

УДК 631.41:631.453

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ ПО СОДЕРЖАНИЮ ТЯЖЕЛЫХ  
МЕТАЛЛОВ В ПРОФИЛЕ© 2011 г. Ю. Н. Водяницкий<sup>1</sup>, А. С. Яковлев<sup>2</sup><sup>1</sup>Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 119017, Москва, Пыжевский пер., 7<sup>2</sup>Факультет почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы, д.1

e-mail: yu.vodyan@mail.ru

Поступила в редакцию 07.09.2009 г.

Дано новое почвенно-экологическое определение предельно допустимой концентрации (ПДК) тяжелых металлов в почвах, которое регламентирует отбор проб на загрязненных территориях. Вместо мелких прикопок, из которых, как правило, при почвенно-гигиенических и прочих обследованиях, отбирали поверхностные образцы, предлагается выполнять подробный анализ по всему почвенному профилю, включающий не только определение содержания в отдельных горизонтах тяжелых элементов, но и плотности почв в этих горизонтах. Для полиэлементного загрязнения  $Z_c$  (по формуле Саета) на основе превышения фона (кларка), установленные значения  $Z_c$  от 1 до 128, при учете одного поверхностного слоя могут достигать абсурдных величин – 800–900. В то же время использование средневзвешенного содержания металлов в почвенном профиле приводит значения  $Z_c$  в определенное соответствие со сложившимися природными условиями. При аэральном воздействии переход от содержания тяжелых элементов в поверхностном горизонте к содержанию их в почвенном профиле приводит к уменьшению показателей степени загрязнения почв. При гидрогенном воздействии переход от содержания тяжелых элементов в поверхностном горизонте к содержанию их в почвенном профиле приводит к увеличению степени загрязнения почв.

## ВВЕДЕНИЕ

При изучении загрязнения почв тяжелыми металлами приходится сталкиваться со многими нерешенными вопросами. Так, содержание тяжелых металлов, как правило, сравнивают с предельно допустимой концентрацией (ПДК). Но, оказывается, нет единого определения ПДК. Согласно Орлову с соавт. [11, с. 187]: “ПДК – это такое содержание вредного вещества в окружающей среде, которое при постоянном контакте или при воздействии за определенный промежуток времени практически не влияет на здоровье человека и не вызывает неблагоприятных последствий у его потомства”. Употребление выражения “вредного вещества” для почв вызывает возражения. Это выражение, справедливое для воздуха и воды нельзя механически переносить на почвы. Дело в том, что со значением ПДК сравнивают **суммарное** содержание тяжелого элемента в почве, включающего как привнесенную, так и природную части, которые невозможно разделить. То, что в этом определении игнорируется фоновая часть содержания элемента в почве, является серьезным его недостатком.

Более точным является определение, данное Большаковым с соавт. [1, с. 30]: “ПДК – гигиенический норматив, концентрация вещества в водной или воздушной среде, почве, продуктах питания, которая не должна оказывать негативных

воздействий на сопредельные среды, на организм человека...”. Здесь справедливо подразумевается общая концентрация вещества в почве, а не только антропогенная доля.

Но этого мало. Объединение понятия ПДК для воздуха, воды и почвы оказалось вообще мало продуктивным. Имеются серьезные различия в поведении поллютантов в воде, воздухе и почве. В воздухе (или воде) они быстро распространяются на значительные объемы, и концентрация вещества в этих средах усредняется за счет диффузии. В результате единичный анализ характеризует среднее содержание вещества в воздухе (воде). Напротив, в почве аэрогенный поллютант (особенно твердофазный) рассредоточивается чрезвычайно медленно. Резкое различие содержания поллютанта в разных слоях почвы контрастирует с однородным их распределением в воде и воздухе. Проблема неравномерного загрязнения почвенного профиля очень важна при аэральном загрязнении, когда верхний горизонт (в лесу это подстилка) сильно загрязнены, тогда как подстилающие горизонты могут быть загрязнены гораздо слабее или не загрязнены вовсе. Таким образом, нужно решить проблему содержания тяжелых металлов в почвенном профиле с учетом его неравномерного распределения в слоях и здесь анализом единственного образца не обойтись.

Концентрация тяжелого металла в верхнем слое почвы имеет важное следствие. Если металл

сосредоточен в тонком слое подстилки, то это менее опасно для растений и биоты, чем его распространение на весь педон (гор. А + В). Между тем, степень загрязнения рекомендуют оценивать по состоянию именно верхних слоев почвы, ограничиваясь прикопками на глубину 0–2, 0–5 или 0–10 см [10]. В другом источнике [15, с. 235] конкретизируют: следует отбирать пробы почв на целине с глубины 0–10 см, на пашне 0–20 см, в лесу – из подстилки, на болотных почвах – из верхнего торфяного слоя 0–20 см. Таким образом, рекомендуется ориентироваться на загрязнение верхнего генетического горизонта: О, Т или А. При аэральном загрязнении эти слои, действительно, оказываются загрязненными максимально, хотя нижележащие слои могут быть загрязнены слабо.

Но аэральное – не единственное техногенное загрязнение почв. Реки, принимающие неочищенные стоки промышленных предприятий, загрязняют аллювиальные почвы. В них загрязнение происходит на глубине, а не с поверхности. Это видно, например, по загрязнению срединных горизонтов аллювиальных почв в поймах малых рек Ивановской обл. [14]. Мы также установили максимальное гидрогенное загрязнение тяжелыми металлами в средних слоях аллювиальных рек в г. Пермь [3]. Рекомендация оценивать степень загрязнения по состоянию верхних слоев почв для аллювиальных почв, испытывающих гидрогенное загрязнение, не состоятельна.

Очевидно, что при мониторинге загрязненных почв принят ландшафтно-геохимический подход, признающий единственный источник загрязнения – аэральный. При этом не учитывается как гидрогенное загрязнение, так и сложная судьба поллютанта в почвенном профиле.

Более правильным представляется почвенный подход с определением содержания тяжелых металлов в почвенном профиле, а не в отдельном, часто очень тонком гор. О или АО. Если под этим грязным горизонтом находятся чистые слои, то растения не чувствуют загрязнения, развиваются нормально и не включают в свою массу избыточного количества опасных металлов. Такую ситуацию часто наблюдают экологи на тех участках, которые почвоведы диагностируют как загрязненные. Это противоречие следует осознать, а затем и устранить.

Нужен иной подход к характеристике загрязнения почв. Следует перейти к средневзвешенному содержанию тяжелого элемента в почвенном профиле (то есть в гор. А + В). Тогда небольшой вклад загрязненного верхнего слоя (например, подстилки) компенсируется чистыми горизонтами А и В и средняя концентрация металла в почве может оказаться низкой.

Предлагаемый подход повысит объективность степени загрязнения не только лесных, но и го-

родских почв, оцениваемых сейчас только по прикопкам. Данные по прикопкам дают ограниченную информацию, далекую от средней для почвенном профиле.

Другая проблема неравномерного распределения поллютантов в профиле связана с различной плотностью горизонтов. Масса металла, сосредоточенного в торфе или подстилке низкой плотности, может быть в разы меньше, чем в минеральном слое той же мощностью при одинаковой концентрации металла. Поскольку именно масса токсиканта определяет его воздействие на растения и биоту, то для получения сопоставимых результатов следует учитывать различную плотность биогенных и минеральных горизонтов почвы.

Цель работы: предложить методику определения средневзвешенного содержания тяжелого металла в почвенном профиле для оценки степени загрязнения почв по ПДК и кларку, а также опробовать эту методику на примере загрязненных почв с разными источниками загрязнения.

## ОБЪЕКТЫ

Почвы, загрязненные выбросами Средне-Уральского медеплавильного завода. Завод расположен в районе Первоуральско-Ревдинского промышленного узла в Свердловской обл.; начал работу в 1940 г. В настоящее время действуют два основных цеха: медеплавильный, дающий основной вклад в загрязнение воздуха (87%), и серноокислотный. Атмосферные выбросы завода содержат двуокись серы, фтористый водород, а аэрозоли включают ряд тяжелых металлов: Cu, Zn, As, Cd и др. [6]. Территория находится в подзоне южной тайги Среднего Урала, лесистость более 60%. Почвы – серые лесные глинистые и тяжелосуглинистые.

Градация территории по реакции на техногенную нагрузку была выполнена по данным экологов, оценивающих состояние растительности. В зоне техногенной пустыни древостой полностью погиб, травяной ярус либо отсутствовал, либо состоял из хвоща и злаков, сильно развит моховой покров. Имеются эродированные участки с почти полностью смытой подстилкой и гумусовым горизонтом почвы. В импактной зоне у деревьев обожжены листья, а вершины засыхают. В буферной зоне растительность слабо и средне угнетена, отмечается суховершинность хвойных деревьев. На фоновой территории растительность не повреждена [6].

В согласии с данной градацией территории нами проанализированы почвы в трех разрезах. Образцы были отобраны в 2000 г. Разр. 1 вскрыт в техногенной пустыни в 0.5 км к востоку от завода по господствующей розе ветров; разр. 2 – в импактной зоне в 1 км к западу от завода; разр. 3 – на

фоновой территории в 30 км к западу от завода. В верхнем слое почвы в техногенной пустыне (разр. 1) почва сильно подкислена: рН водной вытяжки 4.6. По мере удаления от завода кислотность почвы уменьшается. Химический состав почв описан в работе [5].

Почвы, загрязненные выбросами комбината “Норильский никель”. Район исследования расположен в южной части п-ва Таймыр. Почвы развиваются в условиях близкого к поверхности залегания многолетней мерзлоты, что приводит слабому испарению влаги и развитию процессов оглеения. Комбинат влияет на почвы вблизи города за счет газопылевых выбросов [16].

Была исследована северо-восточная часть района от г. Норильск в направлении к г. Талнах на расстоянии 4 и 10 км от Норильска. Пробы отбирали летом 2004 г. Химический состав почв описан в работе [5].

Почвы, загрязненные выбросами Чусовского металлургического завода. Город Чусовой является одним из центров металлургического производства в Пермском крае. Общая площадь города – около 58 км<sup>2</sup>. Преобладающую часть территории города занимают садово-огородные участки в микрорайонах и поселках малоэтажной жилой застройки. Валовой выброс загрязняющих веществ (более 70 наименований) в атмосферу от стационарных источников промышленных предприятий Чусового в 2005 г. составил 24.7 тыс. тонн. Основной источник поступления тяжелых металлов в природную среду г. Чусового – металлургическое предприятие ОАО “Чусовской металлургический завод”. Частицы атмосферных выбросов этого предприятия содержат тяжелые металлы, которые накапливаются в почвенном покрове города [12]. Кроме того, почвы загрязнены шлаками металлургического завода, которые разбрасывались на некоторых городских участках, формируя хемо-техноземы.

Изучали почвы в шести разрезах. В пойме р. Чусовая на о. Закурье анализировали три аллювиальные серогумусовые почвы. На надпойменных террасах р. Чусовой изучали почвы на карбонатных отложениях. Одна из них дерново-подзолистая почва в лесопарке нового города на левом берегу. Две других правым берегом реки в старом городе: дерновая на сквере и хемо-технозем возле Дома культуры металлургов. Химический состав почв описан в работе [4].

Аллювиальные почвы в г. Пермь. Исследования проводились на аллювиальных почвах малых рек г. Пермь, которые затапливаются в период половодья и покрываются наилками. Разрезы располагались в зоне влияния Пермско-Краснокамского промышленного узла в поймах левых притоков р. Кама: Данилиха и Мулянка.

Разрез серогумусовой глеевой типичной почвы заложен на пойме р. Данилиха, в 500 м от железнодорожного вокзала Пермь-2. Разрез серогумусовой глеевой типичной почвы заложен в пойме р. Мулянка в 200 м от пересечения реки с мостом по ул. Шоссе Космонавтов.

Все изученные почвы подвержены антропогенной нагрузке. Самое плохое качество воды отмечено для низовий рек Данилиха, где вода не пригодна для питья. Согласно докладу Управления по охране окружающей среды за 2004 г. в среднем качество воды в р. Мулянка вода относится к 2–3 классам качества, а в верховьях за счет высокого содержания нитратов и железа – к 4 классу [13]. Химический состав почв описан в работе [3].

## МЕТОДЫ

*Валовой химический состав почв* анализировали с помощью энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализатора Tefa-6111 (Ortec). Определяли тяжелые элементы: Mn, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Pb, Rb, Sr, Y, Zr.

*Методика.* Сравнивали содержание тяжелых металлов в верхнем горизонте с их содержанием во всем почвенном профиле, где происходит влияние металла на растительность, макро- и микробиоту. Содержание в педоне  $C_{\text{педон}}$  подсчитывали как средневзвешенное количество металла, включая гор. В (до гор. С), учитывая также различие в плотности горизонтов:

$$C_{\text{педон}} = \sum C_i h_i \gamma_i : \sum h_i \gamma_i,$$

где  $C_i$  – содержание металла,  $h_i$  – мощность и  $i$  – плотность  $i$ -слоя почвы.

В городских почвах, однако, образуются литоземы и техноземы, в которых исходные признаки генетических слоев стертые. Для таких почв следует ограничиться анализом антропогенных слоев до фиксированной глубины, примем 1.0 м. Кроме того, в некоторых аллювиальных почвах не выделяется иллювиальный гор. В, для них также следует ограничиться формальной фиксированной глубиной анализа – примем 1.0 м.

Превышение ПДК тяжелым элементом рассчитывается из отношения:

$$K_{\text{ПДК}} = C_{\text{педон}} : \text{ПДК}.$$

Для подсчета полиэлементного загрязнения почв тяжелыми элементами используют формулу Саета [10]:

$$Z_c = \sum (C_{\text{почва}} : C_{\text{фон}}) - (n - 1),$$

где  $n$  – число анализируемых элементов.

**Таблица 1.** Коэффициенты превышения тяжелыми металлами ПДК ( $K_{\text{ПДК}}$ ) и кларка ( $K_{\text{кларк}}$ ) в поверхностном горизонте ( $K_{\text{верх}}$ , над строкой) в почвенном профиле ( $K_{\text{профиль}}$ , под строкой), а также показатель суммарного загрязнения  $Z_c$ . Почвы Ревдинской техногеохимической аномалии

| Объект, коэффициент | Ni        | Cu       | Zn       | As       | Pb       | Zc     | Категория загрязнения |
|---------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|--------|-----------------------|
| $K_{\text{ПДК}}$    |           |          |          |          |          |        |                       |
| Техногенная пустыня | 0.42/0.85 | 26.8/3.7 | 9.7/2.8  | 25.7/5.2 | 38.3/6.1 | —      | Не известна           |
| Импактная зона      | 0.52/0.66 | 159/10.5 | 25.3/2.1 | 111/1.7  | 152/3.5  | —      | —                     |
| Фон                 | 0.55/0.75 | 1.5/0.73 | 4.0/0.80 | 1.2/0.80 | 4.3/0.82 | —      | —                     |
| $K_{\text{кларк}}$  |           |          |          |          |          |        |                       |
| Техногенная пустыня | 0.85/1.80 | 74/10.2  | 19.4/5.6 | 52/10.4  | 46/7.3   | 188/31 | Вне категории/Среднее |
| Импактная зона      | 0.52/1.4  | 436/29   | 51/4.2   | 221/3.5  | 182/4.2  | 886/38 | Вне категории/Сильное |
| Фон                 | 1.2/1.6   | 4.2/2.0  | 7.9/1.6  | 2.4/1.6  | 5.2/1.0  | 17/4   | Среднее/Допустимое    |

Примечание. Здесь и в таблицах 2–4: прочерк — показатель не определяли.

Категории суммарного загрязнения почв следующие [10]:

| Категория загрязнения почв | $Z_c$  |
|----------------------------|--------|
| Допустимая                 | 1–8    |
| Слабая                     | 8–16   |
| Средняя                    | 16–32  |
| Сильная                    | 32–64  |
| Очень сильная              | 64–128 |

Принцип прикопок как упрощенный получил широкое распространение. При расчете по формуле Саета используют данные о содержании тяжелых металлов в поверхностном слое почвы. Поскольку, по нашему мнению, анализ загрязнения надо распространить на весь почвенный профиль, то и формулу Саета следует модифицировать:

$$Z_c = \sum(C_{\text{педон}} : C_{\text{фон}}) - (n - 1).$$

При проверке двух подходов к характеристике загрязнения почв (с учетом поверхностного горизонта или почвенного профиля) использовали принятые значения кларков и ПДК тяжелых элементов. Кларки в основном брали по Виноградову (цит. по [8]): для никеля — 40, меди — 20, цинка — 50, мышьяка — 5 мг/кг. Исключение составляют два элемента. У хрома кларк в настоящее время существенно снижен: с 200 по Виноградову до 70 мг/кг по Боуну [17]. У свинца, наоборот, он повышен с 10 по Виноградову до 25 мг/кг по Кабата-Пендиас, Пендиас [9].

Значения ПДК брали для всех элементов, кроме мышьяка. Для никеля 85, меди 55, цинка 100, свинца 30 мг/кг [1]. Для мышьяка брали значение ОДК, равное 10 мг/кг [1]. Что касается хрома, то его роль в загрязнении почв хотя и существенна, но в России не нормируется. Для тех элементов, для которых величины ПДК (ОДК) не приняты,

используют известную эмпирическую зависимость:  $\text{ПДК} = (3-5) \text{Фон}$  [7]. Взяв средний коэффициент (4) и значения кларка (70 мг/кг), получаем условное значение ПДК хрома равное 280 мг/кг. Оно близко к нормативам, применяемым за рубежом [2]. Его мы использовали в дальнейшем.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Почвы Ревдинской техногеохимической аномалии. В случае учета загрязнения одного только верхнего слоя А0А1, мощностью 2 см, превышение ПДК в техногенной пустыне достигает высокого уровня: 26 (As), 27 (Cu), 28 (Pb). Но это в основном поверхностное загрязнение и учет мощности почвенного профиля приводит к снижению превышения ПДК до 4–6 раз (табл. 1). Еще более значительно различие в характеристике загрязнения при разном подходе к оценке содержания металлов в импактной зоне. Если значения  $K_{\text{пдк}}$  достигают 111 (As), 152 (Pb) и 159 (Cu) при учете загрязненности одной подстилки, то учет мощности почвенного профиля приводит к снижению превышения ПДК до 2–10 раз. Даже на фоновой территории характеристики загрязнения различаются. При учете загрязненности одной подстилки значения  $K_{\text{пдк}}$  достигают 4 для Zn и Pb, а в педоне превышения ПДК этими металлами нет:  $K_{\text{пдк}} = 0.8$ .

Использование формулы Саета позволяет оценить степень суммарного загрязнения почв несколькими тяжелыми элементами. Оказалось, что в техногенной пустыне и в импактной зоне при учете одного поверхностного слоя показатель  $Z_c$  намного превышает граничное значение (128), достигая абсурдных величин 188 и 886. Но учет загрязненности почвенного профиля приводит все в соответствие: по величинам  $Z_c = 31-38$  почвы относятся к средне и сильно загрязненным. Решается и важное противоречие: наличие загряз-

**Таблица 2.** Коэффициенты превышения тяжелыми металлами ПДК ( $K_{\text{ПДК}}$ ) и кларка ( $K_{\text{кларк}}$ ) в поверхностном горизонте ( $K_{\text{верх}}$  – над строкой) и в почвенном профиле ( $K_{\text{профиль}}$  – под строкой), а также показатель суммарного загрязнения  $Z_c$ . Почвы в пригороде Норильска

| Расстояние от города | Ni      | Cu       | Zn        | As        | Pb       | Zc     | Категория загрязнения |
|----------------------|---------|----------|-----------|-----------|----------|--------|-----------------------|
| $K_{\text{ПДК}}$     |         |          |           |           |          |        |                       |
| 4 км                 | 132/2.2 | 193/4.6  | 0.35/0.93 | 1.2/0.32  | 3.9/0.5  | –      | Не известна           |
| 10 км                | 32/3.2  | 96/2.1   | 0.48/0.82 | 0.90/0.32 | 1.5/0.42 | –      | –                     |
| $K_{\text{кларк}}$   |         |          |           |           |          |        |                       |
| 4 км                 | 280/4.7 | 531/12.6 | 0.70/1.8  | 2.4/0.72  | 4.6/0.8  | 815/17 | Вне категории/Среднее |
| 10 км                | 68/6.8  | 264/5.8  | 1.0/1.6   | 0.9/0.32  | 1.8/0.50 | 332/12 | Вне категории/Слабое  |

**Таблица 3.** Коэффициенты превышения тяжелыми металлами ПДК ( $K_{\text{ПДК}}$ ) и кларка ( $K_{\text{кларк}}$ ) в поверхностном горизонте ( $K_{\text{верх}}$  – над строкой) и в почвенном профиле ( $K_{\text{профиль}}$  – под строкой), а также показатель суммарного загрязнения  $Z_c$ . Почвы в г. Чусовой

| Объект                                     | Ni        | Cu        | Zn        | As        | Pb        | Cr        | Zc    | Категория загрязнения     |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|---------------------------|
| $K_{\text{ПДК}}$                           |           |           |           |           |           |           |       |                           |
| Аллювиальная серогумусовая почва. Разр. 3. | 0.65/0.63 | 0.78/1.0  | 1.3/1.1   | 0.60/0.49 | 0.67/0.71 | 0.62/1.0  | –     | Не известна               |
| Аллювиальная серогумусовая почва. Разр. 5. | 0.63/0.59 | 1.04/0.75 | 1.68/1.24 | 0.50/0.41 | 0.77/0.70 | 0.93/0.57 | –     | –                         |
| Дерново-подзолистая почва. Разр. 1.        | 0.71/1.41 | 0.78/0.94 | 1.0/1.30  | 0.40/0.76 | 0.83/0.55 | 0.60/0.54 | –     | –                         |
| Урболитозем. Разр. 4.                      | 1.06/1.11 | 1.73/1.22 | 2.82/1.72 | 0.80/0.52 | 1.10/0.50 | 3.54/1.63 | –     | –                         |
| Технозем. Разр. 6.                         | 1.07/0.76 | 2.13/2.48 | 3.62/2.90 | 1.10/0.71 | 2.03/2.71 | 7.1/1.95  | –     | –                         |
| $K_{\text{кларк}}$                         |           |           |           |           |           |           |       |                           |
| Аллювиальная серогумусовая почва. Разр. 3. | 1.38/1.33 | 2.14/2.75 | 2.6/2.26  | 1.2/1.0   | 0.8/0.9   | 2.48/4.0  | 6/7   | Допустимая/<br>Допустимая |
| Аллювиальная серогумусовая почва. Разр. 5. | 1.33/1.25 | 2.86/2.06 | 3.36/2.48 | 1.0/0.82  | 0.9/0.84  | 3.72/2.28 | 8/5   | Допустимая/<br>Допустимая |
| Дерново-подзолистая почва. Разр. 1.        | 1.5/2.35  | 2.14/2.58 | 2.0/2.6   | 0.8/1.52  | 1.0/0.6   | 2.4/2.16  | 5/7   | Допустимая/<br>Допустимая |
| Урболитозем. Разр. 4.                      | 2.25/2.35 | 4.76/3.35 | 5.64/3.44 | 1.6/1.04  | 1.32/0.60 | 14.2/6.52 | 25/13 | Средняя/<br>Слабая        |
| Технозем. Разр. 6.                         | 2.27/1.61 | 5.86/6.82 | 7.24/5.80 | 2.2/1.42  | 2.4/3.2   | 28.4/7.8  | 43/21 | Сильная/<br>Средняя       |

нения почв на фоновой территории. Если при учете одной подстилки показатель  $Z_c = 17$  и загрязнение рассматривается как среднее, то для почвенного профиля  $Z_c = 4$  и, следовательно, фоновая территория действительно не загрязнена.

Почвы вблизи г. Норильск. На расстоянии 4 км от города имеется сильно загрязненный, хотя и тонкий (3 см) слой лесной подстилки. При учете загрязненности одного только этого слоя, превышение ПДК достигает высокого уровня: 193 (Cu) и 132 (Ni). Но это в основном поверхностное загрязнение и учет загрязненности поч-

венного профиля приводит к уменьшению превышения ПДК до 4–5 раз (табл. 2).

На расстоянии 10 км от города также значительно загрязнен тонкий (2 см) слой лесной подстилки. Учет загрязненности одного этого слоя, дает сильное превышение ПДК: 96 (Cu) и 32 раза (Ni). Учет же загрязненности почвенного профиля приводит к уменьшению превышения ПДК до 2–3 раз.

При использовании формулы Саета суммарная загрязненность почвы в 4 км от города при учете загрязнения одной подстилки достигает огромной внекатегорийной величины (815), зна-

**Таблица 4.** Коэффициенты превышения тяжелыми металлами ПДК ( $K_{\text{ПДК}}$ ) и кларка ( $K_{\text{кларк}}$ ) в поверхностном горизонте ( $K_{\text{верх}}$  – над строкой) и в почвенном профиле ( $K_{\text{профиль}}$  – над строкой), а также показатель суммарного загрязнения  $Z_c$ . Аллювиальные почвы в г. Пермь

| Пойма реки,<br>Коэффициент | Ni        | Cu       | Zn      | Pb        | Zc    | Категория загрязнения |
|----------------------------|-----------|----------|---------|-----------|-------|-----------------------|
| $K_{\text{ПДК}}$           |           |          |         |           |       |                       |
| Данилиха                   | 3.1/4.8   | 2.2/3.7  | 3.5/3.8 | 3.0/2.2   | –     | Не известна           |
| Мулянка                    | 0.85/0.78 | 1.0/1.2  | 1.0/1.3 | 0.77/0.69 | –     | –                     |
| $K_{\text{кларк}}$         |           |          |         |           |       |                       |
| Данилиха                   | 6.6/10.2  | 6.0/10.2 | 7.0/7.6 | 3.6/2.6   | 20/27 | Средняя/Средняя       |
| Мулянка                    | 1.8/1.65  | 2.75/3.3 | 2.0/2.6 | 0.93/0.8  | 5/6   | Допустимая/Допустимая |

чительно превосходя допустимый верхний предел (128). Но учет загрязненности почвенного профиля приводит все в соответствие: по величине  $Z_c = 17$  почва относится к средне загрязненным. На расстоянии 10 км от города суммарная загрязненность при учете одной подстилки также достигает абсурдной величины (332). Для почвенного профиля величина  $Z_c$  уменьшается до 12, значит, эта почва относится к слабо загрязненным.

Почвы в г. Чусовой. В слабозагрязненных аллювиальных (разр. 3 и 5) и дерново-подзолистой (разр. 1) почвах переход от загрязненности верхнего горизонта ко всему почвенному профилю повлиял на превышение ПДК и на показатель суммарного загрязнения мало. Так, показатель  $Z_c$  изменился на 1–3 единицы (табл. 3).

Но в загрязненных урболитоземе и техноземе различие оказалось существенным. В урболитоземе переход от загрязнения верхнего горизонта к почвенному профилю привел к снижению превышения кларка медью, цинком и хромом, в результате чего показатель суммарного загрязнения  $Z_c$  снизился с 25 до 13, это перевело загрязнение из “средней” категории в “слабую”. В техноземе переход от загрязнения верхнего горизонта к почвенному профилю привел к уменьшению превышения кларка цинком и хромом и показатель суммарного загрязнения  $Z_c$  снизился с 44 до 22, что перевело загрязнение из “сильной” категории в “среднюю”.

Аллювиальные почвы в г. Пермь. Эти почвы загрязнены водородным путем и максимальное загрязнение приходится на срединные горизонты. Учет загрязнения всего почвенного профиля по сравнению с загрязнением верхнего горизонта приводит к усилению степени загрязнения. Особенно это заметно в почве в пойме р. Данилиха. Здесь превышение ПДК никелем, медью и цинком существенно выше при учете загрязнения всего почвенного профиля, чем одного верхнего горизонта (табл. 4). То же касается и превышения кларка. В результате показатель суммарного загрязнения  $Z_c = 27$  в случае учета всего

почвенного профиля, тогда как при учете загрязнения одного верхнего горизонта  $Z_c = 20$ . Таким образом, аллювиальные водородно загрязненные почвы отличаются от аэриально загрязненных тем, что максимальное загрязнение приходится на средние и нижние горизонты, что учитывается при подсчете средневзвешенного значения содержания тяжелого элемента.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При новом, почвенном подходе к установлению ПДК тяжелых металлов в почвах ПДК – это средневзвешенная по мощности и плотности горизонтов концентрация тяжелого металла в почвенном профиле, включающем гор. А и В, которая не должна оказывать негативное воздействие на растения, биоту, почвенно-грунтовые воды и организм человека.

Новое почвенно-экологическое определение ПДК регламентирует отбор проб на загрязненных территориях. Вместо мелких прикопок, из которых отбирали поверхностные образцы, предлагается выполнять подробный анализ почвенного профиля, включающий не только определение содержания в отдельных горизонтах тяжелых элементов, но и плотности почв в этих горизонтах. Для урбоземов и техноземов, где исходные генетические признаки горизонтов искажены, необходимо анализировать антропогенные слои вплоть до глубины 1.0 м. Для загрязненных аллювиальных почв без иллювиального гор. В также следует анализировать слои до глубины 1.0 м.

Показатели превышения ПДК тяжелыми металлами – значения  $K_{\text{пдк}}$  – не имеют верхнего предела. Но показатель суммарного загрязнения  $Z_c$  для полиэлементного загрязнения  $Z_c$ , полученного по формуле Саета на основе превышения фона (кларка), имеет верхний предел: не выше 128. Оказалось, что при учете одного поверхностного слоя значения  $Z_c$  могут достигать абсурдных величин 800–900. В то же время использование средневзвешенного содержания металлов в поч-

венном профиле вводит значения Zc в определенное соответствие.

Таким образом, при аэральном воздействии переход от содержания тяжелых элементов в поверхностном горизонте к содержанию их в почвенном профиле приводит к уменьшению степени загрязнения почв. Напротив, при гидрогенном воздействии переход от содержания тяжелых элементов в поверхностном горизонте к содержанию их в почвенном профиле приводит к увеличению степени загрязнения почв.

Авторы благодарят А.А. Васильева, М.Н. Власова, И.О. Плеханову, Е.В. Прокопович, А.Н. Чащина, предоставивших образцы почв для исследований.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Большаков В.А., Белобров В.П., Шишов Л.Л.* Словник. Термины, их краткое определение, справочные материалы по почвенной экологии, географии и классификации почв. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2004. 138 с.
2. *Водяницкий Ю.Н.* Тяжелые и сверхтяжелые металлы и металлоиды в загрязненных почвах. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2009. 182 с.
3. *Водяницкий Ю.Н., Васильев А.А., Власов М.Н.* Гидрогенное загрязнение тяжелыми металлами аллювиальных почв г. Пермь // Почвоведение. 2008. № 11. С. 1399–1408.
4. *Водяницкий Ю.Н., Васильев А.А., Савичев А.Т., Чащин А.Н.* Влияние техногенных и природных факторов на содержание тяжелых металлов в почвах Среднего Предуралья (г. Чусовой и его окрестности) // Почвоведение. 2010. № 9. С. 1089–1099.
5. *Водяницкий Ю.Н., Плеханова И.О., Прокопович Е.В., Савичев А.Т.* Загрязнение почв тяжелыми металлами, фосфором и серой предприятиями цветной металлургии (Среднеуральский медеплавильный завод и Норильский горно-металлургический комбинат) // Почвоведение. 2011. № 2. С. 240–249.
6. *Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г.* Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем. Екатеринбург: Наука, 1994. 280 с.
7. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2007 году. М.: Минприроды РФ, 2008. 503 с.
8. *Добровольский В.В.* Основы биогеохимии. М.: АCADEMIA, 2003. 397. С. 16.
9. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
10. *Мотузова Г.В., Безуглова О.С.* Экологический мониторинг почв. М.: Гаудеамус, 2007. 237 с.
11. *Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Лозановская И.Н.* Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении почв. М.: Высшая школа, 2002. 223 с.
12. Состояние и охрана окружающей среды в Пермской области в 2003 году. Пермь: ПГТУ, 2004. С. 54–56.
13. Состояние и охрана окружающей среды Пермской области в 2004 г. Пермь, 2005. 65 с.
14. *Трухина Л.Ф.* Почвы пойм малых рек и пути повышения их плодородия и производительности (на примере Ивановской области). Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 1988. 23 с.
15. Химическое загрязнение почв и их охрана. М.: Агропромиздат, 1991. 303 с.
16. *Яковлев А.С., Плеханова И.О., Кудряшов С.В., Аймалетдинов Р.А.* Оценка и нормирование экологического состояния почв в зоне деятельности предприятий металлургической компании “Норильский никель” // Почвоведение. 2008. № 6. С. 737–750.
17. *Bowen H.J.M.* Environmental chemistry of elements. N.Y.: Acad. Press, 1979. 333 p.