

## **КОНЦЕПЦИЯ ГИБКОГО ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ ОРИЕНТИРОВОЧНО ДОПУСТИМОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОИДОВ В ПОЧВЕ**

© 2011 г. Ю. Н. Водяницкий

*Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии,  
119017, Москва, Пыжевский пер., 7*

В России в качестве ориентировочно допустимой концентрации (ОДК) используются фиксированные значения концентраций тяжелых металлов/металлоидов. Предложенный в 1987 г. СанПиНом и развитый в 1997 г. в Нидерландах принцип гибкого подхода к оценке ОДК\*, позволяет устранить многие недостатки фиксированной ОДК, поскольку он основан на суммировании локального фоновое содержания металла и предельно допустимой добавки. На данном этапе гибкий подход к оценке ОДК\* не учитывает всех особенностей поведения поллютанта в почве, хотя сам переход от концепции фиксированных нормативов к гибким представляет собой движение в верном направлении. Предложено развитие гибкого подхода к оценке ОДК, учитывающего инертную фракцию поллютанта. Примеры показали, что загрязнение почв тяжелыми металлами оказывается в ряде случаев значительно выше при оценке с помощью гибкого критерия ОДК\*. Применение гибкого критерия ОДК\*\*, учитывающего содержание инертной фракции в почве, станет возможным после усовершенствования системы химического экстрагирования сильнозагрязненных почв.

*Ключевые слова:* ориентировочно допустимые концентрации, тяжелые металлы, загрязнение почв.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Охрана почв от загрязнения тяжелыми металлами и металлоидами неразрывно связана с критерием ПДК. В отличие от загрязнения воздуха и воды, где тяжелые металлы и металлоиды являются экзогенными веществами, в почве они частично (или полностью) имеют природное происхождение. Между тем, в российских

нормах не разделяются природные и техногенные доли тяжелых металлов и металлоидов: в качестве ПДК/ОДК используются фиксированные значения концентраций тяжелых металлов [цит по (Большаков и др. 2004)]. В результате завышается опасность загрязнения на территории положительной геохимической аномалии и занижается опасность на площади отрицательной природной аномалии. Фиксированные значения нормативов не учитывают природно-климатические и геохимические особенности регионов (Безносиков, Лодыгин, 2004; Околелова и др., 2007). Эти особенности могут быть очень контрастными. Фоновое содержание мышьяка варьирует от 0.1 мг/кг в подзолах Кольского п-ова до 100–150 мг/кг в черноземах Алтая (Матвеев, Авдонькин, 2007). Высокое содержание тяжелого элемента в почве (выше ПДК/ОДК) еще не означает ее загрязненность. Наконец, нормативы не учитывают такой важный фактор, как возраст загрязнения, хотя часто со временем подвижность и, следовательно, опасность поллютанта снижается (Елькина, 2007).

Предпосылки к более правильному подходу были созданы еще в 1987 г., когда Минздрав СССР утвердил СанПиН 42-128-4433-87 [цит. по (Хомяков, 2010)] для нескольких тяжелых металлов, используя гибкие критерии ПДК и применяя уравнение:

$$\text{ПДК} = \text{Фон} + \text{ПДД} \quad (1),$$

где ПДД – предельно допустимая добавка тяжелого металла как поллютанта [цит. по (Хомяков, 2010)]. Величина ПДД характеризует степень опасности данного тяжелого металла. В СанПиНе значения ПДД составляют для As 2, Pb 20, Co 35, Ni 45 мг/кг. В таком же порядке снижается их токсичность. Этот принцип выражения ПДК, основанный на различии переменной природной и техногенной допустимой доли металлов/металлоидов, позволяет определить локальное значение ПДК и устранить недостатки нормативов, связанные с применением фиксированных чисел. Самое главное: исключается абсурдный результат, когда фоновое содержание металла превышает ПДК/ОДК.

Гибкий подход к нормированию получил позже развитие в Нидерландах (Strommentuijn et al., 1997, Van de Plassche, De Bruijn, 1992). В Нидерландах новые значения ПДД получены в результате многочисленных и разнообразных экотоксикологических исследований – проведена работа по установлению значений ПДД для 17

тяжелых металлов и металлоидов. Исследовали влияние водных вытяжек из почв, загрязненных данными элементами, на разные типы организмов (не менее четырех): растений, а также бактерий и других микроорганизмов, то есть учитывалось токсическое влияние на почвенную биоту, а не прямое воздействие тяжелых металлов/металлоидов на здоровье человека при вдыхании пыли и потреблении питьевой воды. После этого была проведена «гармонизация» полученных величин ПДД (Strommentuijn et al., 1997). Полученные значения ПДД металлов/металлоидов отражают степень опасности химических элементов в почвах по отношению к биоте. К сожалению, приведенный в табл. 1 набор элементов недостаточно широк, учитывая, что всего имеется 57 тяжелых элементов. Явно ощущается отсутствие ПДД урана, техногенная доля которого после Второй мировой войны стремительно возросла, а сомнений в токсичности урана нет (Водяницкий, 2011). Таким образом, чрезвычайно полезные исследования ПДД в почвах должны быть распространены на другие тяжелые металлы/металлоиды.

**Таблица 1.** Значения предельно допустимой добавки (ПДД) тяжелых металлов и металлоидов по данным нидерландских экологов (Strommentuijn et al., 1997), мг/кг

Металл / металлоид	ПДД
Ванадий V	1.1
Хром Cr	3.8
Кобальт Co	24
Никель Ni	2.6
Медь Cu	3.5
Цинк Zn	16
Мышьяк As	4.5
Селен Se	0.11
Молибден Mo	253
Кадмий Cd	0.76
Олово Sn	34
Сурьма Sb	0.53
Барий Ba	9.0
Церий Ce	44
Ртуть Hg	1.9
Таллий Tl	0.25
Свинец Pb	55

Несмотря на все достоинства концепции «гибкой» ОДК, она не доведена до совершенства, недостатки становятся очевидными при ее использовании.

Цели работы: обсудить концепцию гибкого подхода к оценке ОДК и показать ее возможности и ограничения на примерах почв, загрязненных тяжелыми металлами/металлоидами.

### КОНЦЕПЦИИ ОДК

*Концепция отечественного критерия ОДК* имеет серьезные недостатки. Ступенчатая градация не учитывает различия фонового содержания, обусловленного изменением гранулометрического состава, например, от легкого суглинка до тяжелой глины. Кроме того, ОДК не учитывает литогенный фактор, определяющий содержание в почвах природных тяжелых металлов, как это имеет место в почвах Урала, унаследовавших от породы высокую концентрацию меди и хрома (Ворончихина, Ларионова, 2002). В результате может возникнуть абсурдная ситуация, когда в почве фоновое содержание металла выше ПДК. Наконец, и это самое главное, ОДК, основанная на суммарном содержании тяжелого металла/металлоида в почве, не различает доли природного (в основном инертного) и техногенного (в основном биологически активного) содержания элемента. Например, при содержании в почве 400 мг/кг цинка природного происхождения и 40 мг/кг техногенного опасность его будет ниже, чем при содержании в почве 40 мг/кг природного и 400 мг/кг техногенного цинка. Это подтверждается данными о повышенном содержании легкоэкстрагируемых тяжелых металлов в загрязненных почвах по сравнению с незагрязненными (Яковлев и др., 2008). Данного различия отечественная концепция ПДК/ОДК тяжелых металлов не учитывает. Таким образом, в отечественных нормативах содержится много недостатков. Кроме того, для ряда опасных тяжелых элементов величины ОДК не приняты.

*Концепция гибкого критерия ОДК\**. В концепции СанПиНа предельно допустимая добавка техногенного поллютанта принята как фиксированная величина. В более поздней нидерландской концепции подчеркивается, что значения ПДД даны для «стандартной» почвы, содержащей 10% гумуса и 25% илистой фракции.

Идеально величина ПДД должна отражать не только буферность почвы, но и возраст загрязнения (со временем подвижные поллютанты инактивируются) и даже вид выращиваемой культуры (Черных, Ладонин, 1995). На данном этапе гибкий подход к оценке ОДК не учитывает все особенности поведения и влияния поллютанта в почве, хотя сам переход от концепции фиксированных нормативов к гибким представляет собой движение в верном направлении.

*Методика подсчета «гибкой» ОДК\* с учетом локального фонового содержания тяжелого металла.* В ряде случаев локальное фоновое содержание тяжелого металла определить легко. В первую очередь это относится к модельным опытам, когда к чистой почве с известным содержанием тяжелого металла добавляют известное количество поллютанта (Карпучин, 2009). Иногда реальное загрязнение авторы сравнивают с надежным фоном (Минкина, 2009). Но часто при обширной области загрязнения аэральными выбросами найти фоновый участок трудно. На большом удалении высока вероятность смены как почвообразующей породы, так и химического состава почвы. Особенно это касается горных и предгорных областей, где эта смена может быть разительной. В ряде случаев желательно не использовать фон, удаленный на большое расстояние от источника загрязнения.

Решение вопроса возможно путем анализа содержания тяжелого металла/металлоида (Me) в поверхностном горизонте А и в подстилающей породе С и нормирования его по реперным элементам R, в качестве которых используются Zr или Ti. После этого подсчитывают локальное фоновое содержание тяжелого металла/металлоида С фон из выражения (Роде, 1971):

$$C_{\text{фон}} = Me_C \cdot R_A / R_C.$$

Значение С фон вносим в уравнение для подсчета ОДК\*. Таким образом, получаем значение ОДК\* тяжелого металла/металлоида с учетом локального фона.

*Методика подсчета «гибкой» ОДК\*\* с учетом инертной фракции металла.* В уравнении (1) сделано допущение, что фоновое содержание металла представлено только инертной фракцией, а техногенная доля – только активной фракцией. Это допущение не всегда выполняется. Кроме подвижных, металлы включают и

инертные, стабильные формы, которые могут быть привнесены, а могут и образоваться при контакте поллютанта с почвой.

По степени подвижности металлы-поллютанты сильно варьируют. У металлов в составе дисперсных аэрозолей, выбрасываемых промышленностью и транспортом, подвижность высокая. Это видно по подвижности тяжелых металлов, поступающих в почву в виде аэральных выбросов металлургических заводов. Так, в зоне влияния Среднеуральского медеплавильного завода (г. Ревда) при общем увеличении содержания меди в загрязненной почве в 19 раз, доля обменной фракции меди возросла в 472 раза (Решетников, 1990). Аналогичная ситуация в почвах, загрязненных выбросами Дальнегорского завода цветной металлургии, где доля легкоэкстрагируемого цинка возросла с 11% в контроле до 71–74%, а доля легкоэкстрагируемого свинца увеличилась с 19% в контроле до 94–99% (Елпатьевский, Луценко, 1982). Это говорит о подвижности значительной части техногенных форм соединений металлов.

Но это относится не ко всем поллютантам. Так, предприятия черной металлургии в Череповце и Магнитогорске долгие годы выбрасывали крупные частицы инертных поллютантов. Другой пример относится к твердым частицам в составе разнообразных отвалов отходов, которые ветром разносятся на большие расстояния, загрязняя окружающую почву. Таким образом, для почв, загрязненных инертными поллютантами, условие: «техногенная форма соединений тяжелых металлов» – это только активная, подвижная форма, не соблюдается.

Загрязнение таких почв по отечественным нормативам ОДК, не учитывающим различие в подвижности поллютантов, будет не обоснованно высоким. Также нельзя использовать упрощенную формулу для подсчета ОДК\*, так как в ней не учитывается доля инертных поллютантов: подсчет величины ОДК\* основан на допущении, что фоновая доля тяжелого металла представлена в основном инертной фракцией, а техногенная доля – активной фракцией металла.

Когда же природная часть тяжелого металла кроме инертной, включает и заметную долю активной фракции, а техногенная часть – кроме активной, также и инертную часть, то загрязнение почвы следует оценивать с помощью другого критерия (ОДК\*\*), а

для определения степени загрязнения почвы желательнее использовать уточненную формулу:

$$\text{ОДК}^{**} = \text{СНФ} + \text{ПДД} \quad (2),$$

где СНФ – суммарная нерастворимая фракция металла в загрязненной почве.

Формула (2) для подсчета ОДК\*\* необходима для характеристики загрязнения высокотоксичными металлами/металлоидами с ПДД < 10 мг/кг. Для этих металлов (например, Ni и Cu) отсутствие учета инертных фракций поллютантов сильно занижит значение ОДК и ОДК\*. Повторим, что отечественные нормативы (ОДК) не учитывают форму соединений металлов-поллютантов и содержание их подвижных и инертных фракций, хотя опасность их различна. В то же время усовершенствованная формула ОДК\*\* более адекватно отражает загрязненность почвы поллютантом.

Чтобы пользоваться формулой ОДК\*\*, надо в загрязненной почве определить содержание инертной фазы тяжелого металла/металлоида. Для этого проще всего воспользоваться данными химических экстракций. Сразу возникает вопрос: какими экстрагентами лучше всего пользоваться? Наибольшую информацию о подвижности тяжелых металлов в загрязненных почвах дает методика последовательных четырех ступенчатых экстракций, а нерастворимый остаток – это инертная фракция металла. Ее и будем использовать в качестве суммарной нерастворимой фракции металла в загрязненной почве. Надо иметь в виду, что формальный перенос методик химического фракционирования с фоновых почв (для которых они и разработаны) на загрязненные, допустим только в ограниченных рамках. Эти методики можно применять только для слабозагрязненных почв, но при высоком загрязнении их эффективность снижается из-за недостатка емкости растворителей. Яркий пример такой неудачи дает химическое фракционирование соединений As и Pb при «ураганных» концентрациях тяжелых элементов в верхнем горизонте технозема вблизи отвала мышьяковистых руд в Иркутской обл. (Гордеева, Белоголова, 2007). После последовательной четырехэтапной экстракции от валового содержания мышьяка 21400 мг/кг в остатке сохранилось 19470 мг As/кг или 91%, а от валового содержания свинца 90000 мг/кг сохранилось 89954 мг Pb/кг или 99.9%. Такие высокие доли нерастворимой фракции элементов можно объяснить не полной их

экстракцией. Понятно, что для сильнозагрязненных почв требуется развитие методик химического фракционирования тяжелых элементов или применения минералогического анализа. Поэтому уравнение (2) пригодно только для оценки слабозагрязненных, а для сильнозагрязненных почв следует использовать фоновое содержание тяжелого металла и уравнение (1).

Оценим степень загрязнения почвы металлами с помощью показателей К:

$$K_{\text{ОДК}} = \text{Ме вал} / \text{ОДК}$$

$$K_{\text{ОДК}^*} = \text{Ме вал} / \text{ОДК}^*$$

$$K_{\text{ОДК}^{**}} = \text{Ме вал} / \text{ОДК}^{**}$$

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ «ГИБКИХ» ОДК\* И ОДК\*\* ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ/МЕТАЛЛОИДОВ В ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВАХ

*Определение «гибкого» ОДК\* в загрязненных почвах.* Этот показатель с уточнением подсчета локального фонового содержания тяжелых металлы/металлоидов применили для анализа загрязненности почв в г. Чусовой (Пермский край). Определяли степень загрязнения почв разными металлами  $K_{\text{ОДК}}$  и  $K_{\text{ОДК}^*}$ .

Город Чусовой – один из центров металлургического производства в Пермском крае. Валовой выброс загрязняющих веществ в атмосферу от промышленных предприятий в 2005 г. составил 24,7 тыс. т (Водяницкий и др., 2010). Основным источником поступления тяжелых металлов – металлургическое предприятие «Чусовской металлургический завод». В городском воздухе содержание ванадия, хрома, кадмия, никеля, марганца превышает ПДК в 1.1–3.5 раза. В 12% проб воздуха содержание Pb и V превышает ПДК в 3–5 раз (Верихов, 2007). Загрязнение почв в основном определяется аэральными выбросами завода.

Всего изучено шесть разрезов. В городе на о. Закурье на р. Чусовая анализировали две аллювиальные серогумусовые почвы (разр. 3 и 5). На надпойменной террасе р. Чусовая почвы сформировались на карбонатных отложениях. Здесь изучали дерново-подзолистую почву в лесопарке Нового города на левом берегу (разр. 1). Среди пригородных почв анализировали: агроземы текстурно-дифференцированные в окрестностях п. Камасино (разр.

11) и п. Чунжино (разр. 12) и агродерново-подзолистую глеевую почву в окрестностях п. Красные Казармы (разр. 13). Подробно почвы описаны ранее (Водяницкий и др., 2010).

В почвах анализировали валовое содержание Ni, Cu, Zn, Pb, Cr и Ba. Как видно, максимально превышает ОДК\* содержание хрома, в среднем  $K_{\text{ОДК}^*} = 2.2$  (табл. 2). Это понятно, поскольку при производстве стали хром используют в качестве легирующей добавки. Двукратное превышение ОДК\* отмечено для цинка, а для меди  $K_{\text{ОДК}^*} = 1.7$ . В то же время загрязнения почв свинцом не отмечено.

Согласно новой ОДК\*, фиксируется загрязнение поверхностного слоя почв хромом, цинком и медью. Но, если сравнивать с ОДК, никакого загрязнения почвы нет: для цинка  $K_{\text{ОДК}} = 0.74$ , для меди  $K_{\text{ОДК}} = 0.40$ . Учитывая общеизвестное сильное загрязнение воздуха в городе, отсутствие аэрального загрязнения почв (согласно ОДК) выглядит абсурдным. Странный результат объясняется завышенным уровнем ОДК, который принят для тяжелых почв с нейтральной реакцией среды.

*Определение «гибкой» ОДК\*\* в загрязненных почвах.* Этот показатель определяли для почв, где изучен состав фракций соединений тяжелых металлов. В ходе последовательной химической экстракции определяли: 1) обменную; 2) специфически сорбированную; 3) связанную с органическим веществом; 4) связанную с (гидр)оксидами железа и марганца и 5) остаточную, инертную фракцию металла.

*Модельные опыты.* Рассмотрим опыты Карпухина (2009) с дерново-подзолистой легкосуглинистой и черноземной среднесуглинистой почвами, загрязненными нитратами или оксидами Zn, Ni, Cu, Pb в дозах 40, 400 и 4000 г/кг. Из табл. 3 видно, что загрязненность дерново-подзолистой почвы медью и никелем по критерию ОДК\* гораздо выше, чем по ОДК. Это связано с высокой опасностью Cu и Ni, что отражается в низких значениях ПДД (табл. 1). Оба критерия ОДК и ОДК\*, как и следовало ожидать, не реагируют на состав поллютантов: значения загрязненности почв одинаковы при внесении нитратов и оксидов металлов. Ожидаемое снижение загрязненности при внесении оксидов металлов отмечено только для Cu и Ni. Для Zn и Pb получен явно

Таблица 2. Содержание тяжелых металлов (мг/кг) и степень загрязнения почв г. Чусовой и его окрестностей

Пункт, разрез	С		факт	техн	фон	Ni	ОДК*	ОДК**	ОДК	К <sub>ОДК</sub>	К <sub>ОДК*</sub>	К <sub>ОДК**</sub>
	факт	техн										
Чусовой, 3	55	0	55	0	55	80	0.69	0.9	132	0.32	1.4	1.4
Чусовой, 5	54	24	30	33	33	0.67	1.6	0.43	23.5	0.43	2.4	2.4
Чусовой, 1	60	0	60	63	63	0.75	0.9	0.32	46.5	0.32	0.9	0.9
Камасино, 11	63	20	43	46	46	0.76	1.4	0.57	28.5	0.57	2.6	2.6
Чунжино, 12	63	0	63	66	66	0.79	0.9	0.43	38.5	0.43	1.4	1.4
К. Казармы, 15	61	0	61	64	64	0.75	0.9	0.32	26.5	0.32	1.7	1.7
Чусовой, 3	130	44	86	102	102	220	0.59	1.3	130	0.15	0.3	0.3
Чусовой, 5	168	99	69	72	72	0.76	2.3	0.21	67	0.21	0.4	0.4
Чусовой, 1	102	61	41	57	57	0.46	1.8	0.19	66	0.19	0.4	0.4
Камасино, 11	278	220	58	74	74	1.26	3.8	0.31	59	0.31	0.7	0.7
Чунжино, 12	182	96	86	102	102	0.83	1.8	0.11	60	0.11	0.2	0.2
К. Казармы, 15	130	45	85	101	101	0.59	1.3	0.13	63	0.13	0.3	0.3
Чусовой, 3	174	137	37	41	41	Нет	4.2	290	Нет	1.2	1.2	1.2
Чусовой, 5	251	148	103	158	158	372	1.6	372	381	1.0	1.0	1.0
Чусовой, 1	168	79	89	93	93	393	1.8	220	182	2.1	2.1	2.1
Камасино, 11	315	173	142	146	146	Нет	2.2	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
Чунжино, 12	267	83	184	188	188	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
К. Казармы, 15	212	114	98	102	102	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1

Таблица 3. Показатели загрязненности дерново-подзолистой почвы при внесении разных доз (мг/кг) тяжелых металлов К<sub>ОДК</sub>, К<sub>ОДК\*</sub> и К<sub>ОДК\*\*</sub>. Исходные данные Карпухина (2009)

Критерий	Нитрат			Оксид		
	40	400	4000	40	400	4000
	Zn					
К <sub>ОДК</sub>	1.0	4.2	37	1.0	4.2	37
К <sub>ОДК*</sub>	1.3	5.6	49	1.3	5.6	49
К <sub>ОДК**</sub>	1.7	3.6	17	1.7	3.6	30
	Pb					
К <sub>ОДК</sub>	0.8	6.3	62	0.8	6.3	62
К <sub>ОДК*</sub>	0.8	6.0	59	0.8	6.0	59
К <sub>ОДК**</sub>	0.9	4.5	13	0.9	4.1	30
	Cu					
К <sub>ОДК</sub>	0.8	6.2	61	0.8	6.2	61
К <sub>ОДК*</sub>	5.0	26	259	5.0	26	259
К <sub>ОДК**</sub>	5.4	8.0	14	2.6	2.2	1.1
	Ni					
К <sub>ОДК</sub>	1.2	10	100	1.2	10	100
К <sub>ОДК*</sub>	4.8	41	400	4.8	41	400
К <sub>ОДК**</sub>	2.1	15	39	0.9	1.3	2.3

ошибочный рост загрязненности, что объясняется неэффективностью химического фракционирования. Но и значения ОДК\*\* для меди сомнительны, так как загрязненность почвы оксидом снижается с ростом дозы поллютанта. Таким образом, только для никеля результаты подсчета К<sub>ОДК\*</sub> можно рассматривать как не противоречивые. Хотя вызывают сомнения крайне низкие величины загрязненности никелем и медью, что можно объяснить низкой емкостью экстрагентов.

Таким образом, загрязненность металлами дерново-подзолистой почвы по гибкому нормативу с учетом местного фона оказывается значительно выше, чем по фиксированному значению ОДК. В то же время ожидаемое снижение загрязненности при внесении оксидов металлов по сравнению с нитратами отмечено только для Cu и Ni, при этом сами величины загрязненности вызывают сомнения.

Примерно такие же результаты получены при оценке загрязнения черноземной почвы теми же металлами (табл. 4). Загрязненность чернозема свинцом и особенно медью и никелем выше по

**Таблица 4.** Показатели загрязненности черноземной почвы при внесении разных доз (мг/кг) тяжелых металлов К<sub>ОДК</sub>, К<sub>ОДК\*</sub> и К<sub>ОДК\*\*</sub>. Исходные данные Карпухина (2009)

Критерий	Нитрат			Оксид		
	40	400	4000	40	400	4000
	Pb					
К <sub>ОДК</sub>	0.4	3.2	31	0.4	3.2	31
К <sub>ОДК*</sub>	0.8	6.0	59	0.8	6.0	59
К <sub>ОДК**</sub>	0.7	2.6	3.4	0.6	2.2	2.7
	Cu					
К <sub>ОДК</sub>	0.5	3.2	30	0.5	3.2	30
К <sub>ОДК*</sub>	2.5	17	164	2.5	17	164
К <sub>ОДК**</sub>	3.5	10	17	2.3	2.3	1.1
	Ni					
К <sub>ОДК</sub>	0.8	5.3	50	0.8	5.3	50
К <sub>ОДК*</sub>	2.3	15	146	2.3	15	146
К <sub>ОДК**</sub>	6.7	10	30	1.3	1.4	2.2

гибкому критерию ОДК\*, чем по фиксированному значению ОДК. Что касается учета состава поллютантов, то значения загрязненности по ОДК\*\* близкие к оценкам загрязненности по другим нормативам получены только для нитрата никеля. Для остальных металлов слишком малые значения К<sub>КОД\*\*</sub> говорят о низкой емкости экстрагентов.

Реально загрязненные почвы. Рассмотрим степень загрязнения почв вблизи Новочеркасской ГРЭС, исходные данные Минкиной (2009). В табл. 5 представлены результаты экстракций в виде долей легкоподвижных (фракции 1 + 2) и остаточной фракций металлов в загрязненных почвах. Как видно, доли легкоподвижных и инертных форм поллютантов сильно зависят от вида металла-поллютанта. У техногенного цинка содержание легкоподвижных соединений гораздо выше, чем инертных (у большинства образцов инертная фракция вообще отсутствует). У техногенного свинца доли подвижных и инертных соединений одинаковы. У техногенной меди доля инертных соединений превышает долю подвижных. Значит необходимо учитывать содержание инертной фракции свинца и особенно меди с помощью усовершенствованной формулы ОДК\*\*. Техногенную составляющую этих металлов нельзя принимать за полностью подвижную фракцию, как это делается в первом приближении при подсчете ОДК\*, принятое допущение чревато большой ошибкой.

**Таблица 5.** Доли высокоподвижной и инертной фракций (%) в техногенных тяжелых металлах и показатели загрязненности черноземной почвы вблизи Новочеркасской ГРЭС тяжелыми металлами К<sub>ОДК</sub>, К<sub>ОДК\*</sub> и К<sub>ОДК\*\*</sub>. Исходные данные Минкиной (2006)

Направление и расстояние, км	Фракция, %		К <sub>ОДК</sub>	К <sub>ОДК*</sub>	К <sub>ОДК**</sub>
	подвижная	инертная			
	Pb				
СВ, 1.0	20	60	0.3	0.6	0.6
ЮЗ, 3.0	–	–	0.1	0.2	0.3
ЮЗ, 2.7	14	5	0.3	0.4	0.5
СЗ, 1.6	20	35	0.5	0.8	0.8
СЗ, 1.2	21	10	0.5	0.8	0.8
СЗ, 5.0	25	10	0.3	0.5	0.6
ССЗ, 2.0	17	17	0.5	0.6	0.9
С, 1.5	23	7	0.3	0.5	0.6
Среднее	20	21	0.3	0.5	0.6
	Cu				
СВ, 1.0	19	32	0.4	1.2	1.8
ЮЗ, 3.0	–	–	0.3	0.8	1.4
ЮЗ, 2.7	8	49	0.5	1.4	1.7
СЗ, 1.6	7	28	0.7	2.0	2.3
СЗ, 1.2	22	20	0.5	1.6	2.3
СЗ, 5.0	20	44	0.5	1.6	1.8
ССЗ, 2.0	27	0	0.5	1.4	3.0
С, 1.5	6	15	0.4	1.2	1.9
Среднее	16	27	0.5	1.4	2.0
	Zn				
СВ, 1.0	33	2	0.5	1.2	1.5
ЮЗ, 3.0	73	0	0.4	0.9	1.4
ЮЗ, 2.7	22	0	0.5	1.1	1.5
СЗ, 1.6	68	0	0.5	1.0	1.5
СЗ, 1.2	39	15	0.6	1.5	1.6
СЗ, 5.0	70	0	0.4	1.0	1.5
ССЗ, 2.0	26	0	0.5	1.3	1.7
С, 1.5	80	0	0.4	0.8	1.4
Среднее	51	2	0.5	1.1	1.5

**Таблица 6.** Показатели загрязненности супесчаных почв в Москве тяжелыми металлами  $K_{ОДК}$  и  $K_{ОДК^{**}}$ . Исходные данные Пляскиной (2007)

Критерий	Минимум	Максимум	Среднее	Коэффициент вариации, %
		Zn		
$K_{ОДК}$	1.7	24.1	5.3	128
$K_{ОДК^{**}}$	1.8	6.9	3.6	39
		Cu		
$K_{ОДК}$	0.8	8.2	2.1	107
$K_{ОДК^{**}}$	2.6	7.6	4.2	42
		V		
$K_{ОДК}$	0.002	0.33	0.15	59
$K_{ОДК^{**}}$	1.2	1.8	1.5	13
		Ni		
$K_{ОДК}$	0.5	4.4	1.5	75
$K_{ОДК^{**}}$	1.1	2.9	1.5	35
		Cd		
$K_{ОДК}$	1.0	49.6	7.2	223
$K_{ОДК^{**}}$	0.9	3.0	1.5	49
		Pb		
$K_{ОДК}$	0.6	4.5	1.8	68
$K_{ОДК^{**}}$	0.5	2.1	1.0	51

Величины загрязнения  $K_{ОДК}$ ,  $K_{ОДК^*}$  и  $K_{ОДК^{**}}$  почв свинцом, цинком и медью представлены в табл. 5. Видна определенная тенденция: наиболее загрязненной оказывается почва при сравнении с гибкой  $ОДК^{**}$  и наименее загрязненной – при сравнении с фиксированной  $ОДК$ . Особенно заметна разница в загрязнении почв медью. В среднем  $K_{ОДК} = 0.5$ , а  $K_{ОДК^{**}} = 2.0$ . Таким образом, уточненный анализ загрязнения почв дает более тревожную картину, чем при сравнении с официальной  $ОДК$ .

Обратимся к анализу степени загрязнения почв Москвы, исходные данные Пляскиной (2007). В табл. 6 приведены показатели  $K_{ОДК}$ ,  $K_{ОДК^*}$  и  $K_{ОДК^{**}}$  для цинка, меди, ванадия, никеля, кадмия и свинца в 10 образцах почв в Юго-Восточном округе. Степень загрязненности никелем осталась неизменной (1.5), но для остальных металлов она изменилась. Значения загрязненности по «гибкой»  $ОДК^{**}$  по сравнению со значениями  $ОДК$  оказались ниже для Zn, Cd, Pb и выше – для Cu и V. Следует обратить внимание на источники загрязнения московских почв медью и ванадием.

Сравним вариации показателей загрязнения почв Москвы. Вариация показателя  $K_{ОДК^{**}}$  ниже, чем  $K_{ОДК}$ . Хорошо известная из литературы повышенная пестрота загрязнения почв, в частности городских, вероятно, объясняется использованием жесткого шаблона – фиксированных значений ПДК и  $ОДК$ . Но сравнение с индивидуальным показателем опасности  $ОДК^{**}$  говорит, что степень загрязнения почв в городе варьирует не столь драматично. Следовательно, ремедиация может захватить однородно загрязненный участок большей площади.

Таким образом, можно заключить, что загрязнение почв тяжелыми металлами надежнее оценить с помощью гибкого критерия  $ОДК^*$ . Что касается гибкого критерия  $ОДК^{**}$ , учитывающего содержание инертной фракции в почве, то его применение станет возможным после усовершенствования системы химического экстрагирования сильнозагрязненных почв.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Охрана почв от загрязнения тяжелыми металлами и металлоидами неразрывно связана с критерием ПДК/ $ОДК$ . Тем не менее, эта проблема не решена. В качестве ПДК/ $ОДК$  используются фиксированные значения концентраций тяжелых металлов и металлоидов, при этом нормативные числа остаются постоянными для широкого набора почв. Иногда возникает абсурдная ситуация, когда в почве фоновое содержание металла выше ПДК/ $ОДК$ .

Предложенный в 1987 г. СанПиНом и развитый в 1997 г. в Нидерландах принцип гибкого подхода к оценке  $ОДК^*$ , позволяет устранить многие недостатки фиксированной оценки  $ОДК$ , поскольку он основан на суммировании локального фонового содержания металла и предельно допустимой добавки. Новые значения ПДД получены в результате экотоксикологических исследований; установлены значения ПДД для 17 тяжелых металлов и металлоидов. Идеально величина ПДД должна отражать не только буферность почвы, но и возраст загрязнения, так как со временем подвижные поллютанты инактивируются. На данном этапе гибкий критерий  $ОДК$  не учитывает поведения и влияния поллютанта в почве, хотя сам переход от концепции фиксированных нормативов к гибким представляет собой движение в верном направлении.

Предложена новая методика, устраняющая допущение, что фоновое содержание металлов представлено только инертной фракцией, а техногенная доля – только активной фракцией. Предлагается использовать суммарное содержание инертной фракции элемента в поверхностном загрязненном горизонте, что позволяет получить индивидуальное значение предельной концентрации ОДК\*\*. Примеры показали, что загрязнение почв тяжелыми металлами надежнее оценить с помощью гибкого критерия ОДК\*. Но применение гибкого критерия ОДК\*\*, учитывающего содержание инертной фракции в почве, станет возможным после разработки системы химических вытяжек, пригодной для сильнозагрязненных почв.

Благодарю А.Н. Чашина, предоставившего образцы почв для анализа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Безносиков В.А., Лодыгин Е.Д.* Оценка содержания тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий Республики Коми // Современные проблемы загрязнения почв. Межд. конф. М., 2004. С. 176–178.
2. *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.
3. *Верихов Б.В.* Гигиеническая оценка химического техногенного воздействия на состояние костно-мышечной системы у детей в промышленных городах Пермской обл. Автореф. дис. ... к. мед. н. Пермь, 2007. 27 с.
4. *Водяницкий Ю.Н.* Химические аспекты поведения урана в почвах // Почвоведение. 2011. №8.
5. *Водяницкий Ю.Н., Васильев А.А., Савичев А.Т., Чашин 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.
6. *Ворончихина Е.А., Ларионова Е.А.* Основы ландшафтной хемоэкологии. Пермь: Пермский гос. ун-т, 2002. 146 с.

7. *Гордеева О.Н., Белоголова Г.А.* Формы нахождения тяжелых металлов в черноземах южного Прибайкалья и фаоземах северо-восточного Китая // Проблемы геохимии эндогенных процессов и окружающей среды. Иркутск, 2007. Т.1. С. 148-151.
8. *Елпатьевский П.В., Луценко Т.Н.* Распределение и формы нахождения тяжелых металлов в горных буроземах Сихотэ-Алиня как индикатор технического ореола рассеяния // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. М.: Наука, 1982. С.
9. *Елькина Г.Я.* Подходы к нормированию содержания тяжелых металлов в подзолистых почвах // Современные проблемы загрязнения почв. II Межд. конф. М., 2007. Т. 2. С. 55–59.
10. *Карпухин М.М.* Трансформация и фракционный состав соединений Ni, Zn, Cu, Pb в дерново-подзолистой почве и черноземе выщелоченном в модельном эксперименте. Автореф. дис. ... к.б.н. М., 2009. 21 с.
11. *Матвеев Ю.М., Авдонькин А.А.* Подходы к нормированию уровня воздействия (нагрузки) мышьяка на почвенный покров Российской Федерации // Современные проблемы загрязнения почв. II межд. конф. М., 2007. Т. 2. С. 118–122.
12. *Минкина Т.М.* Соединения тяжелых металлов в почвах нижнего Дона, их трансформация под влиянием природных и антропогенных факторов. Автореф. дис. ... д. б. н. Ростов-на-Дону, 2009. 21 с.
13. *Околелова А.А., Шишкинов В.М., Надточий И.В.* Об оценке загрязнения почв Волгограда тяжелыми металлами // Современные проблемы загрязнения почв. II межд. конф. М., 2007. Т. 2. С. 137–140.
14. *Пляскина О.В.* Особенности загрязнения тяжелыми металлами городских почв Юго-Восточного административного округа г. Москвы. Автореф. дис. ... к.б.н. М., 2007. 24 с.
15. *Роде А.А.* Система методов исследования в почвоведении. Новосибирск: Наука, Сиб. отд, 1971. 92 с.
16. *Решетников С.И.* Формы соединений меди в загрязненных и фоновых дерново-подзолистых почвах // Биол. науки. 1990. № 4.
17. *Хомяков Д.М.* К вопросу об оценке уровня загрязнения и состояния городских почв // Современные проблемы загрязнения почв. III межд. конф. М., 2010. С. 53–57.
18. *Черных Н.А., Ладонин В.Ф.* Нормирование загрязнения почв тяжелыми металлами // Агрехимия. 1995. № 6. С. 71–80.

19. 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.

20. Crommentuijn T., Polder M.D., Van de Plassche E.J. Maximum Permissible Concentrations and Negligible Concentrations for metals, taking background concentrations into account // RIVM Report 601501001. Bilthoven, Netherlands. 1997. 260 p.

21. Van de Plassche E.J., De Bruijn J.H.M. Towards integrated environmental quality objectives for surface water, sediments and soil for nine metals. RIVM Report 679101005. Bilthoven, Netherlands, 1992. 130 p.