

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«РОСТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

В.Ф. Вальков, К.Ш. Казеев, С.И. Колесников

ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ

ЧАСТЬ 3

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ДО И ОЗО
БИОЛОГО-ПОЧВЕННОГО И ГЕОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО
ФАКУЛЬТЕТОВ**

Ростов-на-Дону

2004

УДК 577.4:631.4:502.7

Печатается по решению кафедры экологии и природопользования биолого-почвенного факультета РГУ (протокол № 11 от 01.03.2004)

Рецензент

кандидат биологических наук, доцент И.В. Морозов

Ответственный редактор

доктор биологических наук, профессор В.Ф. Вальков

Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Экология почв: Учебное пособие для студентов вузов. Часть 3. Загрязнение почв. Ростов-на-Дону: УПЛ РГУ, 2004. 54 с.

Соавторы: гл. 1 – А.А. Попович, гл. 3 – Т.В. Денисова, гл. 7 – С.С. Тащев.

Учебное пособие предназначено для студентов биолого-почвенного и геолого-географического факультетов РГУ.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОЧВАХ. ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ АНОМАЛИИ	4
2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ.....	15
3. РАДИОНУКЛИДЫ В ПОЧВАХ. РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ... 	22
4. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ НЕФТЬЮ И НЕФТЕПРОДУКТАМИ.....	28
5. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ	33
6. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ	42
7. УРОВЕНЬ ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ В СВЯЗИ С НАРУШЕНИЕМ ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ	50
ЛИТЕРАТУРА	54

1. ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОЧВАХ. ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ АНОМАЛИИ

К тяжелым металлам (ТМ) относят более 40 химических элементов периодической системы Д.И. Менделеева, масса атомов которых составляет свыше 50 атомных единиц массы (а. е. м.). Это Pb, Zn, Cd, Hg, Cu, Mo, Mn, Ni, Sn, Co и др. Сложившееся понятие «тяжелые металлы» не является строгим, т.к. к ТМ часто относят элементы-неметаллы, например As, Se, а иногда даже F, Be и другие элементы, атомная масса которых меньше 50 а.е.м.

Среди ТМ много микроэлементов, биологически важных для живых организмов. Они являются необходимыми и незаменимыми компонентами биокатализаторов и биорегуляторов важнейших физиологических процессов. Однако избыточное содержание ТМ в различных объектах биосферы оказывает угнетающее и даже токсическое действие на живые организмы.

Источники поступления ТМ в почву делятся на природные (выветривание горных пород и минералов, эрозионные процессы, вулканическая деятельность) и техногенные (добыча и переработка полезных ископаемых, сжигание топлива, влияние автотранспорта, сельского хозяйства и т.д.) Сельскохозяйственные земли, помимо загрязнения через атмосферу, загрязняются ТМ еще и специфически, при применении пестицидов, минеральных и органических удобрений, известковании, использовании сточных вод. В последнее время, особое внимание ученые уделяют городским почвам. Последние испытывают значительный техногенный пресс, составной частью которого является загрязнение ТМ.

В табл. 1, 2 представлено распределение ТМ в различных объектах биосферы и источники поступления ТМ в окружающую среду.

На поверхность почвы ТМ поступают в различных формах. Это оксиды и различные соли металлов, как растворимые, так и практически нерастворимые в воде (сульфиды, сульфаты, арсениты и др.). В составе выбросов предприятий по переработке руды и предприятий цветной металлургии — основного источника загрязнения окружающей среды ТМ — основная масса металлов (70-90 %) находится в форме оксидов.

Попадая на поверхность почв, ТМ могут либо накапливаться, либо рассеиваться в зависимости от характера геохимических барьеров, свойственных данной территории.

1. Содержание ТМ в различных объектах биосферы, мг/кг сухой массы
(по Войткевичу с соавт., 1990; по Торшину с соавт., 1990)

Элемент	Почвы	Пресные воды	Морские воды	Растения	Животные (в мышечной ткани)
Mn	1000 (20-10000)	0,008	0,0002	0,3-1000	0,2-2,3
Zn	90 (1-900)	0,015	0,0049	1,4-600	240
Cu	30 (2-250)	0,003	0,00025	4-25	10
Co	8 (0,05-65)	0,0002	0,00002	0,01-4,6	0,005-1
Pb	35 (2-300)	0,003	0,00003	0,2-20	0,23-3,3
Cd	0,35 (0,01-2)	0,0001	-	0,05-0,9	0,14-3,2
Hg	0,06	0,0001	0,00003	0,005-0,02	0,02-0,7
As	6	0,0005	0,0037	0,02-7	0,007-0,09
Se	0,4 (0,01-12)	0,0002	0,00002	0,001-0,5	0,42-1,9
F	200	0,1	1,3	0,02-24	0,05
B	20 (2-270)	0,15	4,44	8-200	0,33-1
Mo	1,2 (0,1-40)	0,0005	0,01	0,03-5	0,02-0,07
Cr	70 (5-1500)	0,001	0,0003	0,016-14	0,002-0,84
Ni	50 (2-750)	0,0005	0,00058	0,02-4	1-2

2. Источники поступления ТМ в окружающую среду
(Вредные химические вещества, 1988)

Элемент	Естественное загрязнение	Техногенное загрязнение
As	Извержение вулканов, ветровая эрозия.	Добыча и переработка мышьяксодержащих руд и минералов, пирометаллургия и получение серной кислоты, суперфосфата; сжигание каменного угля, нефти, торфа, сланцев; синтез и использование мышьяксодержащих ядохимикатов, препаратов, антисептиков.
Se	Сульфидные месторождения, в которых селен изоморфно замещает серу. Вулканическая деятельность. Выпадение с атмосферными осадками.	Обогащение руд, производство серной кислоты, сжигание угля
B	Входит в состав многих минералов.	Сточные воды производств: металлургического, машиностроительного, текстильного, стекольного, керамического, кожевенного, а

		также бытовые сточные воды, насыщенные стиральными порошками. Разработка борсо-держающих руд, внесение удобрений
F	Широко распространен в природе, составляя примерно 0,08% земной коры. Входит в состав свыше 1000 минералов. Фтороводородом богаты вулканические газы.	Электростанции, работающие на угле, производство алюминия и суперфосфатных удобрений.
Cr	В элементарном состоянии в природе не встречается. В виде хромита входит в состав земной коры.	Выбросы предприятий, где добывают, получают и перерабатывают хром.
Co	Известно более 100 кобальт-содержащих минералов.	Сжигание в процессе промышленного производства природных и топливных материалов.
Mo	Входит в состав многих минералов.	Металлургический процесс переработки и обогащения руд, фосфорные удобрения, производство цемента, выбросы ТЭС.
Ni	Входит в состав 53 минералов.	Выбросы предприятий горнорудной промышленности, цветной металлургии, машиностроительные, металлообрабатывающие, химические предприятия, транспорт, ТЭС.
Cu	Общие мировые запасы меди в рудах оценивают 465 млн.т. Входит в состав минералов Самородная образуется в зоне окисления сульфидных месторождений. Вулканические и осадочные породы.	Предприятия цветной металлургии, транспорт, удобрения и пестициды, процессы сварки, гальванизации, сжигание углеводородных топлив.
Zn	Относится к группе рассеянных элементов. Широко распространен во всех геосферах. Входит в состав 64 минералов	Высокотемпературные технологические процессы, Потери при транспортировке, сжигание каменного угля. (Ежегодно с атм. осадками на 1 км ² поверхности Земли выпадает 72 кг цинка, что в 3 раза больше, чем свинца и в 12 раз больше, чем меди (Дмитрtev, Тарасова)
Cd	Относится к редким рассеянным элементам: содержится в виде изоморфной примеси во многих минера-	Локальное загрязнение – выбросы промышленных комплексов, загрязнение различной степени мощности это тепловые энергетические установки, моторы, минеральные удоб-

	лах и всегда в минералах цинка.	рения, табачный дым.
Hg	Рассеянный элемент, концентрируется в сульфидных рудах. Небольшое количество встречается в самородном виде (Из 1 м ³ дождевой воды на Землю выпадает всего 200 мкг, что в 15-20 раз больше, чем ее добывает человечество.)	Процесс пирометаллургического получения металла, а также все процессы, в которых используется ртуть. Сжигание любого органического топлива (нефть, уголь, торф, газ, древесина) металлургические производства, термические процессы с нерудными материалами. Потери на предприятиях по производству хлора, каустической соды. При сжигании мусора, сточные воды.
Pb	Содержится в земной коре, входит в состав минералов. В окружающую среду поступает в виде силикатной пыли почвы, вулканического дыма, испарений лесов, морских солевых аэрозолей и метеоритной пыли.	Выбросы продуктов, образующихся при высокотемпературных технологических процессах, выхлопные газы, сточные воды, добыча и переработка металла, транспортировка, истирание и рассеивание его во время работы машин и механизмов.

Большая часть ТМ, поступивших на поверхность почвы, закрепляется в верхних гумусовых горизонтах. ТМ сорбируются на поверхности почвенных частиц, связываются с органическим веществом почвы, в частности в виде элементарно-органических соединений, аккумулируются в гидроксидах железа, входят в состав кристаллических решеток глинистых минералов, дают собственные минералы в результате изоморфного замещения, находятся в растворимом состоянии в почвенной влаге и газообразном состоянии в почвенном воздухе, являются составной частью почвенной биоты.

Степень подвижности ТМ зависит от геохимической обстановки и уровня техногенного воздействия. Тяжелый гранулометрический состав и высокое содержание органического вещества приводят к связыванию ТМ почвой. Рост значений рН усиливает сорбированность катионообразующих металлов (медь, цинк, никель, ртуть, свинец и др.) и увеличивает подвижность анионообразующих (молибден, хром, ванадий и пр.). Усиление окислительных условий увеличивает миграционную способность металлов. В итоге по способности связывать большинство ТМ, почвы образуют следующий ряд: серозем > чернозем > дерново-подзолистая почва.

Загрязнение почв ТМ имеет сразу две отрицательные стороны. Во-первых, поступая по пищевым цепям из почвы в растения, а оттуда в орга-

низм животных и человека, ТМ вызывают у них серьезные заболевания. Росту заболеваемости населения и сокращению продолжительности жизни, а также к снижению количества и качества урожаев сельскохозяйственных растений и животноводческой продукции.

Во-вторых, накапливаясь в почве в больших количествах, ТМ способны изменять многие ее свойства. Прежде всего, изменения затрагивают биологические свойства почвы: снижается общая численность микроорганизмов, сужается их видовой состав (разнообразие), изменяется структура микробценозов, падает интенсивность основных микробиологических процессов и активность почвенных ферментов и т.д. Сильное загрязнение ТМ приводит к изменению и более консервативных признаков почвы, таких как гумусное состояние, структура, рН среды и др. Результатом этого является частичная, а в ряде случаев и полная утрата почвенного плодородия.

В природе встречаются территории с недостаточным или избыточным содержанием в почвах ТМ. Аномальное содержание ТМ в почвах обусловлено двумя группами причин: биогеохимическими особенностями экосистем и влиянием техногенных потоков вещества. В первом случае, районы, где концентрация химических элементов выше или ниже оптимального для живых организмов уровня, называются *природными геохимическими аномалиями* или биогеохимическими провинциями. Здесь аномальное содержание элементов обусловлено естественными причинами – особенностями почвообразующих пород, почвообразовательного процесса, присутствием рудных аномалий. Во втором случае, территории называются *техногенными геохимическими аномалиями*. В зависимости от масштаба они делятся на глобальные, региональные и локальные.

Почва, в отличие от других компонентов природной среды, не только геохимически аккумулирует компоненты загрязнений, но и выступает как природный буфер, контролирующий перенос химических элементов и соединений в атмосферу, гидросферу и живое вещество.

Различные растения, животные и человек требуют для жизнедеятельности определенного состава почвы, воды (табл. 3). В местах геохимических аномалий происходит, усугубляясь, передача отклонений от нормы минерального состава по всей пищевой цепи. В результате нарушения минерального питания наблюдаются изменения видового состава фито-, зоо- и микробценозов, заболевание дикорастущих форм растений, снижение количества и качества урожаев сельскохозяйственных растений и животноводческой

продукции, рост заболеваемости населения и снижение продолжительности жизни (табл. 4).

3. Тяжелые металлы в пище человека (в расчете на массу 70 кг)
(Торшин с соавт., 1990)

Элемент	Поступление в организм			
	дефицитное	нормальное	токсичное	летальное
Mn		0,4-10		
Zn	5	5-40	150-600	6
Cu	0,3	0,5-6		0,175-0,25
Pb		0,06-0,5		10
Cd		0,07-0,3	3-330	1,5-9
Co	0,0002	0,005-1,8	500	
Hg		0,004-0,02	0,4	0,15-0,3
Ni	0,0006	0,3-0,5		
Cr	0,005	0,01-1,2	200	3-8
Mo		0,05-0,35		
Sn		0,2-3,5	2000	
V		0,14	18	
W	0,001-0,015			
As(III)	0,07	0,04-1,4	5-50	0,05-0,34
Se	0,006	0,006-0,2	5	
F		0,3-5	20	2
B		1-3	4000	

Механизм токсического действия ТМ представлен в табл. 5. Токсическое воздействие ТМ на биологические системы в первую очередь обусловлено тем, что они легко связываются с сульфгидрильными группами белков (в том числе и ферментов), подавляя их синтез и, тем самым, нарушая обмен веществ в организме.

Живые организмы выработали разнообразные механизмы устойчивости к ТМ: от восстановления ионов ТМ в менее токсичные соединения до активации систем ионного транспорта, осуществляющих эффективное и специфическое удаление токсических ионов из клетки во внешнюю среду.

Наиболее существенное последствие воздействия ТМ на живые организмы, проявляющееся на биогеоценологическом и биосферном уровнях организации живого вещества, заключается в блокировании процессов окисления органического вещества. Это приводит к снижению скорости его минерали-

зации и накоплению в экосистемах. В то же время увеличение концентрации органического вещества вызывает связывание им ТМ, что временно снимает нагрузку с экосистемы. Снижение скорости разложения органического вещества за счет снижения численности организмов, их биомассы и интенсивности жизнедеятельности считают пассивной реакцией экосистем на загрязнение ТМ. Активное противостояние организмов антропогенным нагрузкам проявляется лишь в ходе прижизненной аккумуляции металлов в телах и скелетах. Ответственными за этот процесс являются наиболее устойчивые виды.

4. Физиологические нарушения в растениях при избытке и недостатке содержания в них ТМ (по Ковалевскому, Андриановой, 1970; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989)

Элемент	Физиологические нарушения	
	при недостатке	при избытке
Cu	Хлороз, вилт, меланизм, белые скрученные макушки, ослабление образования метелок, нарушение одревеснения, суховершинность деревьев	Темно-зеленые листья, как при Fe — индуцированном хлорозе; толстые, короткие или похожие на колючую проволоку корни, угнетение образования побегов
Zn	Междужилковый хлороз (в основном у однодольных), остановка роста, розетчатость листьев деревьев, фиолетово-красные точки на листьях	Хлороз и некроз концов листьев, междужилковый хлороз молодых листьев, задержка роста растения в целом, поврежденные корни, похожие на колючую проволоку
Cd		Бурые края листьев, хлороз, красноватые жилки и черешки, скрученные листья и бурые недоразвитые корни
Hg		Некоторое торможение ростков и корней, хлороз листьев и бурые точки на них
Pb		Снижение интенсивности фотосинтеза, темно-зеленые листья, скручивание старых листьев, чахлая листва, бурые короткие корни

Устойчивость живых организмов, прежде всего растений, к повышенным концентрациям ТМ и их способность накапливать высокие concentra-

ции металлов могут представлять большую опасность для здоровья людей, поскольку допускают проникновение загрязняющих веществ в пищевые цепи.

5. Механизм действия токсичности ТМ (по Торшину с соавт., 1990)

Элемент	Действие
As	Перевод в нерастворимое неактивное состояние многих метаболитов
Se	Замещение антиметаболитами
As	S PO ₄
Cu, Zn, Cd, Hg, Pb, B	Влияние на проницаемость мембран, реакция с SH — группами цистеина и метионина
Pb	Изменение трехмерной структуры белков
Cu, Zn, Hg, Ni	Образование комплексов с фосфолипидами
Ni	Образование комплексов с альбуминами
F	Ингибирование ферментов:
As	зависящих от присутствия Mg, энолазы;
Hg ²⁺	пируватдегидрогеназы;
Cd ²⁺	щелочной фосфатазы, глюко-6-фосфатазы, лактатдегидрогеназы;
	аденозинтрифосфатазы, алкогольдегидрогеназы, амилазы, карбоангидразы, карбоксипептидазы (пептидазы), глутаматоксалоацетаттранаминазы;
Pb ²⁺	ацетилхолинэстеразы, щелочной фосфатазы, АТФазы
Ni ²⁺	карбоангидразы, цитохромоксидазы, бензопиренгидроксилазы

В зависимости от геохимических условий производства пища человека как растительного, так и животного происхождения может удовлетворять потребности человека в минеральных элементах, быть дефицитной или содержать превышающее их количество, становясь более токсичной, вызывая заболевания и даже смерть (табл. 6).

Разные ТМ представляют опасность для здоровья человека в различной степени. Наиболее опасными являются Hg, Cd, Pb (табл. 7).

6. Действие ТМ на организм человека (Ковальский, 1974b; Краткая медицинская энциклопедия, 1989; Торшин с соавт., 1990; Воздействие на организм ..., 1997; Справочник по токсикологии ..., 1999)

Элемент	Физиологические отклонения	
	при недостатке	при избытке
Mn	Заболевания костной системы	Лихорадка, пневмония, поражение центральной нервной системы (марганцевый паркинсонизм), эндемическая подагра, нарушение кровообращения, желудочно-кишечных функций, бесплодие
Cu	Слабость, анемия, белокровие, заболевания костной системы, нарушение координации движений	Профессиональные заболевания, гепатит, болезнь Вильсона. Поражает почки, печень, мозг, глаза
Zn	Ухудшение аппетита, деформация костей, карликовый рост, долгое заживание ран и ожогов, слабое зрение, близорукость	Уменьшение канцероустойчивости, анемия, угнетение окислительных процессов, дерматиты
Pb		Свинцовая энцефало-нейропатия, нарушение обмена веществ, ингибирование ферментативных реакций, авитаминоз, малокровие, рассеянный склероз. Входит в состав костной системы вместо кальция
Cd		Гастро-интестинальные расстройства, нарушения органов дыхания, анемии, повышение кровяного давления, поражение почек, болезнь итаи-итаи, протеинурия, остеопороз, мутагенное и канцерогенное действие
Hg		Поражения центральной нервной системы и периферических нервов, инфантилизм, нарушение репродуктивных функций, стоматит, болезнь Минамата, преждевременное старение
Co	Эндемический зоб	
Ni		Дерматиты, нарушение кроветворения, канцерогенность, эмбриотоксикоз, подострая миелооптиконеуропатия
Cr		Дерматиты, канцерогенность
V		Заболевания сердечно-сосудистой системы

7. Классы загрязняющих веществ по степени их опасности
(ГОСТ 17.4.1.02-83)

№	Класс	Элемент
I	высоко опасные	Hg, Cd, Pb, Zn, As, Se, F
II	умеренно опасные	Cu, Co, Ni, Mo, Cr, B, Sb
III	мало опасные	V, W, Mn, Sr, Ba

Очень сложен вопрос нормирования содержания ТМ в почве. В основе его решения должно лежать признание полифункциональности почвы. В процессе нормирования почва может рассматриваться с различных позиций: как естественное природное тело, как среда обитания и субстрат для растений, животных и микроорганизмов, как объект и средство сельскохозяйственного и промышленного производства, как природный резервуар, содержащий патогенные микроорганизмы. Нормирование содержания ТМ в почве необходимо проводить на основе почвенно-экологических принципов, которые отрицают возможность нахождения единых значений для всех почв.

По вопросу санации почв, загрязненных ТМ, существует два основных подхода. Первый направлен на очищение почвы от ТМ. Очищение может производиться путем промывок, путем извлечения ТМ из почвы с помощью растений, путем удаления верхнего загрязненного слоя почвы и т.п. Второй подход основан на закреплении ТМ в почве, переводе их в нерастворимые в воде и недоступные живым организмам формы. Для этого предлагается внесение в почву органического вещества, фосфорных минеральных удобрений, ионообменных смол, природных цеолитов, бурого угля, известкование почвы и т.д. Однако любой способ закрепления ТМ в почве имеет свой срок действия. Рано или поздно часть ТМ снова начнет поступать в почвенный раствор, а оттуда в живые организмы.

Таким образом, к *тяжелым металлам относят более 40 химических элементов, масса атомов которых составляет свыше 50 а.е.м. Это Pb, Zn, Cd, Hg, Cu, Mo, Mn, Ni, Sn, Co и др. Среди ТМ много микроэлементов, являющихся необходимыми и незаменимыми компонентами биокатализаторов и биорегуляторов важнейших физиологических процессов. Однако избыточное содержание ТМ в различных объектах биосферы оказывает угнетающее и даже токсическое действие на живые организмы.*

Источники поступления ТМ в почву делятся на природные (выветривание горных пород и минералов, эрозионные процессы, вулканическая деятельность) и техногенные (добыча и переработка полезных ископаемых, сжигание топлива, влияние автотранспорта, сельского хозяйства и т.д.).

На поверхность почвы ТМ поступают в различных формах. Это оксиды и различные соли металлов, как растворимые, так и практически нерастворимые в воде.

Экологические последствия загрязнения почв ТМ зависят от параметров загрязнения, геохимической обстановки и устойчивости почв. К параметрам загрязнения относятся природа металла, т.е. его химические и токсические свойства, содержание металла в почве, форма химического соединения, срок от момента загрязнения и т.д. Устойчивость почв к загрязнению зависит от гранулометрического состава, содержания органического вещества, кислотности-щелочности и окислительно-восстановительных условий, активности микробиологических и биохимических процессов и т.д.

Устойчивость живых организмов, прежде всего растений, к повышенным концентрациям ТМ и их способность накапливать высокие концентрации металлов могут представлять большую опасность для здоровья людей, поскольку допускают проникновение загрязняющих веществ в пищевые цепи.

При нормировании содержания ТМ в почве должна учитываться полифункциональность почвы. Почва может рассматриваться как естественное природное тело, как среда обитания и субстрат для растений, животных и микроорганизмов, как объект и средство сельскохозяйственного и промышленного производства, как природный резервуар, содержащий патогенные микроорганизмы, как часть наземного биогеоценоза и биосферы в целом.

По вопросу санации почв, загрязненных ТМ, существует два основных подхода. Первый направлен на очищение почвы от ТМ (путем промывок, извлечения ТМ из почвы с помощью растений, удаления верхнего загрязненного слоя почвы и т.п.). Второй подход основан на закреплении ТМ в почве, переводе их в нерастворимые в воде и недоступные живым организмам формы.

2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ

Необходимость применения химических средств защиты растений от вредителей и болезней определяется тем, что потери урожая без применения ядохимикатов могут составлять около 50 %.

В зависимости от назначения химические вещества подразделяются на препараты для защиты растений от вредителей и болезней, гербициды и средства предуборочной обработки культур. Первая группа – наиболее обширная и включает в себя акарициды, бактерициды, гематоциды, зооциды, лимациды, инсектициды, лаввициды, нематоциды, овициды, фунгициды и иные препараты. Чаще всего применяются инсектициды. Эти ядохимикаты могут включать в себя хлорорганические, фосфорорганические и неорганические соединения ртути, свинца, мышьяка и других элементов.

Гербициды применяются как средство избирательного уничтожения сорной растительности. Чаще всего используются различные химические препараты для защиты люцерны, кукурузы, сахарной свеклы, подсолнечника, озимой пшеницы. Из средств предуборочной обработки культур наибольшее применение нашли дефолианты и стимуляторы роста.

В целом в сельском хозяйстве России применяется около 250 наименований химических средств.

Все яды, применяемые в сельском хозяйстве как средство борьбы с вредителями и болезнями растений, в большей или меньшей степени ядовиты для животных и человека. Широкое их применение оказывает всевозрастающее влияние не только на растения, но и на все живое население Земли. Примечательно, что лишь небольшая доза пестицидов достигает организмов, действительно подлежащих уничтожению. Значительная же их часть отрицательно действует на полезные организмы, в том числе обитающие в почвах. Ядохимикаты влияют на микрофлору и микрофауну почвы, вызывают заметные сдвиги в биохимических и микробиологических процессах, сопровождающихся повышенным образованием и выделением углекислого газа, аммиака, аминокислот и других продуктов метаболизма. При этом изменяется ход и интенсивность процессов распада органических веществ почвы – клетчатки, белка, сахаров. Пестициды снижают качество сельскохозяйственной продукции: ухудшаются хлебопекарные и пищевые свойства муки, повышается «водянистость» мяса. Опасность биоцидного загрязнения биосферы во-

обще и почв в частности усугубляется тем, что ядохимикаты обнаруживаются только трудновыполнимыми специфическими методами анализа, проявляются через заболевания и гибель организмов.

Здесь вступает в силу закон *В.И. Вернадского* о физико-химическом единстве всего живого вещества на планете. *Вредный компонент для какой-то части живого вещества не может быть нейтральным для другой части, или вредный компонент для одних видов существ вреден и для других.* Любые химические вещества, смертельные для одних организмов, не могут не оказывать вредного влияния на другие организмы. Массовая гибель разных животных организмов общеизвестна.

Перераспределение биоцидов по профилю и в горизонтальном направлении происходит под воздействием почвенной влаги, в результате диффузии с почвенным воздухом, в процессах сорбции и десорбции, миграции растворов, эмульсий, суспензий. Применение ядохимикатов и длительность их сохранения в почве зависят как от химического состава почв, так и от природы самих препаратов. Некоторые ядохимикаты претерпевают различные химические превращения, переходят в другие соединения, иногда более токсичные, чем исходные. Например, препарат гептохлор, являющийся сравнительно мало ядовитым инсектицидом, под воздействием микроорганизмов почвы превращается в гептохлорэпатид, ядовитость которого в 4–5 раз выше.

При изучении последствий систематического применения физиологически активных соединений в биоценозах была установлена возможность их превращения в нетоксичные соединения путем полного разложения или образования нетоксичных комплексов. Это явление получило название детоксикации. *Вся система использования сельскохозяйственных угодий должна быть направлена на полную и скорейшую детоксикацию всех биоцидов, поступающих в почвы.*

Обычно выделяют группы физических, физико-химических и биологических факторов детоксикации. К **физическим факторам** относят сорбцию биоцидов высокодисперсными минералами и органическими почвенными коллоидами. Этот процесс зависит от свойств почвы, природы и свойств адсорбента, климатических и экологических факторов. Так, внесенные в почву пестициды в период холодной и сырой погоды связываются верхним слоем почвы, поэтому предохраняются от вымывания и разложения. В период потепления они десорбируются и вновь проявляют свою активность. Спустя некоторое время после внесения пестицида в почву устанавливается равнове-

сие между сорбированной и находящейся в растворе фракциями токсиканта. О степени десорбции токсиканта принято судить по содержанию его в жидкой фазе. К физическим факторам детоксикации относят также улетучивание и термическое разложение. Степень испарения токсикантов из почвы сильно зависит от ее влажности – сорбция легколетучих пестицидов сухой почвой гораздо выше, чем влажной. Разложение токсиканта усиливается с повышением температуры.

Из **физико-химических факторов** наиболее существенным является фоторазложение (фотолиз), главным действующим началом которого служат длинноволновые ультрафиолетовые лучи солнечной радиации. При этом происходит фотоокисление многих пестицидов и их метаболитов, находящихся на поверхности почвы, растений и водоемов. На втором этапе фотолитического разложения пестицида особое значение приобретает взаимодействие его с молекулами воды. Важную роль играет рН раствора, температура, состав газов, свойства присутствующих в воде соединений. Под действием коротковолновой части солнечной радиации многие фенолы и близкие им соединения способны превратиться в гидрохинон и пирокатехин, которые могут гидроксильроваться до тетраоксибензола. Последний в результате окислительного конденсирования может превращаться в стабильные полимеризованные продукты. В результате фотолиза многие пестициды трансформируются в менее токсичные продукты.

Химические превращения пестицидов в почве и водной среде в основном представляют собой гидролитические и окислительные процессы. Скорость этих процессов зависит от вида и числа атомов галоидов, длины углеводородной цепочки. Увеличение контакта токсиканта с почвой ускоряет гидролиз (например, коллоидная фракция почвы катализирует реакции пестицидов с различными активными частицами почвенных компонентов). Значительная роль в химическом разложении пестицидов принадлежит свободно-радикальным процессам. Источниками свободных радикалов в почве являются гуминовые кислоты, а также смолы, пигменты, антибиотики, витамины.

Биологическое превращение и разложение пестицидов в почве обусловлено главным образом микробиологической детоксикацией. Установлено, что *микробиологическое разложение пестицидов является главным путем детоксикации почв, а всякая активизация микробиологической деятельности содействует исчезновению ядохимикатов из почв.*

Скорость микробиологического разложения пестицидов в почве определяется содержанием гумуса, температурой и влажностью почвы, наличием подстилки, содержанием питательных веществ и другими факторами. Хорошие условия для развития почвенных микроорганизмов интенсифицируют биологическую детоксикацию пестицидов.

На скорость разложения пестицидов в почве оказывают влияние механический состав почвы, реакция ее среды, гидротермические условия. На суглинистых почвах пестициды разлагаются быстрее, чем в почвах легкого состава; хлорорганические пестициды в кислой почве сохраняются дольше, нежели в щелочной. Органическое вещество почвы связывает многие пестициды в водно-нерастворимые и мало доступные для почвенных организмов формы, вследствие чего токсиканты не подвергаются гидролизу и, несмотря на высокую биологическую активность гумусированных почв, сохраняются в них длительное время. Повышенная температура почвы способствует десорбции пестицидов, связанных коллоидами. На эти процессы также влияют окислительно-восстановительные условия почвы: одни пестициды быстрее метаболируются в анаэробных условиях, другие – в аэробных.

Таким образом, управлять процессами разложения пестицидов в почве можно лишь при детальном знании ее свойств и факторов, определяющих эти процессы. Поэтому меры защиты почв от накопления ядохимикатов основываются на детальном изучении свойств почв и поведения токсикантов, их биологической активности, погодно-климатических, агротехнических, геоморфологических условий. Для каждой почвенно-климатической зоны страны должны разрабатываться свои рекомендации по применению и обезвреживанию пестицидов в сельскохозяйственных угодьях с учетом остаточного токсического действия и длительности сохранения их в почве.

Частично судьбу пестицидов в почве удастся регулировать агротехническими приемами – обработкой, применением орошения и удобрений, выбором сорта и культуры, способом внесения токсикантов, его глубиной, сроком. В посевах пропашных культур и на паровых участках вследствие лучшей аэрации детоксикация пестицидов, по-видимому, происходит более интенсивно, чем в посевах зерновых. Здесь же необходимо отметить, что корни и клубнеплоды поглощают и выносят ядохимикаты в больших количествах, нежели другие культуры.

Рекомендовано в ряде случаев заменять сплошную обработку посевов ленточной, которая не уступает первой по эффективности. Приняты меры от-

ветственности за строгим соблюдением правил хранения и расходования ядохимикатов в сельском и лесном хозяйствах страны.

Однако почва – не единственный объект ландшафта, где концентрируются пестициды. Они фиксируются в грунтовых водах, родниках, открытых водоемах, накапливаются практически во всех живых организмах, растениях, наземных животных, птицах, насекомых, в фауне водных объектов. Стала закономерностью их постоянная миграция по цепям питания организмов, включая человека.

Главным условием резкого сокращения поступления биоцидов в окружающую среду, в том числе и в почвы, академик М.С. Гиляров считал организацию современного культурного ландшафта, обязательным компонентом которого выступают лесопосадки, защитные лесополосы, что значительно повышает устойчивость биоценозов вследствие увеличения многообразия видов. Фактором естественной защиты является концентрация в лесополосах насекомоядных птиц, насекомых-энтомофагов, истребляющих вредителей. Поэтому основной предпосылкой интегрированной борьбы с вредителями служит правильная организация всего ландшафта, а не только севооборота. При этом осуществляется комплекс агрохимических приемов с использованием естественных врагов вредителей, а применение пестицидов ограничивается своевременной обработкой местных очагов их появления.

Система использования сельскохозяйственных угодий должна быть направлена на полную и скорейшую детоксикацию всех биоцидов, поступивших в почвы. Микробиологическое разложение биоцидов – главный путь детоксикации почв, а всякая активизация микробиологической деятельности содействует исчезновению ядохимикатов из почв.

Сегодня вряд ли можно полностью отказаться от применения ядохимикатов. Но нужно быть осторожным с дозировкой, транспортировкой, хранением и т.д. Рациональное использование пестицидов должно осуществляться путем снижения норм расхода препаратов, оптимизации сроков и способов применения, подбора препаратов, наиболее безвредных для среды и человека, сокращения обработок на основе учета экологических и экономических порогов вредности фитофагов.

Хорошо известны биологически безвредные для здоровья людей методы борьбы с вредителями. К сожалению, их применяют крайне редко. Кроме того, ощущается острый дефицит специалистов по защите растений. Их

практически нет, а экологическая безграмотность в защите растений приводит к трудноисправимым негативным последствиям.

Нельзя оставлять без внимания развивающийся сектор индивидуально-садоводства, постоянно и бесконтрольно поставляющий на рынки далеко не чистую, хотя и красивую продукцию. Широкая пропаганда безъядохимикатного возделывания овощей и фруктов должна быть неотложной. Известны многие простые и безвредные способы защиты растений в индивидуальном секторе: это использование коровяка, настоев из побегов помидоров, ботвы картофеля, табака, различные ловушки с пахучими веществами и др.

Против колорадского жука применяется опрыскивание растений настоем зеленого перца чили, смешанного с чесноком и табаком. Против тлей, гусениц бабочек эффективен пиретрум (пудра ромашки). Инсектицидными свойствами обладают препараты из лука, чеснока, живокости, сафоры, молочая, хрена, горчицы, петрушки, белены.

Эффективны в защите растений разведение и выпуск в агроэкосистемы божьей коровки, жужелицы, трихограммы, муравьев и других хищников и паразитов.

Таким образом, *пестициды – ядохимикаты для борьбы с сорняками (гербициды), с грибковыми болезнями растений (фунгициды) и вредителями (зооциды, инсектициды и др.). В зависимости от назначения химические вещества подразделяются на препараты для защиты растений от вредителей и болезней, гербициды и средства предуборочной обработки культур. Первая группа – наиболее обширная и включает в себя бактерициды, гематоциды, акарициды, зооциды, лимациды, инсектициды, нематоциды, овициды, фунгициды и иные препараты. Чаще всего применяются инсектициды. Эти ядохимикаты могут включать в себя хлороганические, фосфорорганические и неорганические соединения ртути, свинца, мышьяка и других элементов. Все яды, применяемые в сельском хозяйстве, в разной степени ядовиты для человека и животных. Однако сейчас без них нельзя обойтись. Растения, как и человек, нуждаются в фармацевтической защите. Но следует помнить золотое правило Парацельса: «Все яд, дело в количестве». Поэтому, нужно быть осторожным с дозировкой, транспортировкой, хранением и т.д. Рациональное использование пестицидов должно осуществляться путем снижения норм расхода препаратов, оптимизации сроков и способов применения, подбора препаратов, наиболее безвредных для среды и человека, сокращения обработок на основе учета экологических и экономи-*

ческих порогов вредности фитофагов. Хорошо известны биологически безвредные для здоровья людей методы борьбы с вредителями. Главные условия создания чистых агроценозов и ландшафтов – всемерное сокращение применения ядохимикатов, высокая техника, использование биологических средств защиты растений и устойчивых к болезням и вредителям сортов.

3. РАДИОНУКЛИДЫ В ПОЧВАХ. РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ

В почвах присутствуют почти все известные в природе химические элементы, в том числе и радионуклиды.

Радионуклиды – химические элементы, способные к самопроизвольному распаду с образованием новых элементов, а также образованные изотопы любых химических элементов. Следствием ядерного распада является ионизирующая радиация в виде потока альфа-частиц (поток ядер гелия, протонов) и бета-частиц (поток электронов), нейтронов, гамма-излучение и рентгеновское излучение. Это явление получило название *радиоактивность*. Химические элементы, способные к самопроизвольному распаду называются *радиоактивными*. Наиболее употребляемый синоним ионизирующей радиации – *радиоактивное излучение*.

Ионизирующее излучение – поток заряженных или нейтральных частиц и электромагнитных квантов, взаимодействие которых со средой приводит к ионизации и возбуждению ее атомов и молекул. Ионизирующие излучения имеют электромагнитную (гамма- и рентгеновское излучения) и корпускулярную (альфа-излучение, бета-излучение, нейтронное излучение) природу.

Гамма-излучение – это электромагнитное излучение, обусловленное гамма-лучами (дискретными пучками или квантами, называемыми фотонами), если после альфа- или бета-распада ядро остается в возбужденном состоянии. Гамма-лучи в воздухе могут проходить значительные расстояния. Фотон гамма-лучей с высокой энергией может проходить сквозь тело человека. Интенсивное гамма-излучение может повредить не только кожу, но и внутренние органы. Защищают от этого излучения плотные и тяжелые материалы, железо, свинец. Гамма-излучение можно создавать искусственно в ускорителях заряженных частиц (микротрон), например, тормозное гамма-излучение быстрых электронов ускорителя при их попадании на мишень.

Рентгеновское излучение – аналогично гамма-излучению. Космическое рентгеновское излучение поглощается атмосферой. Рентгеновские лучи получают искусственно, они приходятся на нижнюю часть энергетического спектра электромагнитного излучения.

Радиоактивное излучение - естественный фактор в биосфере для всех живых организмов, да и сами живые организмы обладают определенной радиоактивностью. Среди биосферных объектов почвы обладают наиболее вы-

сокой естественной степенью радиоактивности. В этих условиях природа благоденствовала многие миллионы лет, разве что в исключительных случаях при геохимических аномалиях, связанных с месторождением радиоактивных пород, например, урановых руд.

Однако, в XX человечество столкнулось с радиоактивностью значительно превышающей естественную, а следовательно и биологически аномальную. Первыми пострадавшими от избыточных доз радиации были великие ученые, открывшие радиоактивные элементы (радий, полоний) супруги Мария Склодовская-Кюри и Пьер Кюри. А затем: Хиросима и Нагасаки, испытания атомного и ядерного оружия, многие катастрофы, в том числе Чернобыльская и т.д.

Наиболее значимыми объектами биосферы, определяющими биологические функции всего живого являются почвы.

Радиоактивность почв обусловлена содержанием в них радионуклидов. Различают естественную и искусственную радиоактивность.

Естественная радиоактивность почв вызывается естественными радиоактивными изотопами, которые всегда в тех или иных количествах присутствуют в почвах и почвообразующих породах. Естественные радионуклиды подразделяют на 3 группы.

Первая группа включает радиоактивные элементы — элементы, все изотопы которых радиоактивны: уран (^{238}U , ^{235}U), торий (^{232}Th), радий (^{226}Ra) и радон (^{222}Rn , ^{220}Rn). Во вторую группу входят изотопы «обычных» элементов, обладающие радиоактивными свойствами: калий (^{40}K), рубидий (^{87}Rb), кальций (^{48}Ca), цирконий (^{96}Zr) и др. Третью группу составляют радиоактивные изотопы, образующиеся в атмосфере под действием космических лучей: тритий (^3H), бериллий (^7Be , ^{10}Be) и углерод (^{14}C).

По способу и времени образования радионуклиды подразделяют на: первичные – образовавшиеся одновременно с образованием планеты (^{40}K , ^{48}Ca , ^{238}U); вторичные продукты распада первичных радионуклидов (всего 45 - ^{232}Th , ^{235}U , ^{220}Rn , ^{222}Rn , ^{226}Ra и др.); индуцированные – образовавшиеся под действием космических лучей и вторичных нейтронов (^{14}C , ^3H , ^{24}Na). Всего насчитывают более 300 природных радионуклидов (Бударков и др., 2000).

Валовое содержание естественных радиоактивных изотопов в основном зависит от почвообразующих пород. Почвы, сформировавшиеся на продуктах выветривания кислых пород, содержат радиоактивных изотопов

больше, чем образовавшиеся на основных и ультраосновных породах; тяжелые почвы содержат их больше, чем легкие.

Естественные радиоактивные элементы распределяются по профилю почв обычно относительно равномерно, но в некоторых случаях они аккумулируются в иллювиальных и глеевых горизонтах. В почвах и породах присутствуют преимущественно в прочносвязанной форме.

Искусственная радиоактивность почв обусловлена поступлением в почву радиоактивных изотопов, образующихся в результате атомных и термоядерных взрывов, в виде отходов атомной промышленности или в результате аварий на атомных предприятиях. Образование изотопов в почвах может происходить вследствие наведенной радиации. Наиболее часто искусственное радиоактивное загрязнение почв вызывают изотопы ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu , ^{129}I , ^{131}I , ^{144}Ce , ^{140}Ba , ^{106}Ru , ^{90}Sr , ^{137}Cs и др.

Экологические последствия радиоактивного загрязнения почв заключаются в следующем. Включаясь в биологический круговорот, радионуклиды через растительную и животную пищу попадают в организм человека и, накапливаясь в нем, вызывают радиоактивное облучение. Радионуклиды, подобно многим другим загрязняющим веществам, постепенно концентрируются в пищевых цепях.

В экологическом отношении наибольшую опасность представляют ^{90}Sr и ^{137}Cs . Это обусловлено длительным периодом полураспада (28 лет ^{90}Sr и 33 года ^{137}Cs), высокой энергией излучения и способностью легко включаться в биологический круговорот, в цепи питания. Стронций по химическим свойствам близок к кальцию и входит в состав костных тканей, а цезий близок к калию и включается во многие реакции живых организмов.

Искусственные радионуклиды закрепляются в основном (до 80-90%) в верхнем слое почвы: на целине – слое 0-10 см, на пашне – в пахотном горизонте. Наибольшей сорбцией обладают почвы с высоким содержанием гумуса, тяжелым гранулометрическим составом, богатые монтмориллонитом и гидрослюдами, с непромывным типом водного режима. В таких почвах радионуклиды способны к миграции в незначительной степени. По степени подвижности в почвах радионуклиды образуют ряд $^{90}\text{Sr} > ^{106}\text{Ru} > ^{137}\text{Ce} > ^{129}\text{J} > ^{239}\text{Pu}$.

Скорость естественного самоочищения почв от радиоизотопов зависит от скоростей их радиоактивного распада, вертикальной и горизонтальной ми-

грации. Период полураспада радиоактивного изотопа - время, необходимое для распада половины количества его атомов (табл. 8).

8. Характеристика радиоактивных веществ (Орлов и др., 1991)

Элемент	Период полураспада	Элемент	Период полураспада
^{14}C	5568 лет	^{90}Sr	28 лет
^{42}K	12,4 часа	^{137}Cs	33 года
^{65}Zn	250 суток	^{239}Pu	$2,4 \cdot 10^4$ лет
^{131}I	8 суток	^{60}Co	5,27 лет

Действие радиации зависит от энергии излучения, то есть числа частиц, вылетающих в единицу времени. Сила излучения измеряется в беккерелях или кюри. Единицы измерения — беккерель (1 Бк = 1 распад в секунду) или кюри (1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк). Дозу излучения, поражающую организм, находят путем измерения количества поглощенной им энергии. В качестве единицы радиоактивности используют также: Кл/кг (1 Кл/кг = $3,9 \cdot 10^3$ рентген); грей (1 Гр = 100 рад); зиверт (1 Зв = 100 бэр). Максимальные дозы, не причиняющие вреда организму человека, в случае их многократного действия равны $3 \cdot 10^3$ Гр (0,3 рад) в неделю и в случае единовременного действия — 0,25 Гр (25 рад). В дозиметрии почв используют следующие понятия: удельная (Бк/кг), объемная (Бк/м³) и поверхностная (Бк/м²) радиационная активность. Чаще всего на практике об уровне радиоактивности судят по гамма-излучению, в силу его наибольшей проникаемости и распространенности в окружающей среде. 1 Рентген – это такая доза фотонного излучения, при которой в 1 см³ воздуха в процессе ионизации образуется $2,079 \cdot 10^9$ пар ионов каждого знака. Основные физические величины, используемые в радиобиологии и радиозологии приведены в табл. 9.

Обычный уровень радиации в Ростовской области и Краснодарском крае составляет 10-15 мкР/час. Сравним, в районах Чернобыльской катастрофы, самозаселяемых сейчас и посещаемых туристами, уровень радиации – 1-1,5 тысяч мкР.

Радиоактивность в живых организмах обладает накопительным эффектом. Для человека величина ЛД₅₀ (летальная доза, облучение в которой вызывает 50%-ную гибель биообъектов) составляет 2,5-3,5 Гр.

Доза 0,25 Гр считается условно нормальной для внешнего облучения. 0,75 Гр облучение всего тела человека или 2,5 Гр облучение щитовидной железы от радиоактивного йода ^{131}I требуют мер по радиационной защите населения.

Особенность радиоактивного загрязнения почвенного покрова заключается в том, что количество радиоактивных примесей чрезвычайно мало, и они не вызывают изменений основных свойств почвы — pH, соотношения элементов минерального питания, уровня плодородия. Поэтому, в первую очередь, следует лимитировать (нормировать) концентрации радиоактивных веществ, поступающих из почвы в продукцию растениеводства.

Поскольку в основном радионуклиды являются тяжелыми металлами, то основные проблемы и пути нормирования, санации и охраны почв от загрязнения радионуклидами и тяжелыми металлами в большей степени сходны и зачастую могут рассматриваться вместе.

Таким образом, радиоактивность почв обусловлена содержанием в них радионуклидов. Естественная радиоактивность почв вызвана естественными радиоактивными изотопами, которые всегда в тех или иных количествах присутствуют в почвах и почвообразующих породах. Искусственная радиоактивность почв обусловлена поступлением в почву радиоактивных изотопов, образующихся в результате атомных и термоядерных взрывов, в виде отходов атомной промышленности или в результате аварий на атомных предприятиях. Наиболее часто искусственное радиоактивное загрязнение почв вызывают изотопы ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu , ^{129}I , ^{131}I , ^{144}Ce , ^{140}Ba , ^{106}Ru , ^{90}Sr , ^{137}Cs и т. д. Интенсивность радиоактивного загрязнения на конкретной территории определяется двумя факторами:

- концентрацией радиоактивных элементов и изотопов в почвах;
- природой самих элементов и изотопов, которая в первую очередь определяется периодом полураспада.

В экологическом отношении наибольшую опасность представляют ^{90}Sr и ^{137}Cs . Они прочно закрепляются в почвах, характеризуются длительным периодом полураспада (^{90}Sr - 28 лет и ^{137}Cs - 33 года) и легко включаются в биологический круговорот как элементы, близкие к Ca и K. Накапливаясь в организме они являются постоянными источниками внутреннего облучения.

4. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ НЕФТЬЮ И НЕФТЕПРОДУКТАМИ

В последние годы проблема нефтяных загрязнений становится все более актуальной. Развитие промышленности и транспорта требует увеличения добычи нефти как энергоносителя и сырья для химической промышленности. А в месте с тем, это одна из самых опасных для природы индустрий. Ежегодно миллионы тонн нефти выливаются на поверхность Мирового океана, попадают в почву и грунтовые воды, сгорают, загрязняя воздух.

Большинство земель в той или иной мере загрязнены сейчас нефтепродуктами. Особенно сильно это выражено в тех регионах, через которые проходят нефтепроводы, а также богатых предприятиями химической промышленности, использующими в качестве сырья нефть или природный газ. Ежегодно десятки тонн нефти загрязняют полезные земли, снижая ее плодородие, но до сих пор этой проблеме не оказывают должного внимания.

Нефть представляет собой жидкость от желто- или светло-бурого до черного цвета, с характерным запахом. Это смесь углеводов и их производных, каждое из которых может рассматриваться как самостоятельный токсикант. В ее составе обнаруживается свыше 1000 индивидуальных органических веществ, содержащих 83–87% углерода, 12–14% водорода, 0,5–6,0% серы, 0,02–1,7% азота, 0,005–3,6% кислорода и незначительную примесь минеральных соединений; зольность нефти не превышает 0,1%. Нефть легче воды: плотность различных видов нефти колеблется от 0,73 до 0,97.

В зависимости от месторождения нефть имеет различный состав как качественный, так и количественный. Больше всего предельных углеводородов содержится в нефти, добываемой в штате Пенсильвания (США). Бакинская нефть сравнительно бедна предельными углеводородами, но богата так называемыми нафтеновыми углеводородами, содержащимися в количестве до 90%. Значительно богаче предельными углеводородами грозненская нефть, сураханская и ферганская (Средняя Азия).

Основной источник загрязнения почвы нефтью – антропогенная деятельность. В естественных условиях нефть залегает под плодородным слоем почвы на больших глубинах и не производит существенного на нее влияния. В нормальной ситуации нефть не выходит на поверхность, происходит это только в редких случаях в результате подвижек горных пород, тектонических процессов, сопровождающихся поднятием грунта.

Основные загрязнения нефтью происходят в районах нефтепромыслов, нефтепроводов, а также при перевозке нефти по сухопутным и, особенно, морским магистралям.

В районах наземных нефтепромыслов и нефтепроводов периодически происходят локальные утечки нефти и нефтепродуктов, которые не распространяются на большие площади. Гораздо хуже, если утечка происходит из океанической или морской буровой установки или магистрали. В этом случае нефть расплзается по воде тончайшей, часто мономолекулярной пленкой на площади в сотни и тысячи квадратных километров, образуя нефтяные пятна. Оказавшись в прибойной зоне, нефтяная пленка выбрасывается на сушу и заражает огромные площади побережий, нанося колоссальный вред всему живому в этом районе.

Районы и источники загрязнений нефтью можно условно разделить на две группы: временные и постоянные («хронические»). К временным районам можно отнести нефтяные пятна на водной поверхности, разливы при транспортировке. К постоянным относятся районы нефтедобычи, на территории которых земля буквально пропитана нефтью в результате многократных утечек.

Экологические последствия загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами зависят от параметров загрязнения, свойств почвы и характеристик внешней среды.

К первой группе факторов относятся химическая природа загрязняющих веществ, концентрация их в почве, срок от момента загрязнения и др. Как было отмечено выше, нефть состоит из многих фракций, существенно различающихся между собой по физико-химическим свойствам. Поэтому их поведение в почве различно.

Наибольшей проникающей способностью обладают легкие фракции, которые капиллярными силами затягиваются на глубину до 1 метра. Будучи загрязнена только легкими фракциями, почва со временем может самоочиститься, так как эти фракции обладают низкими температурами кипения и довольно быстро испаряются.

Тяжелые битумные фракции, которые находятся в нефти растворенными в летучих фракциях, проникают не глубже 12 см. При нормальной температуре это твердые аморфные вещества, они адсорбируются из раствора почвенными частицами верхнего слоя, склеивают их, застывают и образуют

твердую корку. Такое загрязнение не может быть ликвидировано естественным путем.

Фракции нефти имеют разную токсичность. Поэтому загрязнение тяжелыми фракциями наносит косвенный вред – ухудшает или вообще делает невозможным аэрацию почвы, понижает содержание в почве кислорода, что приводит к снижению количества или вообще вымиранию аэробной части микрофлоры и, наоборот, увеличению числа анаэробов. Наиболее опасно загрязнение именно самой нефтью: при этом легкие фракции проникают вглубь, а тяжелые создают корку на поверхности, не давая первым испариться. В результате все живое в почве просто гибнет, почва теряет свои хозяйственные свойства, становится мертвой.

Ко второй группе факторов принадлежат структура почвы, гранулометрический состав, влажность почвы, активность микробиологических и биохимических процессов и др.

Чем крупнее частицы почвы, тем легче нефть и нефтепродукты проходят внутрь ее, в ее нижние слои. От структуры почвы также зависит степень аэрации почвы, а следовательно, интенсивность испарения и окисления нефти. Влажная почва отталкивает гидрофобные нефть и нефтепродукты, препятствуя ее впитыванию.

К внешним факторам относятся температура воздуха, ветренность, уровень солнечной радиации и особенно доля ультрафиолетового излучения в свете, растительный покров и пр.

Чем выше температура воздуха, тем выше скорость окислительных процессов, посредством которых разлагается на воздухе нефть. Соответственно в летнее время нефть быстрее разлагается: легкие фракции испаряются, тяжелые окисляются. Зимой, при отрицательной температуре, большинство тяжелых фракций переходят в твердое состояние и вообще не окисляются, поэтому основная часть (если не все) процессов разложения нефти и нефтепродуктов происходят именно летом. Ветер обдувает верхний слой почвы свежим воздухом, создавая динамически повышенную концентрацию кислорода над ней, способствуя окислению. К тому же ветер создает токи воздуха в воздушной системе почвы, по крайней мере той ее части, что осталась после загрязнения. Выветривание верхнего загрязненного и окисленного слоя также содействует дальнейшему очищению. Ультрафиолетовое излучение способствует окислительным реакциям и поэтому сильно ускоряет разложение нефти на поверхности земли и, особенно, на водных гладях.

При сильном нефтяном загрязнении растительный покров обычно вымирает. Однако, если загрязнение не очень велико, то он может способствовать очищению почвы. Образующийся от него за несколько лет растительный опад создает над загрязненным слоем чистый гумусовый слой, богатый аэробной микрофлорой, которая может вести окисление лежащих ниже нефтепродуктов.

Для *охраны почв* от нефтяного загрязнения требуется проведение следующих мероприятий:

- Выработка норм допустимого содержания нефти и нефтепродуктов в почве.
- Осуществление анализа хозяйственно важных земель (особенно вблизи нефтепроводов, хмпредприятий, буровых установок) на содержание в них нефтепродуктов.
- Капитальный ремонт или закрытие перечисленных объектов, если установлено, что это предприятие, нефтепровод, буровая установка является источником нефтяного загрязнения.
- Наказание лиц, ответственных за произошедшее загрязнение.
- Рекультивация и санация земель, загрязненных нефтепродуктами.

Специфика загрязнения земель нефтепродуктами заключается в том, что последние долго разлагаются (десять лет), на них не растут растения и выживают не многие виды микроорганизмов. Восстановить земли можно путем удаления загрязненного почвенного слоя вместе с нефтью. Далее может следовать либо засев культурами, которые в получившихся условиях смогут дать наибольшее количество биомассы, либо завоз незагрязненной почвы.

Восстановление загрязненной нефтепродуктами земли проходит в три основных этапа:

- удаление загрязненной нефтью почвы;
- рекультивация нарушенного при этом ландшафта;
- мелиорация.

На первом этапе вывозится минимальное количество загрязненной почвы и свозится в места захоронения или используется там, где от нее не требуется плодородных свойств (нанесение дамб и т.п.).

На втором этапе производится завоз нового плодородного слоя и вскрышных пород с хорошими почвообразующими свойствами, формирование нужного рельефа. Характер проведения этих работ зависит от таких фак-

торов как вид последующего использования рекультивируемых площадей, климат, и окружающий рельеф.

На третьем этапе, соответственно, производится приспособление к сельскохозяйственному использованию. Заключается оно, как правило, в обеспечении нужного водного режима, защите от эрозии, оползней и т.д. Третий этап не является обязательным, но поскольку восстановление земель производится в основном под сельскохозяйственные нужды, то он обычно проводится тоже.

Таким образом, нефть представляет собой смесь углеводов и их производных, в целом свыше 1000 индивидуальных органических веществ, каждое из которых может рассматриваться как самостоятельный токсикант. Основным источником загрязнения почвы нефтью – антропогенная деятельность. Загрязнение происходит в районах нефтепромыслов, нефтепроводов, а также при перевозке нефти.

Экологические последствия загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами зависят от параметров загрязнения (химическая природа загрязняющих веществ, концентрация их в почве, срок от момента загрязнения и др.), свойств почвы (структура почвы, гранулометрический состав, влажность почвы, активность микробиологических и биохимических процессов и др.) и характеристик внешней среды (температура воздуха, ветреность, уровень солнечной радиации и особенно доля ультрафиолетового излучения в свете, растительный покров и пр.). Восстановление загрязненных нефтепродуктами земель проходит либо засевом культур, устойчивых к нефтяному загрязнению, либо завозом незагрязненной почвы, что осуществляется в три основных этапа: удаление загрязненной нефтью почвы, рекультивация нарушенного ландшафта, мелиорация.

5. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ

Санитарно-биологическая чистота почвенного покрова – основополагающее условие оптимальной экологической ситуации для человека и животных. В тоже время именно человек и животные являются первопричиной биологического загрязнения своих местообитаний, включая почвы.

По степени опасности биологическое загрязнение почв можно разделить на микробиологическое, гельминтологическое и энтомологическое.

Почва – основное место обитания микроорганизмов. Видовое разнообразие почвенной микробной биоты составляет несколько тысяч видов. Несмотря на мизерный вес ($7-9 \times 10^{-14}$ г) общая биомасса их может достигать в целинных почвах 300–500 кг/га, а в окультуренных – 2–5 т/га.

Несмотря на то, что каждое таксономическое подразделение микроорганизмов несет определенное важное биологическое значение, многие микробы почвы являются опасными, а часто – губительными для человека. Такие формы микробов называют патогенными. В процессе эволюционного развития и адаптации к живым организмам патогенные микроорганизмы приобрели паразитические свойства. Они связаны с растительным и животным миром, могут переходить с почвенной влагой в водоемы, воздушными потоками переноситься в атмосферу.

Болезнетворные микроорганизмы могут сохраняться в почвенной среде длительное время. Так, например, споры палочки сибирской язвы остаются жизнеспособными в почве до 15 лет. Благодаря этому почва может играть определенную эпидемиологическую роль в распространении отдельных инфекционных заболеваний. При загрязнении вместе с почвой проникают споры возбудителей газовой гангрены и столбняка. Немаловажное значение имеет почва для последовательной передачи инфекций во внешней среде, так как попавшие в нее патогенные микроорганизмы в дальнейшем распространяются через воду, растительную продукцию, вызывая холеру, дизентерию, тиф и т.д. или посредством насекомых, грызунов, скота, провоцируя туляремию, чуму, сибирскую язву и т. д.

Кроме того, болезнетворные микроорганизмы вместе с пылеватыми частицами могут попадать в дыхательные пути человека, вызывая пневмонию, скарлатину, туберкулез, микозы и др.

Учитывая особое эпидемиологическое значение почвы, выявляется необходимость постоянного глубокого анализа ее санитарно-бактериологического состояния.

Почвы несут в себе высокий потенциал различных групп патогенных микроорганизмов. Особенно он велик вблизи крупных городских центров, населенных мест с развитой сельскохозяйственной промышленностью.

Кокки представляют собой обширную группу микроорганизмов, встречающихся в почвах Северного Кавказа, в которую входят стафилококки, стрептококки и различные диплококки. В этой группе объединены патогенные представители – возбудители разнообразных заболеваний человека и животных и их исторические предки – сапрофитные виды. Все они являются родственными организмами, о чем свидетельствует сходство их мифологии и ряда биологических свойств.

В почвах Северного Кавказа распространены болезнетворные разновидности стафилококков: *Staphylococcus albus*, *Staph. aureus*, *Staph. citreus*. Они являются возбудителями воспалительно-гнойных заболеваний кожных покровов в виде фурункулов, карбункулов, панарициев, абсцессов, флегмон и др. Нередко наблюдаемый некроз ткани – также следствие действия стафилококкового некротоксина. Энзиматические продукты стафилококка подавляют фагоцитоз и способствуют инвазии возбудителя в глубжележащие ткани, кости, внутренние органы (печень, почки и др.). Патогенные стафилококки оказываются наиболее частой причиной нагноения ран и возбудителями вторичных инфекций верхних дыхательных путей. При загрязнении пищевых продуктов могут вызывать пищевые токсикоинфекции. Стафилококки являются возбудителями различных воспалительно-гнойных заболеваний и у животных.

В значительных количествах в почвах обнаруживаются паразитарные стрептококки: гемолитический (*Streptococcus haemolyticus*), зеленящий (*Strept. viridans*), негемолитический (*Strept. anhaemolyticus*), а также энтерококки: *Streptococcus faecalis*, *Strept. faecium* и *Strept. durans*.

Наибольшее значение в патологии человека имеют гемолитические стрептококки. Входными воротами для них могут быть любое повреждение кожи, слизистой оболочки, протоки сальных и потовых желез, волосяные мешочки. Возникшая здесь локализованная гнойно-воспалительная реакция (абсцессы, флегмоны, рожистые воспаления и др.) благодаря сильным инвазионным свойствам гемолитического стрептококка может распро-

страняться по лимфатическим путям до регионарных лимфатических узлов, вызывая их воспаление и нагноение (лимфангоиты и лимфадениты).

В ослабленном организме стрептококки являются причиной инфекций, поражая различные органы (среднее ухо, верхние дыхательные пути, легкие, почки и др.). При проникновении в кровь гемолитический стрептококк оказывается самым частым возбудителем сепсиса. Стрептококки, в частности зеленающий стрептококк, – наиболее частые возбудители ангин (тонзиллитов). Следствием этого заболевания могут быть тяжелые поражения клапанов сердца (эндокардиты) и ревматизм. Энтерококки могут вызывать воспалительные процессы в желчном пузыре, двенадцатиперстной кишке, мочевыводящих путях, энтероколитах у детей, эндокардиты, обуславливать инфекцию из кишечника, например, холецистит, аппендицит, цистит.

Энтерококк является санитарно-показательным микроорганизмом при оценке наличия фекального загрязнения объектов внешней среды (почвы, воды, пищевых продуктов). Стрептококковыми инфекциями поражаются многие виды животных (мыт у лошадей, мастит у коров, энтероколитах у собак и др.).

При загрязнении органическими веществами в почве в значительных количествах обнаруживают микроорганизмы семейства кишечных бактерий (*Enterobacteriaceae*). Это семейство включает большую группу микробов, в состав которой входят патогенные, условно-патогенные и сапрофитные виды. Историческим родоначальником семейства является пенициллинообразующая кишечная палочка (*Escherichia coli*) – постоянный обитатель кишечника животных и человека, от которой в процессе эволюции паразитизма произошли все другие представители этой группы.

К патогенным бактериям семейства *Enterobacteriaceae* относятся возбудители брюшного тифа, паратифозных заболеваний и дизентерии. Несмотря на то, что все указанные бактерии отличаются неодинаковой степенью патогенности и вызывают различные заболевания, всех их объединяют общие черты сходства.

Группа кишечных палочек включает семь видов, различающихся по своей ферментативной активности и различной степени патогенности: *Bact. coli commune* (*Escherichia coli*), *Bact. aerogenes*, *Bact. coli citrovorum*, *Bact. cloacal*, *Bact. coli anaerogenes*, *Bact. aquatilis*, *Bact. paracoli*.

Кишечная палочка относится к так называемым условно-патогенным микробам. В своей естественной среде обитания — кишечнике — она является комменсалом и, несомненно, играет положительную роль. Однако при понижении резистентности организма может проявиться патогенное действие кишечной палочки. У маленьких детей в этих случаях кишечная палочка, проникая в верхние отделы тонкого кишечника, вызывает тяжелые кишечные заболевания. Особенно велика роль ее как патогенного фактора у новорожденных, у которых она нередко является причиной токсико-септических заболеваний. Проникая из кишечника в другие органы, кишечная палочка может вызывать в них различные воспалительные процессы, иногда и сепсис. При массивном загрязнении пищевых продуктов кишечной палочкой возникают пищевые отравления. В патогенезе заболеваний, вызываемых кишечной палочкой, играют роль ее токсины: термостабильный эндотоксин — энтеротропный яд и термолабильный экзотоксин — нейротропный яд. Помимо условно-патогенных кишечных палочек, вызывающих заболевания, не передающиеся от больного к здоровому, встречаются серологические типы ее, обладающие свойствами патогенных микроорганизмов. Они являются причиной кишечных заболеваний — колиэнтеритов маленьких детей, среди которых при наличии неблагоприятных санитарных условий могут возникать эпидемические вспышки.

С целью установления степени загрязненности почвы, воды, пищевых продуктов и т. д. в них определяют наличие кишечной палочки. Результаты анализа выражают в коли-титре или коли-индексе. Коли-титр — наименьшее количество субстрата (почвы, воды, пищевых продуктов), в котором содержится хотя бы одна кишечная палочка, коли-индекс — количество кишечных палочек, содержащихся в 1 г твердых веществ и в 1 л жидкости.

В почвенном «микробном депо» обнаруживают свое присутствие возбудители тифо-паратифозных (*Salmonella typhi*, *Salmonella paratyphi A* и *Salmonella paratyphi B*) и дизентерийных (*Sigella dysenteriae*) заболеваний.

Брюшной тиф представляет собой тяжелое заболевание, сопровождающееся длительной лихорадкой, помрачением сознания и поражением солитарных фолликулов и пейеровых бляшек тонкого кишечника. Паратифозные заболевания протекают менее тяжело и менее продолжительно.

Заражение человека происходит в результате проникновения микробов в организм человека через рот. Микробы попадают в тонкий кишечник, из просвета тонкой кишки проникают в брыжеечные лимфатические узлы, из

них – в кровь. Эта фаза совпадает с началом лихорадочного периода. В организме накапливается большое количество эндотоксинов вследствие бактерицидного действия крови и разрушения бактерий в лимфатических узлах. Эндотоксины обуславливают интоксикацию организма: тифозное состояние, повышение температуры, нарушение деятельности сердечно-сосудистой системы и т. д. Током крови микробы разносятся по всему организму, переходят из печени в желчный пузырь, где разносятся и длительно сохраняются. Из желчного пузыря сальмонеллы вновь попадают в кишечник. Проникнув в уже сенсibilизированные пейеровы бляшки и солитарные фолликулы, микробы вызывают в них аллергическую реакцию и специфические для брюшного тифа патологоанатомические изменения.

Развитие инфекционного процесса с момента возникновения вызывает ответную защитную реакцию, интенсивность которой определяет собой дальнейшее течение заболевания и тяжесть его. Заканчивается заболевание фазой реконвалесценции и восстановлением физиологического равновесия организма.

При массовом загрязнении почвы, воды и продуктов создаются возможности для возникновения эпидемических вспышек. При санитарных обследованиях в почвах обнаруживаются холерные вибрионы (*Vibrio cholerae* – *asiaticus*), вызывающие острое инфекционное заболевание – холеру, которое поражает только человека и характеризуется резко выраженным гастроэнтеритом, обезвоживанием организма и явлениями общей интоксикации. Заболевание протекает обычно очень тяжело, с высокой летальностью, достигающей до 40–50%.

Несмотря на то, что почва не является естественной средой обитания большинства патогенных микроорганизмов, болезнетворные микробы широко распространены в почвенных субстратах, способны длительное время в них сохраняться (до нескольких лет), играя значительную роль в возникновении эпидемий.

В черноземах довольно часто распространены патогенные анаэробные и аэробные бактерии. Из группы анаэробов следует выделить возбудителей газовой гангрены – раневой инфекции, вызываемой обычно ассоциацией из нескольких видов патогенов и реже одним из них. По частоте обнаружения в почве возбудителей газовой гангрены микроорганизмы располагаются в почве в следующем порядке: 1) *Clostridium perfringens* – 100%, 2) *Cl. oedematiens* – 64%, 3) *Cl. septicum* – 8%, 4) *Cl. histolyticum* – 2%.

Заболевания возникают в результате проникновения в рану спор указанных микробов с почвой. Активно размножаясь, они образуют сильные экзотоксины. Действием токсинов анаэробов обусловлены характерные признаки газовой гангрены – отек и газообразование в ткани, разрушение мышечной и соединительной ткани. Одновременно токсины действуют и на весь организм, вызывая общее тяжелое состояние. Проявляют свое действие и другие продукты анаэробов, а также токсические продукты тканевого разложения.

Cl. perfringens, кроме газовой гангрены, обнаруживается при гангренозном аппендиците, холецистите, заболеваниях мочеполовой системы, при воспалительных процессах ротовой полости, уха и т. д., при пищевых отравлениях.

Бациллы столбняка обнаружены А. Николайером в 1884 г. в содержимом ран и в 1889 г. получены С. Китагато в чистой культуре.

Столбняк – острая раневая инфекция, основным признаком которой является поражение нервной системы токсином возбудителя *Cl. teteni*. Заболевание возникает в результате загрязнения ран почвой, содержащей споры палочек столбняка (в военное время и при других травмах). В естественных условиях столбняком поражаются человек и лошадь, однако восприимчивы и многие другие животные: козы, собаки, кошки, лабораторные животные – морские свинки, мыши, кролики. Нечувствительны к столбнячному токсину птицы и холоднокровные животные. Однако при переохлаждении птиц и перегревании холоднокровных легко получить симптом столбняка и у них.

Другими агентами патогенной анаэробной микрофлоры, присутствующими в почве, являются бациллы ботулизма (*Clostridium botulinus*). Споры этих микробов, попав в загрязненные землей пищевые продукты, прорастают в них в условиях анаэробно-вегетативных форм, образуя экзотоксин, который вызывает отравление и поражение центральной нервной системы (черепно-мозговые нервы). Из наиболее ранних симптомов наблюдаются расстройства зрительной сферы (вялая реакция на свет, неправильная форма зрачков, двоение предметов, косоглазие, опущение века и др.), затем расстройство глотания, сиплость голоса, ослабление слуха. Одновременно наступают зрительные расстройства. В поздней стадии присоединяются нарушения, а затем паралич дыхания, являющийся причиной

смерти. Летальность при ботулизме без специфического лечения достигает 85%.

Токсины *Cl. botulinum* отличаются исключительной силой, во много раз превосходящей ядовитостью все другие бактериальные токсины и химические яды. Так, в 1 г высушенного, очищенного кристаллического токсина содержится свыше 30 млн. минимальных смертельных доз для человека. В мясных пищевых консервах сохраняется в течение 6–8 месяцев. Ботулизмом через загрязненный корм поражаются и животные – лошади, крупный рогатый скот, свиньи, куры, утки и др.

Почвенные очаги сибирской язвы существуют в течение многих десятков лет. Вероятность активизации очагов находится в зависимости от множества факторов, в том числе и от почвенно-климатических условий. Это острое инфекционное заболевание, вызываемое аэробными сибирезвенными бациллами (*Bac. anthracis*), поражает преимущественно травоядных животных. Человек мало восприимчив к сибирской язве. Заражение происходит при различных формах контакта с больными животными, при обработке животного сырья или употреблении в пищу зараженных продуктов животного происхождения. Сибирская язва у человека встречается в трех формах: кожной, легочной и кишечной.

Большинство микроскопических грибов, обитающих в почве, являются сапрофитами, и только немногие из них патогенны для человека и животных. Чаще всего они вызывают различные поражения кожных покровов, волос и ногтей, но встречаются виды, которые поражают внутренние органы, провоцируют аллергические заболевания. Заболевания, вызываемые грибами, носят названия микозов.

Гельминтологические показатели определяют степень фекального загрязнения почвы, т.е. позволяют оценить степень и давность загрязнения почвы. Обнаружение большого количества яиц гельминтов указывает на недавнее загрязнение. Оценивая давность загрязнения, следует учитывать сроки развития и продолжительность выживания яиц гельминтов в почве. Так, например, яйца аскарид могут сохранять жизнеспособность до 10 лет. Для других гельминтов этот срок исчисляется месяцами (3-4) или днями. Нахождение небольшого количества деформированных яиц аскарид может служить показателем, подтверждающим давнее загрязнение.

Гельминтологические исследования внешней среды используют при проведении контроля за содержанием детских, лечебных, оздоровительных

учреждений, пищевых предприятий и т.д., где возможен контакт людей с загрязненной почвой (детские площадки, огороды, сады, парки, оранжереи). Эти исследования проводят также при оценке эффективности работы сооружений по обезвреживанию жидких и твердых отходов (поля ассенизации и запахивания, усовершенствованные свалки, поля компостирования, мусороперерабатывающие заводы). Санитарно-показательными гельминтами считаются: аскариды, власоглавы, анкилостомы. Для некоторых районов, где отсутствуют или редко встречаются геогельминтозы, показателем фекального загрязнения может быть наличие яиц биогельминтов: онкосфер тениид, яиц широкого лентеца и др.

Загрязнение почвы населенных мест органическими отходами ведет к размножению синантропных мух, видовой состав которых в различных климатических зонах варьирует. Во всех климатических зонах наиболее широко распространена комнатная муха. Она является переносчиком кишечных инфекций человека, как и другие виды мух: домовые, малые комнатные, падальные, серые и зеленые мясные.

Учет численности окрыленных мух можно проводить для оценки эффективности мероприятий по санитарной очистке и по борьбе с мухами. Кроме того, он дает возможность установить место вылода и видовой состав мух. Такой учет проводится систематически на протяжении весенне-летнего периода.

Многие микроорганизмы, обитающие в почвах, являются патогенными: они опасны и даже губительны для человека и животных. Болезнетворность организмов в почвенной среде может сохраняться длительное время. В связи с этим почва играет определенную эпидемиологическую роль в распространении отдельных инфекционных заболеваний.

Немаловажное значение имеют почвы для последовательной передачи инфекций во внешней среде, так как попавшие в них патогенные микробы в дальнейшем распространяются через воду и растительную продукцию, вызывая холеру, дизентерию, тиф и т. д. или посредством насекомых, грызунов, скота и других животных, провоцируя туляремию, чуму, сибирскую язву и т.п. Вместе с почвой в организмы проникают споры возбудителей газовой гангрены и столбняка. Болезнетворные микроорганизмы могут попадать в дыхательные пути человека вместе с пылевыми частицами почвенного происхождения, вызывая пневмонию, скарлатину, туберкулез, микозы и др.

Почвенный фактор играет специфическую роль в передаче заразного начала для некоторых видов геогельминтов (анкилостомиды, аскариды, власоглав). Существенна роль почвы в сохранении спорных форм возбудителей сибирской язвы, столбняка и газовой гангрены. Заражение почвы бактериями сибирской язвы вызывает кожную форму заболевания на ногах у лиц, ходящих босиком. Большое эпидемиологическое значение имеет загрязнение почвы для развития раневых инфекций и, в меньшей степени кишечных инфекций.

Важно знать: почвы имеют особое эпидемиологическое значение и требуют постоянного глубокого анализа их санитарно-бактериологического состояния. Особенно велик потенциал патогенных микроорганизмов вблизи крупных городских центров, населенных мест с развитым сельскохозяйственным производством.

6. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Многочисленные исследования ученых-агрохимиков показали, что разные виды и формы минеральных удобрений неодинаково влияют на свойства почв. Внесенные в почву удобрения вступают в сложные взаимодействия с нею. Здесь происходят всевозможные превращения удобрений, которые зависят от целого ряда факторов: свойств удобрений и почвы, погодных условий, агротехники. От того, как происходит превращение отдельных видов минеральных удобрений: фосфорных, калийных, азотных и т.д., зависит влияние их на почвенное плодородие.

Все применяемые в России удобрения классифицируются следующим образом (рис. 3)

Отрицательное действие удобрений на окружающую среду связано прежде всего с несовершенством свойств и химического состава удобрений. Существенными недостатками многих минеральных удобрений являются: наличие остаточной кислоты (свободная кислотность) вследствие технологии их производства; физиологическая кислотность и щелочность, образующаяся в результате преимущественного использования растениями из удобрений катионов или анионов; высокая растворимость туков. Длительное применение физиологически кислых или щелочных удобрений изменяет реакцию почвенного раствора, приводит к потерям гумуса, увеличивает подвижность и миграцию многих элементов.

К значительному недостатку многих минеральных удобрений можно отнести наличие в них тяжелых металлов (кадмия, свинца, никеля и др.) Наиболее загрязнены тяжелыми металлами фосфорные и комплексные удобрения. Это связано с тем, что практически все фосфорные руды содержат большие количества стронция, редкоземельные и радиоактивные элементы. Расширение производства и применение фосфорных и комплексных удобрений ведет к загрязнению окружающей среды соединениями фтора, мышьяка. При существующих кислотных способах переработки природного фосфатного сырья степень утилизации соединений фтора в производстве суперфосфата не превышает 20–50 %, в производстве комплексных удобрений – еще меньше. Содержание фтора в суперфосфате достигает 1–1,5, в аммофосе 3–5 %. В среднем с каждой тонной необходимого растениям фосфора на поля поступает около 160 кг фтора.

В удобрениях, в отличие от природных фосфатных руд, фтор находится в виде растворимых соединений и легко поступает в растение. Повышенное накопление фтора в растениях нарушает обмен веществ, ферментативную активность (ингибирует действие фосфатазы и др.), отрицательно действует на фото- и биосинтез белка, развитие плодов. Фтористые соединения весьма опасны для здоровья людей и животных. Повышенные дозы фтора угнетают развитие животных, приводят к отравлению; у человека при содержании в воде фтора больше 2 мг/л разрушается эмаль зубов, а при 8 мг/л развивается остеосклероз.

Однако важно понимать, что не сами минеральные удобрения как источники биогенных элементов загрязняют окружающую среду, а их сопутствующие компоненты.

Что происходит с удобрениями в почве?

Внесенные в почву растворимые **фосфорные удобрения** в значительной степени поглощаются почвой и становятся малодоступными растениям и не передвигаются по почвенному профилю. Установлено, что первая культура использует из фосфорных удобрений всего 10–30% P_2O_5 , а остальное количество остается в почве и претерпевает всевозможные превращения. Например, в кислых почвах фосфор суперфосфата в большей части превращается в фосфаты железа и алюминия, а в черноземных и во всех карбонатных почвах – в нерастворимые фосфаты кальция. Систематическое и длительное применение фосфорных удобрений сопровождается постепенным окультуриванием почв.

Известно, что длительное применение больших доз фосфорных удобрений может привести к так называемому «зафосфачиванию», когда почва обогащается усвояемыми фосфатами и новые порции удобрений не оказывают эффекта. В этом случае избыток фосфора в почве может нарушить соотношение между питательными веществами и иногда снижает доступность растениям цинка и железа. Так, в условиях Краснодарского края на обыкновенных карбонатных черноземах при обыкновенном внесении P_2O_5 кукуруза неожиданно резко снижала урожайность. Приходилось изыскивать способы оптимизации элементного питания растений. Зафосфачивание почв является определенным этапом их окультуривания. Это результат неизбежного процесса накопления «остаточного» фосфора, когда удобрения вносятся в количестве, превышающем вынос фосфора с урожаем.

Как правило, этот «остаточный» фосфор удобрения отличался большей подвижностью, доступностью растениям, чем природные фосфаты почвы. При систематическом и длительном удобрении необходимо изменять соотношения между питательными элементами с учетом их остаточного действия: дозу фосфора следует уменьшать, а дозу азотных удобрений (иногда и калийных) увеличивать.

Калий удобрений, внесенный в почву, подобно фосфору, не остается в неизменном виде. Часть его находится в почвенном растворе, часть переходит в поглощенно-обменное состояние, а часть превращается в необменную, малодоступную для растений форму. Накопление доступных форм калия в почве, а также превращение в недоступное состояние в результате длительного применения калийных удобрений зависит в основном от свойств почвы и погодных условий. Так, в черноземных почвах количество усвояемых форм калия под влиянием удобрения хотя и увеличивается, но в меньшей мере, чем на дерново-подзолистых почвах, так как в черноземах калий удобрений больше превращается в необменную форму. В зоне с большим количеством осадков и при поливном земледелии возможно вымывание калия удобрений за пределы корнеобитаемого слоя почвы.

В районах с недостаточным увлажнением, в условиях жаркого климата, где почвы периодически увлажняются и пересыхают, наблюдаются интенсивные процессы фиксации калия удобрений почвой. Под влиянием фиксации калий удобрений переходит в необменное, малодоступное растениям состояние. Большое значение на степень фиксации калия почвами имеет тип почвенных минералов, наличие минералов, обладающих высокой фиксирующей способностью. Таковыми являются глинные минералы. Большей способностью фиксировать калий удобрений обладают черноземы, чем дерново-подзолистые почвы.

Подщелачивание почвы, вызываемое внесением извести или естественными карбонатами, особенно содой, увеличивает фиксацию. Фиксация калия зависит от дозы удобрения: при повышении дозы вносимых удобрений процент фиксации калия уменьшается. В целях уменьшения фиксации почвами калия удобрений рекомендуется вносить калийные удобрения на достаточную глубину, чтобы исключить пересыхание и чаще вносить их в севообороте, так как почвы, систематически удобрявшиеся калием, при новом его добавлении фиксируют его слабее. Но и фиксированный калий удобрений,

находящийся в необменном состоянии, также участвует в питании растений, так как со временем он может переходить в обменно-поглощенное состояние.

Азотные удобрения по взаимодействию с почвой значительно отличаются от фосфорных и калийных. Нитратные формы азота почвой не поглощаются, поэтому они легко могут вымываться атмосферными осадками и поливными водами.

Аммиачные формы азота поглощаются почвой, но после их нитрификации приобретают свойства нитратных удобрений. Частично аммиак может поглощаться почвой необменно. Необменный, фиксированный аммоний, растениям доступен в малой степени. Кроме этого, потеря азота удобрений из почвы возможна в результате улетучивания азота в свободной форме или в виде окислов азота. При внесении азотных удобрений резко изменяется содержание нитратов в почве, так как с удобрениями поступают наиболее легко усвояемые растениями соединения. Динамика нитратов в почве в большей мере характеризует ее плодородие.

Весьма важным свойством азотных удобрений, особенно аммиачных, является их способность мобилизации почвенных запасов, что имеет большое значение в зоне черноземных почв. Под влиянием азотных удобрений органические соединения почвы быстрее подвергаются минерализации, превращаются в легкодоступные для растений формы.

Некоторое количество питательных веществ, особенно азота в виде нитратов, хлоридов и сульфатов, может проникнуть в грунтовые воды и реки. Следствием этого является превышение норм содержания этих веществ в воде колодцев, родников, что может быть вредным для людей и животных, а также ведет к нежелательному изменению гидробиоценозов и наносит ущерб рыбному хозяйству. Миграция питательных веществ из почв в грунтовые воды в разных почвенно-климатических условиях проходит неодинаково. Кроме этого, она зависит от видов, форм, доз и сроков применяемых удобрений.

В почвах Краснодарского края с периодически промывным водным режимом нитраты обнаруживаются до глубины 10 м и более и смыкаются с грунтовыми водами. Это свидетельствует о периодической глубокой миграции нитратов и включении их в биохимический круговорот, начальными звеньями которого являются почва, материнская порода, грунтовые воды. Такая миграция нитратов может наблюдаться во влажные годы, когда для почв характерен промывной водный режим. Именно в эти годы возникает опасность нитратного загрязнения окружающей среды при внесении боль-

ших доз азотных удобрений под зиму. В годы с непромывным водным режимом поступление нитратов в грунтовые воды полностью прекращается, хотя остаточные следы соединений азота наблюдаются по всему профилю материнской породы до грунтовой воды. Их сохранности способствует низкая биологическая активность этой части коры выветривания.

В почвах с непромывным водным режимом (южные черноземы, каштановые и др.) загрязнение биосферы нитратами исключается. Они остаются замкнутыми в почвенном профиле и полностью включаются в биологический круговорот.

Вредное потенциальное влияние азота, вносимого с удобрениями, может быть сведено к минимуму путем максимального использования азота сельскохозяйственными культурами. Итак, нужно заботиться, чтобы при повышении доз азотных удобрений увеличивалась эффективность использования их азота растениями. Чтобы не оставалось большого количества неиспользованных растениями нитратов, которые не удерживаются почвами и могут вымываться осадками из корнеобитаемого слоя.

Растения имеют свойство накапливать в своих организмах нитраты, содержащиеся в почве в избыточных количествах. Урожайность растений растет, но продукция оказывается отравленной. Особенно интенсивно аккумулируют нитраты овощные культуры, арбузы и дыни.

В России приняты ПДК нитратов растительного происхождения (табл. 10). Допустимая суточная доза (ДСД) для человека составляет 5 мг на 1 кг веса.

Сами нитраты не оказывают токсичного действия, но под влиянием некоторых кишечных бактерий они могут переходить в нитриты, обладающие значительной токсичностью. Нитриты, соединяясь с гемоглобином крови, переводят его в метгемоглобин, который препятствует переносу кислорода по кровеносной системе. Развивается заболевание – метгемоглобинемия, особенно опасное для детей. Симптомы заболевания: полуобморочное состояние, рвота, диарея.

Изыскиваются новые пути уменьшения потерь питательных веществ и ограничения загрязнения ими окружающей среды. Для уменьшения потерь азота из удобрений рекомендуются медленнодействующие азотные удобрения и ингибиторы нитрификации, пленки, добавки. Вводится капсулирование тонкозернистых удобрений оболочками серы, пластика и др. Равномерное высвобождение азота из этих удобрений исключает накопление нитратов в

почве. Большое значение для окружающей среды имеет применение новых, высококонцентрированных, комплексных минеральных удобрений. Для них характерно то, что они лишены балластных веществ (хлориды, сульфаты) или содержат их незначительное количество. Отдельные факты отрицательного влияния удобрений на окружающую среду связаны с ошибками в практике их применения, с недостаточно обоснованными способами, сроками, нормами их внесения без учета свойств почв.

10. Допустимые уровни содержания нитратов в продуктах растительного происхождения, мг/кг.

Продукт	Грунт	
	открытый	защищенный
Картофель	250	–
Капуста белокочанная:		
ранняя (до 1 сентября)	900	–
поздняя	500	2
Томаты	150	300
Огурцы	150	400
Свекла столовая	1400	–
Лук: репчатый	80	–
перо	600	800
Листовые овощи (салат, шпинат, щавель, капуста салатная, петрушка, сельдерей, кинза, укроп)	2000	3000
Дыни	90	–
Арбузы	60	–
Перец сладкий	200	400
Кабачки	400	400
Виноград столовых сортов	60	–
Яблоки	60	–
Груши	60	–
Продукты детского питания (овощи консервированные)	50	–
Морковь: ранняя (до 1 сентября)	400	–
поздняя	250	

Таким образом, применение минеральных удобрений является фундаментальным преобразованием в сфере производства вообще и главное в зем-

леделии, что позволило коренным образом в глобальном плане и в нашей стране в частности, решать проблему продовольствия и сельскохозяйственного сырья. Без применения удобрений сейчас сельское хозяйство не мыслимо.

При правильной организации и контроле применения минеральные удобрения не опасны для окружающей среды, здоровья человека и животных. Оптимальные научно-обоснованные дозы увеличивают урожайность растений и повышают количество продукции. К недостатку многих удобрений можно отнести наличие в них тяжелых металлов. Особенно загрязнены ими фосфорные удобрения. Поэтому необходим тщательный сертификационный контроль. Длительное применение физиологически кислых и щелочных туков могут изменить реакцию почвенного раствора. Негативные последствия может иметь избыточное применение азотных удобрений. При этом урожайность растений увеличивается, но продукция оказывается загрязненной нитратами. Особенно интенсивно аккумулируют нитраты овощные культуры, арбузы и дыни. В крови организмов, т.ч. и человека, нитраты, соединяясь с гемоглобином, препятствуют переносу кислорода и вызывают тяжелое заболевание – метгемоглобинемию.

7. УРОВЕНЬ ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ В СВЯЗИ С НАРУШЕНИЕМ ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

В результате нерациональной хозяйственной деятельности почва часто деградирует или даже полностью разрушается. Нами предложен интегральный эколого-биологический показатель состояния почвы, определяемый на основе наиболее информативных показателей биологической активности почвы (С.И. Колесников, К.Ш. Казеев, В.Ф. Вальков, 2000), который можно использовать при оценке степени деградации почвы, ее нормировании.

Рассмотрим возможность нормирования изменения свойств на примере загрязнения ее тяжелыми металлами (ТМ). Основываясь на результатах оригинальных исследований и анализе литературного материала по влиянию ТМ на свойства почв, с определенной долей обобщения можно констатировать следующее. При загрязнении почв ТМ нарушение информационных биогеоценологических функций происходит уже при содержании ТМ в почве до 1 ПДК, химических, физико-химических, биохимических и целостных биогеоценологических функций — 1–10 ПДК, физических функций — более 10 ПДК. Приведенные количественные придержки в наибольшей степени справедливы для черноземов. Но они варьируют в зависимости от генетических свойств почв, определяющих перевод ТМ в неподвижные нетоксичные формы.

Тот факт, что разные экологические функции почвы нарушаются при различной концентрации металла в почве, может лежать в основе экологического нормирования загрязнения почв ТМ.

Большинство предпринимаемых попыток нормирования загрязнения почв ТМ сводились к тому, чтобы определить предельно допустимую концентрацию металла в почве. Однако в силу объективных причин, таких как полифункциональность и гетерогенность почвы, разнообразие ее типов, разнородность химических соединений загрязняющих веществ, явления синергизма и антагонизма между атомами элементов, способность живых организмов к адаптации, а почвы — к самовосстановлению и др., использование ПДК не всегда представляется оправданным. Перечисленные факторы требуют создания бесконечного множества ПДК загрязняющих веществ в почве для каждого конкретного случая, что нереально. Поэтому в ряде случаев целесообразнее нормировать загрязнение не по концентрации вещества в почве, а по реакции почвы на загрязнение.

Если мы хотим сохранить полноценное выполнение почвой своих экологических функций, т.е. рассматриваем почву как компонент биогеноценоза, а почвенный покров — как компонент биосферы, то нормирование загрязнения следует проводить по степени нарушения экологических функций почвы. Такое нормирование будет поистине экологическим.

Согласно ГОСТу 17.4.3.06—86, классификацию почв по степени загрязнения проводят по предельно допустимым количествам химических веществ в почвах и их фоновому содержанию. По степени загрязнения почвы делят на сильно-, средне- и слабозагрязненные. Если проводить экологическое нормирование загрязнения, поставив главной целью сохранение экологических функций почвы, то по ряду вышеизложенных причин целесообразнее использовать не ПДК загрязняющего вещества в почве, а интегральный показатель эколого-биологического состояния почвы. При снижении значений интегрального показателя в той или иной степени происходит нарушение определенных экологических функций почвы.

Предлагается следующая классификация почв по степени загрязнения ТМ на основе интегрального показателя эколого-биологического состояния почвы (табл. 11).

Таким образом, в качестве показателя степени нарушения экологических функций почвы можно использовать интегральный эколого-биологический показатель состояния почвы, рассчитанный на основе набора наиболее информативных показателей биологической активности почвы.

Каждый из деграционных процессов сопровождается снижением плодородия, нарушением экологических функций почвы, уменьшением биологической активности почвы, а значит, и снижением значений интегрального эколого-биологического показателя. Поэтому последний может быть использован при определении экологических последствий деграционных процессов.

В таблице 12 дана шкала оценки степени деграции почв на основе интегрального эколого-биологического показателя ее состояния почвы.

11. Классификация почв по степени загрязнения на основе интегрального эколого-биологического показателя состояния почвы и нарушения ее биогеоценологических функций

Почвы	Степень снижения интегрального показателя	Нарушаемые экологические функции	Содержание в почве ТМ
Незагрязненные	Не происходит	—	Фон
Слабозагрязненные	<10%	Информационные	Фон — 1 ПДК
Среднезагрязненные	10—25%	Химические, физико-химические, биохимические; целостные	1—10 ПДК
Сильнозагрязненные	>25%	Физические	>10 ПДК

12. Оценка степени деградаций почв на основе интегрального эколого-биологического показателя

Степень деградации почвы	Степень снижения интегрального показателя	Нарушаемые экологические функции
Не происходит	Не происходит	—
Слабая	< 10 %	Информационные
Средняя	10—25%	Химические, физико-химические, биохимические; целостные
Сильная	> 25 %	Физические

Предлагаемый подход оценки экологических последствий деградации почв на основе нарушения ее экологических функций, а также классификацию почв по степени деградации можно использовать при проведении следующих научных и природоохранных мероприятий:

- при оценке воздействия на окружающую среду;
- при биоиндикации и биодиагностике деградационных изменений в почве;
- при биомониторинге состояния почв, а также естественных и антропогенно нарушенных экосистем в целом;
- при экологическом нормировании загрязнения почв и других деградационных процессов;

- при разработке методов санации загрязненных почв;
- при определении предельно допустимой антропогенной нагрузки на территорию;
- при создании экологических карт (районирования, фактологических и прогнозных);
- при прогнозировании экологических последствий определенной хозяйственной деятельности на данной территории;
- при оценке риска катастроф;
- при проведении экологической экспертизы, паспортизации, сертификации территории или хозяйственного объекта и т. д.

Таким образом, при антропогенном воздействии на почву нарушение экосистемных функций происходит в следующей последовательности: информационные → биохимические, физико-химические, химические и целостные → физические. Тот факт, что разные экологические функции почвы нарушаются при различной степени воздействия, рекомендуемый интегральный показатель может лежать в основе экологического нормирования антропогенной нагрузки на почву.

В качестве критерия степени нарушения экологических функций почвы предлагается использовать интегральный эколого-биологический показатель состояния почвы, определенный на основе набора наиболее информативных биологических показателей. Почва выполняет свои экологические функции полноценно, пока не произошло снижения значений интегрального показателя. При его снижении в той или иной степени происходит нарушение тех или иных экологических функций почвы.

Проводить оценку экологических последствий деградации почв на основе нарушения ее экологических функций целесообразно при проведении ряда научных и природоохранных мероприятий: оценке воздействия на окружающую среду, при биоиндикации и биодиагностике деградационных изменений в почве, при биомониторинге состояния почв, а также естественных и антропогенно нарушенных экосистем в целом, при экологическом нормировании загрязнения почв, при определении предельно допустимой антропогенной нагрузки на территорию, при проведении экологической экспертизы, паспортизации, сертификации и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агеев В.Н., Вальков В.Ф., Чешев А.С., Цвылев Е.М. Экологические аспекты плодородия почв Ростовской области. Учебное пособие для студентов вузов. Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦВШ, 1996. 199 с.
2. Безуглова О.С. Гумусное состояние почв юга России. Ростов-на-Дону, Изд-во СКНЦ ВШ, 2001. 228 с.
3. Вальков В.Ф. Почвы и сельскохозяйственные растения. Учеб. пособие для студентов высших учебных заведений. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1992. 214 с.
4. Вальков В.Ф. Экология почв Ростовской области. Ростов н/Д, 1994. 80 с.
5. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Очерки о плодородии почв. Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦВШ, 2001. 236 с.
6. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвоведение: Учебник для вузов. Москва: ИКЦ «МарТ»; Ростов н/Д: Издательский центр «МарТ», 2004. 496 с.
7. Вальков В.Ф., Штомпель Ю.А., Тюльпанов В.И. Почвоведение (почвы Северного Кавказа). Краснодар: Изд-во «Советская Кубань», 2002. 710 с.
8. Добровольский Г.В., Гришина Л.А. Охрана почв: Учебник. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1985. 224 с.
9. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Сохранение почв как неизменного компонента биосферы. М.: «Наука», 2000. 184 с.
10. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах (экологическое значение почв). М.: Наука, 1990. 261 с.
11. Зайдельман Ф.Р., Тюльпанов В.И., Ангелов Е.Н., Давыдов А.И. Почвы мочарных ландшафтов – формирование, агроэкология и мелиорация. М.: Изд-во МГУ. 1998. 160 с.
12. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Экологические последствия загрязнения почв тяжелыми металлами. Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦВШ, 2000. 230 с.
13. Структурно-функциональная роль почвы в биосфере. М.: Геос, 1999. 278 с.
14. Чешев А.С., Вальков В.Ф. Основы землепользования и землеустройства. Учебник для ВУЗов. Изд-е 2-е. Ростов н/Д: издательский центр «МарТ», 2002. 544 с.



Рис. 3. Классификация минеральных удобрений, применяемых в России

9. Основные физические величины, используемые в радиобиологии и радиоэкологии, их единицы измерения

Величина (обозначение)	Пояснение	Единица, ее наименование, обозначение (междунар., русское)		Соотношение между единицами
		Внесистемная	Система СИ	
Активность (Ар)	Мера радиоактивности. Величина, характеризующая количество радиоактивных атомов (изотопов) в определенной массе (объеме) вещества. Используется в оценке эффективности действия радиоактивных изотопов кроме поглощенных доз, создаваемых ими как при внешнем облучении, так и при попадании внутрь организма (инкорпорировании). А.у. – отношение радиоактивности вещества к его массе (объему). Радиоактивность в 1 Ки создает 1 г Ra. Время, за которое распадается половина первоначального количества неустойчивых ядер, называется <i>периодом полураспада</i> ($T_{0,5}$)	Кюри (Ci, Ки)	Беккерель (Bq, Бк)	1 Бк = 1 расп/с; 1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк = $3,7 \cdot 10^{10}$ расп/с;
Экспозиционн ая доза излучения (Дэксп)	Характеризует количество падающей на объект энергии излучения (дозы поглощения) по эффекту ионизации, вызываемому в воздухе. Единица измерения экспозиционной дозы «Кулон на килограмм» равна дозе, при которой за счет ионизации молекул воздуха массой 1 кг возникают ионы, несущие электрический заряд 1 Кл каждого знака. 1 Рентген (Р) такая доза фотонного излучения, при которой в 1 см ³ воздуха в процессе ионизации образуется $2,079 \cdot 10^9$ пар ионов каждого знака.	Рентген (R, Р)	Кулон на килограмм (C/kg, Кл/кг)	1 Р = $2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг = 0,88 рад = 0,88 бэр; 1 Кл/кг = 3876 Р
Поглощенная доза излучения (D, Дп) (<i>radiation absorbed dose</i>)	Фундаментальная дозиметрическая величина, характеризующая воздействие всех видов ионизирующих излучений на все виды облучаемых объектов. Энергия излучения, поглощенного единицей массы облученного вещества	Рад (rad, рад)	Грей (Gy, Гр)	1 Гр = 1 Дж/кг = 100 рад; 1 рад = 0,01 Гр = 100 эрг/г = $2,388 \cdot 10^{-6}$ кал/г
Эквивалентная доза излучения (H, Дэкв)	Дэкв учитывает эффект того, что при одинаковой Дп различные виды радиации производит неодинаковое биологическое действие. При одной и той же Дп радиобиологический разрушительный эффект тем выше, чем плотнее ионизация, создаваемая излучением. Характеризует воздействие радиации, равной произведению поглощенной дозы в органе или ткани, на коэффициент пропорциональности (Кобэ) – коэффициент относительной биологической эффективности, различный для различных видов ионизирующих излучений. Также применяется в оценке радиационной опасности хронического воздействия излучения произвольного состава	Бэр (rem, бэр), «биологический эквивалент рада»	Зиверт (Sv, Зв)	1 Зв = 100 бэр