

Загрязнение почв тяжелыми металлами и проблема ПДК



О.С.БЕЗУТЛОВА

Загрязнение почв тяжелыми металлами



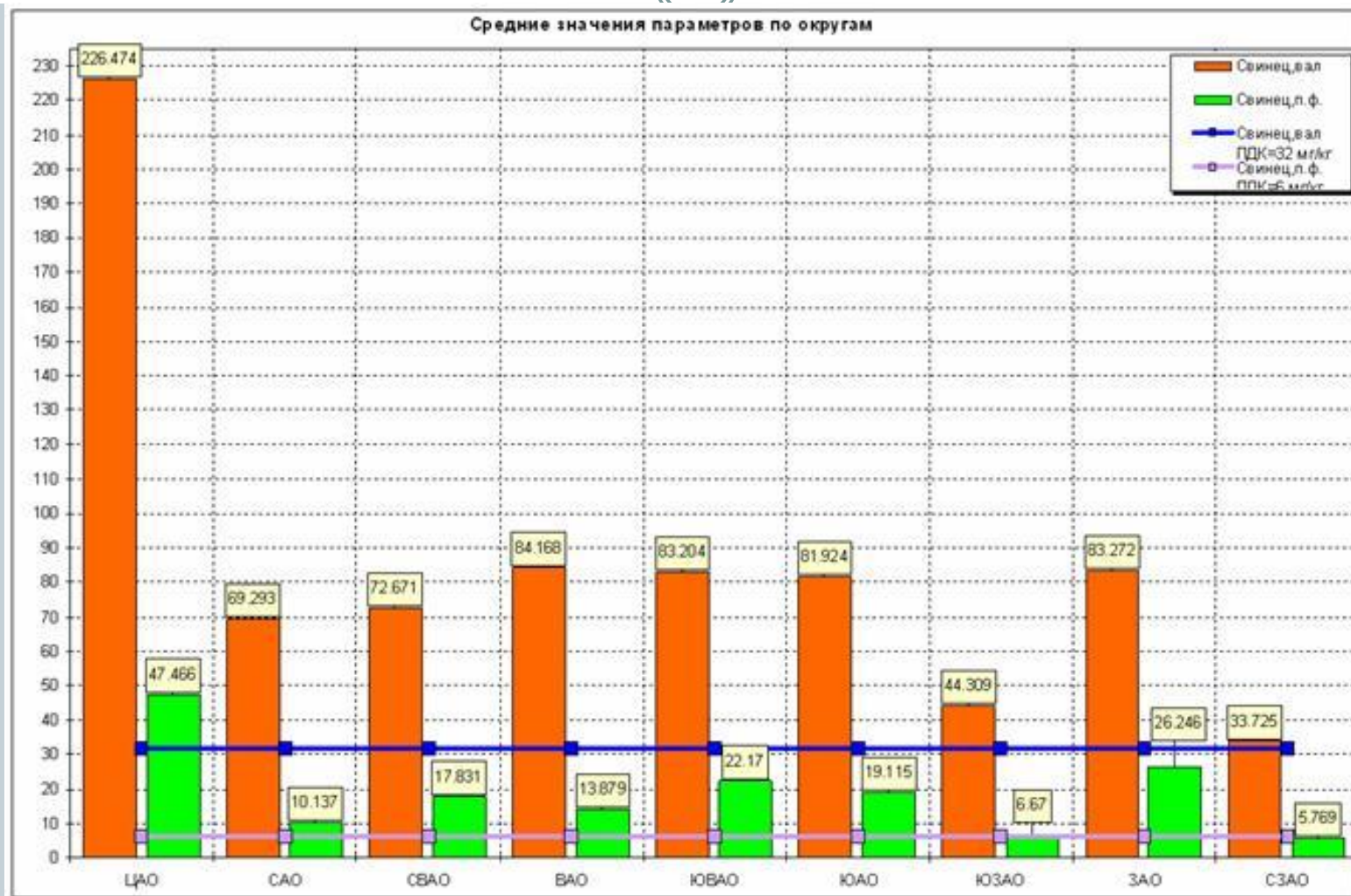
- К тяжелым металлам относят более 40 химических элементов, масса атомов которых превышает 50 атомных единиц.
- Металлы-токсиканты, поступая в почву, вступают в различные химические реакции, адсорбируются глинистыми минералами, органическим веществом, оксидами.
- Аккумуляция их наблюдается преимущественно в гумусово-аккумулятивном горизонте, но часть может переноситься током влаги в нижележащую толщу почвы и накапливаться в иллювиальных горизонтах.
- В почвах элювиального ряда металлы-токсиканты могут выноситься за пределы почвенного профиля в грунтовые воды.

Карта загрязнения почв России ТМ

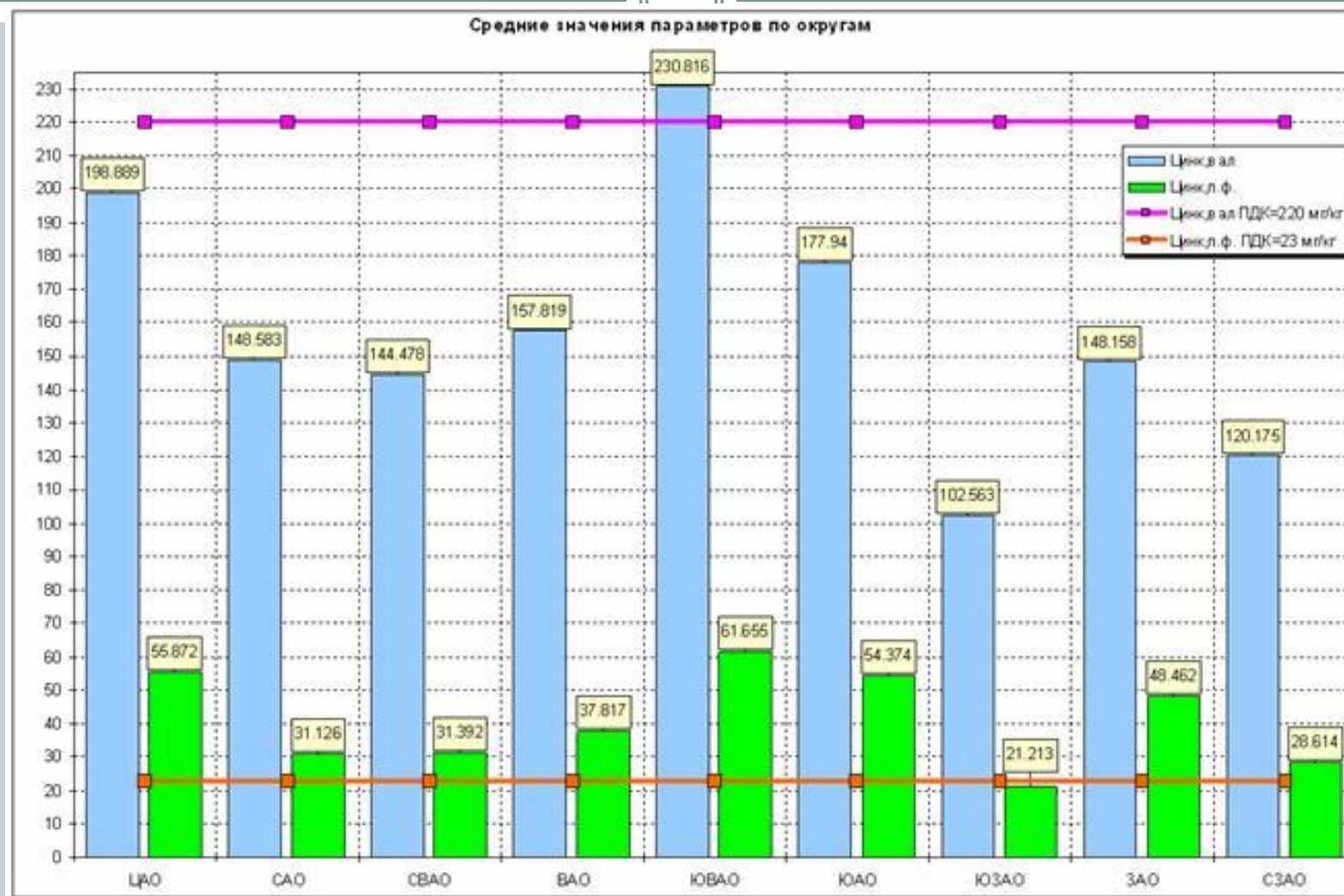
7. Загрязнение почв тяжелыми металлами



Загрязнение почв Москвы свинцом



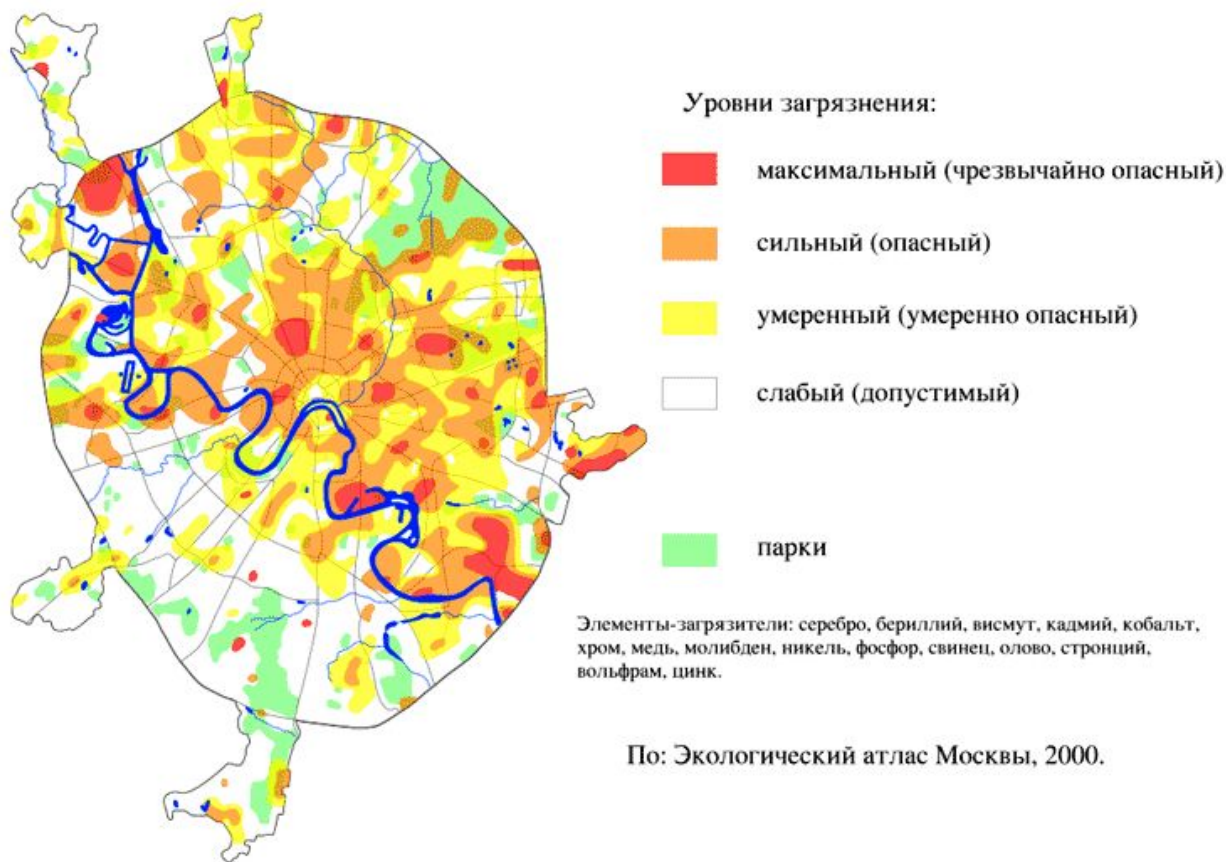
Загрязнение почв Москвы цинком



Суммарное загрязнение почв Москвы ТМ



Суммарное загрязнение почв химическими элементами





Глобальное техногенное поступление Zn, Ag, As, Mo в десятки, а Hg, Pb в сотни раз превышает их поступление из природных источников.

Оценка степени вовлеченности химического элемента в окружающую среду



- Мерой вовлечения различных химических веществ в окружающую среду в ходе хозяйственной деятельности человека служит показатель "**технофильности**", предложенный А.И. Перельманом.
- **Отношение ежегодной добычи элемента (Д, в тоннах) к его кларку в земной коре (К) получило название *технофильность*:**

$$T = Д/К$$

Высокая технофильность характерна для элементов, наиболее активно используемых человеком, особенно для тех, естественный уровень которых в природной среде невысок.



Например, $T_{Fe} = (3,1 \times 10^8) : 4,65 = 6,6 \times 10^7$

$$T_{Mn} = (6,0 \times 10^6) : 0,1 = 6,0 \times 10^7$$

$$T_{Cu} = (5,4 \times 10^6) : (4,7 \times 10^{-3}) = 1,1 \times 10^9$$

$$T_{Ag} = (8,0 \times 10^3) : (7,0 \times 10^{-6}) = 1,1 \times 10^9$$

- Из этих данных видно, что значения технофильности меди и серебра, железа и марганца одинаковы, несмотря на их различную распространенность в земной коре, в то же время технофильность марганца заметно ниже технофильности меди, хотя уровни их добычи вполне сопоставимы.
- Самым технофильным элементом является углерод: $T_C = 1,1 \times 10^{11}$. Наименее технофильны Y, Ga, Cs, Th. Например, у иттрия технофильность равна 1×10^3 .
- Высоки уровни технофильности для тяжелых металлов, содержание которых в породах низкое, но добыча велика, что ведет к извлечению из недр земли колоссальных количеств и к последующему рассеиванию их в окружающей среде.

Фактор техногенного обогащения



- Для количественной характеристики процессов вовлечения химических веществ в их глобальные циклы на планете используют показатель, который называется **фактор мобилизации или фактор техногенного обогащения (EF)**.
- Этот показатель рассчитывается как отношение техногенного потока химического элемента к природному потоку.

Сопоставление природных и техногенных потоков химических элементов (Lantzyand Maccenzie, 1979; Galloway, 1988)



Элемент	Эмиссия, 10 ⁸ т/год		Фактор техногенного обогащения EF
	природная	техногенная	
Ag	0,6	50	83
As	28	780	28
Cd	2,9	55	19
Cr	580	940	1,6
Cu	190	2600	13
Hg	0,4	110	440
Mn	6100	3200	0,5
Co	70	50	0,7
Mo	11	510	45
Ni	280	980	3,5
Pb	40	4000	100
Sb	9,8	380	39
Sn	52	430	8,3
V	650	2100	3,2
Zn	360	8400	23

Поступление и миграция ТМ в атмосфере



- По происхождению и характеру миграции в атмосфере выделяют две группы элементов:
- 1. Элементы, антропогенное поступление которых в атмосферу соизмеримо с природным потоком или превышает его: Pb, Cd, As, Hg, Sb, Zn, Cu. Они имеют высокие коэффициенты обогащения в глобальных аэрозолях и мигрируют в атмосфере преимущественно в субмикронных частицах или в парагазовой фазе.
- 2. Элементы терригенного (Al, Fe, Co, Vn, Se) и морского (Na, Cl) происхождения в атмосфере, которые практически не обогащают глобальные аэрозоли и мигрируют в воздухе в составе крупных частиц (>1 мкм).

Антропогенный вклад в загрязнение металлами атмосферы фоновых районов, %



Заповедник	Pb	Cd	V	Mn
Березинский	98	97	80	0
Репетекский	50	68	23	0
Баргузинский	99	98	80	0

Классы опасности химических веществ

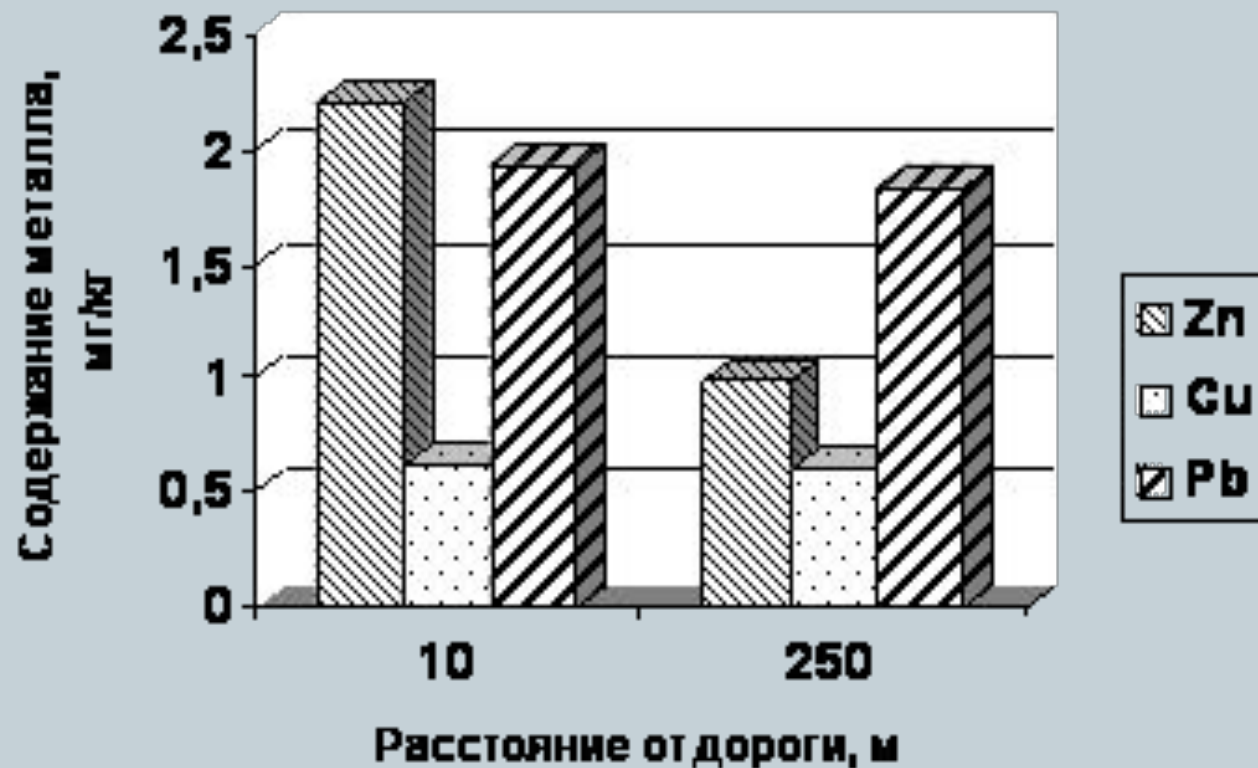


- Отечественными и зарубежными специалистами разработан перечень наиболее опасных химических веществ.
- Одним из показателей, используемых при определении класса опасности загрязняющих веществ, является **токсичность их для живых организмов**. В настоящее время установлено, что с повышенным содержанием в окружающей среде может быть связан целый ряд патологических процессов: канцерогенных, тератогенных, эмбиотропных, аллергических и других.
- В основу отечественной классификации кроме показателей токсичности (они рассчитываются по летальной дозе для живых организмов) положены также показатели устойчивости химических веществ в почве, в растениях, в воде, влияние их на пищевую ценность сельскохозяйственных продуктов и способность мигрировать в ландшафте.
- Согласно отечественной классификации:
 - к *высоко опасным загрязняющим веществам* относят As, Cd, Hg, Se, Pb, F, Zn, бенз(a) пирен,
 - к *умеренно опасным* – B, Cu, Ni, Mo, Co, Sb, Cr,
 - к *малоопасным* – Ba, Mn, V, W, Sr.
- Согласно Программе СКОПЕ к наиболее опасным элементам отнесены **Cd, Pb, Hg, As**.
- Программа США по окружающей среде предусматривает контроль в водах Sb, As, Ba, Be, Cd, Cr, Cu, Fe, Zn, Hg, Ni, Ag, в воздухе – As, Be, Cd, F, Pb, Hg,
- Эти же элементы контролируются и в почве.

Валовое содержание тяжелых металлов в почвах придорожных территорий



Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвах придорожных территорий Украины



Показатели загрязнения почв



- Важный показатель для получения первичной оценки состояния почв – *общее содержание химических веществ в почве*.
- Существует достаточно много данных и сводок об общем содержании разных химических элементов в почвах мира, в верхних горизонтах почв России разных типов.
- Установлены особенности регионального фонового содержания многих элементов. Выявлены закономерности изменения этого уровня в зависимости от гранулометрического состава, содержания элементов в породах, гумусированности, реакции почв, их геоморфологического положения и других показателей.
- **Основанием для установления факта загрязнения почв может быть статистически значимое превышение регионального фонового уровня содержания элемента.**

Показатели загрязнения почв



- Другим показателем подвижности загрязняющих веществ может быть *запас их подвижных соединений в составе твердых фаз*.
- Необходимость определения этого показателя обусловлена тем, что изменения условий (рН, увлажнение, температура и т.д.) сопровождается изменением концентрации таких соединений в растворе.
- Разработаны методики как для экстракции отдельных металлов или неметаллов, так для определения подвижных соединений отдельных групп элементов.
- В качестве экстрагентов используют, как правило, разбавленные кислоты, щелочи, соли, экстрагирующее действие которых может быть усилено присутствием комплексообразователей. Широко распространены в качестве группового реагента одно нормальные растворы ацетата аммония, соляной кислоты, азотной кислоты, ЭДТА.

Экстракция тяжелых металлов из почвы



- Чаще всего в качестве экстрагентов применяют разбавленные растворы ацетатно-аммонийного буфера при разных значениях pH.
- Используют этот экстрагент и с добавлением комплексообразователей (0,02 М ЭДТА), а также смесь комплексообразователей, например, 0,005 М раствор ДТПА + 0,1 М ТЕАБ. Применяются также экстрагенты, предложенные Я.В. Пейве и Г.Я. Ринькисом для некарбонатных почв.
- В основе рекомендаций по использованию тех или иных индивидуальных или групповых реагентов лежат представления о прочности закрепления загрязняющих веществ почвами. Предполагается, что в вытяжки переходят те соединения, которые непрочны удерживаются твердыми фазами почвы. Они представляют потенциальный запас в почвах подвижных соединений, доступных растениям и почвенным водам.
- Доказательством справедливости такого предположения служит высокая корреляция между содержанием экстрагируемых форм химических элементов и количеством их в растениях, выращенных на этих же почвах.

Оценка состояния почв



- Для оценки состояния загрязненных почв эффективны данные о соотношении групп соединений металлов в загрязненных и незагрязненных почвах. Металлы в почвах естественного происхождения преимущественно находятся в составе соединений, прочно связанных с минеральной основой. В загрязненных почвах, напротив, преобладают непрочно связанные соединения техногенного происхождения, их экстрагируемые формы.
- Результаты диагностики состояния почв с помощью этих показателей свидетельствуют об их информативности. Многочисленные данные показывают, что при загрязнении различных ландшафтов общее содержание металлов и содержание их подвижных соединений в почвах повышается на порядки. Например, по сравнению с фоновыми почвами содержание подвижных соединений свинца в зоне загрязнения увеличилось от 4—11% до 17—76%.

Дополнительные показатели



- 1) общее содержание загрязняющих веществ и их соединений в почвенных горизонтах, выполняющих функции биогеохимических барьеров (они дают основание анализировать распределения поллютантов в почвенном профиле);
- 2) содержание поллютантов в составе новообразований;
- 3) содержание поллютантов в илистой фракции.

Отбор проб



- Для определения общего содержания экстрагируемых форм загрязняющих веществ чаще всего используют верхние 10—20 см почвы.
- Верхние горизонты играют роль геохимического барьера на пути потока веществ, поступающих из атмосферы. Эффективность этого барьера зависит от свойств почв и от природы самого вещества, его способности поглощаться почвой.
- В условиях промывного режима, вещества, которые не были поглощены в гумусовом горизонте, могут проникать глубже и накапливаться в нижележащих горизонтах. В почвах с элювиально-иллювиальной дифференциацией это могут иллювиальные горизонты. В этом случае предметом исследования может быть характер распределения загрязняющих веществ в почвенном профиле
- Отдельные горизонты загрязненных почв имеют повышенное содержание загрязняющих веществ потому, что в них присутствуют их труднорастворимые осадки. Это могут быть новообразования железа (ортштейны, ортзанды, бобовины, пленки). Эти железистые новообразования, обогащенные Mn, V, Cd, Mo, могут содержать до 80% Mn, до 70% Cu, до 50% Mo от их общего запаса в почвенном горизонте. Карбонатные новообразования (белоглазки, журавчики, псевдомицелий, куколки), гипсовые новообразования характеризуются повышенными количествами Ba, Sr, Li.
- На этом основании анализ этих компонентов может быть рекомендован для оценки состояния загрязненных почв.

Интерпретация



- Количественной оценкой являются как абсолютные содержания химических веществ в анализируемых почвах, так и относительные показатели, тот есть отношение абсолютных уровней содержания веществ в загрязненных почвах по отношению к незагрязненным. Этот показатель называют *коэффициентом накопления*.
- Рассчитывается также доля подвижных соединений неорганических поллютантов от общего их содержания, целесообразно сопоставление уровней этого показателя в загрязненных и незагрязненных почвах.
- Если наблюдения за загрязненными почвами ведутся во времени, важным является скорость изменения названных показателей состояния загрязненных почв.

Выводы:



- В число обязательных показателей, подлежащих контролю, включены следующие прямые показатели загрязнения почв:
- А. Общее содержание загрязняющих веществ в почвах;
- Б. Содержание подвижных соединений поллютантов. В качестве таковых могут выступать:
содержание их в почвенном растворе или в составе слабосолевой вытяжки, близкой по составу к почвенному раствору;
содержание в вытяжках, переводящих в раствор подвижные соединения загрязняющих веществ в составе твердых фаз.

Группировка почв для эколого-токсикологической оценки по содержанию валовых количеств элементов-загрязнителей, мг/кг



Элементы	Класс опасности	Группы				
		1	2	3	4	5
Численное значение верхней границы 2-ой группы соответствует ПДК данного элемента в почве						
Мышьяк	1	<1,0	1,0— 2,0	2,0—4,0	4,0—6,0	>6,0
Ртуть	1	<1,0	1,0— 2,1	2,1—4,2	4,2—6,2	>6,2
Свинец	1	<16,0	16,0— 32,0	32,0—64,0	64,0—100	>100
Цинк	1	<50,0	50,0— 100,0	100—200	200—300	>300
Кадмий	1	<1,5	1,5— 3,0	3,0—6,0	6,0—9,0	>9,0
Медь	2	<20,0	20,0— 55,0	55,0—275	275—550	>550
Никель	2	<42,0	42,0— 85,0	85,0—425	425—850	>850
Хром	2	<50,0	50,0— 100,0	100—500	500—1000	>1000

**Группировка почв для эколого-токсикологической оценки
по содержанию подвижных форм элементов-загрязнителей, мг/кг
(ацетат-аммонийный буфер, рН 4,8)**



Элементы	Класс опасности	Группы				
		1	2*	3	4	5
Свинец	1	<3,0	3,0— 6,0	6,0—12,0	12,0—18,0	>18,0
Цинк	1	<10,0	10,0— 23,0	23,0—46,0	46,0—69,0	>69,0
Медь	2	<1,5	1,5— 3,0	3,0—15,0	15,0—30,0	>30,0
Никель	2	<2,0	2,0— 4,0	4,0—20,0	20,0—40,0	>40,0
Хром	2	<3,5	3,0— 6,0	6,0—30,0	30,0—60,0	>60,0
Кобальт	2	<2,5	2,5— 5,0	5,0—25,0	25,0—50,0	>50,0

Численное значение верхней границы 2-ой группы соответствует ПДК данного элемента в почве (по подвижным формам)

Оценка экологической ситуации почв России
неудовлетворительного агроэкологического состояния (на 01.01.96) (по:
Минеев, Большева, 2002)



Элемент	Площадь, % от общей загрязненной		
	Экологическая ситуация		
	Неудовлетворитель- ная	Чрезвычайная	Катастрофическая
Свинец	77,1	21,9	1,0
Медь	99,7	0,3	0,01
Кадмий	37,5	56,3	6,2
Цинк	82,9	16,7	0,4
Мышьяк	90,1	9,0	0,9
Никель	99,8	0,2	0,0
Хром	98,8	1,8	0,4
Кобальт	100,0	0,0	0,0



Почвы являются саморегулирующимися системами, но в определенных пределах, обусловленных их буферностью по отношению к тому или иному загрязнителю.

Сигналом неблагополучия может служить превышение по отдельным химическим элементам естественного уровня их содержания в конкретной почве, конкретном регионе.

Преобладание в регионе почв третьей группы позволяет относить территорию к зоне неудовлетворительного экологического состояния, 4-ой группы – чрезвычайного состояния, и если в регионе преобладают почвы, отнесенные к пятой группе, состояние оценивается как катастрофическое.

Загрязнение почв РФ тяжелыми металлами



- В настоящее время в Российской Федерации в ряде регионов наблюдается загрязнение почв тяжелыми металлами. Загрязнение почв происходит преимущественно медью (3,8% площадей имеют загрязнение выше ПДК), кобальтом (1,9%), свинцом (1,7%), кадмием и хромом (0,6 %). Причем, экологическая ситуация на этих почвах оценивается нередко как чрезвычайная или даже катастрофическая.
- В пахотных почвах Астраханской, Брянской, Волгоградской, Воронежской, Иркутской, Калининградской, Костромской, Курганской, Ленинградской, Московской, Нижегородской, Оренбургской, Самарской, Свердловской, Сахалинской, Ульяновской областях, республики Бурятия, Мордовии, Красноярского и Приморского краев наблюдается превышение ПДК по 3 и более элементам.
- Площади загрязнения почв РФ различными элементами располагаются в следующем убывающем порядке (по проценту от обследованной площади почв пашни):
- $Cu(3,8) > Ni(2,8) > Co(1,9) > Pb(1,7) > Cd(0,6) > Cr(0,6) > F(0,3) > Zn(0,2) > As(0,05)$.

Очень сложен вопрос о предельно допустимых концентрациях загрязнителей в почвах.

Унифицированные уровни загрязняющих веществ в почвах вряд ли возможны вообще, так как они неизбежно должны варьировать в зависимости от конкретной экологической ситуации (свойства почвы, климат, вид растительности, система агротехники).

Предельно допустимые концентрации (ПДК)



- Одним из количественных показателей качества окружающей среды являются предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в ее объектах.
- В нашей стране ПДК химических веществ начали определять в 1925 году. Первыми были определены уровни содержания загрязняющих веществ в воздухе рабочих помещений. В 1949 году были определены первые ПДК для атмосферного воздуха, в 1950 г. – для воды. К 1971 г. перечень контролируемых веществ в воздухе составлял 120 наименований. В 1989 году были разработаны ПДК более чем для 300 химических веществ, содержащихся в атмосферном воздухе, и более 800 нормативов для вод, используемых с различными целями. Для почв разработаны ПДК по значительно меньшему числу химических веществ.



ПДК



- Для определения ПДК применяются различные теоретические подходы и практические методы. В бывшем СССР и в настоящее время в Российской Федерации официально действуют и широко применяются санитарно-гигиенические нормативы. Санитарно-гигиеническая основа нормирования состояния окружающей среды – это пример типичного антропоцентристского подхода человека к природе.
- В соответствии с санитарно-гигиеническим подходом **под ПДК понимается максимальное содержание загрязняющего химического вещества в природных объектах, которое не вызывает негативного, прямого или косвенного, влияния на здоровье человека (включая отдаленные последствия).**
- Иными словами речь идет о концентрациях этих элементов в воде, воздухе, в почве, в кормах, в сельскохозяйственных продуктах, не представляющих опасности для человека. Среда, отвечающая санитарно-гигиеническим нормам, не ухудшает здоровья человека, как одного из видов живых организмов.

Разработка ПДК



- В основу практического определения ПДК химических веществ в почвах и других природных средах, разрабатываемых на основе санитарно-гигиенического подхода, положена концепция "пороговости", на которую опираются многие методы токсикологии и гигиены.
- Согласно этой концепции **воздействие возрастающих доз химических веществ на живые организмы вызывает несколько стадий резкого изменения их состояния, которые могут быть названы "порогами"**. Для выявления взаимосвязи между состоянием живых организмов и содержанием химических веществ в окружающей среде проводятся эксперименты по типу: "уровень воздействия – эффект". Наблюдения за состоянием живых организмов ведутся в условиях изменяющегося в окружающей среде содержания (дозы) веществ, действие которых на организмы проверяется.
- Установлен общий вид зависимости между концентрацией и состоянием любых организмов (растения, животные): **повышение содержания химических веществ в окружающей среде в области низких концентраций ведет к стимуляции жизнедеятельности, а в области высоких концентраций этих веществ – к подавлению жизнедеятельности.**

Санитарно-гигиеническое нормирование



- При санитарно-гигиеническом нормировании состояния любых природных сред оптимальные уровни содержания в них химических веществ определяются в лабораторных условиях по типу "доза вещества – эффект". Граница, соответствующая норме, устанавливается на основе появления признаков отличия от нормы, нарушений в системе. Это узко прикладной подход.
- Основным токсикологическим показателем является общий санитарный показатель, в качестве которого используется параметр ЛД 50 – доза химического вещества, которая вызывает гибель 50% подопытных животных. По полулетальной дозе вещества в воздухе, которым дышат животные, в воде и пище, которую они потребляют, определяют допустимые для живых организмов нагрузки. Уровень ЛД 50 определяют на основании лабораторных опытов с различными мелкими животными, чаще всего с подопытными мышами и крысами. Этот показатель является основным при нормировании уровней содержания веществ в продуктах питания.

- Но почва – особый природный объект. Прямые контакты человека с почвой несущественны (имеют место при вдыхании частиц загрязненной почвы, поднятых в воздух с пашни, при попадании почвенных частиц с загрязненных газонов и детских площадок в городе). Контакт почвы с организмом человека происходит опосредованно по цепочкам:
 - *почва – растение – человек*
 - *почва – растение – животное – человек*
 - *почва – воздух – человек*
 - *почва – вода – человек.*

ПДК для почв



- Определение ПДК химических веществ в почвах фактически сводится к определению способности этих веществ переходить из почв в растения, в воду, в воздух, к определению способности почвы как сохранять присущую ей биоту, так и поддерживать допустимый уровень содержания контролируемых химических веществ в сопредельных с почвой средах.
- Если концентрация химических веществ в контактирующих с почвой природных средах не превышает уровня ПДК этих веществ для каждой из сред, то эта концентрация может считаться допустимой и для почв.
- В связи с этим уровень ПДК химических веществ для почв устанавливается не только по общесанитарному показателю, как это принято для других природных сред, а еще и по трем другим показателям: транслокационному, миграционному водному и миграционному воздушному

Предельно допустимые концентрации химических элементов
в почвах (мг/кг)



Элемент	Кларк почв (Виноградов, 1962)	ПДК	Показатель вредности			
			обще- санитарный	транслока- ционный	миграционный водный	миграционный воздушный
Общее содержание						
Mn	800	1500	1500	3500	1500	
V	100	120	150	170	350	
Pb	10	32	30	35	260	
Hg	0,01	2,1	5,0	2,1	33	2,5
Подвижные соединения (экстракция в ацетатно-аммонийный буфере)						
F	200	2		2		
Cu	20	3	3	3,5	72	
Ni	40	4	4	4	14	
Zn	50	23	37	93	200	
Co	8	5	5	25	1000	
Cr	200	6	6			

Транслокационный показатель



- Транслокационный показатель определяют по способности почв обеспечивать содержание химических веществ в растениях на допустимом уровне.
- Соответственно миграционный водный и миграционный воздушный – по способности обеспечивать содержание этих веществ в воде и в воздухе ниже ПДК.

Определение ПДК



- Определение ПДК в лаборатории осуществляется в 4 этапа.
- Сначала проводится моделирование процесса, далее следует выполнение лабораторного эксперимента. Подбираются тест культуры сельскохозяйственных растений (редис, салат, горох, фасоль, капуста и др.). Работы ведутся на эталонных образцах почв. В период начала работ по нормированию эти образцы были представлены чистым кварцевым песком, часто даже отмытым разбавленной соляной кислотой от соединений различных химических веществ. Позже кварцевый песок был заменен образцом верхнего горизонта дерново-подзолистой почвы. Экспериментально определялись санитарный, транслокационный, миграционный водный и воздушный показатели для разных химических веществ.
- Как правило, названные показатели для одного и того же элемента не совпадают. В этом случае норматив для почв устанавливается по наименьшему из показателей. Например, для общего содержания ванадия в почве установлен уровень ПДК, равный 150 мг/кг, в то время как этому уровню соответствует только общесанитарный показатель, а водный миграционный равен 350 мг/кг почвы. ПДК содержания подвижных соединений цинка в почве измеряется 23 мг/кг, этот уровень установлен по общесанитарному показателю, при этом миграционный водный показатель равен 200 мг/кг.
- Уровни ПДК, установленные по разным показателям, отражают как токсичность химических веществ, так и доминирующий механизм их распространения в природных средах. Например, для бенз(а)пирена и ртути лимитирующим показателем является общесанитарный, для мышьяка – транслокационный, для хлористого калия – водный, для сероводорода – воздушный.

Недостатки санитарно-гигиенических нормативов



Однако санитарно-гигиенические нормативы качества почв не лишены недостатков. Ряд из них обусловлен тем, что условия модельного эксперимента определения ПДК и естественные условия разнятся довольно существенно. О несовершенстве санитарно-гигиенических нормативов свидетельствуют следующие аргументы.

ПДК химических веществ в почвах (мг/кг) и их лимитирующие показатели



Вещество	ПДК (общее содержание)	Лимитирующий показатель
Бенз(а)пирен	0,02	Общесанитарный
Ксилол	0,3	Транслокационный
Ртуть	2,1	Транслокационный
Свинец	32	Общесанитарный
Сероводород	0,4	воздушный миграционный
Формальдегид	7,0	воздушный миграционный
Стирол	0,1	воздушный миграционный

Проблемы



- Неопределенность понятия о ПДК химических веществ для почв, которая заложена в самом определении ПДК. Оно характеризует ПДК, как ту концентрацию вещества в почве, при которой гарантируется переход его в контактирующие с почвой среды в количествах, при которых не будет превышена допустимая концентрация этого вещества в продуктах питания, в воде водоемов, в атмосферном воздухе, и не будет проявляться отрицательное влияние их на почвенный микробоценоз. *При этом критерии отрицательного влияния химических веществ не определены*, например, не определены критерии влияния их на микробоценоз почвы. Есть нечеткости и в определении ПДК для разных природных сред.
- Принцип “доза – эффект” отражает отклик биосистемы на внешний раздражитель. Но известно, что чем более долгим был контакт вещества с организмом, тем ниже будет отклик организма. Это связано с тем, что многие поллютанты, например, тяжелые металлы, пестициды, обладают кумулятивным эффектом.
- Известно, что результаты опытов по типу "доза – эффект" близки в области высоких концентраций веществ и очень сильно различаются в области низких концентраций. Однако уровни ПДК близки к последним, что мешает принятию единственного решения.
- Эксперимент по определению ПДК длится, как правило, не более года, но этого срока явно недостаточно для того, чтобы оценить отдаленные последствия влияния на живые организмы определенных количество химических веществ в окружающей среде.
- При установлении ПДК моделируется действие на живые организмы, как правило, одного фактора, в крайнем случае, двух или трех. В реальных условиях организм подвергается комплексному воздействию ряда факторов, совместное действие которых во внимание не принимается.

Проблемы



- Выводы, полученные на основании опытов с животными, переносятся без полного основания на человека. Но низшие животные (особенно крысы, мыши) более устойчивы к факторам внешней среды, чем люди. Перечень используемых в экспериментах животных ограничен. Длительное использование в лабораторных опытах одних и тех же видов животных привело к созданию стерильных рас белых мышей, белых крыс, хомячков. Перенесение результатов, полученных на таких животных, на природные популяции, на человека недостаточно обосновано и неадекватно.
- Не учитываются генетические последствия, возможность генетических нарушений в организмах под влиянием химических веществ.
- Большое число ПДК для почв разработано на основе общесанитарных показателей, т.е. с использованием пороговых концентраций. А пороговые концентрации веществ в окружающей среде связаны и с индивидуальной, и с видовой чувствительностью организмов, с их исходным состоянием, с адаптационными возможностями, с биологическими ритмами. У человека тоже есть дифференцированная чувствительность к факторам среды, обусловленная наследственным фактором. Но все эти факторы не учитываются.
- При моделировании внешнего воздействия химических веществ на почвы эти вещества вносят в почву в виде раствора. Однако химические вещества поступают в почву не только в истинно растворимом состоянии. В природных системах существенная часть этих веществ находится в форме

Проблемы



- ПДК для почв несут в себе все погрешности определения ПДК для других природных сред. Например, при разработке ПДК для вод учитывается влияние только истинно растворимой фракции этих веществ, а не всех возможных форм их нахождения (взвеси, коллоиды).
- Не учитывается способность химических веществ концентрироваться в трофической цепи. Химические вещества концентрируются в организме человека в большей мере, чем в организме животных, а те в свою очередь, в большей мере, чем в растениях. А это значит, что в тех случаях, когда уровни ПДК химических веществ в низших звеньях трофической цепочки не достигнуты, возможность их накопления на более высоких уровнях (и соответственно превышение ПДК) не исключается из-за кумулятивного эффекта контролируемых веществ.
- При определении ПДК не учитывается возможность трансформации токсикантов, их накопления на различных биогеохимических барьерах.
- Наибольшую опасность представляют ксенобиотики, вещества полностью искусственной природы. Отдаленные последствия их воздействия на живые организмы неизвестны. Характер влияния искусственных токсикантов на живые организмы отличается от действия веществ, являющихся естественными составляющими почв, тем, что при изменении концентрации таких веществ во внешней среде в живых организмах не обнаруживается область стимулирования. Любые концентрации этих веществ в окружающей среде ведут к патологии. Скорость синтеза и выпуска многих из таких веществ, например, пестицидов, выше скорости их нормирования. Пестицидов используется в настоящее время выше 1000 наименований, не для всех из них есть ПДК.

Проблемы



- ПДК определяется для отдельных химических веществ. Но в природных условиях они все взаимодействуют. Возможно три вида комплексного воздействия различных веществ: аддитивность (суммарный эффект действия нескольких химических веществ равен сумме эффектов каждого из них), антагонизм и синергизм, когда суммарное воздействие соответственно ослабляет или усиливает действие веществ по отдельности. При этом возможно образование структур более опасных, чем исходные соединения. В биосфере в настоящее время находится более 4 млн. различных веществ антропогенного происхождения, совместное токсичное действие которых не изучено.
- При оценке результатов действия некоторых видов химических веществ (мутагенного, канцерогенного и других) принимается беспороговая модель, опирающаяся на принцип приемлемого риска, который определяется как вероятность того или иного отклика популяции. Многие методические аспекты этого подхода еще не вполне обоснованы.
- Отсутствие последовательного экосистемного подхода при разработке ПДК. Например, при разработке нормативов для воды учитывается воздействие любого вещества на воду, используемую в определенных целях (питьевых, рыбохозяйственных, технических, рекреационных). Но не рассматривается влияние этих веществ на воду как целостную природную систему, не оценивается качество этого природного ресурса в целом. Отсутствие жестких требований к составу вод, используемых в технических целях и нередко сбрасываемых в водоемы после их использования, может привести к повышению уровня содержания загрязняющих веществ в грунтовых и питьевых водах, в почвах и растениях. Эффект этого повышенного уровня не учитывается.

Биогеохимическое нормирование



- Разработку ПДК химических соединений в почвах осуществляют с использованием не только санитарно-гигиенического подхода. В основе биогеохимического нормирования лежит медико-географический подход. Он основан на натурных наблюдениях в таких регионах, где самой природой созданы условия избытка или недостатка тех или иных химических элементов естественного происхождения в природных средах. Эти регионы называются биогеохимическими провинциями, и результаты регулярных наблюдений в них за состоянием живых организмов, в том числе и за здоровьем людей, позволяют установить связь между группами параметров.
- Ценность этого подхода – в опоре на фактический материал. Теоретическая основа здесь совершенно иная, чем при санитарно-гигиеническом нормировании. Пороговые уровни содержания химических веществ в окружающей среде, выше которых начинаются нарушения состояния живых организмов, устанавливаются не экспериментально. На вероятностной основе определяются верхние и нижние границы, в рамках которых осуществляется саморегуляция системы. Этот подход опирается на представления о реальном варьировании пороговых величин.

Биогеохимическое нормирование



- Основа концепции натуральных медико-географических наблюдений состоит в следующем: каждому биогеохимическому таксону (ландшафту, экотопу) соответствует довольно четкая (жесткая) предопределенность, взаимосвязь и взаимообусловленность (или детерминированность) пищевых цепей, которая складывалась длительное время. Она адаптирована к природным специфическим условиям, с которыми связаны миграция и аккумуляция любых химических веществ в соответствующих природных условиях. Живые организмы реализовали все природные механизмы сопротивления внешнему воздействию, их состояние соответствует химическому составу окружающей среды, а их состав служит индикатором уровня содержания химических элементов в окружающей среде.
- В зонах с интенсивной техногенной нагрузкой, при возрастании степени технофильности химических элементов существенно меняется биогеохимическая структура таксонов. Происходит накопление химических веществ на биогеохимических барьерах, механизмы действия которых, аналогичны действующим в природных условиях. Но при этом создаются и новые виды аккумуляции. Появляются искусственно созданные (техногенные) биогеохимические провинции. В этих условиях соответственно меняются все трофические цепи. Показатели качества окружающей среды, полученные в соответствии с критериями медико-биогеохимического состояния экосистемы в природных условиях, в этих условиях оказываются более информативными.

Биогеохимические провинции



- Пороговые концентрации имеют видовую и индивидуальную специфику и зависят от приспособленности живых организмов к данной геохимической среде. В процессе приспособления организмы вырабатывают физиологические механизмы регулирования своего состава и обмена веществ. Однако существуют пределы, в которых регулирующие системы справляются со своими функциями. За этими пределами возникают различные нарушения в живых организмах, их дисфункция.
- В.В. Ковальским установлена четкая закономерность распространения эндемических заболеваний в биогеохимических провинциях, связанных с нарушениями в обмене химических элементов.
- В эндемических районах эндемии поражают 5—20% людей или животных, в некоторых случаях этот процент выше. Число приспособившихся организмов, как правило, больше, по сравнению с не приспособившимися организмами. Но чем больше содержание химических элементов превышает пороговые уровни, тем выше число пострадавших. Процесс естественного отбора при этом обостряется.

Биогеохимические провинции (В.В.Ковальский)



Районирование



- Районирование биогеохимических эндемий проведено на принципах почвенно-географического и биогеохимического районирования. Основы этих принципов сформулированы при выделении почвенных зон В.В. Докучаевым еще в 1889—1900 годах, использованы и дополнены для почвенных провинций Л.И. Прасоловым (1939), климатических зон Л.С. Бергом (1958), геохимических провинций А.Е. Ферсманом (1931), биогеохимических провинций А.П. Виноградовым (1938). Активно привлекаются приемы медицинской ветеринарной географии биогеохимических эндемий.
- В результате вся территория страны разделена на БГХ зоны:
- таежно-лесную нечерноземную
- лесостепную и степную черноземную
- сухостепную
- полупустынную и пустынную
- горную.

Районирование



- Каждая из зон неоднородна, мозаична. В ней могут быть выделены биогеохимические провинции с различным уровнем содержания в природных средах химических веществ. Особенно отличаются биогеохимические провинции над рудными телами.
- Такое районирование позволило связать биологическую реакцию организмов, их адаптацию с природными факторами, с количественными показателями состава почвообразующих пород, почв, вод, растительного покрова.
- Итогом явилось определение в почвах, водах, растениях верхних и нижних пределов концентраций, выше и ниже которых нарушаются обменные процессы в живых организмах.
- На основе биогеохимического районирования В.В. Ковальским установлены пороговые концентрации ряда химических элементов в почвах

Пороговые концентрации некоторых химических элементов в почвах, мг/кг (по Ковальскому, 1964)



Элемент	Нормальное содержание	Нижняя граница пороговой концентрации	Верхняя граница пороговой концентрации
Co	7—30	2—7	>30
Cu	15—60	6—15	>60
Mn	400—3000	<400	>3000
Zn	30—70	<30	>70
B	6—30	6-30	>30
Mo	1,5—4	>1.5	>4
Sr	600	?	600—1000
J	5—40	2—5	>40

Экологическое нормирование



- Экологическое нормирование не допускает не только патологических, но и предпатологических изменений. Цель экологического нормирования состоит в том, чтобы сохранить природу в таком состоянии, когда все живые организмы имеют равное право на существование. Такой подход обеспечит сохранение и человека (популяция, индивидуум), как компонента экосистемы. Человек отличается от других организмов, в частности и тем, что является конечным консументом в большинстве трофических цепей. Воздействие любого вещества на человека зависит от того находится ли уровень этого вещества в пределах его содержания в природных средах в естественных условиях или выходит за эти пределы.
- Теория экологического нормирования последовательна, но методы ее окончательно не разработаны. Не разработаны понятия о существенных и несущественных изменениях в экосистеме. Некоторые из предложений обсуждаются.
- Например, предлагаются в качестве критериев экологического состояния экосистемы использовать показатели сохранности вертикальной и горизонтальной структуры фитоценоза, показатели завершенности круговорота веществ (конечным результатом чего является плодородие почв).

Индикаторы



- В качестве показателя сохранности экосистемы можно использовать баланс гумуса в почве. При этом предлагается считать нагрузки на экосистемы допустимыми, если в почве поддерживается положительный баланс гумуса, что свидетельствует о выполнении почвами своих функций в биосфере. Предложено также признаком нарушения в сохранности и целостности экосистемы считать накопление в зоне техногенного воздействия на биогеоценоз неразложившейся подстилки, как свидетельство незавершенности круговорота углерода.
- Трудности разработки методики экологического нормирования обусловлены, в частности, сложностью организации экосистемы, большим разнообразием ситуаций. Параметры экологического нормирования должны учесть влияние исходной природной структуры территории, степень ее антропогенной преобразованности, современных и кумулятивных нагрузок, адаптационных возможностей живых организмов. Возможный методический подход – районирование территории по степени влияния названных и неназванных факторов.

ПДК за рубежом



- В ряде стран ПДК дифференцированы в соответствии со свойствами почв. Так, в Болгарии ПДК разработаны в зависимости от реакции почв.
- В Словакии при разработке ПДК ТМ учитывались физико-химические свойства почв. Значения ПДК для кислых и карбонатных почв различаются в 3—5 раз.
- В США при регламентации поступления ТМ в почву учитывают ее поглотительную способность, которая, как известно, зависит от гранулометрического состава почв, рН, содержания органического вещества, оксидов.
- Допустимая нагрузка ТМ для почв с поглотительной способностью выше 15 мг-экв/100 г в 4 раза больше, чем для почв с малой емкостью поглощения. Аналогичный опыт нормирования с учетом свойств почв имеется в Великобритании.