученными данными показало, что в тяжелых по гранулометрическому составу почвах, которые находятся в зоне влияния Новочеркасской ГРЭС, отмечается некоторое превышение валовых концентраций Cr, Zn и Pb над показателями, характеризующими фоновые почвы охраняемых территорий. Содержание Cu и Ni находится на уровне фоновых показателей, которые превышают кларковые значения, а концентрация Ni приближается к ОДК. В загрязненной песчаной почве содержание всех рассмотренных микроэлементов значительно превышает уровень их концентраций в фоновой супесчаной почве, а иногда и в опесчаненных среднесуглинистых почвах. При

этом содержание Ni, Zn и Cu находится выше уровней ОДК, установленных для почв легкого гранулометрического состава.

Таким образом, сравнительный анализ собственных и литературных данных [23, 33] позволил обнаружить, что незначительное (относительно фоновых показателей) повышение валовых концентраций тяжелых металлов в техногенно-загрязненных почвах может сопровождаться заметным увеличением концентраций подвижных и непрочносвязанных форм. В свою очередь это может способствовать накоплению элементов-загрязнителей в растительной продукции и переходу их в водотоки. Наиболее уязвимыми объектами в данном случае оказываются легкие по гранулометриче-

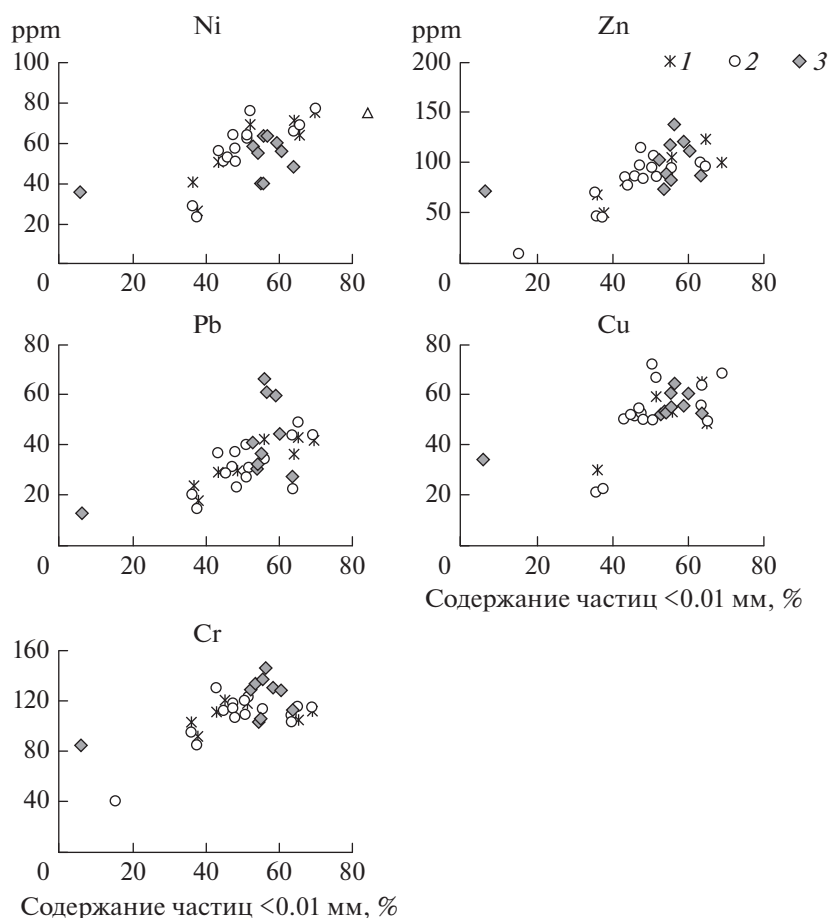


Рис. 3. Валовые концентрации тяжелых металлов в слое 0–20 см почв различного гранулометрического состава, фоновых и в зоне воздействия Новочеркасской ГРЭС: 1 – среднее арифметическое; 2 – средневзвешенные показатели из разрезов; 3 – объекты мониторинга Новочеркасской ГЭС.

скому составу почвы. В Ростовской области песчаные и супесчаные массивы отложений аллювиального генезиса обычно приурочены к речным долинам, что увеличивает экологическую опасность загрязнения таких почв. Поэтому в экологическом почвенном мониторинге в качестве фоновых значений не могут использоваться просто усредненные показатели, характеризующие почвы региона, следует принимать во внимание также типологическую принадлежность и, особенно, гранулометрический состав почв.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование почв особо охраняемых природных территорий Ростовской области позволило выявить региональную особенность почвенного покрова – повышенные концентрации ряда тяжелых металлов и других микроэлементов в почвах, обусловленные богатством материнских пород этими элементами. Полученные данные свидетельствуют о невозможности использования при мониторинге загрязнения почв области существующих санитарно-гигиенических нор-

мативов валовых концентраций микроэлементов, как ПДК, так и ОДК. Более перспективным представляется использование фоновых показателей, характеризующих почвы ООПТ области.

Показано, что единичные определения концентраций микроэлементов или усредненные данные нескольких точечных обследований не могут однозначно характеризовать почву, даже в пределах небольшого по площади участка с однородным почвенным покровом. При установлении фоновых значений концентраций элементов необходимо учитывать природное варьирование, а также возможное расхождение данных за счет разнообразия аналитических методов определения элементов и методик пробоотбора.

Для корректного ведения экологического мониторинга необходимо иметь набор характеристик минимально антропогенно-измененных почв области (фоновых и условно-фоновых), отражающих почвенное разнообразие региона: типологическое, по гранулометрическому составу и составу почвообразующих пород. Использование единой методики пробоотбора и единого аналитического ме-

тогда при установлении фоновых значений валовых концентраций микроэлементов и ведении мониторинга позволяет повысить достоверность данных мониторинга.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-04-00592.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий. Методическое руководство / Под ред. В.И. Кирищина, А.Л. Иванова. М., 2005. 784 с.
2. Ариунушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 488 с.
3. Большаков В.А., Ладонина Н.Н., Фрид А.С. Картографическое отображение точечного и контурного загрязнения городских территорий // Почвоведение. 2002. № 5. С. 629–635.
4. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 238 с.
5. Гончарова Л.Ю., Минкина Т.М., Манджиева С.С., Шерстнев А.К., Бирюкова О.А., Кравцова Н.Е., Замулина И.В. Современное состояние черноземов обыкновенных особо охраняемых природных территорий Нижнего Дона // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2015. № 4. С. 200–227.
6. Горбов С.Н., Безуглова О.С., Алексикова А.С., Тагивердиев С.С., Дубинина М.Н., Шерстнев А.К. Содержание и распределение тяжелых металлов и мышьяка в почвах Ростова-на-Дону // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 4. <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21428>
7. Дьяченко В.В., Матасова И.Ю. Загрязнение и динамика микроэлементов в почвах юга России // Геология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2015. № 4. С. 324–332.
8. Дьяченко В.В., Матасова И.Ю. Региональные кларки химических элементов в почвах Европейской части юга России // Почвоведение. 2016. № 10. С. 1159–1166. <https://doi.org/10.7868/S0032180X16100063>
9. Закруткин В.Е., Коронкевич Н.И., Шишкина Д.Ю., Долгов С.В. Закономерности антропогенного преобразования малых водосборов степной зоны Юга России (в пределах Ростовской области). Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 2004. 252 с.
10. Зборищук Ю.Н. Кларки концентраций физиологически важных микроэлементов в почвах // Вестник МГУ. Сер. 17, почвоведение. 1977. № 4. С. 18–21.
11. Зырин Н.Г. Распределение и варьирование содержания микроэлементов в почвах Русской равнины // Почвоведение. 1968. № 7. С. 77–88.
12. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск, 1991. 134 с.
13. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
14. Капралова О.А., Колесников С.И. Влияние загрязнения тяжелыми металлами на эколого-биологические свойства почв г. Ростова-на-Дону // Научная мысль Кавказа. 2012. № 1 (69).
15. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.
16. Кузнецов М.Ф. Микроэлементы в почвах Удмуртии. Ижевск, 1994. 285 с.
17. Матвеев Ю.М., Попова И.В., Чернова О.В. Проблемы нормирования содержания химических соединений в почвах // Агрехимия. 2001. № 12. С. 54–60.
18. Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв рентгенофлуоресцентным методом. М-049-П/10. СПб., 2010. 17 с.
19. Методика исчисления размера вреда окружающей среде (земля). Утверждена приказом начальника охраны окружающей среды Администрации Томской области. № 17 от 29.11.2002 г. Томск, 2002 <http://green.tsu.ru/htmls/doc/zakon>
20. Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель. М.: Роскомзем, 1995. 28 с.
21. Методические рекомендации по гигиеническому обоснованию ПДК химических веществ в почве. М., 1982. 57 с.
22. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами. М.: Минздрав СССР, 1987. 25 с.
23. Минкина Т.М., Мотузова Г.В., Манджиева С.С., Назаренко О.Г., Бурачевская М.В., Антоненко Е.М. Фракционно-групповой состав Mn, Cr, Ni и Cd в почвах техногенных ландшафтов (район Новочеркасской ГРЭС) // Почвоведение. 2013. № 4. С. 414–425.
24. Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами. Утв. Роскомземом 10 ноября 1993 г. и Минприроды РФ 18 ноября 1993 г. // База нормативной документации. 34 с. www.complexdoc.ru
25. Протасова Н.А., Щербаков А.П., Конаева М.Т. Редкие и рассеянные элементы в почвах центрального Черноземья. Воронеж, 1992. 165 с.
26. Савичев А.Т. Причины ошибок при определении содержания макроэлементов в почвах и горных породах рентгенофлуоресцентным методом // Почвоведение. 2007. № 1. С. 38–43.
27. Савичев А.Т., Сорокин С.Е. Рентгенофлуоресцентный анализ содержания микроэлементов и тяжелых металлов в почвах // Агрехимия. 2000. № 12. С. 71–74.
28. Самонова О.А., Асеева Е.Н. Геохимическая трансформация покровных и моренных суглинков бассейна средней Протвы в процессе почвообразования // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5, география. 2006. № 6. С. 67–74.
29. Шишкина Д.Ю. Тяжелые металлы в почвах Ростова-на-Дону. Ростов-на-Дону-Таганрог, 2017. 97 с.
30. Bezuglova O.S., Gorbov S.N., Tischenko S.A., Aleksikova A.S., Tagiverdiev S.S., Sherstnev A.K., Dubinina M.N. Accumulation and migration of heavy metals in soils of the Rostov region, south of Russia // J. Soils Sediments. 2016. V. 16. № 4. P. 1203–1213. doi 1007/s11368-015-1165-8
31. Carlton C. (Ed.). Derivation methods of soil screening values in Europe. A review and evaluation of national procedures towards harmonization // European Com-

- mission Joint Research Centre, Ispra, EUR 22805-EN, 2007. 306 p.
32. Heemsbergen D., Warne M., McLaughlin M., Kookana R. The Australian Methodology to Derive Ecological Investigation Levels in Contaminated Soils. CSIRO // Land and Water Science Report. 2009. V. 43/09.
33. Minkina T.M., Nevidomskaya D.G., Pol'shina T.N., Fedorov Yu.A., Mandzhieva S.S., Chaplygin V.A., Bauer T.V., Burachevskaya M.V. Heavy metals in the soil–plant system of the Don River estuarine region and the Taganrog Bay coast // J. Soils Sediments. 2017. V. 17. № 5. P. 1474–1491.
<https://doi.org/10.1007/s11368-016-1381-x>
34. Proposal for a European soil monitoring and assessment framework. Project manager Gentile A.R. European Environmental Agency. Copenhagen, 2001. 58 p.
35. The State of Soil in Europe. A contribution of the JRC to the EEA Environment State and Outlook Report – SOER 2010. European Environment Agency. Luxembourg, 2012. 76 p.
36. Walopereis V.S., Gascuel-Oudoux C., Baernie G., Soignet G. Spatial variability of heavy metals in soil on a one-hectare scale // Soil Sci. 1988. V. 146. № 2. P. 113–118.

The Use of Background Concentrations of Heavy Metals for Regional Monitoring of Soil Contamination with Rostov Oblast as an Example

O. V. Chernova^a and O. S. Bezuglova^{b, *}

^aSevertsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119071 Russia

^bIvanovsky Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Rostov-on-Don, 344006 Russia

*e-mail: lola314@mail.ru

In monitoring studies soil pollution with heavy metals, the choice of appropriate target indicator—background or threshold concentrations—is a serious problem. The determination of the background concentrations of heavy metals is important for practice, since the pollution of clean soils to the levels below the maximum permissible concentration (MPC) or provisional permissible concentration (PPC) norms is neither recorded nor punished. However, background concentrations are rarely applied for soil pollution assessment, because they remain unknown in most cases. The regional specificity of the soil cover of Rostov region was revealed by studying the soils of specially protected natural areas. It is characterized by relatively high concentrations of heavy metals and other trace elements in the soil because of the richness of the parent materials in these elements. The obtained data indicate that the current public health standards based on the data on the total concentrations of elements (both MPC and PPC) cannot be used for soil pollution assessment in Rostov region. The use of data on the background concentrations of trace elements in the soils of specially protected natural areas seems to be more promising for this purpose. For an adequate environmental monitoring, data sets on the concentrations of trace elements background in such virgin or slightly transformed soils should be developed with due account for the regional soil diversity, i.e., the classification position of the soils, their texture, and the character of parent materials.

Keywords: Rostov region, conservation areas, chernozem, chestnut soil, heavy metals