



Крисмас[®]

shop.christmas-plus.ru
christmas-plus.ru
крисмас.рф

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЫ

ПРАКТИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО



Санкт-Петербург

Муравьев А.Г., Каррыев Б.Б., Ляндзберг А.Р.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЫ

Практическое руководство

Крисмас+
Санкт-Петербург
2022

Муравьев А.Г., Каррыев Б.Б., Ляндзберг А.Р. Оценка экологического состояния почвы: Практическое руководство / Под ред. к.х.н. А.Г. Муравьева. — Изд. 6-е, перераб. и дополн. — СПб.: Крисмас+, 2022. — 208 с., ил.

Книга посвящена вопросам оценки экологического состояния почвы по широкому кругу показателей, непосредственно связанных с вопросами почвоведения, агрохимии, агроэкологии, санитарной охраны почв и др. Отражены вопросы влияния антропогенной нагрузки на экологическое и санитарно-химическое состояние почвы. Сведения о свойствах почвы систематизированы применительно к задачам их практической оценки в полевых и лабораторных условиях по разнообразным показателям. Рассматриваются правила отбора и подготовки проб почвы, методы и оборудование для полевых и лабораторных исследований. В книге использован обширный литературный и справочный материал.

Книга предназначена педагогам школьного и дополнительного образования, учащимся старших классов общеобразовательных и специализированных школ, преподавателям и студентам вузов, специалистам экоаналитических лабораторий, широкому кругу специалистов, профессионально связанных с определением показателей состояния и свойств почвы.

ISBN 978-5-89495-282-6



© Крисмас+, 2022

© Авторский коллектив, 2022

Издательство «Крисмас+»

191180, Россия, Санкт-Петербург, ул. Константина Заслонова, д.6

Тел.: (812) 575-50-81, 575-54-07, 575-55-43, 575-57-91. Тел./факс (812)325-34-79

Содержание

Введение	6
1. Развитие экологических представлений о почве	8
2. Общие сведения о почве. Почва как компонент природно-антропогенного комплекса	12
3. Задачи и содержание оценки экологического состояния почвы	16
4. Почвы и почвозрушающие процессы	21
4.1. Почвообразующие процессы	21
4.2. Нарушения почвы	25
4.3. Почвозрушающие процессы	27
5. Эрозия почв	33
6. Загрязнение почв	37
6.1. Основные понятия и термины химического загрязнения почвы	37
6.2. Фоновое содержание элементов и загрязнение почв	40
6.3. Загрязнение почв тяжёлыми металлами	43
6.4. Загрязнение почв нефтепродуктами	46
6.5. Закисление почв и кислотность	48
6.6. Засоление почв	51
6.7. Загрязнения почвы, обусловленные применением минеральных удобрений и пестицидов	53
6.8. Замусоривание почв и проблемы свалок	57
7. Показатели экологического состояния почв и их исследование	61
7.1. Исследование почв в полевых и лабораторных условиях	61
7.2. Общий обзор свойств почвы	61
7.3. Почвенные разрезы	65
7.3.1. Почвенный профиль и почвенные горизонты	65
7.3.2. Изучение почвенных разрезов и обнажений	68
7.4. Отбор проб почвы и их подготовка	72
7.4.1. Общие требования к отбору проб почвы	72
7.4.2. Отбор объединённой пробы методом конверта	73
7.4.3. Особенности отбора проб почвы для химического анализа	73
7.4.4. Отбор проб при изучении почвенных разрезов	74
7.4.5. Подготовка проб почвы к анализу	76
7.4.6. Особенности подготовки проб почвы для химического анализа	78
7.4.7. Унифицированная методика приготовления почвенных вытяжек	81

Оценка экологического состояния почвы

7.5. Морфологические свойства почв	86
7.5.1. Цвет (окраска)	86
7.5.2. Влажность и водные свойства почвы	88
7.5.3. Механический состав и структура	97
7.5.4. Сложение	103
7.5.5. Новообразования	104
7.6. Химические показатели состояния почвы	106
7.6.1. Способы выражения результатов химического анализа почв	107
7.6.2. Химические показатели естественного состояния почвы	109
7.6.3. Оценка степени опасности загрязнения почвы химическими веществами	113
7.6.4. Нормативные показатели загрязнения почвы химическими веществами	114
7.6.5. Гигиеническая оценка химического загрязнения почв, используемых для выращивания сельскохозяйственных растений. . .	118
7.6.6. Гигиеническая оценка почв населённых пунктов	120
7.7. Плодородие почв	122
7.7.1. Плодородие и богатство почв	122
7.7.2. Окультуривание почв и его показатели	125
7.7.3. Определение содержания гумуса в почве	127
7.8. Биологическая активность почвы и почвоутомление	128
7.8.1. Оценка биологической активности почвы	128
7.8.2. Почвоутомление, фитотоксичность и фитосанитарное состояние почвы	129
8. Геоботаническая индикация почв (фитоиндикация)	133
9. Картирование результатов оценки экологического состояния почвы. . .	139
10. Практические методы оценки показателей экологического состояния почвы	146
10.1. Краткая характеристика методов анализа химического состава почв	146
10.2. Полевые методы оценки показателей состояния почвы	148
10.3. Обзор доступных методов оценки показателей состояния почвы	151
10.4. Полевое оборудование для оценки показателей химического состава почв	155
10.4.1. Обзор оборудования ЗАО «Крисмас+» для полевых анализов	155
10.4.2. Общая характеристика портативного оборудования для исследования почвы	157
10.4.3. Характеристики почвенных лабораторий и тест-комплектов . .	158
10.4.4. Измерительные комплекты для исследования почвы	164

Содержание

10.4.5. Тест-системы для быстрого обнаружения загрязнённости в воде и почве	165
10.4.6. Мини-экспресс-лаборатория «Анализ удобрений»	167
Заключение	168
Список литературы	169
Словарь терминов	176
Приложения	188
1. Загрязнение почв Санкт-Петербурга и Ленинградской области	188
2. Примерная схема первичного экологического контроля за состоянием несанкционированных свалок	191
3. Пример описаний некоторых почвенных разрезов	195
4. Некоторые растения-индикаторы почвенных условий Северо-Запада России	197
Предметный указатель	200

Введение

Вопросам оценки состояния (т.е. совокупности состава и свойств) почвы уделяется много внимания научными работниками и практиками, хозяйственниками и бизнесменами. Связь с землёй, «укоренённость» издавна считалась признаком основательности, фундаментальности. Проблемы рационального использования почв, земель во многих отношениях являются ключевыми и в современной жизни – будь то вопросы строительства, добычи полезных ископаемых, организации зон отдыха или других видов человеческой деятельности. Возрастающие масштабы такой деятельности обуславливают необходимость учёта и прогнозирования изменений в окружающей среде, оценки возможностей устойчивого развития, и почва в значительной мере определяет ресурсный потенциал биосферы для потребления будущими поколениями людей. Сегодня последствия ухудшения состояния почв уже выражаются в целом ряде глобальных, региональных и местных экологических проблем, связанных с состоянием атмосферы, гидросферы, биоразнообразия, здоровья людей и др.

Но даже и при отсутствии такой антропогенной деятельности состав и свойства почвы нуждаются в оценке, т.к. человечеству небезразлично, каковы условия воспроизводства природных живых и неживых систем, каковы границы их устойчивости к факторам внутренних и внешних нагрузок.

Какова же та система отсчёта, при которой оценка состояния почвы является наиболее универсальной? Какие подходы к рассмотрению почвы в наибольшей степени отражают и потребности человечества с его разносторонней деятельностью, и потребности самоорганизующихся природных систем, которые «сами знают, как лучше»? Задаваясь такими вопросами и отвечая на них, мы естественно приходим к необходимости экологического подхода в оценке состояния почвы. Такой подход свободен от ведомственных и однобоких взглядов как учёных — профессионалов в сравнительно узких областях зоологии, ботаники, агроценологии, геоморфологии и т.п., так и отдельных природопользователей (вспомним мелиорацию обширных заболоченных территорий и распашку целинных земель, идеи создания крупных агропромышленных комплексов, сплошной лесоповал и другую подобную человеческую деятельность с печальными последствиями). Вместе с тем, такой подход сложен, т.к. требует сбора и осмысления массы разносторонней информации, и задача состоит в

том, чтобы обеспечить такой уровень её достаточности, по достижению которого возникает новое качество рассмотрения.

Одной из целей, которой служит настоящая книга, является помощь в практической экологической работе учащимся школ и вузов. Необходимо не только описать экологические свойства почвы, но и показать методы их практической оценки, которые позволили бы в образовательных учреждениях планировать разноуровневые практические работы по изучению почвы, выполнять эколого-образовательные проекты с разработкой прогнозов экологических ситуаций и мер по охране окружающей среды. Подобная работа, проводимая систематически и включающая сбор и обработку информации с элементами прогноза, составляет сущность школьного экологического мониторинга.

Круг показателей состояния почвы, которые могли бы быть отнесены к экологическим, представляется очень широким. Авторы рассчитывают, что читатель, воспользовавшись приведённым в книге материалом, окажется в состоянии выделить какие-либо новые показатели, отмечая их экологическое значение; что читатель откроет для себя новые сведения о почве, и это субъективно новое знание создаст побудительные мотивы для экологически оправданной деятельности. Авторы искренне надеются, что использование данной книги окажется значимым импульсом к развитию практической экологической работы школьников и студентов, сыграет положительную роль в деле экологического образования и просвещения.

Хочется выразить признательность многим людям за помощь в работе над книгой, что позволило авторам собрать необходимый материал, апробировать книгу как методическое практическое руководство в летних экологических экспедициях школьников, при проведении практических занятий в системе повышения квалификации учителей.

Следует также отметить большую пользу от совместной работы преподавателей и педагогов со специалистами научно-производственного объединения ЗАО «Крисмас+», что позволило разработать базовые технологии и осуществить серийное производство полевых комплектных лабораторий для практической оценки показателей состояния почвы. Обновлённые сведения о таком оборудовании, которое используется как специалистами — почвоведом, агрохимиками, агротехниками, так и в образовательных учреждениях — школах, экологических центрах, вузах, также приведены в настоящем издании.

1. Развитие экологических представлений о почве

Экологические представления о почве тесно связаны со всем комплексом разнообразных знаний о почвах, их составе, свойствах, особенностях, генезисе и др. Они в высшей степени интегративны и предполагают практическое применение имеющихся знаний и технологий для целей рационального землепользования, воспроизводства плодородия, сохранения биоразнообразия и др.

Экологические представления о почве сформировались на рубеже XIX–XX веков, и большую роль в этом сыграло развитие почвоведения — науки о происхождении и развитии почв, закономерностях их распространения, путях рационального использования и повышения плодородия. Основателем почвоведения как самостоятельной естественно-исторической науки является выдающийся русский учёный, профессор Петербургского университета Василий Васильевич Докучаев (1846–1903). Именно он впервые сформулировал научное определение почвы, разработал генетическую классификацию почв, новые методы изучения и картографирования почв в поле. Докучаев открыл основные закономерности географического распространения почв и внёс большой вклад в теорию и практику охраны и повышения плодородия почв, особенно в чернозёмных областях России.

До работ В.В. Докучаева¹ почвы изучались вне связи с законами их развития и образования. Докучаев установил, что почва — самостоятельное природное тело, подобное минералам, растениям и животным, находящееся в непрерывном изменении во времени и пространстве. Он показал, что формирование почв есть сложный процесс тесного взаимодействия пяти природных факторов почвообразования: климата, рельефа местности, растительного и животного мира, почвообразующих пород и возраста страны (времени).

Исключительное значение для формирования науки о почвах имела монография В.В. Докучаева (1883 г.) «Русский чернозём», в которой обобщены итоги его исследований в чернозёмных областях нашей страны. Именно в этой книге заложены основы почвоведения, развитые затем в дальнейших работах учёного и его последователей.

¹ «Русский чернозём» (1883), «Наши степи прежде и теперь» (1892) и др.

1. Развитие экологических представлений о почве

В.В. Докучаев придавал науке о почве исключительно большое значение. В одной из работ, посвящённой успехам естествознания в XIX в., он писал, что «всматриваясь внимательно в эти величайшие приобретения человеческого знания, нельзя не заметить одного весьма существенного недочёта — изучались, главным образом, отдельные тела — минералы, горные породы, растения и животные — и явления, отдельные стихии, огонь (вулканизм), вода, земля, воздух, в чём, наука достигла, можно сказать, удивительных результатов, но не их отношения, не та генетическая вековечная и весьма закономерная связь, которая существует между живой и мёртвой природой, между растительным, животным и минеральным царствами». Далее Докучаев пишет, что «ядром учения о соотношениях между живой и мёртвой природой, между человеком и остальным как органическим, так и минеральным миром должно быть поставлено и признано современное почвоведение, понимаемое в нашем, русском смысле этого слова» [17].



Рис. 1. Василий Васильевич Докучаев (1846–1903)

Согласно учению В.В. Докучаева, растительность, поселяющаяся на выходящих на дневную поверхность слоях горных пород, вызывает в них ряд существенных изменений, в результате которых эти слои, приобретая новые и утрачивая часть старых свойств, превращаются в почву. Влияние растительности усиливают многочисленные животные, живущие на почве и в почве. Таким образом, почва — продукт взаимодействия биологического мира и горной породы, живого и мёртвого. Почва представляет собой особое тело природы, она отличается от живых организмов и лишённых жизни горных пород. Основные положения теории Докучаева о факторах почвообразования и почвообразующих процессах см. в п. 4.1.

В.В. Докучаевым разработаны не только основные положения новой науки о почве, но и оригинальные методы почвенно-географических исследований. На классическом примере разработки мер борьбы с засухой показано, как надо использовать достижения почвоведения для решения практических задач большой государственной важности.

В 1891 году всю чернозёмную полосу охватила сильная засуха, неурожай, голод. В замечательной книге «Наши степи прежде и теперь» В.В. Докучаев даёт анализ причин, вызывающих периодическое повторение засухи, и предлагает план мероприятий, способных предотвратить их повторение. В даль-

Оценка экологического состояния почвы

нейшем под руководством учёного были проведены очень важные опытные работы по улучшению водного режима степей. Современные методы борьбы с засухой и неурожаем в степной и лесостепной полосах разработаны на основе положений, выдвинутых Докучаевым.

Докучаев создал собственную научную школу. Ближайшим из его учеников был Н.М. Сибирцев, много сделавший в области познания происхождения почв и законов их распространения, автор первого учебника почвоведения, выпущенного в 1900 году. Особенно большое значение имеет установленный совместными трудами Докучаева и Сибирцева закон распространения почв, который показывает правильное чередование растительности и почв в направлении от экватора к полюсам, от подножья гор к их вершинам. Создание творчески работающей школы обеспечило дальнейшее развитие науки о почве.

Учение Докучаева оказало большое влияние на развитие экологии, географии, геохимии, земледелия, лесоводства. Высоко оценивая значение работ учёного, Е. Одум [41] назвал его первым русским экологом.

Большое значение для дальнейшего развития почвоведения в нашей стране имели также труды П.А. Костычева, К.Д. Глинки, В.И. Вернадского, В.Р. Вильямса, К.К. Гедройца, Л.И. Прасолова, Б.Б. Плынова, И.В. Тюрина, И.П. Герасимова, В.А. Ковды, Г.В. Добровольского и др. Различное сочетание природных процессов возникновения и развития почв, обусловленное этим многообразием почвенного покрова земной поверхности было объединено в общую систему почвообразования, стройное учение о законах происхождения и распространения почв. Это учение, названное генетическим почвоведением, завоевало мировую известность и общее признание.

Изучение почв необходимо не только для получения знаний об их естественных свойствах. Особое значение оно имеет для сельскохозяйственных целей, развития лесного хозяйства, инженерно-строительного дела. Знание свойств почв необходимо также для решения ряда проблем здравоохранения, разведки и добычи полезных ископаемых, организации зелёных зон, парков и скверов в городском хозяйстве и т.д.

Почва является незаменимым природным ресурсом. Это её значение неоднократно подчеркивал В.В. Докучаев: «Чернозём для России дороже всякой нефти, каменного угля, дороже золотых и железных руд; в нём — вековечное, неистощимое русское богатство».

Оценка экологического состояния почвы возможна лишь тогда, когда правильно поняты механизм, сущность и история взаимоотношений почвы, организмов и условий их обитания. Это особенно актуально для рационального использования, охраны и воспроизводства почвенных ресурсов. Человек получает максимально устойчивую биологическую продукцию от агроэкосистем

1. Развитие экологических представлений о почве

только тогда, когда он правильно воздействует на звенья этой сложной системы. Отчуждая продукцию для себя, человек должен восполнять или возвращать в почву взятые компоненты, сохранять и улучшать почвы, её режимы — водный, воздушный, тепловой, пищевой; обновлять и чередовать виды и сорта растений, активизировать микробиологическое население почвы и т.д.

Однако ценность почвы определяется не только её хозяйственной значимостью для сельского, лесного и других отраслей хозяйства. Она определяется также незаменимой экологической ролью почвы как важнейшего компонента всех наземных биоценозов и биосферы Земли в целом. Через почвенный покров Земли идут многочисленные экологические связи всех живущих на земле и в земле организмов (в том числе и человека) с литосферой, гидросферой и атмосферой. В следующей главе мы попытаемся рассмотреть почву с различных естественнонаучных позиций и понять, какие её свойства и взаимоотношения с окружающей средой должны лежать в основе именно экологической оценки её состояния.

2. Общие сведения о почве. Почва как компонент природно-антропогенного комплекса

Почвой называется поверхностный слой суши, возникший в результате изменения горных (материнских) пород под воздействием живых и мёртвых организмов (растительных, животных и микроорганизмов), солнечного тепла и атмосферных осадков. Практически почва — это относительно тонкий (до нескольких десятков сантиметров или, в редких случаях, до 1 метра и более) слой между атмосферой и подстилающими породами. Именно этот слой является сосредоточием жизни, средой обитания множества живых организмов, началом большинства пищевых цепей.

Почва является связующим звеном между атмосферой, гидросферой, литосферой и живыми организмами и играет важную роль в процессах обмена веществами и энергией между компонентами биосферы. Она представляет собой совершенно особое природное образование, обладающее только ей присущими строением, составом и свойствами. Поверхностные горизонты горных пород (литосферы), подвергаясь воздействию многих поколений организмов, испытывая длительное и глубокое влияние атмосферы и гидросферы, преобразуются в почвенный покров, обладающий способностью производить фитобиомассу. Важнейшим свойством почвы является её плодородие, т.е. способность обеспечивать рост и развитие растений. Это свойство почвы представляет исключительную ценность для жизни всех живущих на суше организмов, в том числе и для человека, поэтому плодородие является глобальной экологической функцией почв. Плодородие почвы определяет её использование человеком как основного средства сельскохозяйственного производства. И естественные почвы, и преобразованные человеком почвы агроэкосистем производят важнейшую органическую продукцию, необходимую для всего живого на планете и для человека.

Основной единицей классификации почв, применяемой в России, является отнесение их к типу. Тип почв развивается в однотипно-сопряжённых биологических, климатических и гидрологических условиях и характеризуется ярким проявлением основного процесса почвообразования. Примеры типов почв —

2. Общие сведения о почве

подзолистые, чернозёмы, серозёмы и т.д. Таким образом, основные черты почвенного типа определяются единообразием:

а) поступления органических веществ, процессов их разложения и превращения в гумус;

б) характера миграции и аккумуляции веществ;

в) строения почвенного профиля и генетических почвенных горизонтов;

г) мероприятий по повышению и поддержанию плодородия почв.

Выделяют также подтипы почв, или группы почв в пределах типа, качественно отличающиеся по проявлению основного и налагающихся процессов почвообразования. Обычно подтипы выделяются как переходные образования между близкими (географически и генетически) типами почв. Примерами подтипов являются дерново-подзолистые почвы, оподзоленные чернозёмы, светло-каштановые почвы и т.д.

Почва живёт, почва дышит. В почве постоянно и одновременно протекают процессы ферментативного каталитического окисления, восстановления, гидролиза. В результате происходит обогащение почвы неорганическими и органическими веществами, круговорот веществ — сущность развития почвы и её важнейшего свойства — плодородия.

Почва, в отличие от воды и воздуха, не обладает подвижностью, и её необходимо воспринимать как структурно-функциональный биокосный компонент биосферы.

Почва — биоминеральная (биокосная) динамическая система, находящаяся в материальном и энергетическом взаимодействии с внешней средой, частично вовлечённая в биологический цикл круговорота веществ.

В биосфере почвенный покров образует особую биогеохимическую (почвенную) оболочку — педосферу², «благородную ржавчину», по выражению В.И. Вернадского, выполняющую многочисленные экологические функции. «Благородную» — потому, что она обладает плодородием, а «ржавчину» — потому, что почвенный покров является продуктом переработки первозданных горных пород. Почвенная оболочка образовалась в результате взаимодействия названных выше геофизических оболочек планеты — литосферы, атмосферы, гидросферы и биосферы.

Экосистемные представления о почве основываются на выделении сообществ почвенных организмов (а также организмов, для которых почва образует среду обитания) и их взаимодействии друг с другом и с окружающей средой. Почвы и населяющие её организмы входят в состав первичных структурных единиц биосферы — экосистем (биогеоценозов), которые выполняют функ-

² От латинского *pedis* — основание и греческого *sphaire* — шар.

Оценка экологического состояния почвы

цию биосинтеза органического вещества — основное условие существования растений, животных, и человеческого общества. При этом под экосистемой понимаются совместно функционирующие на данной территории организмы (биотическое сообщество), взаимодействующие с физической средой таким образом, что поток энергии создаёт чётко определённые биотические структуры и круговорот веществ между живой и неживой частями [42].

Геосистемные представления о почве основываются на её основополагающей роли в структуре природно-территориальных комплексов, составляющих (совместно с природно-аквальными комплексами) географическую оболочку нашей планеты. При этом под геосистемой понимается совокупность элементов земной коры, находящихся в отношениях и связях между собой и образующих определённую целостность, единство. Геосистема — безразмерная единица географической структуры и в этом смысле близка термину «экосистема», но, в отличие от последней, не имеющая акцента на биоту. Так, наименьший природно-территориальный комплекс — фация — имеет однородный литологический состав пород, одинаковый характер рельефа, увлажнения, один микроклимат, одну почвенную морфологическую структуру и один биоценоз.

Говоря об оценке экологического состояния почвы, удобнее рассматривать её как компонент *природно-антропогенного комплекса*, который включает, кроме того, воздушную среду, водные объекты, биоту и техногенную среду. Последняя является источником антропогенной нагрузки на природные компоненты комплекса и также имеет подобную структуру (воздушную среду, водные объекты, биоту).

Схема природно-антропогенного комплекса с участием почвы приведена на рис. 2.

Входя в природно-антропогенный комплекс, почва имеет контакт со всеми другими его компонентами; более того, сам комплекс любого масштаба «привязан» ко вполне определённой территории (акватории). Испытывая антропогенную нагрузку, почва изменяется сама (хотя и обладает огромной буферной ёмкостью) и воздействует, прямо и косвенно, на все компоненты природно-антропогенного комплекса. Почва, как и другие компоненты этого комплекса, испытывает не только антропогенную нагрузку, но и воздействие экологических факторов — в первую очередь, климатических. К их числу относятся воздействия температуры и влажности воздуха, ветра, осадков и их химического состава, солнечной радиации и облачности и др. Экологические факторы влияют на протекание процессов почвообразования, развития и жизнедеятельности почвенных организмов, обмена энергией и массой и др.

Таким образом, почва, занимая ключевое положение в биосфере, может рассматриваться с разных естественнонаучных позиций. Вместе с тем, рассмо-

2. Общие сведения о почве

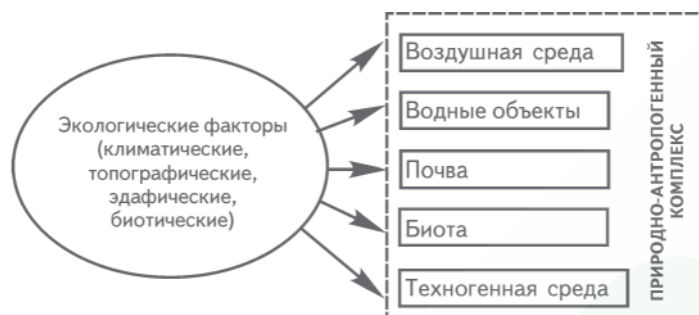


Рис. 2. Схема природно-антропогенного комплекса

трение почвы в аспекте оценки её экологического состояния требует учёта и оценки следующих факторов:

- антропогенной нагрузки на почву и все её компоненты³;
- нарушений почвы в контексте взаимосвязей и взаимовлияний почвы на другие компоненты природно-антропогенного комплекса, обусловленных антропогенной нагрузкой и природными явлениями;
- репродуктивного потенциала почвы по отношению к текущему и последующему воспроизводству питательных веществ, морфологических структур, биоразнообразия, биотических связей и др.;
- разного рода экологических проблем связанных с ухудшением состояния почвы.

Для оценки экологического состояния почвы большое значение имеет её изучение как целого и компонентов — почвенных воздуха и раствора, химического состава, чужеродных и естественных включений, почвенной биоты и других экологических свойств. Потеря из поля зрения каких-либо экологических свойств почвы создаёт опасность однобокой оценки с преобладанием агрохимических, фенологических, агроэкологических, натуралистических и др. подходов.

Экологическая роль почвы как одного из важнейших звеньев биосферы, где наиболее интенсивно идут все процессы обмена веществ между живой и неживой природой, определяет необходимость организации почвенного экологического мониторинга как неотъемлемой части экологического мониторинга окружающей среды. В основе научной и практической методологии такого мониторинга находится выделение показателей экологического состояния почв и их количественная и качественная оценка.

³ Ухудшение экологического состояния почвы в большинстве случаев связывают именно с антропогенной нагрузкой, хотя изменение состояния почвы может быть обусловлено также воздействием природных факторов.

3. Задачи и содержание оценки экологического состояния почвы

Почвы, будучи компонентами очень тонко сбалансированных природных экосистем, находятся в динамическом равновесии со всеми другими компонентами биосферы. Однако при использовании в разнообразной хозяйственной деятельности почвы часто теряют природное плодородие или даже полностью разрушаются. Естественно, разрушение почв и почвенного покрова имеет место там, где деятельность человека может быть определена как нерациональная, экологически необоснованная, несоответствующая природному биосферному потенциалу конкретной территории. Отметим, что многие природные процессы также приводят к различным нарушениям почвы.

В районах интенсивного земледелия и в областях высокой концентрации промышленного производства антропогенная нагрузка на почвы стала не только соизмерима с интенсивностью почвообразовательного процесса, но и значительно его превышает.

Восстановление нарушенного почвенного покрова требует длительного времени и больших капиталовложений. Известно, что в природных условиях формирование нормально развитого почвенного профиля требует сотен лет, а для восстановления (рекультивации) почвы необходимо от нескольких лет до двух–трёх десятилетий. Вслед за этим для восстановления плодородия почв необходимо длительное время проводить их окультуривание и улучшение.

Не вызывает сомнений, что как с экологической, так и с хозяйственно-экономической точки зрения значительно более целесообразным является предупреждение неблагоприятных изменений почв, чем выполнение дорогостоящих работ по их восстановлению. Возможны и необратимые изменения свойств почвы, например, при интенсивном загрязнении её наиболее токсичными тяжёлыми металлами или при радиоактивном загрязнении. Восстановление плодородия таких почв требует полной замены загрязнённого слоя.

Интенсивное хозяйственное освоение новых территорий и нередко сопутствующее этому загрязнение и разрушение почв приводит к изменению состава и численности популяций живых организмов вследствие частичного или полного разрушения среды их обитания и разрыва исторически сложившихся связей в экосистемах. Несмотря на то, что в почве происходит частичная

3. Задачи и содержание оценки экологического состояния почвы

трансформация многих природных соединений и хозяйственных отходов, небеспредельны её свойства как буферной системы, биологического и химического фильтра биосферы. Превышение допустимых значений загрязняющих веществ вызывает цепь деграционных изменений в почвах, которые могут завершиться «смертью» почвы и нарушениями экологического равновесия в природе. Следовательно, *проблемы оценки состояния животного и растительного мира, а также среды обитания человека в целом, непосредственно связаны с вопросами оценки экологического состояния почв.*

Оценка экологического состояния почвы, в отличие от подобной оценки состояния воздушной и водной сред, представляет задачу более трудную по следующим причинам.

Во-первых, почва — сложный объект исследования, т.к., по В.И. Вернадскому [7], представляет собой «...биокосное тело, которое живёт по законам и живой природы, и минерального царства».

Во-вторых, почва — многофазная открытая система, химические взаимодействия в которой происходят с участием твёрдых фаз, почвенного раствора, почвенного воздуха, корней растений, живых организмов. Постоянное влияние оказывают физические почвенные процессы (перенос влаги, испарение и т.д.).

В-третьих, опасные, загрязняющие почвы химические элементы-токсиканты (ртуть, кадмий, мышьяк, селен и др.) являются природными составляющими горных пород и почв. В почвы они поступают из естественных и антропогенных источников, а задачи мониторинга требуют оценки доли влияния лишь антропогенной составляющей. Причём, диапазон встречающихся значений природных содержаний химических веществ в почвах настолько широк, что нередко бывает очень сложно установить степень превышения в них исходного (фонового) уровня содержания химических веществ.

Наконец, поступление в почву различных химических веществ антропогенного происхождения происходит практически постоянно.

Оценку экологического состояния почв можно рассматривать как часть **почвенно-экологического мониторинга**. Оценка приобретает характер мониторинга при наличии системы наблюдений во времени, обобщения результатов и прогноза состояния почв в будущем. Таким образом, для проведения почвенно-экологического мониторинга должен соблюдаться принцип триады: наличие данных об экологическом состоянии почвы в прошлом и настоящем, а также прогнозных данных о состоянии в будущем.

Можно сформулировать следующие общие задачи оценки экологического состояния почвы:

- характеристика источника загрязнения и загрязняющих веществ (источника антропогенной нагрузки);

Оценка экологического состояния почвы

- определение значений контролируемых показателей состояния почв, вод, растений на территории, подверженной антропогенной нагрузке;
- установление зон распространения почв с ухудшившимися контролируемыми свойствами;
- выявление характера действия загрязняющих веществ на почву, а также путей и способов миграции, аккумуляции и трансформации загрязняющих веществ в почве;
- оценка устойчивости почв к загрязнению и возможности их самоочищения;
- разработка рекомендаций по снижению или ликвидации последствий загрязнений (нарушений) почв;
- оценка масштабов антропогенных нарушений почв и экономического ущерба, нанесённого природе и сельскому хозяйству.

Почвенный экологический мониторинг может быть направлен на решение специальных задач (например, главная задача фонового почвенно-химического мониторинга — получение данных о распространении химических элементов на «нетронутых» почвах, т.е. расположенных в зонах, не подверженных загрязнению⁴), и может выполняться на разном уровне (локальном, региональном, глобальном). Объединяет их общая цель: своевременное обнаружение неблагоприятных изменений свойств почв при различных видах их использования.

Комплексное почвенное экологическое обследование при мониторинге предполагает использование совокупности методов и приёмов исследования свойств почвы, направленных на изучение (наблюдение, контроль) почвы как единого целого. Такой подход требует и обоснованного выбора методов оценки. Следовательно, составление программы оценки экологического состояния почвы требует решения следующих вопросов:

1) какие **свойства почв** мы изучаем? (Морфологические, физические, химические, биотические, санитарно-микробиологические и др.);

2) какие **элементы состава почв** мы выделяем в нашем рассмотрении? (Химические элементы, микроорганизмы, минеральные частицы, биогенные элементы и др.);

3) какие **показатели воздействия** на почвы загрязняющих химических веществ (нарушений почв) мы изучаем? (Прямые и косвенные показатели загрязнения, показатели устойчивости почв к нарушениям и др.);

4) какие **экологические связи** почвы с другими компонентами природно-антропогенного комплекса мы изучаем? (С воздушной средой, водными объектами, биотой и др.);

⁴ См. сноску на с. 15.

3. Задачи и содержание оценки экологического состояния почвы

5) каков **временной характер** нашего рассмотрения? (То есть в течение какого периода времени интересующие нас показатели формируются или могут считаться постоянными).

Наиболее важен в программе мониторинга вопрос о перечне показателей экологического состояния почв, определение которых необходимо и достаточно для корректного описания их состояния (обнаружения неблагоприятных изменений). Эффективным мониторинг может быть при согласованном выборе относительно неширокого круга наиболее информативных почвенных показателей, которые чувствительны к изменению экологической обстановки, хорошо технологически и методически обеспечены, контроль за которыми был бы доступен учителям, студентам и учащимся, а методики оценки унифицированы, просты и надёжны. Особенно это актуально при работах, выполняемых в образовательных учреждениях, где часто не только отсутствует специальное оборудование, но и ощутим дефицит учебно-методической литературы, нет достаточной подготовленности преподавателей.

Перечень контролируемых показателей состояния почв может быть различным в зависимости от уровня проводимых работ. Однако принципы выбора показателей экологического состояния почв остаются одни и те же. Они основываются на исследованиях закономерностей поведения загрязняющих веществ в почве и других компонентах окружающей среды, включая обмен массой и энергией, биотические взаимодействия, пищевые цепи и др. В первую очередь, объектом изучения должны быть те показатели, которые являются приоритетными для данной местности, а также те, по которым в данной местности наблюдается (или предполагается) неблагополучие. Так, показателем загрязнения почвы служит уровень накопления в почве того или иного токсичного вещества по отношению к его предельно допустимому количеству (ПДК). Очень важно следить за содержанием и составом гумуса, так как это один из универсальных показателей состояния почв, отражающий напряжённость биологического круговорота и баланса элементов в условиях земледелия. Необходимо иметь сведения о кислотности почвы с оценкой вклада в неё подвижного алюминия, что позволяет оценивать, например, влияние кислотных осадков, обнаруживать вспышки щёлочности, солонцеобразования, последствия применения минеральных удобрений и др. Важнейшей характеристикой является также минерализация почвенного раствора, т.е. состав и концентрация растворимых солей в почвенном растворе, по которым можно судить об опасности вторичного засоления почвы. Помимо указанных, при оценке состояния почвы могут быть использованы и другие показатели.

Будучи системой более устойчивой, чем вода и воздух, почва способна сопротивляться загрязнению. Но когда внешнее воздействие преодолевает это

Оценка экологического состояния почвы

сопротивление, почва несоизмеримо дольше, чем вода и воздух, остаётся в загрязнённом состоянии и тем самым представляет собой источник отрицательного влияния на здоровье людей и на биосферу в целом.

Общий перечень задач, стоящих перед комплексным почвенно-экологическим мониторингом, обусловлен задачами экологической оценки почв и достаточно широк. Задачи почвенно-экологического мониторинга в известном отношении конкретизируют задачи экологической оценки почв. В частности, в задачи почвенно-экологического мониторинга входят [14, 16, 42]:

- 1) контроль за изменением содержания гумуса, кислотности, солевого режима почв (естественных, орошаемых, удобряемых);
- 2) контроль за локальным загрязнением почв тяжёлыми металлами (в зоне влияния промышленных предприятий и транспортных магистралей), а также другими загрязнителями и бытовыми отходами;
- 3) сезонный контроль за влажностью почв, содержанием воздуха, механическими свойствами, содержанием основных элементов питания почв и другими свойствами, создающими условия для реализации её плодородия;
- 5) контроль за антропогенными нарушениями почв (эрозией, дегумификацией и др.).

Это наиболее общий и, вероятно, неполный перечень задач, который может быть уточнён применительно к конкретным регионам и районам с учётом их особенностей, а также с учётом возможностей образовательных учреждений.

Информация, получаемая на основе мониторинга по оценке показателей экологического состояния почв, может быть использована для составления баз данных о состоянии почв, для разработки практических мер по сохранению и повышению плодородия почв, обеспечению высокой продуктивности сельскохозяйственных культур, практических мероприятий по охране и восстановлению почв. Следует отметить, что информацию о состоянии почв, полученную школьниками и студентами, так же как и другими слоями населения — «неспециалистами», можно рассматривать в качестве независимой экологической информации и представлять общественности, средствам массовой информации и заинтересованным лицам.

4. Почвы и почворазрушающие процессы

4.1. Почвообразующие процессы

Учение о почвообразующих факторах и процессах впервые сформулировано В.В. Докучаевым. Учёный рассматривал почву как результат совокупной деятельности пяти **факторов-почвообразователей**: 1) материнской породы, 2) растительности и животных организмов, 3) климата, 4) возраста страны и 5) рельефа местности. Свойства образующихся почв, по Докучаеву, зависят от характера поверхностных слоёв горных пород, растительности и животных, которые на них поселяются и их изменяют. Поверхностные слои горных пород служат той средой, в которой развиваются, черпают влагу и элементы жизни корневые системы растений, микроорганизмы и некоторые животные. Поэтому строение и состав поверхностных слоёв, служащих материнской породой для образующейся почвы, определяют характер поселяющейся растительности и животного мира, а следовательно, и направление почвообразовательного процесса. Изменения в составе почвообразующей или материнской породы происходят в результате непосредственного воздействия на неё живых организмов и под влиянием продуктов разложения отмерших организмов. Характер материнских пород оказывает определённое влияние на процесс разложения органических остатков и взаимодействие продуктов разложения с материнской породой.

Взаимодействие биологического мира и поверхностных слоёв горных пород, т.е. процесс почвообразования, находится в зависимости от климатических условий. Количество солнечной энергии и атмосферных осадков, получаемых земной поверхностью, и характер их распределения по временам года определяют состав растительности и животного мира, поселяющихся на поверхностных слоях горных пород, а следовательно, свойства образующихся почв. Большое значение, по В.В. Докучаеву, имеют рельеф местности и связанная с ним глубина залегания грунтовых вод. Климатические условия и глубина залегания грунтовых вод влияют не только на состав растительности и животного мира, но также на процесс разложения органических остатков и состав продуктов разложения. Особенно велико значение температурных условий и влажности, наличие чередования в годовом цикле холодных и жарких, сухих

Оценка экологического состояния почвы

и влажных периодов, их продолжительность и интенсивность, процесс передвижения тепла, влаги и воздуха в почвенном профиле. Развитие рельефа, его формы, характер поверхностных слоёв горных пород, время поселения растительности, и следовательно, продолжительность почвообразования, зависят от возраста страны.

Влияние перечисленных факторов почвообразования на земной поверхности проявляется в различных сочетаниях, что приводит к соответствующему разнообразию почв, закономерному чередованию их от экватора к полюсу, от подножия горных цепей к вершинам. Поэтому Докучаев установил положение, что почвы имеют зональное распространение.

На рис. 3 приведена диаграмма, содержащая пять важнейших факторов: материнскую породу, рельеф, климат, живые организмы и время. Четыре из приведённых на рисунке факторов (кроме рельефа) были включены Докучаевым в 1898 г. в его уравнение:

$$S = f(cl, o, p, t),$$

где: S — почва;

cl — климат территории;

o — живые организмы (растения и животные);

p — «геологический субстрат»;

t — относительный возраст почвы (молодой, зрелый, дряхлый).

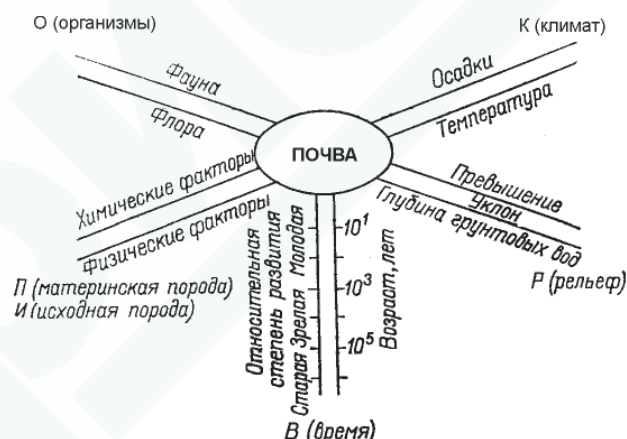


Рис. 3. Диаграмма — «роза» факторов почвообразования (по Вернадскому [7])

Для выяснения происхождения — генезиса почв — необходимо учитывать взаимосвязи рельефа со всеми факторами почвообразования в каждом конкретном случае (рис. 4).

4. Почвы и почвозаразрушающие процессы

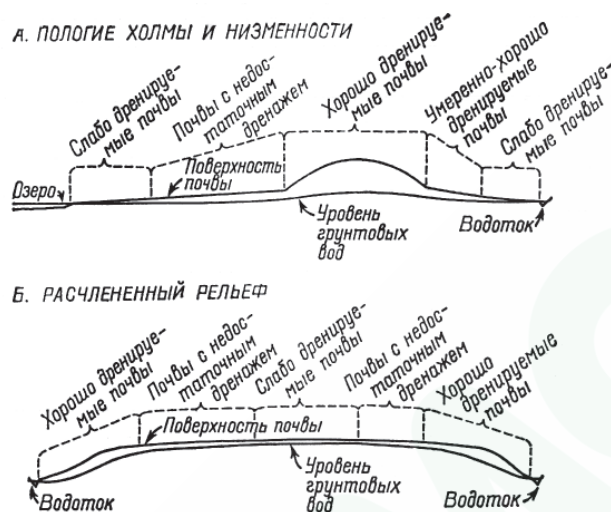


Рис. 4. Схема взаимосвязей почв в рельефе [7]

Основные процессы почвообразования в их современном представлении приведены в табл. 1⁵.

Таблица 1

Основные процессы почвообразования

Процессы		Преобладание одной из категорий явлений*	Краткое определение
1а	Элювирование	3	Вынос материала из части почвенного профиля
1б	Иллювирование	3	Привнос материала в какую-то часть почвенного профиля
2а	Выщелачивание (обеднение)	2	Общий термин, означающий вымывание элювируемого или растворимого материала из деятельной толщи почвы
2б	Обогащение	1	Общий термин для поступления материала в деятельную толщу почвы
3а	Эрозия, поверхностная	2	Снос (вынос) материала с поверхностного слоя почвы
3б	Кумуляция	1	Эоловое или водное накопление минеральных частиц из поверхности деятельной толщи почвы

⁵ По материалам монографии [7].

Оценка экологического состояния почвы

Продолжение табл. 1

Процессы		Преобладание одной из категорий явлений*	Краткое определение
4a	Декальцификация	3	Реакция растворения и выноса CaCO_3 из одного или нескольких почвенных горизонтов
4б	Кальцификация	3	Процессы аккумуляции CaCO_3 в почвенных горизонтах
5a	Засоление	3	Аккумуляция легкорастворимых солей — сульфатов и хлоридов Ca, Mg, Na, и K в почве
5б	Рассоление	3	Вымывание легкорастворимых солей из солевых горизонтов почвы
6a	Осолонцевание	3	Аккумуляция иона натрия в поглощающем комплексе почв
6б	Осолодение	3	Вынос иона натрия в виде легкорастворимых солей из горизонтов почвы
7a	Лессиваж	3	Механическая миграция мелких минеральных частиц из горизонта (A) в горизонт иллювиальный (B)
7б	Педотурбация	3	Биологическое, физическое (циклы — промерзание — оттаивание; увлажнение — иссушение) перемешивание почвенного материала
8a	Подзолообразование	3, 4	Химическая миграция алюминия и железа и (или) органического вещества, приводящая к концентрации кремнезёма в элювиальном слое почвы
8б	Латеритизация (ферралитизация, ферритизация, аллитизация)	3, 4	Химическая миграция кремнезёма за пределы деятельной толщи почвы и концентрация полутвердых окислов в ней (гетит, гиббсит и т.д.) с формированием плотного железистого горизонта
9a	Разложение	4	Распад минеральных и органических веществ
9б	Синтез	4	Образование новых минералов, а также гумусовых веществ
10	Образование подстилки	1	Аккумуляция на поверхности минеральной почвы органических остатков (не- или слабо разложившихся)
11a	Гумификация	4	Трансформация органических остатков в гумус
11б	Торфообразование	4	Иногда рассматривается как геологический, а не как почвообразовательный процесс; аккумуляция мощных (>30 см) толщ органических остатков в форме торфа
11в	Минерализация	4	Высвобождение твёрдых окисленных соединений в результате разложения органического вещества

4. Почвы и почворазрушающие процессы

Окончание табл. 1

Процессы		Преобладание одной из категорий явлений*	Краткое определение
12а	Брунификация Рубефикация Ожелезение	3, 4	Высвобождение железа из первичных минералов и всевозрастающее его диспергирование; прогрессивное окисление или гидратация, придающие почвенной массе соответственно буроватые, красновато-буроватые и красные тона
12б	Оглеение	3, 4	Восстановление железа в анаэробных условиях с застоем воды в почве; развитие голубоватых — к зеленовато-серым — тонов окраски основной массы почвы, иногда с бурыми, желтовато-бурыми и чёрными пятнами, железистыми и марганцевыми конкрециями

* Категории явлений: 1) поступление в почву; 2) вынос из почвы; 3) перемещения в пределах почвы; 4) трансформация материала в почве.

4.2. Нарушения почвы

Антропогенное воздействие на почвы носит прямой и косвенный характер и, как правило, приводит к *нарушениям почвы*, т.е. к изменению состава и свойств почвы как динамической системы, выражающемуся в нарушении равновесных экологических процессов. Практически всегда нарушения почвы являются сложными, имеющими черты как прямого, так и косвенного воздействий. Нарушения почвы могут быть вызваны и природными процессами — пожарами, сезонными климатическими явлениями, вулканическими процессами, стихийными бедствиями и др.

Почвы можно рассматривать как *ненарушенные*, т.е. существующие в естественных природных условиях, и *нарушенные*, т.е. преобразованные и изменённые человеком (главным образом, составляющие сельскохозяйственные угодья, почвы городов, агропромышленных и др. районов).

Почвы Санкт-Петербурга и других городов представляют собой *искусственные образования*, созданные путём постоянной подсыпки смеси естественного материала (глина, песок, торф и т.д.) и антропогенных веществ (переработанные строительные, бытовые, промышленные отходы). Естественные (ненарушенные) почвы сохранились лишь на окраинах городов и в пределах старых лесопарковых участков.

Оценка экологического состояния почвы

По признакам изменений различают следующие основные *типы нарушений* почвы.

1. *Полное уничтожение почвы*, т.е. удаление почвенного слоя, выход на поверхность почвообразующих пород.

2. *Перекрытие почвенного профиля* различными материалами — отходами, дорогами, покрытиями, застройками, затоплением. Только под города и прочие населённые пункты изъято из естественного биосферного процесса около 5% почвенного покрова, и эта величина неуклонно растёт. Подсчитано, что в результате этого процесса ежегодно в мире теряется до 6–7 млн гектаров почв.

3. *Эрозия почв* — разрушение почв и вынос рыхлых компонентов почвенного материала водой и ветром.

Водная эрозия происходит под воздействием поверхностного стока, дождевых и талых вод.

Ветровая эрозия (дефляция) — представляет собой выдувание мелкозёма из верхних почвенных горизонтов, особенно в засушливые периоды, при сильных ветрах. Отсутствие растительности приводит к усилению негативных последствий дефляции.

4. *Механические нарушения* — уплотнение, переувлажнение (подтопление), иссушение, образование плотных корок, пирогенные нарушения (результат пожаров). Механические нарушения обуславливают ухудшение физических (водно-тепловых, воздушных) и химических свойств, замусоривание почв.

5. *Загрязнение почв* — накопление и распространение в них веществ, не связанных с почвообразованием, относящихся к естественным компонентам (соли, закисляющие вещества, нефть и нефтепродукты, некоторые минеральные удобрения и др.), так и загрязнителей — токсикантов (тяжёлые металлы, хлорорганические пестициды, радионуклиды и др.).

В результате загрязнения почв снижается плодородие почвы, а сама почва может стать губительной средой для существующих в ней (и находящихся в контакте с ней) организмов. Загрязнение почв сопровождается распространением загрязнений в другие среды и объекты окружающей среды — живой и косной природы.

По характеру воздействия на объекты окружающей среды выделяют следующие группы нарушений почвы, приведённые в табл. 2.

4. Почвы и почвозаразрушающие процессы

Таблица 2

Основные группы нарушений почвы

Группы нарушений почвы	В чём выражается
1. Сельскохозяйственные: – распашка полей; – размещение пашни у водоёмов; – выпас скота; – применение химикатов и пестицидов; – мелиоративные работы	Эрозия почвы; Химическое загрязнение и зарастание водоёмов, снос питательных веществ в водоёмы; Уплотнение почвы и вытаптывание растительности; Химическое загрязнение почвы, гибель почвенных организмов; Разнообразные нарушения в функционировании экосистем
2. Лесохозяйственные нарушения	Воздействие на почву техники при лесомелиоративных, лесозаготовительных работах. Активная эрозия и падение плодородия на обезлесенных участках
3. Промышленные нарушения	Воздействие на почву выбросов газообразных, жидких и твёрдых веществ, складированных отходов, а также вследствие открытой и закрытой добычи полезных ископаемых
4. Строительные нарушения	Воздействие на почву строительной техники и построенных сооружений, дорог: магистрально-строительные — вдоль линий электропередачи, газопроводов, дорог и т.д.; гидростроительные — на прилегающих к водохранилищам территориях, где существенно изменяется гидрологический режим почв в связи с подтоплением и заболачиванием
5. Транспортные нарушения	Воздействие на почвы наземного транспорта: загрязнение их веществами, содержащимися в выхлопных газах (оксиды азота, сажа, углеводороды, тяжёлые металлы) и механические воздействия (уплотнение, разрушение полей) при движении вне дорог
6. Рекреационные нарушения	Связаны с несоблюдением экологических правил поведения человека в природной среде. Наблюдаются на территориях, интенсивно посещаемых туристами, грибниками, отдыхающими и т.п. Выражаются в воздействии на почву — вытаптывании, пожарах, загрязнении «отходами рекреации», мусором, нефтепродуктами и др.

4.3. Почвозаразрушающие процессы

М.Н. Заславский [18] ввёл понятие о почвозаразрушающих процессах, под которыми понимаются «процессы и явления, снижающие плодородие почв, ухудшающие условия сельскохозяйственного использования земель, увеличивающие эрозионную опасность и её интенсивность, разрушающие почвенный

Оценка экологического состояния почвы

покров». Автор выделил около шестидесяти различных почворазрушающих процессов и провёл их классификацию с позиции возможного воздействия антропогенного фактора на их возникновение и интенсивность проявления. Всего выделено 4 группы процессов, которые приведены в сокращённом виде в табл. 3. Приведённые в таблице сведения могут явиться основой для значительного расширения и углубления представлений о нарушениях почвы, для более глубокого понимания происходящих в почве процессов. Следует отметить различия между нарушениями почвы и почворазрушающими процессами, т.к. нарушение (нарушенность) можно определить как состояние почвы, которое является следствием почворазрушающего процесса.

Таблица 3

Почворазрушающие процессы

Наименование процесса	Основное влияние процессов на почвенный покров
Процессы, проявление которых не может быть предотвращено человеком	
Медленное тектоническое опускание территории	Уменьшает площадь суши за счёт покрытия водой, приводит к заболачиванию земель, а в аридной пустынной зоне — к засолению почв
Медленное тектоническое поднятие территории	Приводит к понижению базиса эрозии, которое может повлиять на увеличение интенсивности роста оврагов
Землетрясения	В определённых геологических и гидрологических условиях вызывают обвалы, оползни, осыпи, карстовые провалы и другие экзогенные процессы, ведущие к разрушению почвенного покрова; образующиеся на поверхности трещины могут служить очагами зарождения оврагов
Извержение вулканов	Приводит к погребению плодородных почв под обломками пород, лавой, вулканическими бомбами и пеплом
Морозобойные трещины	Морозобойные трещины, не закрывшиеся к периоду выпадения ливней, особенно находящиеся в днищах ложбин и балок, где концентрируется поверхностный сток, превращаются в промоины и овраги
Затопление земель приливами во время прохождения тайфунов, цунами	Сносится плодородный слой почвы; почвы погребаются под морскими отложениями и аллювием, развивается катастрофическая эрозия по берегам океанов, морей, дельтовой части рек
Обвалы (неантропогенные)	Разрушают большие земельные площади на склонах и погребают плодородные почвы в балках и долинах
Камнепады	Приводят к погребению плодородных почв подножий склонов, балок и долин
Заболачивание в связи с изменением гидротермических условий	Ведёт к уменьшению площади сельскохозяйственных земель и образованию торфяных почв

4. Почвы и почворазрушающие процессы

Продолжение табл. 3

Наименование процесса	Основное влияние процессов на почвенный покров
Засоление почв (не связанное с орошением)	Снижает плодородие почв, выводит из сельскохозяйственного использования большие земельные площади
Процессы, интенсивность проявления которых в большей или меньшей мере определяется антропогенным фактором	
Снежные лавины	Вызывают повреждение и уничтожение растительного покрова, и этим снижают его почвозащитную способность. Разрушают почвенный покров, создают на склонах корытообразные отрицательные формы рельефа, которые облегчают концентрацию склонового стока и развитие линейных форм эрозии
Оползни	Выводят из использования большие площади сельскохозяйственных угодий, увеличивают эрозионную опасность земель. Оползни облегчают возникновение оврагов, а овраги, в свою очередь, способствуют активизации оползней
Осыпи	Засыпая подножия склонов, балки и долины, погребают плодородные почвы
Сели	Селевые потоки сносят ценные почвы с долин горных рек и вызывают погребение почв в местах аккумуляции селевых потоков
Речная боковая эрозия	Уничтожает почвы. Облегчает дальнейшее разрушение берегов оврагами и оползнями. Речная эрозия способствует увеличению мутности воды в реках, росту русловых наносов
Эрозия почв	Ведёт к смыву почвы и разрушению земель оврагами, активизирует проявление многих других почворазрушающих процессов. Аккумуляция продуктов эрозии ведёт к погребению почв на пониженных элементах рельефа, к отложению наносов в оросительной и дренажной сети, к поступлению наносов в пруды, реки, водохранилища и к другим неблагоприятным последствиям
Дефляция	Вызывает выдувание верхнего слоя почвы, огрубение его механического состава. Дефлированные почвы легче подвергаются эрозии. Продукты дефляции, перемещаемые в приземных слоях воздуха, откладываются у различных механических препятствий на подветренных склонах и в других местах, где ослабляется сила ветра. Под слоем наносов происходит погребение почв и гибель посевов. Продукты дефляции отлагаются в реках, водохранилищах. При пыльных бурях почва переносится на тысячи километров
Переувлажнение сыпучих песков	Ведёт к погребению почв под песчаными наносами, заносу песком мелиоративных сооружений

Оценка экологического состояния почвы

Продолжение табл. 3

Наименование процесса	Основное влияние процессов на почвенный покров
Просадки (усадка сухих пористых пород при их насыщении водой)	Образование просадок бывает связано с увлажнением лесов подпочвенными водами, а в орошаемых районах — при поливах. Просадки создают на поверхности почвы отрицательные формы рельефа. Это ухудшает условия сельскохозяйственного использования земель и увеличивает опасность проявления эрозии. Просадки вызывают деформацию мелиоративных сооружений
Переувлажнение и заболачивание почв	Эти явления часто связаны с подъёмом уровня грунтовых вод в связи с ростом донных насосов в прудах, озёрах, реках, водохранилищах. Они ведут к снижению плодородия почв, к уменьшению площади сельскохозяйственных земель. В определённых условиях вызывают просадки, оползни
Пирогенная деградация почв	В результате лесных пожаров на пересушенных торфяниках почвы прогорают с образованием зольников, которые легко подвергаются водной эрозии, дефляции
Процессы, вызываемые антропогенными факторами	
Депрессионные воронки, образующиеся при оседании поверхности земной коры в результате откачки подземных вод	Создание на поверхности дополнительных уклонов ухудшает условия сельскохозяйственного использования земель
Вторичное засоление почв	В основном возникает на орошаемых землях. Нередко является одним из следствий эрозии и аккумуляции продуктов водной эрозии и дефляции. Приводит к снижению плодородия почв и сокращению площади орошаемых земель. Вызывает необходимость проведения больших мелиоративных работ по рассолению
Пересушка торфяных почв	Одно из негативных последствий осушения торфяных почв. Ускоренная минерализация органического вещества часто ведёт к интенсивному проявлению почвозрушающих процессов и, следовательно, к снижению плодородия почв
Антропогенные процессы	
Загрязнение почв токсическими веществами	Загрязнение почв твёрдыми, жидкими и газообразными токсическими веществами (свинцом, ртутью, кадмием и другими тяжёлыми металлами) приводит к опасной их концентрации в сельскохозяйственной продукции, к отравлению вод при склоновом стоке и смыве почвы
Затопление плодородных почв при наполнении водохранилищ	Выводит из использования большие площади сельскохозяйственных земель. Подъём уровня грунтовых вод приводит к подтоплению прилегающих земель, что может вызвать их заболачивание или засоление

4. Почвы и почвозаражающие процессы

Продолжение табл. 3

Наименование процесса	Основное влияние процессов на почвенный покров
Деградация почвенного покрова при геолого-разведочных работах и эксплуатации месторождений полезных ископаемых	Удаление почвы, погребение почвы под отвалами, проявление различных почвозаражающих процессов при открытых и закрытых разработках — просадок, оползней, обвалов
Деградация почвенного покрова при различных строительных работах и эксплуатации сооружений	Удаление почвенного покрова при строительстве железных и автомобильных дорог, трубопроводов, судоходных каналов и других сооружений. Погребение почв под отвалами и при возведении насыпей
Деградация лесных почв при лесозаготовках	Уничтожение вместе с лесом подлеска, травянистого покрова, подстилки резко увеличивает эрозионную опасность земель
Деградация почв в процессе проведения мелиоративных работ	Удаление в процессе корчевки пней, уборки камней, прокладки канав гумусового слоя почвы, погребение плодородных почв подпочвой при строительстве дренажных магистральных канав и при выполнении других земляных работ ведёт к снижению потенциального плодородия почв
Дорожно-колейная деградация почвенного покрова в тундровой зоне	Этот вид деградации тундровых почв связан с образованием вслед за проходами гусениц вездеходов, тракторов и других наземных транспортных средств глубоких колеи — своеобразных «шрамов» на поверхности тундровых почв, которые при заполнении водой от таяния льда, снега, или от выпадения ливневых осадков быстро перерастают в промоины и овраги
Дегумификация пахотных почв	Наблюдается как последствие многолетнего использования почв без внесения необходимых доз органических и минеральных удобрений, неправильной обработки, отсутствия севооборотов. Снижение содержания в почве гумуса ведёт к падению потенциального плодородия
Переуплотнение почв колёсами тяжёлых машин	Разрушается структура, снижается водопроницаемость почв, ухудшаются условия жизни растений
Смещение пахотного слоя почв со склонов почвообрабатывающими машинами	Снижается плодородие и развивается эрозия почв
Деградация почв при неправильном применении удобрений и пестицидов	Приводит к гибели полезной микрофлоры и мезофауны, снижает плодородие почв, способствует загрязнению вод при склоновом стоке осадков
Отчуждение с полей почвы при уборке картофеля и корнеплодов	Приводит к уменьшению содержания в почве гумуса, к снижению плодородия

Оценка экологического состояния почвы

Окончание табл. 3

Наименование процесса	Основное влияние процессов на почвенный покров
Деградация пастбищных земель при интенсивной нерегулируемой пастбище скота	Ведёт к разрушению дернины, уплотнению и распылению верхнего слоя почвы, образованию скотобойных троп и выбоин. Резко снижается продуктивность земель, увеличивается опасность проявления дефляции

Из табл. 3 видно, что отнесение некоторых процессов в ту или иную группу условно, так как иногда очень сложно оценить роль природных и антропогенных факторов в их проявлении. Табл. 3 может послужить основой для составления подобных региональных материалов с учётом влияния на почвозрушающие процессы разнообразных природных и антропогенных факторов и вызываемых ими последствий.

В разных районах страны влияние различных почвозрушающих процессов на снижение плодородия почв, разрушение земель и ухудшение всей окружающей среды различно. В одних районах главный бич земледелия — вторичное засоление почв, в других — переувлажнение и заболачивание, в третьих — занос почв переувлажнёнными песками, в четвёртых — разрушение земель оползнями, в пятых — проявление различных криогенных процессов и т.д. Поэтому в разных районах страны должны применяться разные меры охраны почв от неблагоприятного воздействия тех или иных почвозрушающих процессов.

Не умаляя важности защиты почв от различных почвозрушающих процессов, выделим те из них, которые наносят наибольший экологический ущерб.

5. Эрозия почв

Почва, как сложный организм, постоянно развивается и изменяется. В ней непрерывно происходят процессы созидания и разрушения. Подсчитано, что для создания слоя почвы в 2–3 см требуется при благоприятных условиях от 200 до 1000 лет. Талые воды, дождь и ветер могут за 20–30 лет уничтожить то, что природой создавалось тысячелетиями.

Эрозия почв — процесс разрушения верхних, наиболее плодородных слоёв почвы водой (водная эрозия) или ветром (дефляция). В ряде мест от эрозии утрачивается больше плодородных земель, чем вновь осваивается. Эрозия привела к полной или частичной, но хозяйственно-значимой потере плодородия более половины всей пашни мира, а ежегодно из-за эрозии выбывает из сельскохозяйственного использования 50–70 тыс. квадратных километров земель.

По характеру проявления эрозионных процессов различают нормальную, или геологическую, и ускоренную, или антропогенную, эрозию.

Нормальная эрозия протекает повсеместно под лесной и травянистой растительностью. Она проявляется очень слабо, и происходящая при этом потеря почвы полностью восстанавливается в течение года благодаря почвообразовательным процессам.

Ускоренная эрозия развивается там, где естественная растительность уничтожена и территория используется без учёта её природных особенностей, в результате чего процесс ускоряется во много раз.

Наибольшее распространение получили следующие виды эрозии почвы: водно-плоскостная (смыв); линейная, или вертикальная (размыв); ветровая (дефляция); ирригационная; промышленная (техногенная); абразия (обрушение берегов водоёмов); пастбищная (разрушение почвы скотом); механическая (разрушение почвы сельскохозяйственной техникой).

Плоскостная эрозия — это смыв верхних горизонтов почвы на склонах при стекании по ним дождевых осадков сплошным потоком или ручейками.

Линейная эрозия вызывается талыми и дождевыми водами, стекающими значительной массой, сконцентрированной в узких пределах участка склона. В результате происходит размыв почвы в глубину, образование глубоких промоин, рывтин, которые постепенно перерастают в овраги. В зависимости от



Рис. 5. Участок поверхности, подверженный плоскостной и линейной эрозии

почвенно-климатических условий рост и формирование оврага идут со скоростью от 1–3 до 8–25 м в год (рис. 5).

В зависимости от степени потери при эрозии верхних горизонтов почвы разделяют на слабо-, средне- и сильноэродированные (эродированные). Чем почвы сильнее эродированы, тем больше они отличаются от своих нормальных аналогов по основным параметрам — химическому, гранулометрическому составу, физико-химическим свойствам, водному, воздушному и тепловому режимам, биогенности.

При ветровой эрозии, или дефляции, происходит выветривание почвы, снос её мелких сухих частиц ветром. Сухие почвы поддаются действию ветра легче, чем влажные, поэтому ветровая эрозия чаще всего наблюдается в засушливых районах. В таких условиях рыхлые, лёгкие, а также карбонатные почвы легко развеиваются даже при слабых ветрах.

Повседневная дефляция проявляется в виде позёмок и смерчей (столбов пыли). При позёмке мелкие частицы почвы поднимаются ветром, а более крупные перекатываются по поверхности. На пути движения они повреждают всходы сельскохозяйственных культур.

При сильных ветрах возникают пыльные бури. Они на своём пути частично или полностью уничтожают посевы на больших пространствах, безвозвратно сносят верхний, самый плодородный, слой почвы. Кроме того, пыльные бури загрязняют воду, воздух и отрицательно влияют на здоровье человека, домашних и диких животных.

Зимнее выдувание почвы («чёрные зимы») наблюдается при сильных ветрах, когда вместе со снегом с полей уносятся верхние, плодородные, слои почвы, а иногда и растения озимых культур.

Ирригационная эрозия часто наблюдается в районах орошаемого земледелия. Она проявляется даже при небольших уклонах при значительной вели-

5. Эрозия почв

чине поливной струи. При этом вымывается гумус и доступные для растений элементы питания, в целом снижается плодородие почвы.

Промышленная эрозия возникает в результате разработок полезных ископаемых, особенно открытым способом, строительства жилых и производственных зданий, прокладки дорожных магистралей, газо- и нефтепроводов.

При эрозии, называемой *абразией* (обрушение берегов рек и других водоёмов), сокращается площадь пашни и пастбищ, заиляются водоёмы.

В связи с перегрузкой пастбищ скотом значительные площади подвергаются *пастбищной* (тропочной) эрозии. В хозяйствах следует строго регулировать выпас скота с учётом поголовья, вида животных и стравленности пастбищ.

Механическая эрозия может возникнуть при широком использовании сверхтяжёлых тракторов и другой техники без учёта возможного предела ежегодного самовосстановления почвы применительно к каждой природной зоне. При этом разрушается структура почвы, ухудшаются её водно-физические свойства и биологическая активность.

При эрозии в почвах происходят следующие изменения, приведённые в табл. 4.

Таблица 4

Изменения, происходящие в почвах при эрозии

Изменяющаяся характеристика	В чём выражается
1. Химический состав	Снижение содержания фосфора, калия, кальция, микроэлементов; Увеличение содержания карбонатов и щёлочности
2. Физические свойства	Уменьшение содержания мелких фракций и, как следствие, снижение и ухудшение водного режима почв Увеличение объёмной массы и плотности
3. Состав и численность почвенных организмов	Уменьшение численности мезофауны и микрофлоры Снижение биологической активности почвы
4. Стадии развития растений и урожайность	Отставание в фазах развития и в росте Снижение урожайности и качества культур

Эрозия — враг плодородия. Подсчитано, что каждую минуту на земном шаре выходит из сельскохозяйственного оборота 44 га земель. От эрозии человечество каждый день безвозвратно теряет более 3000 га, а всего уже потеряло свыше 50 млн гектаров плодородных земель. От смыва, размыва и выдувания почв урожаи всех сельскохозяйственных культур в среднем снижаются на 20–40%. Урон, наносимый эрозией, этим не исчерпывается. Образование на поверхности почвы промоин, ложбин и оврагов затрудняет обработку земель

Оценка экологического состояния почвы

и снижает производительность почвообрабатывающей и уборочной техники. Эрозия почвы, а следовательно, разрушение мест обитания растений и животных в биогеоценозах приводит к нарушению сложившегося биологического равновесия в природных комплексах.

В результате смыва и размыва почв заиляются водоёмы, мелеют реки, засоряется оросительная сеть. Потери несут также рыбное хозяйство, транспорт, энергохозяйство. Ущерб сельскому хозяйству от засухи, болезней и т.д. значительно меньше, чем от эрозии почвы.

6. Загрязнение почв

6.1. Основные понятия и термины химического загрязнения почвы⁶

Химическим загрязнением почвы считается изменение химического состава почвы в результате антропогенной деятельности, способное вызвать ухудшение её качества. Соответственно, загрязнённость почвы химическим веществом — величина, характеризующая степень изменения химического состава почвы. Загрязняющее почву химическое вещество, которое подлежит наблюдению в первую очередь, называется приоритетным. Изменение химического состава обусловлено не только появлением новых химических веществ, которых нет в незагрязнённой природной почве, но и увеличением содержания веществ, характерных для состава этой незагрязнённой природной почвы.

Источники химического загрязнения почвы подразделяются специалистами на промышленные (обусловленные деятельностью промышленных и энергетических предприятий), транспортные (обусловленные эксплуатацией транспортных средств), сельскохозяйственные (обусловленные сельскохозяйственным производством) и хозяйственно-бытовые (обусловленные хозяйственно-бытовой деятельностью человека).

Различают несколько видов химического загрязнения почвы — глобальное, региональное и локальное. Химическое загрязнение почвы считается глобальным, если оно возникает вследствие дальнего переноса загрязняющего вещества в атмосфере на расстоянии, превышающем тысячу километров от любых источников загрязнения. Региональное химическое загрязнение почвы возникает вследствие переноса в атмосфере загрязняющего вещества на расстоянии более 40 км от техногенных и более 10 км от сельскохозяйственных источников загрязнения. Локальное химическое загрязнение почвы возникает на ограниченных территориях, вблизи одного или совокупности нескольких точечных источников загрязнения почвы — свалок, ферм, складов химических веществ и др. Наконец, при обобщённом рассмотрении выделяют общие

⁶ Материал приведён на основе ГОСТ 17.4.1.03-84 «Охрана природы. Термины и определения химического загрязнения».

Оценка экологического состояния почвы

загрязнения почвы, распространённые на большие территории и вызванные выбросами от разнообразных источников, в том числе от применения химических средств защиты растений, органических и неорганических удобрений, орошения сточными водами.

Проверка соответствия химического загрязнения почвы установленным нормам и требованиям с определением фактических уровней загрязнения, проводимая разово или нерегулярно, считается контролем химического загрязнения почвы. Если же контроль проводится регулярно, имеет место система регулярных наблюдений с оценкой фактических и прогнозируемых уровней загрязнения, последствий от загрязнения и проводится выявление источников загрязнённости почвы, то такие мероприятия считаются мониторингом химического загрязнения почвы.

Основными количественными показателями химического загрязнения почвы являются поверхностная плотность загрязнения (масса загрязняющего почву химического вещества в слое заданной глубины, отнесённая к единице поверхности почвы), и массовая доля загрязняющего почву химического вещества (отношение массы загрязняющего почву химического вещества к общей массе воздушно-сухой и (или) абсолютно сухой пробы почвы)⁷.

Допустимое содержание загрязняющего почву химического вещества характеризуют двумя величинами:

- предельно допустимое количество (ПДК) (не концентрация!) — максимальная массовая доля загрязняющего почву химического вещества, не вызывающая прямого или косвенного влияния, включая отдельные последствия на окружающую среду и здоровье человека;
- ориентировочно-допустимое количество загрязняющего почву химического вещества (ОДК) — предельно-допустимое количество загрязняющего почву химического вещества, определённое расчётными методами.

Характеризуя взаимодействие почвы и загрязняющих химических веществ, рассматривают несколько процессов.

Самоочищение почвы — уменьшение количества загрязняющего почву химического вещества в результате протекающих в почве процессов миграции, превращения, разложения. Считается, что при самоочищении происходит уменьшение массовой доли загрязняющего почву химического вещества на 96% от первоначального значения или до его фонового содержания.

Загрязняющие почву химические вещества способны к *миграции*, т.е. горизонтальному и (или) вертикальному перемещению в почве и (или) из неё

⁷ По ГОСТ 17.4.1.03-84 термин «концентрация» применительно к оценке уровня химического загрязнения почвы не используется.

6. Загрязнение почв

в другие объекты природной среды (растения, атмосферу, природные воды и др.) и обратно. Разновидностью миграции является *транслокация*, или переход загрязняющего почву химического вещества в растения. Находящиеся в почве загрязняющие химические вещества под воздействием различных факторов могут претерпевать превращение, т.е. изменение состава, состояния или структуры его молекул. Превращение характерно для большинства загрязняющих почву химических веществ. Превращение химического вещества в почве с образованием веществ, не относимых к загрязнителям, называется *разложением*. Разложение может иметь как химическую, так и биологическую природу (под воздействием микроорганизмов). Рассматривают также *детоксикацию* загрязняющего почву химического вещества, или его превращение в нетоксичные продукты разложения.

По отношению к загрязняющим веществам почва обладает защитной способностью, т.е. способностью к существенному снижению токсичности вещества, вплоть до его превращения в нетоксичные для организма вещества (детоксикация).

По степени опасности химические вещества подразделяются на три класса согласно табл. 5 (ГОСТ 17.4.1.02-83).

Таблица 5

Классификация химических веществ для контроля загрязнений при санитарно-химическом исследовании почв

Класс опасности	Степень опасности*	Вещества
1	Высокоопасные	As, Cd, Hg, Se, Pb, Zn, F, бензпирен, некоторые пестициды
2	Умеренно опасные	B, Co, Ni, Mo, Cu, Sb, Cr, некоторые пестициды
3	Малоопасные	Ba, V, W, Mn, Sr, ацетофенон, некоторые пестициды

* По влиянию на пищевую ценность сельскохозяйственной продукции вследствие транслокации.

Подробные сведения о градации химических веществ по степени возможного отрицательного воздействия на почву, растения, животных и человека изложены в ГОСТ 17.4.1.02-83.

6.2. Фоновое содержание элементов и загрязнение почв

При оценке экологического состояния почв очень важным представляется оценка содержания в почве как естественных элементов и соединений, так и соединений-ксенобиотиков. Оценка загрязнённости почв проводится путём сравнения (сопоставления) содержания загрязняющих элементов и веществ в изучаемых почвах с их фоновым содержанием с одной стороны, и с другой — с их предельно-допустимым количеством (ПДК). При этом под фоновым чаще всего понимают содержание химических элементов и веществ в почвах, достаточно удалённых от источников загрязнения, т.е. удалённых настолько, что трудно предположить изменения, обусловленные антропогенным влиянием. ГОСТ 17.4.1.03-84 определяет фоновое содержание химического вещества в почве как *содержание того же вещества в почве, соответствующее её природному химическому составу*.

При разработке ПДК химических веществ для почв возникает много трудностей. Эти работы исторически были начаты позже, чем разработка ПДК для других сред. Не случайно в настоящее время установлены ПДК всего лишь немногим более сотни веществ⁸, по которым контролируется качество почв. Принципы нормирования химических веществ в почвах тоже отличаются от таковых для водоёмов, атмосферного воздуха, пищевых продуктов. Это связано, главным образом, с тем, что в основе норматива ПДК для почвы положено опосредованное её воздействие на организм человека через продукты питания.

Прямое поступление вредных веществ из почвы в организм человека ограничено и чаще всего происходит через другие среды, сопредельные с почвой. Так, поступление загрязняющих веществ в организм человека происходит по путям: почва–растение–человек, почва–растение–животное–человек, почва–вода–человек, почва–атмосферный воздух–человек. Вместе с тем, вопрос оценки загрязнённости почв на основе сопоставления с фоновым содержанием весьма непрост по нескольким причинам.

Во-первых, опасные химические элементы, загрязняющие почвы — токсиканты (Hg, Cd, Pb, As, Se и др.) и микроэлементы (Mo, Mn, Cu, Co, Sr, Ba, Zn, Ni и др.), поступают из естественных и антропогенных источников, а задачи оценки загрязнённости требуют учёта доли влияния лишь антропогенной составляющей.

Во-вторых, указанные элементы являются природными компонентами почв, содержание которых обусловлено составом почвообразующих пород и

⁸ В справочной литературе содержатся сведения о ПДК более чем 5000 веществ в воздухе и более чем 1200 веществ в воде.

6. Загрязнение почв

характером почвообразовательных процессов, причём их содержание в пахотном слое в большей степени обусловлено характером пород, чем чисто почвенными факторами (типом почв). На уровень содержания микроэлементов оказывает влияние также механический состав почв. Особенно это важно для Северо-Запада РФ, где, благодаря активной деятельности ледников, четвертичные отложения в значительной степени представляют собой механическую смесь материала, поступившего из разных местностей без существенной химической переработки. Среднее содержание микроэлементов по Северо-Западу РФ (региональный фон) приведён в табл. 6.

Таблица 6

Региональный фон содержания микроэлементов в почвах Северо-Запада Российской Федерации

Элемент	Mo	Cu	Zn	Ni	Co	B	Pb	Mn	Sr	Ba
Среднее содержание элемента в почве, мг/кг	1,5	41	76	17	10	33	18	675	156	243

Почвенный покров Северо-Западного региона РФ заметно богаче цинком, кобальтом, медью, бором и беднее молибденом по сравнению с почвами других регионов Русской равнины.

В-третьих, в связи с непрерывно продолжающимся поступлением химических элементов в почвы в силу антропогенных процессов, вопрос их фоновое содержания можно рассматривать лишь условно, понимая под этим суммарный фон, имеющий природную и антропогенную составляющую.

Именно поэтому при оценке уровня содержания элементов в почве и загрязнённости почв вообще пользуются понятием *контрастности*, понимая под этим отношение фактического содержания элемента к фоновому.

Мерой загрязнённости почвы каким-либо элементом является коэффициент контрастности⁹ (K_c):

$$K_c = \frac{C_{\text{факт}}}{C_{\text{фон}}},$$

где $C_{\text{факт}}$ и $C_{\text{фон}}$ — фактическое (измеренное) и фоновое содержание элемента, соответственно, мг/кг.

Для оценки загрязнения почв несколькими химическими веществами рассчитывают также суммарный показатель загрязнения (Z_c), который равен сумме

⁹ При гигиенической оценке почв населённых пунктов данный показатель принято называть коэффициентом концентрации (см. п. 7. 6. 5).

Оценка экологического состояния почвы

коэффициентов контрастности (концентрации) по каждому (*i*-тому) химическому элементу и выражается следующей формулой:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_{Ci} - (n - 1),$$

где *n* — число химических веществ, по которым оценивается загрязнение.

Таким образом, оценка загрязнённости почв возможна лишь при комплексном понимании возможных (или, по крайней мере, основных) видов загрязнений почвы, путей поступления загрязняющих веществ и способов миграции химических элементов в почвах.

Различают прямое и косвенное загрязнение почв. К *прямым* загрязнениям относят загрязнения:

- отходами промышленных производств, свалками, очистными шламами, а также отдельными, особо опасными, образцами бытовых или промышленных отходов — например, отработанными аккумуляторами, батарейками и др.;
- пестицидами и химикатами в результате широкого, недостаточно контролируемого и экологически необоснованного их применения в сельском хозяйстве;
- различными токсичными продуктами в результате аварий на транспорте.

К *косвенным* относят загрязнения, обусловленные переносом загрязнений из других сред в почву, в частности:

- с атмосферными выпадениями и осадками в почву попадают тяжёлые металлы, кислотные (щелочные) агенты и др., содержащиеся в воздухе в растворённом или взвешенном состоянии;
- с талыми, поверхностными и грунтовыми водами в почву попадают и разносятся загрязнения, содержащиеся на поверхности территорий техногенных зон, селитебной застройки, автодорог (главным образом, водорастворимые загрязнения).

В приложении 1 приведены данные о загрязнении почв Ленинградской области, характеризующие масштабы загрязнений, а также специфику рассмотрения данного вопроса применительно к большому участку территории Российской Федерации.

6.3. Загрязнение почв тяжёлыми металлами

В состав находящихся в почве минералов входят все стабильные и долгоживущие элементы периодической системы (кроме инертных газов). Можно привести примеры минералов, содержащих тяжёлые металлы и другие токсичные элементы: кобальтин CoAsS ; сфалерит $(\text{Zn}_{0,7} \text{Fe}_{0,15} \text{Mn}_{0,10} \text{Cd}_{0,03} \text{In}_{0,02})\text{S}$ и др. К природным соединениям относятся также ванадаты, молибдаты, бериллосиликаты, вольфраматы и др. Тяжёлые металлы в силу их естественного содержания в почве вносят основной вклад в фоновый состав микроэлементов (см. табл. 6).

Основным источником загрязнения почв тяжёлыми металлами является сжигание ископаемого топлива. Ежегодно сгорает 5 млрд тонн горючих ископаемых (за всю историю человечества, по оценкам специалистов, сожжено 130 млрд тонн угля и 40 млрд тонн нефти). В золе угля и нефти содержатся практически все металлы в суммарной концентрации до 500 г на тонну топлива. Вместе с золой на поверхность земли (в почву) поступили миллионы тонн тяжёлых металлов. Значительная их часть аккумулирована в верхних горизонтах почвы. В этом существенность аэральнo-техногенного характера поступления тяжёлых элементов в почву.

Заметную роль в формировании почвенного антропогенного фона играют и другие пути попадания тяжёлых металлов в почву. Например, ежегодно от выхлопных газов автомобильных двигателей, работающих на этилированном бензине, выбрасывается на поверхность почв более 250 тыс. тонн свинца в год. Выбросы в атмосферу только от ремонтных предприятий железных дорог в виде пыли, оседающей на почву (в основном это оксиды металлов), составляет 380 тыс. тонн в год (по бывшему СССР). Тормозные колодки поездов, истираясь, также вносят в почвы вблизи железных дорог ещё 200 тыс. тонн металлов в год. Таким образом происходит неуклонное увеличение масштабов загрязнения почвы тяжёлыми металлами. При этом наиболее опасно накопление в почве металлов с выраженным характером токсикантов — ртути, свинца, кадмия.

Загрязнения почвенного покрова пылевыми и дымовыми выбросами могут содержать не только различные металлы в свободном и связанном видах, но и соединения фтора, хлора, фосфора, окислы азота и др. Радиус зоны загрязнения может составлять 12–30 км вокруг источника (например, промышленного предприятия) и более. Среднее содержание тяжёлых металлов в этой зоне обычно в 10 и более раз выше фоновых значений.

Пагубное воздействие содержащихся в промышленных газовых выбросах тяжёлых металлов может значительно усиливаться за счёт влияния других вредных компонентов выбросов. Весьма опасными в этом отношении являются дымовые выбросы алюминиевых, керамических и некоторых других предприятий, содержащие значительные количества фторидов водорода и кремния,

Оценка экологического состояния почвы

а также некоторых других соединений фтора. Особенно большие концентрации в атмосфере промышленных выбросов могут приводить к полному уничтожению растительного покрова — к образованию антропогенных пустошей. В большинстве случаев наблюдается значительное изменение растительного покрова, изменение его видового состава, появление травянистой растительности, более стойкой к токсикантам.

Самоочищение почвы от тяжёлых металлов происходит крайне медленно. Зоны загрязнения почвы тяжёлыми металлами, как правило, соответствуют расположению основных промышленных районов и крупных предприятий, свалок. Обычно загрязнение тяжёлыми металлами отмечается ассоциациями (принцип *сонахождения*), структура которых характерна для данной местности. В Санкт-Петербурге наиболее распространёнными элементами в ассоциациях являются Sn, Pb, W, Cr, Bi (а в среднем по России — Pb, Cd, Hg, Ni).

Поведение тяжёлых металлов в почве зависит от её окислительно-восстановительных условий и кислотности. Миграционная способность Cu, Ni, Co, Zn в восстановительной среде снижается на 1–2 порядка по сравнению с окислительной. В кислой среде большинство металлов более подвижны. Наиболее неблагоприятные условия в этой связи складываются в подзолистых и дерново-подзолистых почвах, имеющих неблагоприятные физические и химические свойства из-за повышенной кислотности и содержания в почвенном растворе (почвенно-поглощающем комплексе) ионов алюминия (Al^{3+}). Указанные условия способствуют переходу металлов в биологические ткани, повышенной миграции тяжёлых элементов, ухудшению жизнедеятельности нитрифицирующих и азотфиксирующих бактерий, часто вызывают снижение плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур.

В песчаных, хорошо промываемых почвах, тяжёлые металлы мигрируют в грунтовые воды и быстро разносятся ими. Почвы же, богатые глинами и гумусом, обладают способностью накапливать тяжёлые элементы. При этом глинистые компоненты адсорбируют их, а гуминовые кислоты образуют с этими элементами растворимые комплексные соединения, легко усваиваемые растениями. Способность тяжёлых металлов взаимодействовать с гуминовыми кислотами, образуя гуматы или комплексные соединения, является характерной особенностью современной геохимической обстановки. Последние являются более прочными соединениями. По прочности хелатной связи в комплексных соединениях тяжёлые металлы распределяются следующим образом: $Zn > Cu > Mn > Mo$.

Установлено, что потоку тяжёлых элементов — загрязнителей почвы противостоит буферность почв, создающая большую инерционность в отрицательных изменениях в составе и свойствах почвы.

6. Загрязнение почв

По степени дисперсности тяжёлые металлы в почвах находятся в трёх формах: истинно растворимой, коллоидной и в форме взвеси, т.е. имеют генетически различную химическую природу. В связи с аэралью-техногенным характером происхождения основной части микроэлементов (т.е. обусловленным привнесением в почву через воздушные пылевые загрязнения — см. выше), их содержание в верхних горизонтах почвы в растворённой форме может превышать концентрацию в природных почвенных водах в 10–100 раз. Средние величины распределения для меди и цинка по трём указанным формам их нахождения (точнее — сонахождения) приведены в табл. 7.

Таблица 7

**Средние величины распределения
некоторых тяжёлых металлов по формам сонахождения**

Металлы	Формы нахождения элемента (%)		
	Истинно растворимая	Коллоидная	Взвесь
Cu	39	10	41
Zn	92	2	6

Ртуть, свинец, кадмий и некоторые другие тяжёлые металлы хорошо сорбируются в верхних слоях (толщиной несколько сантиметров) перегнойно-аккумулятивного (гумусового) горизонта различных типов почв суглинистого состава. Миграция их по профилю и вынос за пределы почвенного профиля незначительны. Однако в почвах лёгкого состава, кислых и обеднённых гумусом, процессы миграции этих элементов усиливаются. Цинк и медь менее токсичны, но более подвижны, чем свинец и кадмий. Миграционную способность элементов уменьшает повышенное содержание органического вещества и утяжеление гранулометрического состава почв.

Существует зависимость между содержанием подвижных форм тяжёлых металлов в почвах и их концентрациями в тканях растений. Вместе с тем, химический состав растений обладает упорядоченностью и стабильностью, сопротивляясь изменениям. Функцию защиты выполняют, прежде всего, клеточные мембраны, а также некоторые механизмы, регулирующие элементный состав растительной ткани. Поэтому некоторые авторы (Ильин В.Б., Степанова М.Д.) оценку загрязнённости почв предлагают проводить по следующим показателям, которые рассчитываются относительно контрольных и исследуемых почв и растений [22]:

- 1) накоплению элементов в почве (т.е. по уровню их абсолютного содержания);
- 2) количеству подвижной формы элемента, которая рассматривается как активная форма загрязнения;

Оценка экологического состояния почвы

3) общему и внутритканевому загрязнению растений, т.е. превышению содержания элемента в тканях растения по сравнению с растением, произросшем на чистой местности.

Тяжёлые металлы оказывают выраженное токсическое действие на микробный состав почв. В частности, наибольшее токсическое влияние на микроорганизмы оказывает кадмий, затем следуют цинк и свинец. Наибольшими защитными свойствами в этом отношении обладает чернозём, меньшими — торфяники, самыми слабыми — дерново-подзолистые почвы. Так, в контрольном эксперименте было показано, что при внесении в почву кадмия в концентрации 100 мг/кг суммарное содержание микроорганизмов снизилось в неокультуренной дерново-подзолистой почве в 5,5 раза, в такой же окультуренной — в 1,5 раза¹⁰. В почвах разных типов уровень токсичности тяжёлых металлов может отличаться в десятки и более раз. К примеру, установлено, что кадмий на целинных почвах оказывает угнетающее действие при его содержании начиная с 5 мг/кг, а на окультуренных — с 50 мг/кг.

Таким образом, загрязнение почв тяжёлыми металлами является важной составной частью широкомасштабного комплексного промышленного и сельскохозяйственного загрязнения окружающей среды.

6.4. Загрязнение почв нефтепродуктами

К нефтепродуктам, являющимся товарной продукцией нефтеперерабатывающих заводов, относятся сырая нефть и продукты её переработки. К последним относятся нефтяное, дизельное и карбюраторное топливо (мазут, керосины, бензины), растворители (осветительные керосины, уайт-спирит, и др.), нефтяные битумы, асфальтены и др.

Загрязнение почв нефтепродуктами происходит, главным образом, в результате потерь при транспортировании и авариях (при добыче, хранении, переработке и др.). Например, потери нефтепродуктов только при транспортировании (без учёта аварий) составляют около 9 млн тонн в год.

Нефтепродукты сильно отличаются по своим свойствам — по летучести, вязкости, растворимости в воде, способности впитываться в пористые мате-

¹⁰ Токсическое действие на микрофлору, почвенных животных и растительность оказывает также фтор, попадающий в почву в основном аэральнo-техногенным путём, в виде фторидов — солей фтористоводородной (плавиковой) кислоты. Адсорбция фтора происходит в почвах с хорошо развитым поглощающим комплексом. Растворимые соединения фтора легко перемещаются по почвенному профилю и могут попадать в грунтовые воды.

риалы (почву). При попадании в почву нефтепродукты распределяются иначе, чем, например, в водной среде. Если при попадании в воду нефтепродукты стремятся к образованию тонкой плёнки, обеднению летучими фракциями и далее к образованию эмульсий, то в почве они проникают вглубь от поверхности, а обеднение легколетучими фракциями углеводородов происходит в значительно меньшей степени. Нефтепродукты впитываются почвой (особенно хорошо — сухой почвой) за счёт капиллярных сил и могут удерживаться в таком состоянии длительное время, полностью лишая почву плодородия, превращая её в насыщенную нефтепродуктом губку. При достаточно больших объёмах пролитых нефтепродуктов образуется своеобразное поверхностное месторождение, из которого нефтепродукты проникают в грунтовые и поверхностные воды. При этом территория надолго выводится из хозяйственного использования, а на местности создаётся сильная пожароопасность.

Следует отметить также свойство природной среды самоочищаться от нефтепродуктов за счёт их биохимического окисления бактериями, содержащимися в почве, почвенном растворе и природной воде. Самоочищение происходит, в основном, за счёт переработки нефтепродуктов, содержащихся в растворённом виде в воде или почвенном растворе. Процесс биохимического окисления протекает с поглощением кислорода, поэтому самоочищение почвы от нефтепродуктов протекает только в тонком поверхностном слое, достаточно насыщенном кислородом. Скорость такого процесса зависит, главным образом, от температуры и концентрации кислорода в растворе. Если в летнее время очистка воды водоёмов (и почвенных растворов) от растворённых нефтепродуктов протекает довольно интенсивно, то весной и осенью она резко замедляется, а зимой (в особенности под снегом и льдом) практически не происходит. Таким образом, в отличие от водоёмов, почва в значительно меньшей степени способна к самоочищению. Поэтому в случаях обширных загрязнений почвы нефтепродуктами часто единственным способом восстановления ресурсного потенциала территории является механическое удаление — замена загрязнённой почвы на привезённую незагрязнённую¹¹.

¹¹ В настоящее время существуют технологии, позволяющие извлекать из почвы нефтепродукты для их дальнейшего хозяйственного использования.

6.5. Закисление почв и кислотность

Кислотность почвы — важнейший экологический фактор, определяющий условия жизнедеятельности почвенных организмов и высших растений, а также подвижность загрязнителей в почве (в первую очередь, металлов). Изменение кислотности почвы в результате поступления в почву загрязняющих химических веществ в сторону уменьшения pH называется *подкислением* почвы, а в сторону увеличения pH — *подщелачиванием* почвы (ГОСТ 17.4.1.03-84), при этом подразумевается прежде всего техногенное происхождение загрязняющих веществ. Вместе с тем, изменение кислотности почвы может иметь как техногенный, так и естественный характер, поэтому процесс приобретения почвой повышенной кислотности часто называют также закислением. Выделяют следующие основные причины закисления почв.

1. Выделение (выдыхание) микроорганизмами и корнями растений углекислого газа, при растворении которого в воде образуется угольная кислота.
2. Образование некоторых форм гумуса, имеющих повышенную кислотность. Это может происходить при переработке трудно разлагаемого органического вещества — например, хвойной подстилки.
3. Всасывание растениями с почвенной влагой катионов щелочных и щёлочноземельных металлов (калия, натрия, кальция, магния), приводящее к обогащению почвенного раствора кислотными компонентами.
4. Внесение кислотообразующих удобрений. К таким удобрениям относятся, прежде всего, аммиачные удобрения на основе мочевины, преобразование которой в нитратную форму, усвояемую растениями, сопровождается образованием азотной кислоты.
5. Кислотные осадки, при которых в почву с дождевой водой попадают серная, азотная и сернистая кислоты (pH кислотного дождя может достигать 2–3 единиц). Обычный (некислотный) дождь содержит также угольную кислоту за счёт растворения углекислого газа и всегда имеет некоторую кислотность (pH около 5,5–6). Кислотность дождей может значительно возрасти в случае промышленных выбросов в атмосферу, содержащих щелочные компоненты. Например, при работе тепловых электростанций, использующих горючие сланцы, в воздух выбрасываются огромные массы газов, хоть и прошедших очистку, но содержащих мелкодисперсный аэрозоль щелочного оксида кальция. В подобных ситуациях можно говорить уже о щелочных (или кислотно-щелочных) дождях, причём pH таких дождей будет обусловлен объёмом и составом газовых выбросов, интенсивностью дождя и др.

При закислении почвы угнетается рост и развитие многих сельскохозяйственных культур, подавляется жизнедеятельность микроорганизмов.

6. Загрязнение почв

Защелчение почвы приводит к увеличению подвижности многих элементов, в первую очередь, тяжёлых металлов. Особая роль в этом процессе принадлежит алюминию, содержание которого в почве и в почвообразующих породах в формах, не обладающих подвижностью, высоко.

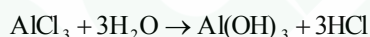
Различают обменную и гидролитическую кислотность почвы. Обменная кислотность обусловлена присутствием способных к обмену ионов H^+ и Al^{3+} в почвенно-поглощающем комплексе (ППК), которые высвобождаются путём обменных реакций при взаимодействии ППК с раствором нейтральной соли¹² (обычно используют раствор хлорида калия с концентрацией 1 моль/л). Ионы H^+ образуются по схеме:



В присутствии алюминия в почвенно-поглощающем комплексе протекает обменная реакция, сопровождающаяся высвобождением катионов алюминия, что приводит к ещё большему защелчению среды:



Катион алюминия претерпевает кислотный гидролиз с образованием катионов водорода:



Количество выделяющихся ионов водорода и алюминия может быть определено методом титрования раствором щёлочи с известной концентрацией, причём существующие методы позволяют определять величину потребления щёлочи, обусловленную отдельно ионами водорода и отдельно — ионами алюминия. Таким образом, обменная кислотность почвы измеряется количеством раствора щёлочи, израсходованного на титрование высвободившегося количества ионов водорода и алюминия. Мерой обменной кислотности почвы обычно считают pH солевой почвенной вытяжки, приготовленной в стандартных условиях (1,0 моль/л хлорида калия — KCl).

В зависимости от величины pH солевой вытяжки различают следующие степени кислотности почвы (табл. 8).

¹² Вытеснение кислотных соединений из ППК может происходить только при условии обмена катионов H^+ и Al^{3+} на имеющиеся в растворе в большом избытке. При взаимодействии почвы с водой в раствор также могут переходить содержащиеся в почве кислотные соединения, однако в этом случае речь может идти лишь о соединениях в свободном виде, не связанном в ППК.

Степени кислотности почв

рН солевой вытяжки ($\pm 0,5$ ед. рН)	Оценка кислотности почвы	Встречаемость
4 и менее	Сильнокислая	Редко встречается в природных условиях. Может свидетельствовать о кислотном загрязнении почвы
5	Кислая	Сложившиеся подзолистые, болотные почвы
6	Слабокислая	Формирующиеся подзолистые и болотные почвы, некоторые чернозёмы
7	Нейтральная	Чернозёмы
8–9	Щелочная	Солонцеватые почвы. Может свидетельствовать о щелочном загрязнении почвы

Помимо обменной кислотности почве свойственна также гидролитическая кислотность, которая обусловлена вытеснением в почвенный раствор дополнительного количества водородных ионов при взаимодействии с растворами гидролитически щелочных солей или щелочей. Например, при взаимодействии почвенно-поглощающего комплекса с раствором ацетата натрия образуется уксусная кислота:



Гидролитическая кислотность (при отсутствии обменной) не вредна для почвы, но её нужно учитывать при решении хозяйственных вопросов — например, определении необходимости известкования или иной обработки почвы.

При высокой кислотности почвы для оптимального её использования в сельскохозяйственном производстве необходимо проводить известкование. Известкование является приёмом химической мелиорации почв и проводится в тех случаях, когда почва имеет избыточную кислотность по сравнению с оптимальной для выращиваемых культур. При пониженной кислотности, т.е. при защелачивании почвы, применяют другой метод химической мелиорации — гипсование.

При экстремально высокой кислотности, вызванной кислотным загрязнением, почва не может быть восстановлена естественным образом или путём известкования. В таких случаях почву механически удаляют и заменяют качественной, привезённой из других мест.

Следует отметить, что наряду с закислением может происходить и техногенное подщелачивание почв. Оно происходит при поступлении щелочных, щёлочноземельных и тяжёлых металлов с выбросами металлургических заводов;

аммиака — с выбросами комбинатов по производству удобрений; щелочного аэрозоля — оксида кальция — с выбросами работающих на горючих сланцах теплоэлектростанций и др. Масштабы этих процессов значительно меньше, чем процессов закисления, и негативные последствия не столь значительны. Однако и в этом случае может аномально возрастать содержание в почве тех или иных компонентов, приводящее к нарушению необходимых пропорций в элементах питания. Повышенная щёлочность почв неблагоприятна для многих сельскохозяйственных растений. Кроме того, в условиях щелочных почв резко возрастает подвижность органического вещества, что приводит к обеднению почв гумусом.

6.6. Засоление почв

Засолённость почвы обусловлена повышенным содержанием в ней легкорастворимых минеральных солей, что, как правило, создаёт неблагоприятные условия для развития и роста растений. Сильнозасолённые почвы обычно непригодны для выращивания сельскохозяйственных культур. У растений, произрастающих на таких почвах, задерживаются набухание семян, цветение, рост и снижается урожайность. При больших концентрациях солей наступает гибель растений.

Засолённые почвы (солонцы, солончаки) распространены, в основном, в степной и пустынно-степной областях, в зонах каштановых, серозёмных и чернозёмных почв. Основной признак засоленных (солонцеватых) почв — присутствие в почвенном растворе (точнее — в почвенно-поглощающем комплексе) значительного количества катионов натрия. Соответствующими анионами являются, в основном, хлорид, сульфат, гидрокарбонат и карбонат, причём наиболее отрицательно влияют на качество почвы гидрокарбонаты и особенно карбонаты как наиболее щелочные компоненты. В зависимости от вклада различных анионов в солесодержание почвенного раствора различают хлоридное, хлоридно-сульфатное, содовое и смешанное засоление.

Засоление почв может происходить в силу естественных и антропогенных процессов. Естественное засоление почв может происходить при переносе растворённых в грунтовых водах солей, из водоносных слоёв к поверхности. При испарении воды соль остаётся на поверхности почвы и, при определённых условиях, возникает зона засоления. Условиями, при которых возможно естественное засоление почв, также являются: наличие понижения или низины на местности, достаточная проницаемость грунтов, длительный и устойчивый характер процесса. При переувлажнении засоленных почв возможны также их солонцевание и заболачивание.

Оценка экологического состояния почвы

Антропогенное засоление почв происходит, главным образом, при орошении посевов водой с повышенной концентрацией солей — более 1 г/л (солёность воды большинства рек не превышает 0,2–0,3 г/л).

При выявлении сильного засоления почв сельскохозяйственных угодий необходимо проводить специальные гидромелиоративные мероприятия — орошение, дренаж, промывки. Параметры и типы засоленности почв приведены в табл. 9.

Таблица 9

**Степени и типы засоленности почв
в зависимости от концентрации солей**

Степень засоленности почв	Тип засоленности в зависимости от типа и массовой доли солей в сухой почве, %		
	Хлориды	Сульфаты	Гидро- карбонаты
Для хлоридно-сульфатного засоления			
Незасоленные	меньше 0,01	—	—
Слабозасоленные	0,01–0,05	—	—
Среднезасоленные	0,05–0,10	—	—
Сильнозасоленные	0,1–0,2	—	—
Солончаки	больше 0,2	—	—
Для сульфатного и хлоридно-сульфатного засоления			
Незасоленные	меньше 0,01	меньше 0,10	—
Слабозасоленные	0,01	0,1–0,4	—
Среднезасоленные	0,05	0,4–0,6	—
Сильнозасоленные	0,10	0,6–0,8	—
Солончаки	больше 0,1	больше 0,8	—
Для содового и смешанного засоления			
Незасоленные	0,01	0,02	меньше 0,06
Слабозасоленные	0,01	0,05–0,1	0,1–0,2
Среднезасоленные	0,1	0,2	0,2–0,3
Сильнозасоленные	0,2	0,2	0,3–0,4
Солончаки	0,2	0,2	больше 0,4

Засоление почвы в значительной степени обуславливает ряд глобальных и региональных экологических проблем, имеющих непосредственное отношение к проблемам опустынивания и сопровождающихся деградацией почвенно-растительного покрова, активизацией эрозионных процессов.

6.7. Загрязнения почвы, обусловленные применением минеральных удобрений и пестицидов

Применение минеральных удобрений (агрохимикатов, туков) в сельском хозяйстве обусловлено естественным изыманием из почвы биогенных элементов — соединений азота, фосфора, калия и др., участвующих в формировании биомассы при выращивании сельскохозяйственных культур и необходимостью восполнять их убыль. Особенно остро стоит проблема восполнения потерь азота. Таким образом, применение минеральных удобрений является фактором интенсификации сельскохозяйственного производства. Вместе с тем, это масштабный и трудно контролируемый процесс, приводящий к значительному превышению вносимых количеств биогенов над требуемым для восполнения их естественной убыли. В результате возникает опасность ухудшения качества продуктов питания и загрязнения сопряжённых с почвой атмосферы и природных вод избытком агрохимикатов.

Избыточный азот накапливается, в основном, в форме нитратов. Поскольку в этой форме азот почвой не сорбируется, он легко вымывается из неё (дождевыми, тальными водами), переходит в грунтовые воды и близлежащие водоёмы. Помимо отрицательного воздействия на рост растений, наличие избыточного азота и его вымывание приводит к тому, что также сильно вымывается калий; в меньшей степени — фосфор (фосфаты). Сведения о наиболее распространённых торговых формах минеральных удобрений приведены в табл. 10. Из таблицы видно, что минеральные удобрения представлены соединениями, растворимыми в разной степени, а предпочтительным является использование труднорастворимых соединений.

Таблица 10

Характеристики минеральных удобрений

Торговое название удобрения	Основное действующее вещество (химическая формула)	Растворимость в воде*	Внешний вид**	Цвет
Азофоска	NH_4NO_3 , KNO_3 , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, NH_4Cl , KCl , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	ХР	Г	Розовый
Аммоний хлористый	NH_4Cl	ХР	К, Г	Белый
Аммония сульфат	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	ХР	К, Г	Белый (бесцветный)

Оценка экологического состояния почвы

Продолжение табл. 10

Торговое название удобрения	Основное действующее вещество (химическая формула)	Растворимость в воде*	Внешний вид**	Цвет
Аммофос, диаммофос	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	ХР	Г	Желтоватый или голубой (оттенок определяется содержанием микроэлемента)
Аммофоска	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, NH_4Cl , KNO_3 , KCl	ХР	Г	Розоватый
Гипс	$\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$	ТР	П	Белый, сероватый
Доломитовая мука	$\text{CaO} \times \text{MgO} \times 2\text{CO}_2$	НР	П	Сероватый
Известняк	CaCO_3	НР	П	Белый (до серого)
Калий хлористый	KCl	ХР	К, Г	Белый
Калия сульфат	K_2SO_4	ХР	П	Белый
Карбамид (мочевина)	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	ХР	К, Г	Белый
Мука известковая	CaCO_3 , MgCO_3	НР	П	Сероватый
Мука фосфоритная	$\text{Ca}_5\text{F}_4(\text{PO}_4)_3 \times \text{CaCO}_3$	НР	П	Серо-коричневый
Нитро-аммофоска	NH_4NO_3 , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	ТР	Г	Белый
Нитро-аммофоска	NH_4NO_3 , KNO_3 , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, NH_4Cl , KCl , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	ХР	Г	Розовый
Нитрофоска	NH_4NO_3 , CaHPO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, KNO_3 , NH_4Cl	ТР	Г	Белый
Преципитат	$\text{CaHPO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$	НР	П	Бело-серый
Селитра аммиачная	NH_4NO_3	ХР	Г	Белый
Селитра извести-вестковая	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$	ХР	К	Белый

6. Загрязнение почв

Окончание табл. 10

Торговое название удобрения	Основное действующее вещество (химическая формула)	Растворимость в воде*	Внешний вид**	Цвет
Селитра калийная	KNO_3	ХР	К	Белый
Селитра натриевая	NaNO_3	ХР	К	Белый
Суперфосфат (простой, двойной)	$\text{CaHPO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$	ТР	Г	Белый, голубоватый, розовый, чёрный
Экофоска	KH_2PO_4 , K_2HPO_4	ТР	Г	Серый

* ХР — хорошо растворимо, ТР — трудно растворимо, НР — нерастворимо.

** Г — гранулы, К — кристаллы, П — порошок.

Вместе с тем, негативные последствия для окружающей среды и для людей возможны и при использовании, казалось бы, «экологически чистых» органических удобрений (навоза, торфа, компоста). В связи с возрастанием масштабов применения органических удобрений при их попадании с полей в водоёмы в последних создаются условия, благоприятные для размножения патогенных бактерий, грибов. Например, размножение в водоёме почвенной амёбы может приводить к заражению людей менингоэнцефалитом при купании.

Помимо минеральных удобрений к средствам интенсивной химизации сельскохозяйственного производства относятся пестициды (ядохимикаты, предназначенные для борьбы с сорняками, грибковыми болезнями, разнообразными вредителями и т.д.).

В настоящее время человеком используется больше 400 наименований пестицидов, но ПДК определены лишь для 30 из них.

Наиболее устойчивыми к разложению в условиях почвы (и в условиях других природных сред) являются хлорорганические пестициды (например, ДДТ). Они же обладают и наиболее выраженными кумулятивными свойствами, т.е. способны накапливаться в тканях растений и животных, передаваться по пищевым цепям.

При обработке посевов пестицидами основная их часть остаётся на поверхности почвы и растений. Пестициды адсорбируются органическим веществом и минеральными коллоидами почв. Получены данные, что гумусом адсорбируется до 80% пестицидов. Избытки пестицидов мигрируют, попадая в

Оценка экологического состояния почвы

грунтовые воды. Также ведёт себя со временем и вся масса «неусвоенных» пестицидов, поскольку их адсорбция в почве обратима. Например, через несколько лет внесённые в почву пестициды могут быть обнаружены в воде колодцев на глубине до 50 м. Накапливаясь в почве и распространяясь с грунтовыми водами, пестициды могут передаваться по цепям питания и вызывать заболевания людей и животных.

Накопление остатков пестицидов в почве зависит и от природы токсиканта. Наиболее стойкими являются пестициды из групп хлорорганических соединений и диенов. Они сохраняются в почве в течение нескольких лет (табл. 11). К тому же чем выше внесённая доза, тем длительнее сохраняется токсикант. Фосфорорганические соединения и производные карбаминевой кислоты теряют свою токсичность менее чем за 3 месяца и при распаде не образуют токсичных метаболитов, что делает эти соединения предпочтительнее в применении.

При внесении пестицидов авиационными методами они распыляются и могут переноситься воздушными массами на большие расстояния. Многие пестициды и их метаболиты¹³ обнаруживаются там, где их никогда не применяли (например, в Антарктиде). Систематическое применение в больших количествах стойких и обладающих кумулятивными свойствами пестицидов приводит к тому, что основным источником загрязнения окружающей среды становится сток талых, дождевых и грунтовых вод.

Таблица 11

Длительность токсического действия различных пестицидов

Наименование пестицидов	Длительность действия
Инсектициды	
Токсафен	6 лет
Гептахлор	9 лет
Альдрин	9 лет
ДДТ	10 лет
ГХЦГ	11 лет
Хлордан	12 лет
Гербициды	
2–4–5–Т	6 мес.
Диурон	16 мес.
Симазин	17 мес.
Атразин	17 мес.
Гордон	19 мес.
Монурон	36 мес.

¹³ Метаболиты — промежуточные продукты превращений химических веществ при их нахождении в окружающей среде.

Особенно угнетающе пестициды воздействуют на почвенные бактерии, которые оказываются под их непосредственным влиянием. Бактериальную флору настолько сильно подавляет 99% пестицидов, что она способна восстановиться лишь по истечении 1–2 месяцев. Это соответствует продолжительности жизни 1000–10 000 поколений бактерий и имеет далеко идущие последствия для всего сообщества почвенных организмов.

Полная детоксикация почвы от пестицидов происходит лишь при их распаде на нетоксичные компоненты. Разложению токсикантов способствуют реакции окисления, восстановления и гидролиза. Наиболее активно разложение пестицидов производят почвенные микроорганизмы. При участии ферментов микроорганизмов в почве и почвенном растворе активно протекают процессы гидролиза, окисления-восстановления и др. Характерно, что микроорганизмы используют для своей жизнедеятельности углерод, азот, фосфор и калий, которые входили в состав молекул пестицидов.

Применение минеральных удобрений и пестицидов рассматривается некоторыми учёными как намеренное загрязнение почвы, приводящее к различным экологическим проблемам.

Охрана почв от избытка удобрений и пестицидов имеет ряд общих организационных мер. К ним относятся: разработка новых длительно действующих гранулированных форм удобрений; применение комплексных форм химикатов; использование рациональной технологии внесения; создание и применение менее токсичных и менее стойких соединений и уменьшение доз их внесения в почву; соблюдение правил хранения и транспортировки и т.д.

6.8. Замусоривание почв и проблемы свалок¹⁴

Почвы являются не только аккумулятором загрязнений химических, но и *загрязнений механических*. К таковым относится загрязнение различными видами мусора. Под мусором понимаются бытовые отходы (отходы потребления), а также строительные и промышленные отходы, размещённые в не установленных для того местах — на территориях жилых зон, парков, автомагистралей, садоводств, в водоёмах и пр. Бытовые отходы — одна из важнейших экологических проблем любого крупного города. Например, согласно опубликованным данным, на 1 жителя Санкт-Петербурга образуется 1 м³ или 180 кг бытовых отходов в год.

¹⁴ Данная глава подготовлена с использованием материалов ежегодных акций «Неделя окружающей среды в Санкт-Петербурге» Управления по защите окружающей среды Санкт-Петербурга.

Оценка экологического состояния почвы

Данные статистики по крупным городам свидетельствуют, что объёмы отходов ежегодно увеличиваются на 2%.

Подобно тому, как с точки зрения химика грязь — это химические вещества, находящиеся в неподходящем месте, так и мусор с точки зрения материалооведа — это предметы и материалы, размещённые в неполюженном месте. Однако далеко не все виды мусора химически инертны и приводят только к механическому загрязнению окружающей среды (специалисты считают, что безопасных отходов вообще не бывает). Многие виды мусора в естественных условиях могут разлагаться, возгораться и образовывать химические вещества, загрязняющие воздух и воды. Кроме того, некоторые отходы потребления и промышленные отходы сами по себе содержат высокотоксичные соединения. Такими являются, например, автомобильные аккумуляторы, никелево-кадмиевые батарейки, отработанные люминесцентные лампы, ёмкости с неизрасходованными до конца лакокрасочными и горюче-смазочными материалами, инсектицидами и различными химическими продуктами и др.

Иногда мусор образует скопления, которые могут иметь магистральный и площадной характер. Такие скопления мусора называются свалками. В первом случае речь идет о расположении свалок вдоль дорог, во втором — на некоторой территории. На свалке могут соседствовать битые бутылки и пищевые отходы, пластмасса и древесина. Поскольку отходы потребления являются неотъемлемой деталью урбанизации, а промышленные отходы неизбежно образуются в промышленном производстве, то для мусора и свалок городскими властями выделены специальные территории, которые предназначены именно для размещения там различных отходов. Для бытовых отходов организованы свалки бытовых отходов и комбинаты по их переработке, а для промышленных отходов (в том числе токсичных и особо токсичных) — полигоны по их захоронению и переработке¹⁵. Для того, чтобы свести к минимуму загрязнение окружающей среды от скоплений мусора, места для его размещения и захоронения выбираются особо тщательно, с учётом рельефа местности, характера подстилающих пород и грунтов, расположения водоносных горизонтов, направления преобладающих ветров, отсутствия близко расположенных мест проживания и скопления людей и др. Все свалки, появляющиеся в местах, специально для этого не предназначенных, называются несанкционированными. Люди и долж-

¹⁵ В Санкт-Петербурге 25% вывозимых коммунальными службами бытовых отходов перерабатывается на мусороперерабатывающих заводах в компост, остальное захоранивается на полигонах Северный, Южный и Северная Самарка. Токсичные и особо токсичные отходы вывозятся на специальный полигон Красный Бор. Контроль за экологической ситуацией на полигонах и в районах их расположения осуществляют «Ленкомприрода» и санитарные службы города.

ностные лица, виновные в их появлении, должны нести административную (а иногда и уголовную) ответственность. Самовольные свалки отходов — угроза всему живому.

Следует упомянуть и о такой разновидности отходов, как осадки, образующиеся при работе коммунальных очистных сооружений. Отходы данного вида вывозятся на специальные иловые площадки, занимающие к настоящему времени только в Ленинградской области площадь 160 га, выводя плодородные земли из естественных природных условий, делая их непригодными для хозяйственного использования.

Можно выделить следующие виды ущербов в связи с замусориванием территорий и образованием скоплений мусора и свалок.

1. *Ущерб экономический*, связанные с невозвратностью в сферу производства и потребления материалов и ценного вторичного сырья.

2. *Ущерб экологический*, связанные с разнообразными нарушениями в окружающей среде в связи со свалками: перекрытие или уничтожение почвы и нарушение её свойств; загрязнение почвы, почвенных и поверхностных вод, а также воздуха; массовые биотические нарушения на всех уровнях организации живой природы в районе расположения свалок, причём наибольший ущерб наносится более простым формам (почвенной флоре и фауне, насекомым и др.).

3. *Эстетические ущербы*, обусловленные неудовлетворительным, с точки зрения эстетических потребностей человека, внешним видом территорий зон отдыха, природных зон, мест проживания и др. В этом отношении иногда эстетический ущерб может возникнуть даже от наличия нескольких единиц химически инертного мусора.

4. *Социальные ущербы* могут быть связаны с заболеваемостью населения районов, прилегающих к наиболее опасным свалкам. Следует учитывать также необходимость отвлечения на периодическую уборку от мусора и свалок части трудоспособного населения.

Борьба с последствиями замусоривания почвы и окружающей среды вообще, с несанкционированными свалками носит комплексный характер. С одной стороны, необходимо внедрять культуру потребления, что позволит снизить общее количество отходов. С другой стороны, огромный эффект могло бы принести повторное использование ценного вторичного сырья — такого, как картон и бумага, алюминиевые банки и чёрный металлолом, пластмасса и др., в огромных количествах выбрасываемого ныне в виде бытовых отходов. Очень важным делом, способным значительно облегчить промышленную утилизацию отходов, является раздельный сбор мусора. Наконец, необходимо повышать общую культуру и экологическую грамотность населения, внедрять

Оценка экологического состояния почвы

ресурсосберегающие технологии и др. Политика городских властей считается экологически ориентированной, если она нацелена в перспективе на отказ от свалок и переработку мусора по современным технологиям.

Схема первичного экологического обследования территории района и форма протокола описания несанкционированной свалки приведена в приложении 2.

Конец ознакомительного фрагмента.

Полную версию издания в печатном виде можно приобрести на официальном сайте группы компаний «Крисмас»: <https://christmas-plus.ru/catalog/dokumentatsiya/>

Если вы ранее приобретали данное издание, документацию или оборудование, в состав которого оно входило, но по каким-то причинам его утратили или нуждаетесь в обновлённой версии, вы можете связаться с нашими менеджерами, и мы направим вам полную актуальную версию издания/документа в электронном виде.

В других случаях предусмотрено предоставление актуальной версии при условии оплаты.

За дополнительной информацией обращайтесь:

+7 (800) 302-92-25 (звонок по России бесплатный)

+7 (812) 575-54-07

+7 (812) 575-50-81

+7 (812) 575-55-43

+7 (812) 575-57-91

E-mail: info@christmas-plus.ru

ПОРТАТИВНЫЕ ПОЧВЕННЫЕ ЛАБОРАТОРИИ

Особенности укладок

Ранцевая почвенная лаборатория типа РПЛ (3 модификации)

- Объем ранца – 70 л, количество мест (ячеек) – 12, в том числе в ячейках основной секции – 10.
- Конструкция ранца: полужесткий каркас, изменяемая внутренняя планировка, откидывающаяся панель-столик, защищенность от дождя и грязи, анатомичная конструкция спины и лямок, поясной ремень, грудная стяжка.
- Габаритные размеры, мм – не более 480x260x900
- Масса – не более 20 кг.



Настольная почвенная лаборатория типа НПЛ (2 модификации)"

Универсальная настольная укладка, вместительная и удобная в условиях базового лагеря и стационарной лаборатории. В развёрнутом состоянии – рабочее место оператора. Дополняется приборами и тест-комплектами.

- Габаритные размеры, мм – не более 800x310x650
- Масса – не более 40 кг.



Сито



Тест-комплекты



Весы, кондуктометр, почвенный термометр и пр.



Набор-укладка для фотокolorиметрирования «Экотест-2020-К»

Отдел продаж ГК «Крисмас»

191119 Санкт-Петербург,
ул. Константина Заслонова, д. 6

Тел.: +7(812) 575-50-81, 575-55-43,
575-57-91, 575-54-07

Тел. +7(800)302-92-25
бесплатный звонок по России
E-mail: info@christmas-plus.ru

Производственно-лабораторный комплекс ГК «Крисмас»

191180 Санкт-Петербург,
наб. реки Фонтанки, д. 102

Тел. +7(812)575-88-14 (дирекция)
E-mail: f102@christmas-plus.ru

Отдел продаж в Москве

127247 г. Москва,
Дмитровское шоссе, д.96, корп.2

Тел.: +7(917)579-66-02
E-mail:
n-chernyh@christmas-plus.ru,
info@ecologlab.ru
<http://ecologlab.ru>

Группа компаний «Крисмас» является российским производителем.
Вся продукция производится из отечественного сырья и комплектующих.
Это всегда обеспечивает выгодные для покупателей цены на продукцию компании.



Система менеджмента качества предприятия
сертифицирована на соответствие требованиям
международного стандарта ISO 9001