

**В.В. Чупрова, Н.Л. Кураченко**

**УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЧВ К ЭКЗОГЕННЫМ  
ВОЗДЕЙСТВИЯМ**

Красноярск 2018

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»

**В.В. Чупрова, Н.Л. Кураченко**

## **УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЧВ К ЭКЗОГЕННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ**

*Рекомендовано учебно-методическим советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Красноярский государственный аграрный университет» для внутривузовского использования в качестве учебно-методического пособия для обучающихся по направлениям подготовки 35.04.03 «Агрохимия и агропочвоведение», 06.06.01 «Биологические науки»*

Красноярск 2018

ББК 40.3

Ч 92

*Рецензенты:*

*В.Н. Жуланова, доктор биологических наук, профессор кафедры агрономии ФГБОУ ВО «Тувинский государственный университет»*

*Н.Л. Ерохина, кандидат биологических наук, начальник отдела государственного земельного надзора Управления Россельхознадзора по Красноярскому краю*

Ч 92 **Чупрова, В.В.**

**Устойчивость почв к экзогенным воздействиям:** учеб.-метод. пособие / В.В. Чупрова, Н.Л. Кураченко; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2018. – 171 с.

Включает теоретический материал к лекциям и практическим занятиям по дисциплине «Устойчивость почв к экзогенным воздействиям». Рассматриваются качественные и количественные показатели устойчивости и изменчивости почв при естественных и антропогенных воздействиях. Варианты заданий сопровождаются методическими советами и пояснениями для их выполнения.

Предназначено для подготовки магистров по направлению 35.04.03 «Агрохимия и агропочвоведение» и аспирантов по направлению 06.06.01 «Биологические науки», профиль 03.02.13 «Почвоведение».

ББК 40.3

© Чупрова В.В., Кураченко Н.Л., 2018

© ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», 2018

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
<b>Модуль 1. Устойчивость и изменчивость почв при естественных воздействиях.....</b>	<b>7</b>
Лекция 1. Современные представления об устойчивости почв к экзогенным воздействиям.....	7
1.1. Устойчивое развитие: предпосылки проблемы.....	7
1.2. Постановка проблемы устойчивости почв.....	18
1.3. Подходы к изучению устойчивости почв к экзогенным воздействиям.....	20
Лекция 2. Понятие, критерии, механизмы и факторы устойчивости почвы к экзогенным воздействиям.....	23
2.1. Понятие устойчивости почв.....	23
2.2. Критерии и механизмы устойчивости почвы.....	26
2.3. Почва-память, почва-момент.....	27
Семинар 1. Современные представления об устойчивости почв.....	31
Лекция 3. Носители почвенной памяти.....	32
3.1. Уровни организации твердой фазы почвы.....	32
3.2. Методы исследования носителей почвенной памяти.....	36
3.3. Минеральные носители памяти почв.....	36
3.4. Биогенные носители памяти почв.....	47
Лабораторная работа 1. Минеральные и биогенные носители почвенной памяти.....	50
<b>Модуль 2. Устойчивость и изменчивость почв при антропогенных воздействиях.....</b>	<b>60</b>
Лекция 4. Антропогенные преобразования почвы.....	60
4.1. Понятие и этапность антропогенеза.....	60
4.2. Трансформация почвенного профиля.....	63
Лабораторная работа 2. Оценка устойчивости минеральной части почв к агрогенным воздействиям.....	67
Лекция 5. Устойчивость почв к агрогенным воздействиям.....	73
5.1. Современные представления об агрогенных изменениях свойств почв.....	73
5.2. Особенности функционирования пахотной почвы.....	74
5.3. Процессы трансформации органического вещества.....	82
Лабораторная работа 3. Оценка устойчивости гумуса почв к агрогенным воздействиям.....	87

Лекция 6. Устойчивость почв к эрозионным воздействиям.....	90
6.1. Эрозионные процессы: понятие, классификация.....	90
6.2. Распространение эрозии почв.....	91
6.3. Эрозионная устойчивость почв.....	94
Лабораторная работа 4. Оценка эрозионной устойчивости почв.....	102
Семинар 2. Эрозионная устойчивость почв.....	109
Лекция 7. Устойчивость почв к техногенным воздействиям.....	110
7.1. Техногенное воздействие и устойчивость почвы: общие понятия, загрязнители.....	110
7.2. Источники и механизмы поведения тяжелых металлов в незагрязненных почвах.....	112
7.3. Тяжелые металлы в почвах загрязненных территорий.....	115
7.4. Буферность почв как показатель устойчивости.....	119
Лабораторная работа 5. Оценка деградации почв.....	124
Лекция 8. Устойчивость почв к рекреационным воздействиям.....	134
8.1. Понятие и формы рекреации.....	134
8.2. Измерение рекреационного воздействия.....	136
8.3. Рекреационные нагрузки на лесные экосистемы.....	138
8.4. Рекреационные нагрузки на травяные экосистемы.....	142
Вопросы к экзамену.....	148
Заключение.....	150
Основные термины и понятия.....	151
Литература.....	153
Приложение.....	160

*«Незаменимость почвы в выполнении биосферных функций определяет ее важнейшую роль в существовании и поддержании жизни на Земле».*

*А.С. Владыченский*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Учебное пособие освещает общие представления, критерии, методы, индикаторы оценки, механизмы и факторы устойчивости почв к внешним воздействиям. Здесь же показаны устойчивость и изменчивость физического, химического и биологического состояния почв при естественных и антропогенных воздействиях, географический анализ и региональные особенности устойчивости почв к экзогенным воздействиям. В учебном пособии аккумулируется большой опыт методики и методологии преподавания, который достигнут преподавателями кафедры почвоведения и агрохимии Красноярского государственного аграрного университета. Пособие наглядно демонстрирует вклад ученых-почвоведов нашей страны в классическое университетское образование.

Курс «Устойчивость почв к экзогенным воздействиям» входит в вариативную часть учебного плана направления подготовки 35.04.03 «Агрохимия и агропочвоведение», направленности «Почвенно-экологический мониторинг» и рекомендован для подготовки аспирантов по направлению 06.06.01 «Биологические науки», направленности 03.02.13 «Почвоведение». Объем магистерского курса составляет 4 зачетные единицы: 144 ч, из них – 18 ч лекции, 26 ч лабораторные занятия, 64 ч самостоятельная работа. Формы контроля: посещение лекций, участие в их обсуждении, выполнение лабораторных заданий и их защита, семинары, экзамен.

Термины, используемые в лекциях и на лабораторных занятиях, будут последовательно поясняться. Сейчас же отметим, что под экзогенным воздействием имеется в виду внешнее (*экзос* – внешнее, *генос* – происхождение) воздействие на почвы. Синонимом термина «внешнее» (или «экзогенное») будет термин «антропогенное».

В современных условиях практически не осталось территорий, на которых проявлялось бы только чисто природное воздействие на

почвы. Антропогенное воздействие распространено широко и во многих случаях приводит к изменению характера природного воздействия. Поэтому основным видом воздействия на почву является комплексное природно-антропогенное воздействие [Булгаков и др., 2002]. Потенциальная устойчивость почв имеет комплексный многокомпонентный характер и является ее фундаментальным свойством. При различных видах воздействий бывают задействованы различные компоненты устойчивости.

Проблема внешнего воздействия на почвы с недавних пор стала актуальнейшей проблемой глобального масштаба, от решения которой зависит дальнейшее существование человека. Для того чтобы сдержать нарастающее негативное воздействие на окружающую природную среду и почву как компонент этой среды, необходимы знания и умение воспользоваться ими в практических решениях. Надеемся, что, изучив этот курс, вы уверенно начнете свою профессиональную деятельность.

# МОДУЛЬ 1. УСТОЙЧИВОСТЬ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОЧВ ПРИ ЕСТЕСТВЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

## Лекция 1. Современные представления об устойчивости почв к экзогенным воздействиям

### *1.1. Устойчивое развитие: предпосылки проблемы*

Начнем с вопроса: почему возникла необходимость говорить и изучать устойчивость почв к экзогенным воздействиям? Прежде всего потому, что это значимая часть такой характеристики, как устойчивое развитие общества, экономики, государственной политики.

Всемирная комиссия по окружающей среде и экономическому развитию (WCED) определила устойчивое развитие как «... развитие, которое отвечает нуждам настоящего без нарушения способности будущих поколений удовлетворять свои потребности» [цит. по: Добровольский, 1997].

Быстро растущее человечество по масштабам своего вмешательства в природу стало сопоставимо с планетарными силами. Еще В.И. Вернадский предупреждал: в ноосфере доминирующей силой становится человек, разум которого должен контролировать мощь его воздействия на природу. Если такой контроль не будет обеспечен, то разрушительное воздействие человека на окружающую среду погубит и его самого.

Осмыслению нарастающих угроз в немалой степени содействовала деятельность Римского клуба, неправительственной международной организации, объединяющей около 100 ученых из разных стран и основанной в 1968 г. Цель клуба – углублять понимание особенностей развития человечества в эпоху научно-технического прогресса и способствовать привлечению внимания мировой общественности к нарастающему обострению глобальных проблем [Керженцев, 2006].

Впервые (1987 г.) термин «устойчивое развитие» прозвучал в докладе Гро Харлом Брундтланд «Наше общее будущее» на конференции ООН «Повестка дня на 21 в.». Устойчивое развитие было представлено как модель движения вперед, при котором достигается удовлетворение жизненных потребностей нынешнего поколения людей без лишения такой возможности будущих поколений.



В 1992 г. на следующей конференции ООН по окружающей среде и развитию идея устойчивого развития была принята в качестве основного принципа развития как человеческого общества в целом, так и отдельных государств. Председатель конференции президент Бразилии Фернандо Коллор де Мелло определил цель конференции: «Мы собрались, чтобы обеспечить прогресс в решении общественной задачи, основанной на двух фундаментальных положениях – развитие общества и окружающая среда. Мы принимаем историческую необходимость и нравственную обязанность сформировать новую модель, в которой благополучие всех и сохранение окружающей среды были бы обязательно синонимами. Мы не можем обеспечить экономическую безопасность планеты в социально несправедливом мире» [цит. по: Добровольский, Никитин, 2006].

Указами президента Российской Федерации одобрены «Основные положения Государственной стратегии РФ по охране окружающей среды и обеспечению устойчивого развития». Утверждена концепция перехода РФ к устойчивому развитию. Правительством РФ передан в Администрацию Президента РФ проект Государственной стратегии устойчивого развития.

Сегодня везде, куда ни взглянешь, ясно видно, что мы несем в себе угрозу своему будущему. Какова же цена прогресса?

*Загрязнение атмосферы.* Растущее содержание углекислого газа в атмосфере – результат значительного потребления ископаемого горючего: нефти, угля, природного газа, а также сжигание растительности, пожары. Выбросы  $\text{CO}_2$  – основной парниковый газ, из-за постоянного увеличения которого происходит медленный рост средних температур. Выбросы  $\text{CH}_4$  также нарушают энергетический баланс. Самые большие объемы добычи нефти в мире приходятся на Саудовскую Аравию (4,22 млрд баррелей в год), Россию (3,94 млрд баррелей в год) и США (3,65 млрд баррелей в год). Количество  $\text{CO}_2$ , производимого промышленностью и автомобилями, увеличивается ежегодно на 400 т. Человечество, видимо, никогда не сможет избавиться от углекислого газа. В итоге глобальное потепление грозит климатическими катастрофами и подъемом уровня Мирового океана.

*Истощение озонового слоя.* Выпуск хлорфторуглеродов, разрушающих озон, наращивается, несмотря на то, что проблема осознана учеными более 20–35 лет назад. Наиболее серьезные последствия от возросшего ультрафиолетового излучения прогнозируются для Аргентины, Бразилии, Чили, Парагвая, Уругвая.

*Загрязнение воды.* Вода является основной жертвой злоупотребления окружающей средой: в России 3/4 поверхностных вод не пригодны для питья и 1/3 подземных водных запасов загрязнена. Промышленное загрязнение и устаревающие водоочистные системы ставят под прямую угрозу здоровье россиян. Водные запасы истощаются:

✓ из-за очень высокого уровня потребления воды, 300–1 500 л в день на душу населения;

✓ неэффективности водопользования страны. По некоторым оценкам, в текущем столетии 1/4 мирового населения будет страдать от хронического недостатка воды. В 19 из 25 стран Африки, например, самый высокий процент населения уже сейчас не имеет доступа к нормальной питьевой воде. Даже в США 5,6 млн людей используют питьевую воду, не соответствующую стандартам.

*Отходы.* Их скоплено уже огромное количество. В РФ объем перемещаемой, в т. ч. в процессе переработки, горной массы составляет 6–7 млрд т в год. Значительная часть минеральных ресурсов РФ сосредоточена в Сибири. Проблемой является низкая комплексность использования добываемого минерального сырья, включая утилизацию отходов. В хвостохранилищах обогатительных предприятий накоплены миллиарды тонн горной массы, которую можно было бы значительно полнее, чем сейчас, использовать в строительной индустрии. А если иметь в виду, что в Сибири добывается 67 % российского выпуска Al, 30 % Cu, 36 % Ni, 80 % Sn, то можно представить, что и сколько таится в отходах цветной металлургии. Например, дорогостоящий осмий-187 в отходах. Наличие ценных компонентов в отходах делает их весьма перспективным сырьем. А в условиях рыночных отношений запасы и состав таких отходов превращаются в своеобразную коммерческую тайну предприятия.

*Невозобновляемые ресурсы.* Развитие нашей цивилизации опирается на ресурсы, которые по существу являются ограниченными и невозстановимыми; рано или поздно мы их исчерпаем. Разведанных запасов нефти, например, хватит на 60 лет, запасов угля – на сотни лет, но его традиционное использование слишком вредно для окружающей среды. Да и в экономическом отношении плата очень высока. Поэтому развивать экономику на основе невозобновляемых ресурсов, если учитывать социальные и экологические проблемы, – дело все более недальновидное и безответственное. Единственный способ, который позволит нам удовлетворять нужды непрерывно растущего населения земли, – это использование возобновляемых ресурсов

сельского хозяйства, лесоводства, рыбного промысла, водного хозяйства и разработка новых биотехнологий.

*Деградация и потеря продуктивных почв и земель.* Директор Вашингтонского института глобальных наблюдений Л. Браун назвал деградацию почв «тихим кризисом планеты» [Добровольский, 1997]. Пользование недрами, производство земляных работ при выполнении различного рода хозяйственной деятельности связано с нарушением почвенного покрова. По неопубликованным материалам Д.С. Булгакова, *нарушенными землями являются земли, утратившие свою хозяйственную ценность или являющиеся источником отрицательного воздействия на окружающую среду в связи с нарушением почвенного покрова, гидрологического режима и образования техногенного рельефа в результате производственной деятельности.*

По отраслям народного хозяйства РФ наибольший удельный вес нарушенных и рекультивированных земель приходится на предприятия нефтедобывающей промышленности, цветной металлургии и газовой промышленности. На рисунке 1 представлены площади нарушенных земель. Наибольшая площадь нарушенных земель находится в Ханты-Мансийском автономном округе, 24,8 тыс. га. В Ямало-Ненецком автономном округе площадь нарушенных земель составляет 5,7 тыс. га, более чем по 2,0 тыс. га в Хабаровском крае, Республике Саха (Якутия), Амурской, Читинской и Магаданской областях. В Красноярском крае наблюдались случаи, когда предприятия, занимающиеся добычей полезных ископаемых (в том числе золота) и строительством, как правило, зарегистрированные не по месту производственной деятельности, отработав месторождение, становились банкротами и ликвидировались. Нарушенные предприятиями-банкротами земли в большинстве своем переводятся в категорию земель запаса как прочие земли. Многие заброшенные нарушенные земли подвергаются развитию эрозионных процессов, заболачиванию и закустариванию.

Для оценки степени деградации почв (в баллах) приведем следующие уровни [Титова, Дабаханов, 2000]:

0 – недеградированные почвы, продуктивность которых соответствует естественному плодородию;

1 – слабодegradированные почвы, возможное снижение продуктивности на которых не превышает 25 %;

2 – среднедеградированные почвы с падением продуктивности на 25–50 %;

3 – сильнодеградированные почвы, снижение продуктивности которых составляет 50–75 %;

4 – очень сильнодеградированные почвы, снижение продуктивности которых достигает 75 % и более.

Считают, что крайней степенью деградации является уничтожение почвенного покрова.

В качестве *критериев деградации почв* применяются:

- ✓ изменение показателей по отношению к исходному состоянию почвы;
- ✓ изменение показателей по отношению к состоянию почвы, принимаемому за контроль;
- ✓ изменение показателей по отношению к однотипной, условно ненарушенной почве;
- ✓ изменение показателей по сравнению с данными предшествующих исследований.

На территории большинства субъектов Российской Федерации почвы, особенно пахотные и других сельскохозяйственных угодий, подвергаются деградации, загрязнению, уничтожению, захламлению отходами производства и потребления. По данным государственного учета земель, водной эрозии подвержено 17,8 % площади сельскохозяйственных угодий РФ, из них пашни – 12,1 %, ветровой эрозии – 8,4 % и 5,3 % соответственно. Совместному воздействию водной и ветровой эрозии подвержено 2,4 % площади сельскохозяйственных угодий.

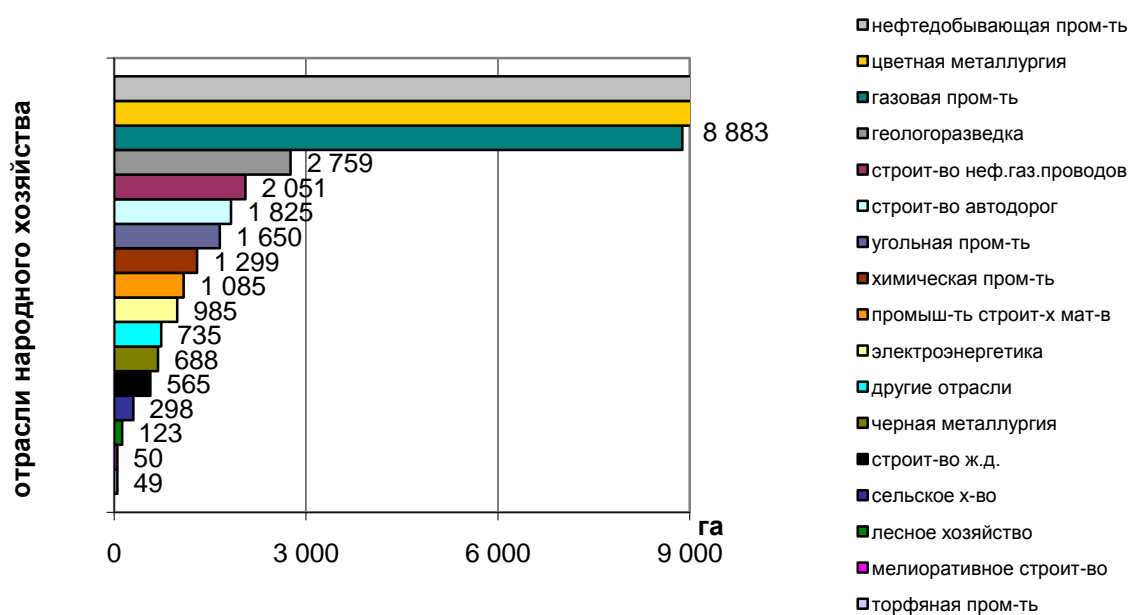


Рисунок 1 – Нарушение земель в Российской Федерации

Водная эрозия распространена в основном на территории Приволжского (50 % от эродированных сельскохозяйственных угодий РФ), Южного (24,3 %) и Центрального (12,4 %) федеральных округов (рис. 2).

Ветровая эрозия в большей мере распространена в Сибирском (45,1 % от дефлированных сельскохозяйственных угодий РФ), Южном (40,2 %) и Приволжском (9,1 %) федеральных округах (рис. 3).

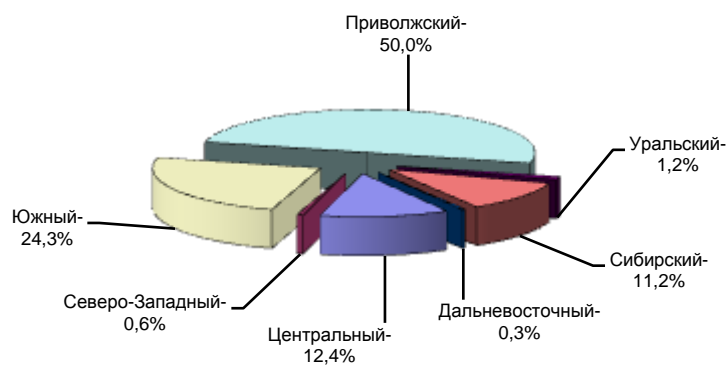


Рисунок 2 – Доля эродированных земель по федеральным округам Российской Федерации

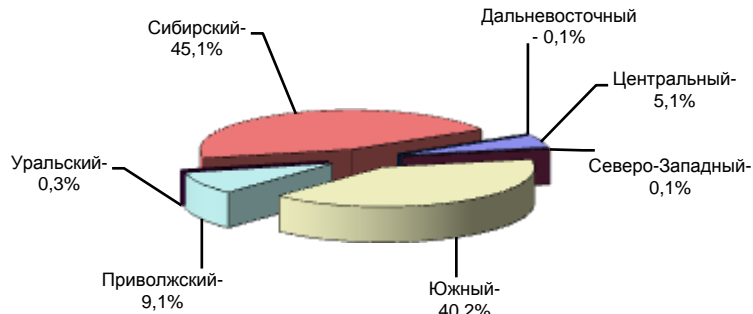


Рисунок 3 – Доля дефлированных земель по федеральным округам Российской Федерации

Переувлажненные и заболоченные земли занимают 12,3 % площади сельскохозяйственных угодий РФ, в том числе 6,8 % пашни. Процессы заболачивания наиболее характерны для территории Центрального (31,7 % от площади заболоченных сельскохозяйственных угодий РФ), Сибирского (22,8 %), Приволжского (10,2 %), Уральского (10,2 %), Северо-Западного (10,0 %), Дальневосточного (9,7 %) и Южного (5,4 %) федеральных округов (рис. 4).

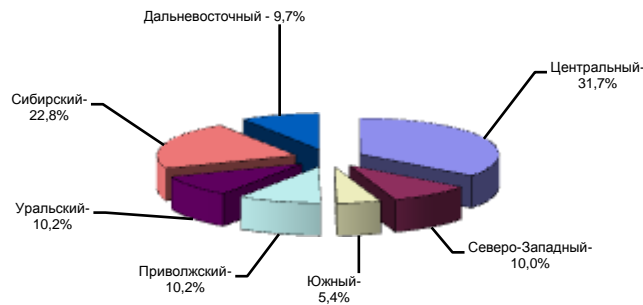


Рисунок 4 – Доля заболоченных земель по федеральным округам Российской Федерации

Подтопление земель представляет собой особую опасность. Эти негативные процессы наблюдаются в Южном (Астраханская область, Краснодарский и Ставропольский края), Приволжском (Нижегородская, Самарская, Саратовская области, Республика Башкортостан), Сибирском (Иркутская область, Красноярский край) и Дальневосточном (Приморский и Хабаровский края) федеральных округах. Общая площадь территории, подверженной затоплению, наводнениям различной высоты и характера (половодье, дождевые паводки, нагоны, заторы и зажоры и пр.), составляет 40 млн гектаров.

Опустынивание продолжает наблюдаться в 35 субъектах Российской Федерации, и этот опасный негативный процесс наиболее распространен в Южном (Республика Калмыкия, Республика Дагестан, Астраханская, Волгоградская и Ростовская области), Приволжском (Оренбургская и Саратовская области), Сибирском (Алтайский край, Омская область, Республика Тыва, Республика Хакасия, Республика Бурятия) федеральных округах.

Засоленные, солонцеватые земли, а также земли с солонцовыми комплексами, занимают 20,1 % площади сельскохозяйственных угодий, их них пашни 6,8 %. Наибольшие площади засоленных земель находятся в Южном (52,7 %), Сибирском (33,1 %), Приволжском (6,7 %), Уральском (5,9 %) федеральных округах (рис. 5).

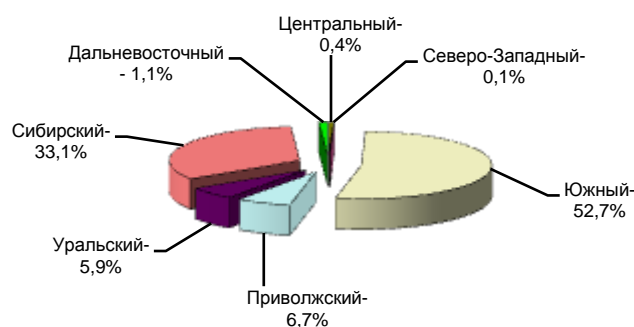


Рисунок 5 – Доля засоленных земель по федеральным округам Российской Федерации

*Дегумификация* почв пашни имеет место во всех субъектах Российской Федерации. Одновременно с этим интенсивно снижается содержание питательных веществ, происходит закисление почв, что связано с истощительным использованием земель, прекращением в большинстве сельскохозяйственных предприятий внесения в почвы минеральных и органических удобрений, нарушением севооборотов, невыполнением почвозащитных, агрохимических и мелиоративных мероприятий.

По результатам агрохимического обследования почвы сельскохозяйственных угодий РФ характеризуются низким уровнем (очень низкое и низкое) содержания органического вещества на площади 53 млн га, что составляет 46 % обследованной площади. Недостаточное содержание подвижного фосфора выявлено на 64 млн га (65,6 %) пашни, а обменного калия – на 11,2 млн га (9,6 %).

Для сравнения приведем материалы агрохимического обследования территории Средней Сибири в пределах Красноярского края [Чупрова, 2011; Ульянова, 2014; Сорокина, 2015]. Этот регион отличается низким агроклиматическим потенциалом (короткий вегетационный период, малое количество осадков, недостаточная теплообеспеченность, заморозки, частые засухи и т. д.). Агропочвы характеризуются преимущественно тяжелосуглинистым гранулометрическим составом, небольшой мощностью гумусово-аккумулятивного горизонта при высоком содержании гумуса и его подвижных соединений, повышенной катионной емкостью. Средневзвешенное содержание гумуса в агропочвах равняется 6,5 %. По средневзвешенным значениям рН (5,9) почвы соответствуют близкой к нейтральной реакции. Но свыше 400 тыс. га почв с величиной менее 5 рН. Значительные площади пахотных почв края имеют низкое и очень низкое содержание подвижного фосфора, но повышенное и высокое содержание обменного калия (54 % от общей площади пашни). Лишь 7 % пахотных угодий характеризуются низким и очень низким содержанием калия. Обеспеченность почв нитратным азотом, определяющим в значительной мере урожайность сельскохозяйственных культур, варьирует от очень низкой до очень высокой. Дегумификация почв протекает с интенсивностью 0,23 т С/га в год.

Далее отметим, что происходит *загрязнение* земель химическими и другими веществами и соединениями, захламливание земель отходами производства и потребления. Эти негативные воздействия наиболее характерны для территорий, примыкающих к промышленным

предприятиям, автомобильным трассам, нефтепроводам. Загрязнение земель радионуклидами остается значительным в ряде районов субъектов РФ, входящих в Центральный (Брянская, Тульская и Калужская области) и Уральский (Челябинская область) федеральные округа. Загрязнение земель нефтью и нефтепродуктами наблюдается преимущественно в Уральском (Тюменская область), Приволжском (Республика Татарстан, Республика Башкортостан), Южном (Чеченская Республика), Северо-Западном (Республика Коми) федеральных округах. Загрязнение почв пестицидами наиболее характерно для Центрального, Приволжского и Южного федеральных округов.

*Захламление* земель отходами производства и потребления также представляет проблему экологической опасности. Организованные свалки все больше удаляются от городов и нередко занимают территории с ценными землями и оказывают негативное влияние на прилегающие угодья. В связи с этим резко ухудшилось состояние кормовых угодий, что приводит не только к сокращению площади этих угодий, но и оказывает негативное влияние на изменение качества травостоя (появляются грубо стебельные, сорные и ядовитые растения).

В районах Крайнего Севера в результате многоцелевого и крупномасштабного промышленного освоения территории возникли обширные очаги сильного загрязнения, захламления, нарушения и деградации земель. Значительный ущерб нанесен оленьим пастбищам и в целом оленеводству, являющемуся ведущей отраслью сельскохозяйственного производства и играющему наиболее важную роль в жизни (культура, быт, экономика) коренных народов Севера.

Заметный ущерб землям наносится лесохозяйственными работами и лесными пожарами, в результате которых происходит разрушение почв, их переуплотнение, минерализация лесной подстилки и гумусового горизонта, проявление эрозионных процессов.

Почти во всех регионах России наблюдается усиление экзогенных геологических процессов. По данным Службы государственного мониторинга состояния недр Министерства природных ресурсов и экологии России, наиболее опасными экзогенными геологическими процессами остаются: катастрофическая активизация селевого и оползневого процессов, процессов подтопления и переработки берегов водохранилищ, абразионного, эрозионного, карстового, суффозионного и криогенных процессов.



По данным Министерства по чрезвычайным ситуациям (МЧС России), основные тенденции формирования техногенной опасности на территории страны определяются такими видами чрезвычайных ситуаций, как выбросы опасных химических веществ, аварии на магистральных трубопроводах, коммунальных и энергетических сетях, прорывы напорного фронта водохранилищ и другими, что негативно отражается на состоянии земель. Сейсмическая опасность характерна для 34 % урбанизированных территорий. Основными сейсмоопасными зонами являются Дальневосточная, Кавказская, Восточно-Сибирская. Оползневые процессы сильнее всего проявляются в Северо-Западном (Архангельская и Калининградская области), Центральном (Московская, Ярославская, Костромская, Воронежская), Приволжском (Республика Марий Эл, Республика Мордовия, Республика Татарстан, Кировская, Пермская, Ульяновская, Саратовская области), Южном, Уральском (Тюменская область), Сибирском (Кемеровская, Омская, Томская области, Красноярский край) и Дальневосточном (Приморский и Хабаровский края, Сахалинская область) федеральных округах. Селевые процессы наблюдаются в горных районах Южного, Сибирского (Забайкалье, Прибайкалье), Дальневосточного федеральных округов. Карстовые процессы охватывают более 13 % территории России. Криогенные процессы (термокарст, тепловая осадка, криогенное пучение, солифлюкция, термоэрозия, криогенное растрескивание) развиты на 65 % территории Российской Федерации. К районам с наиболее высокой степенью техногенной опасности следует отнести Республику Саха (Якутия), Красноярский край, Приморский и Хабаровский края, Ленинградскую область и г. Санкт-Петербург, Нижегородскую, Оренбургскую и Самарскую области, Тюменскую область, г. Москву.

Итак, на территории страны наблюдается более 30 видов опасных негативных процессов и явлений. Наиболее разрушительные из них наводнения, приводящие к затоплению, подтоплению и эрозии; землетрясения, масштабные селевые, карстово-суффозионные и криогенные процессы.

*Леса.* За последнее десятилетие в мире на 2 % сократилась площадь, занимаемая лесами и редколесьем. Запасов строевого леса Азии, в т.ч. и Сибири, может хватить не более чем на 40 лет.

*Океаны и прибрежные территории.* Здесь особую тревогу вызывает нещадная эксплуатация морских рыбопромысловых угодий: в мире эксплуатируется свыше 60 % морских рыбопромысловых угодий.

дий. В настоящее время около 60 % мирового населения проживает в пределах стокилометровой прибрежной зоны, а более 3 млрд человек связаны с ней через получение пищи, мест под строительство и для отдыха, размещение отходов. Свыше 1/3 прибрежных регионов мира находится на границе разрушения из-за хозяйственной деятельности человека.

*Биоразнообразие.* С развитием современных тенденций нас ждет катастрофическая потеря видов и генетических ресурсов. А ведь именно огромное разнообразие видов является одной из тех особенностей, которые позволяют природным экосистемам быть столь богатыми, продуктивными и стабильными. Подрывая динамичную стабильность биосферы уничтожением видов, загрязнением, недопустимым вмешательством в круговороты воды, питательных элементов и т. д., мы лишаем наш мир полноценного развития в будущем. Причем просматривается двойная негативная тенденция в использовании природных ресурсов – потребительское отношение богатых стран и борьба за выживание любой ценой бедных стран. Например, один швейцарец использует столько природных ресурсов, сколько достается 40 (!) сомалийцам.

*Проблема населения и эпоха дефицита.* Растущее население Земли нуждается в большом количестве продовольствия. По оценкам ФАО, в середине текущего столетия население в мире увеличится до 9 млрд человек, а к 2100 г. достигнет 10 млрд. Планета же может выдержать только около 8 млрд человек. Для России и Сибири эта проблема не является особенно острой. Средняя плотность населения Сибири, например, – 2,5 чел./км<sup>2</sup>, а на территории Красноярского края – чуть более 1 чел./км<sup>2</sup>. Тем не менее ожидается увеличение глобального спроса на продовольствие и корма не только в мире, но и в регионе почти вдвое.

Динамика численности населения мира за последние 50 лет и прогноз до 2100 г., млрд чел. [Кудеяров, Семенов, 2014]

1960 г.	1993 г.	1999 г.	2003 г.	2006 г.	2010 г.	2011 г.	2050 г.	2100 г.
3,0	5,65	6,0	6,3	6,5	6,8	7,0	9,0	10,0

По сводкам Института мировых ресурсов, с 1980 г. мы вошли в эпоху дефицита, в которой проблема нехватки продовольствия стала определяющей. Так, в первой половине XX века увеличение урожаев

зерна повсеместно превышало прирост народонаселения, но, начиная с 1980 г., урожаи зерна на человека уменьшились. Увеличивающийся спрос на сельскохозяйственную продукцию требует увеличения площади пахотных земель. Однако земельные ресурсы, пригодные для пашни, ограничены. Удельная площадь пашни на одного жителя планеты постоянно сокращается и, по прогнозам, в 2050 г. может составлять только 0,15 га на одного человека [Кудеяров, Семенов, 2014].

Тревожным фактором в рамках этой проблемы является не просто абсолютный уровень численности людей, а соотношение бедных и богатых стран, бедных и богатых людей. Чтобы поднять уровень жизни 80 % населения планеты до уровня 20 % наиболее богатых, нужно увеличить объем потребления ресурсов в 20 раз, а к 2030 г. – в 40 раз, что нереально, поскольку это приведет к полному исчезновению природных ресурсов. Отсюда все более актуальным становится соблюдение принципа умеренности, переход с «уровня жизни» на «качество жизни», в котором учитываются принципы устойчивого развития. Так вот, устойчивое развитие означает найти пути примирения экономических и экологических задач.

## ***1.2. Постановка проблемы устойчивости почв***

Проблема устойчивости почв вытекает из следующих положений [Хитров, 2002]:

✓ почва – естественно-историческое динамическое природное тело. Важно знать не только время существования почвы, но и обязательно условия и характер изменения свойств почвы во времени. Иначе говоря, естественную и антропогенную эволюцию почв;

✓ нарастающая хозяйственная деятельность человека определяет широкое развитие деградации почв. Это, с одной стороны, требует принятия мер по охране почв и почвенного покрова для поддержания естественных механизмов функционирования биосферы и условий жизни человека, а с другой, ставит задачу разработки таких технологий воздействия на почву, которые обеспечивали бы рациональное и долговременное использование без негативных последствий. Для этого необходим выбор эталонов нормального состояния почв и ведение почвенного мониторинга.

Проблема устойчивости рассматривается как совокупность экзогенных (природных или естественных) и антропогенных воздействий (агрогенных, техногенных, рекреационных, пирогенных и т. п.).

В первом случае речь идет об устойчивости как внутреннем свойстве почвы. Во втором – об устойчивости состояния почвы в изменяющихся экологических условиях. Конкретизация каждого типа воздействия не делает проблему более ясной, чем в отношении совокупного воздействия. Например, по данным В.В. Снакина [2008], химическое воздействие зависит от свойств конкретного вещества, а этих веществ только промышленностью выпускается более 300 тыс. наименований, и это количество ежегодно увеличивается на 1–2 тысячи. Всего в биосферу уже поступило около 3 млн химических соединений, никогда не встречавшихся ранее в природе.

Таким образом, анализ устойчивости почв возможен с двух позиций:

- ✓ рассмотрение поведения почвы как компонента биосферы (биогеоценоза или элементарного ландшафта). Это подразумевает оценку изменений физических, химических, физико-химических и биологических свойств почвы;

- ✓ изучение состояния почвы как естественно-исторического тела. Это подразумевает определение ее устойчивости к внешним воздействиям в зависимости от пространственного расположения.

Решение проблемы устойчивости почв представляется очень трудным. И обусловлено это как чрезвычайно большим разнообразием воздействующих факторов и соответствующих реакций на них, так и большим разнообразием почв (почв с разными свойствами и признаками). Даже на равное внешнее воздействие различные почвы будут по-разному реагировать в зависимости от степени их устойчивости.

Количественная оценка устойчивости почвы к экзогенным воздействиям также еще трудно осуществляемая задача. Исследования ведутся достаточно активно и появляются материалы, иллюстрирующие изменчивость почв под влиянием различных воздействий. Сведения о состоянии и устойчивости экосистем, ландшафтов и их компонентов необходимы для оценки экологического состояния регионов, решения вопросов размещения новых объектов промышленности и ряда других территориально-управленческих проблем. *Устойчивость* при этом предлагается В.В. Снакиным [2008] *рассматривать как особый природный ресурс, поскольку ассимиляционная способность почвы по отношению к выбросам вещества и энергии в результате антропогенной деятельности является одним из критериев определения природоохранной политики.*

### ***1.3. Подходы к изучению устойчивости почв к экзогенным воздействиям***

Проблема устойчивости почв к внешним воздействиям – одна из наиболее обсуждаемых. Однако чаще всего она рассматривается на уровне теоретических (математических) моделей [Воробейчик и др., 2002]. Прямых натуральных измерений устойчивости мало. Известны два аспекта изучения устойчивости: а) устойчивость – способность противостоять внешним воздействиям (упругость); б) устойчивость как способность восстанавливаться после однократного нарушения (эластичность).

Измерение упругости может быть определено на основе анализа зависимостей «доза – эффект», связывающих, например, почвенные параметры (содержание гумуса, гранулометрический состав, биологическая активность, характеристики почвенного поглощающего комплекса и др.) и содержание тяжелых металлов в каком-либо слое почвы. Для построения дозовых зависимостей содержание тяжелых металлов и почвенные параметры оцениваются на большом количестве пробных площадей (от 20 до 200), расположенных в градиенте загрязнения от источника (например, трубы с выбросами). В большинстве случаев дозовые зависимости имеют выраженный нелинейный характер, так как упругость разных параметров лежит в широком диапазоне значений (слишком большая пространственная неоднородность почвенных параметров).

Измерение эластичности как показателя устойчивости требует тщательного подбора пробных площадей в градиенте загрязнения или другого внешнего воздействия, а также длительного времени исследований на них (в годовой и сезонной динамике). В этом случае определяется зависимость «время воздействия – почвенный параметр». Продолжительность восстановления различных параметров почвы разная, поэтому для достижения нового стационарного (равновесного) состояния почвы, например, по содержанию гумуса, требуется 25–50 лет, по мощности верхнего горизонта 25–30 лет, по рН – 3–4 года.

Как считает И.И. Ельников (2002), устойчивость плодородия следует рассматривать как функцию физико-химического и биологического взаимодействия почв и растений, а также круговорота и баланса питательных элементов в естественных и искусственных экосистемах. Почвы с высоким потенциальным плодородием и большими

запасами доступных растениям питательных элементов, но с нарушенным их балансом, могут характеризоваться низкой устойчивостью плодородия. И, наоборот, почвы с низким уровнем запасов питательных веществ, но при оптимальном их взаимодействии с растениями и замкнутом цикле круговорота биофильных элементов могут иметь высокую устойчивость плодородия. Поэтому некорректно оценивать устойчивость плодородия по скорости и степени отклонения их свойств от оптимального уровня. В качестве универсального критерия устойчивости плодородия почв И.И. Ельников предлагает использовать вынос элементов питания культурами севооборота, который может обеспечить та или иная почва в течение довольно продолжительного периода при минимальном уровне применения удобрений, без существенного снижения ее экологических функций. Использование урожайности в качестве критерия устойчивости плодородия неправильно, так как урожай не характеризует изменение экологических функций, а также скрытую опасность, связанную с изменением устойчивости почв к агрогенным и техногенным воздействиям.

Для диагностики устойчивости почв необходимо:

- ✓ выявление экологической роли свойств почв в сохранении сбалансированного питания растений;
- ✓ диагностика устойчивости видов растений на уровне сорта к пространственной неоднородности свойств почв;
- ✓ математическое моделирование связи сбалансированности питания растений в разные фазы их вегетации с общим выносом из почвы;
- ✓ диагностика по критериям сбалансированности содержания в растениях элементов – индикаторов деградации почв (кальций, железо, кремний, марганец, фосфор и др.).

Впервые концепция устойчивости почв к естественным и антропогенным воздействиям была разработана В.В. Докучаевым. На основании своих исследований он пришел к выводу, что в условиях *«степной природы действовал естественный режим, выработанный самой природой веками и строжайшим образом, до мелочей, регулировавший взаимные отношения и нормы между воздухом, водой, землей, растительными и животными организмами»*. В этом он усматривал проявление главного закона природы, сущность которого изложил в лекции своего курса *«Основы сельского хозяйства и средств борьбы с современными сельскохозяйственными невзгодами»* (1898).

В ней он высказал глубокую убежденность в том, что *«...стройность, осмысленность и целесообразность всей жизни ... свидетельствует о ... согласии, содружестве, сопомощи и даже любви, ... одухотворяющих всю природу – ... удивительное творение»*. Низким уровнем не только знаний, но и духовности объяснял он бесцеремонное отношение к русскому чернозему, приведшее к его стремительной деградации. В.В. Докучаев верил в возможность восстановления утраченного природного плодородия чернозема. Утверждал, что чернозем еще *«полон сил; дайте ему лишь необходимый воздух, почистите его»*.

Глубочайшие политические кризисы на Земле заставляют вновь и вновь обращаться к словам великого ученого.

### **Контрольные вопросы**

1. Определите обусловленность появления учения об устойчивости почв к экзогенным процессам.
2. Дайте оценку состояния окружающей среды и необходимости устойчивого развития.
3. Назовите характеристики и причины деградации почв и земель.
4. Подчеркните роль естественных, природных экзогенных воздействий, влияющих на устойчивость почв.
5. Проиллюстрируйте примерами переход с «уровня жизни» на «качество жизни», в которых учитываются принципы устойчивого развития.
6. Назовите основные положения, с которыми связана проблема устойчивости почв.
7. Поясните понятие «устойчивость как особый природный ресурс».
8. Раскройте понятия «устойчивость как упругость» и «устойчивость как эластичность».
9. Назовите характеристики, необходимые для диагностики устойчивости почв.
10. Назовите предпосылки возникновения учения об устойчивости почв к экзогенным воздействиям.

## Лекция 2. Понятие, критерии, механизмы и факторы устойчивости почвы к экзогенным воздействиям

### 2.1. Понятие устойчивости почв

В научной литературе понятие устойчивости почв определяется по-разному:

- ✓ устойчивость как инертность, не предполагающая активной реакции на воздействие;
- ✓ устойчивость как способность противостоять воздействию, сохраняя равновесие, структуру, параметры и характер функционирования;
- ✓ устойчивость как способность почвы возвращаться в исходное состояние после возмущения и сохранять свои функции.

Понятие устойчивости становится конкретным, когда указывается, устойчивость каких компонентов, параметров, процессов, функций почвы анализируется и по отношению к какому фактору.

Большинство исследователей устойчивость почв понимают как способность почв противостоять негативным воздействиям и восстанавливаться после их прекращения [Лебедева, Тонконогов, 2002].

По Н.Б. Хитрову (2002), понятие устойчивости всегда подразумевает *реакцию объекта на внешнее воздействие со стороны других объектов*. Причем, по его мнению, об устойчивости целесообразно говорить только по отношению к слабым воздействиям. По отношению к сильным воздействиям целесообразно использовать понятие чувствительности (сенсорности).

Выделяют [Булгаков и др., 2002] также *потенциальную устойчивость*. Это фундаментальное свойство почвы, поскольку потенциальная устойчивость определяется ее свойствами и положением почвы в рельефе. Это, по сути, фактическая устойчивость, которая зависит:

- а) от состояния почвы в данный отрезок времени и в конкретных условиях;
- б) характера и интенсивности естественных (природных) и антропогенных воздействий на почву.

По мнению В.И. Кирюшина (2002), понятие устойчивости природных ландшафтов и агроландшафтов существенно различаются. Под устойчивостью природных ландшафтов он *понимает способность сохранять саморегулирующееся функционирование в пределах*



*естественного колебания их параметров под воздействием внешних факторов.* Параметрами устойчивости природных ландшафтов называют структуру, функции, режимы, интенсивность и сбалансированность биологического круговорота, биологическую продуктивность.

Устойчивость агроландшафта представляется В.И. Кирюшиным как способность поддерживать заданные производственные функции, сохраняя при этом биосферные функции. Устойчивость агроландшафта зависит от требований сельскохозяйственных культур к агроэкологическим условиям ландшафта. Наименьшей устойчивостью отличаются лесостепные и степные агроландшафты на черноземах, расположенных на равнинах (плакоре). При распашке таких черноземов устойчивость их сильно снижается из-за усиления водной эрозии и дефляции. Обеспечение экологической устойчивости таких агроландшафтов и почв требует введения противоэрозионных систем земледелия, сдерживающих эрозионные потери почвы.

При создании агроландшафтов на засоленных почвах проявляется новое состояние водно-солевого режима, устойчивость которого поддерживается мелиоративными приемами.

Устойчивость агроландшафтов в таежной зоне на подзолистых почвах находится в противоречии с элювиальными процессами и заболачиванием. Поддержание устойчивости требует постоянного сдерживания этих процессов и компенсации потерь внесением извести, удобрений, травосеяния и др.

Следует выделить, что поведение почв и ландшафтов в естественных условиях и при активных антропогенных воздействиях очень различается. В естественных условиях круговорот вещества и энергии, поддерживающий почвы и ландшафты, не зависит от человека. Он действует длительный период, поэтому естественные почвы и ландшафты кажутся более устойчивыми в существующих условиях. Характер и интенсивность круговорота вещества и энергии в агропочвах и агроландшафтах во многом зависит от человека и в связи с этим часто подвергается резким изменениям. В результате агропочвы и агроландшафты не успевают выйти на равновесный режим функционирования. Они постоянно находятся в неустойчивом состоянии.

Итак, устойчивость почв можно определить как *способность почвы длительное время сохранять свое состояние (состав, структуру, пространственное положение) в условиях относительно небольшого изменения или колебания факторов почвообразования, а также способность восстанавливать основные качественные ха-*

*рактеристики своего исходного состояния после его нарушения [Хитров, 2002].*

Устойчивость почв проявляется вследствие следующих причин:

- ✓ инертность отдельных компонентов почвы к поступающим извне химическим веществам;
- ✓ относительная стабильность основных групп твердой фазы почвы;
- ✓ прочность почвы и способность сопротивляться механическим воздействиям;
- ✓ живучесть и биоразнообразие почвенной биоты;
- ✓ буферность как способность поддерживать относительное постоянство отдельных характеристик, например, pH;
- ✓ устойчивость функционирования почвы, обеспечивающая поддержание и обновление внутреннего состава, строения и характера связей между компонентами в условиях колебания (флуктуаций) внешних факторов почвообразования;
- ✓ способность к самовосстановлению.

В заключение этого раздела лекции отметим, что внешние воздействия классифицируются на следующие группы.

1. Естественные.
2. Антропогенные:
  - а) аграрные;
  - б) техногенные;
  - в) рекреационные;
  - г) военные и др.

При стабильных факторах среды (естественные группы воздействия) наблюдается достижение равновесного состояния почвы. Обладая той или иной мерой устойчивости, почва стремится сохранить достигнутое равновесие. Таким образом, развитие почвы при стабильных факторах среды (условий почвообразования) трактуется как саморазвитие почвы. Неоднородность почвенного покрова на какой-либо территории и его изменения определяются внутрипочвенными процессами. Особую роль при этом играют потоки вещества и энергии между генетическими горизонтами, горизонтами почвообразующей и подстилающей породы, а также между компонентами структуры почвенного покрова, занимающими различные позиции в зависимости от рельефа местности (территории).

Вторая группа воздействий объединяет все виды изменений почвы и почвенного покрова, обусловленных внешними причинами.

Особое место здесь занимают воздействия, связанные с деятельностью человека. Причем антропогенные изменения почв и почвенного покрова могут быть результатом направленного и стихийного воздействия. Такие воздействия вызывают существенную перестройку и перегруппировку почвенных процессов (вплоть до изменения классификационной принадлежности почвы). Степень перестройки почвы как сложного многофазного и многокомпонентного тела зависит от интенсивности воздействий, от того, насколько превышены пороговые значения поступления или отчуждения веществ, а также от буферности почвы, ее устойчивости.

## ***2.2. Критерии и механизмы устойчивости почвы***

Напомним, что понятие устойчивости подразумевает реакцию почвы на внешнее воздействие (например, колебание климата, смена растительности, агрогенные, техногенные и т. д.). Устойчивость почв можно определить и как способность почвы длительное время сохранять свое состояние в условиях относительно небольшого изменения факторов почвообразования, а также способность восстанавливать основные качественные характеристики своего исходного состояния после его нарушения. В соответствии с типами воздействий выделяются пять типов устойчивости почв: к механическим воздействиям; гидрологическим; химическим и радиохимическим; тепловым; биологическим [Росновский, Копысов, 2002].

*Критерии* оценки устойчивости почв объединяют [Хитров, 2002] в несколько групп:

- ✓ критические значения воздействий, вызывающих почти полное разрушение почвы;
- ✓ почвенные параметры, остающиеся неизменными при различных воздействиях;
- ✓ параметры динамики свойств почвы;
- ✓ критерии, являющиеся наиболее чувствительными к воздействиям (биологические тесты).

*Механизмами*, обеспечивающими устойчивость почв к внешним воздействиям, являются:

- ✓ многообразие компонентов почвы (минералы, коллоиды, органические и гумусовые вещества, соли, микро- и мезофауна и т. п.).

Это многообразие обеспечивает возможность довольно быстрой замены одного компонента другим для выполнения одной и той же функции;

✓ механическая прочность, упругость, эластичность компонентов твердой фазы почвы. Структурные связи между ними весьма прочны;

✓ способность почвы к поглощению и удержанию поступающих в нее химических и газообразных веществ (поглотительная способность почвы). Она обеспечивается процессами адсорбции, ионного обмена, низкой растворимостью многих соединений, активным удержанием живыми организмами. Эти процессы обусловлены, в свою очередь, важнейшими свойствами почвы: гетерополидисперсностью твердой фазы, наличием живых организмов (живая фаза почвы), сложностью порового пространства в почве;

✓ так называемая проточность почвы [Глазовская, 1997], т. е. наличие возможности удаления легкорастворимых солей за пределы почвы в результате вертикального (песчаный или супесчаный гранулометрический состав, например) или горизонтального (глинистый гранулометрический состав, слитное сложение, например) промывания;

✓ возможность сохранения внешних условий, которые обеспечивают существование почвенных процессов для поддержания состава и свойств данной почвы.

Критерии оценки и механизмы, обеспечивающие устойчивость, отражают такие характеристики почвы, как *почва-память* и *почва-момент*. Переходим к следующему вопросу лекции.

### **2.3. Почва-память, почва-момент**

*Почва-память* – это совокупность устойчивых и консервативных свойств почвенного профиля, являющихся интегральным результатом действия факторов и почвенных процессов в течение всего периода почвообразования (от нуль-момента до момента наблюдения). Почва-память отражает длительно действующую комбинацию факторов и процессов почвообразования. Известный ученый-почвовед И.П. Герасимов (1973) рассматривал процессы как «передаточные механизмы» от факторов к почвенному профилю, записав это в трехчленную формулу: факторы почвообразования → процессы почвообразования → почвы (профиль, свойства). По этой формуле можно сказать, что *почва отражает среду*.

Возникает два вопроса: 1) как быстро почва может отразить в своих свойствах факторы и процессы почвообразования; 2) насколько полно почва отражает факторы и процессы.

Известно, что образование зрелого (т. е. хорошо дифференцированного на генетические горизонты) почвенного профиля происходит в течение сотен, тысяч и даже сотен тысяч лет. Период формирования зрелого почвенного профиля называют *периодом саморазвития*. Время, необходимое для того, чтобы почва (признак, процесс), развивающаяся под влиянием факторов среды, пришла в равновесие (или квазиравновесие) с этими факторами, называется *характерным временем почвы (ХВ)*. Уместно пояснить, что под равновесием понимается такое состояние почвы, когда ее свойства и признаки не меняются совсем или колеблются незначительно очень медленно, находятся около среднего значения.

**Характерное время зрелого почвенного профиля равно периоду его саморазвития.** Различные почвенные свойства имеют разные характерные времена. Причем в разных климатических условиях одни и те же свойства почв могут иметь разные характерные времена. Точных сведений о характерных временах почвенных свойств еще мало. В качестве примера приведем данные В.О. Таргульяна и Т.А. Соколовой (1996) в таблице 1. Эта группировка неполная и довольно гипотетична. Но она позволяет ответить на первый вопрос: а) своими лабильными свойствами с малыми характерными временами почва способна отразить за часы – годы действие сегодняшних факторов почвообразования; б) своими консервативными свойствами почва отражает факторы, действующие на протяжении очень длительного отрезка времени (сотни тысяч – миллионы лет).

А теперь попытаемся выяснить ответ на второй вопрос: насколько полно почва отражает в своих свойствах информацию о факторах своего образования и существования? Ответ на него находим, анализируя почву-память и почву-момент. В почву-память входят свойства, имеющие большие характерные времена своего образования и свойства, обладающие значительной устойчивостью. Это, например, гранулометрический состав, обменные катионы в коллоидах, «ядерная» часть молекулы гуминовых и фульвокислот. Почва-память отражает длительно действующую комбинацию факторов и процессов почвообразования. Если на протяжении периода развития почвенного профиля факторы и процессы менялись, то почва-память может запомнить (записать в профиле) отражения былых, исчезнув-

ших факторов почвообразования и процессов. Например, профиль со вторым гумусовым горизонтом O-A1-A2-B<sub>h</sub>-BC-C (O-AУ-AEL-BТ-BТ<sub>h</sub>-BC-C). Почва-память может отразить и кратковременные изменения среды (например, действие экстремально влажных лет на солевой профиль аридных почв).

Таблица 1 – Группировка свойств почв по примерной величине характерного времени [по В.О. Таргульяну и Т.А. Соколовой, 1996]

Свойства почв	Характерное время
Влажность, температура	Часы, сутки
Состав почвенных растворов	Сутки, месяцы
Состав почвенного поглощающего комплекса	Месяцы, годы
Горизонты O (A <sub>0</sub> ), A <sub>s</sub>	Годы, десятки лет
Глеевые горизонты	Десятки, сотни лет
Гумусовый профиль, карбонатный профиль	Сотни, тысячи лет
Профиль, дифференцированный по илу, SiO <sub>2</sub> , R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Тысячи, десятки тысяч лет
Выветривание полевых шпатов биотита, амфиболов, пироксенов	Десятки и сотни тысяч
Зрелый почвенный профиль	Десятки и сотни тысяч лет
Выветривание кварца	Миллионы лет

*Почва-момент – это совокупность динамических лабильных свойств, являющихся результатом факторов и процессов в момент наблюдения. Это свойства с короткими характерными временами. Они имеют наибольший отклик на экзогенные воздействия. Например, содержание питательных элементов, структурный и агрегатный состав, запасы влаги, почвенный воздух и т. п. Изучая почву-момент, мы получаем информацию о сегодняшнем взаимодействии факторов и сегодняшних процессах. Таким образом, почва как тело естественно-историческое и одновременно функционирующее, в настоящий период является двуединым объектом, в котором сочетаются свойства почвы-памяти и свойства почвы-момента. По сути, свойства почвы-памяти образованы суммированием свойств почвы-момента на протяжении всей истории почвообразования. Вместе с тем свойства почвы-момента обусловлены в значительной мере свойствами, накопленными в почве-памяти. Почва-память – это генетически обусловленный субстрат для почвы-момента, влияющий на нее и сам изменяющийся под ее влиянием. Почва-память и почва-момент совмещены в каждом почвенном профиле.*

Поэтому трехчленную формулу «факторы → процессы → свойства» можно представить в виде схемы (рис. 6).

Факторы → процессы → свойства

Факторы былых этапов → процессы былых этапов → свойства  
с большими ХВ = *почва-память*

Факторы сегодняшние → процессы сегодняшние → свойства  
с малыми ХВ = *почва-момент*

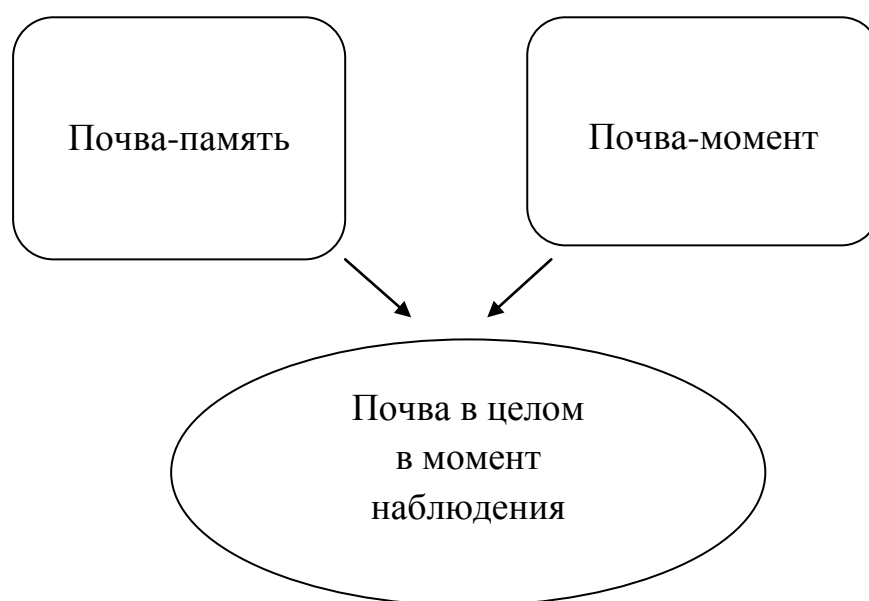


Рисунок 6 – Схема взаимодействия факторов, процессов, свойств и характерного времени почвы

В этой схеме заключены те свойства почвы, которые доступны непосредственному изучению. Они же отличаются разной степенью устойчивости к экзогенным воздействиям. Большую же часть процессов, ответственных за образование свойств почвы-памяти, мы можем лишь мысленно реконструировать. Их экспериментальное изучение невозможно, потому что они или полностью прекратили свое действие, или резко изменили интенсивность или сменились на другие процессы. Например, в окультуренных черноземах сейчас идет процесс минерализации гумуса, а не гумусонакопление. Другой пример – в почвах с недифференцированным профилем в условиях холодного гумидного климата иллювиальный AL-Fe-гумусовый процесс идет

интенсивнее, чем в AL-Fe-гумусовых подзолах с хорошо дифференцированным профилем.

Таким образом, почва как объект изучения устойчивости к экзогенным воздействиям может быть определена: а) как почва-память и б) почва-момент, а также как результат: в) современных и г) былых почвенных процессов.

## **Семинар 1. Современные представления об устойчивости почв**

*Материалы, оборудование, пояснения к выполнению:* конспекты лекции, научных публикаций, ПК. Изучив материалы темы, подготовьтесь к семинару.

*Задание:* подготовить ответы на вопросы семинара.

*Форма отчетности:* устные ответы на вопросы оцениваются баллами по пятизначной системе.

### **Вопросы к семинару**

1. Дайте определение понятию «устойчивость почв».
2. Проанализируйте определение «устойчивость почвы», сформулированное разными исследователями.
3. Поясните понятие «устойчивость ландшафта».
4. Назовите причины проявления устойчивости почвы.
5. Перечислите группы внешних воздействий на почвы.
6. Назовите критерии оценки, определяющие устойчивость почв.
7. Назовите механизмы оценки, определяющие устойчивость почв к внешним воздействиям.
8. Раскройте понятие «почва-память».
9. Поясните значение показателя «характерное время почв». Приведите примеры.
10. Раскройте понятие «почва-момент». Приведите примеры.
11. Поясните схему взаимодействия факторов, процессов, свойств и характерного времени почвы.



## Лекция 3. Носители почвенной памяти

### 3.1. Уровни организации твердой фазы почвы

Носители почвенной памяти очень разнообразны. По составу они подразделяются на минеральные, органические и органо-минеральные; по генезису – на биогенные и абиогенные, естественные и антропогенные. Учитывая сложность почвы как системы, память почвы и носители памяти изучаются в иерархической организации. В такую иерархию включаются следующие уровни организации твердой фазы почвы: молекулярный – внутриагрегатный – агрегатный – горизонтный – почвенный профиль.

**Молекулярный уровень** представлен индивидуальными соединениями (молекулы, хелаты, оксиды, аморфные минералы, споры, пыльца) и индивидуальными частицами (механические частицы, наночастицы и наноминералы).

На этом уровне, например, химический состав и строение органических и органо-минеральных молекул отражает соотношение процессов разложения растительных остатков и новообразование из них гумуса, процессы взаимодействия его с минеральными частицами, что, в свою очередь, зависит от типа растительности, климата и других факторов.

Другой пример: состав и строение минеральных частиц почвы отражает геохимические, термические и гидрологические режимы почвообразования и внутрипочвенный процесс выветривания, а через них – черты климата и биоты как факторов почвообразования.

На этом же уровне очень информативными носителями почвенной памяти являются споры, пыльца. Их широко используют для реконструкции былых условий почвообразования, например, в палеопочвоведении.

На этом же уровне большую информативность наночастиц и наноминералов можно использовать при исследовании источников и процессов техногенных загрязнений почв.

**Внутриагрегатный уровень** почвенной организации представлен глинистыми минералами, зернами скелета, органическими и органо-минеральными соединениями или кутанами (пленками) внутриагрегатных пор.

На этом уровне хорошо записываются процессы элювиирования-иллювиирования, а соответственно условия и режим увлажнения, явления микроагрегации почвенных частиц (набухание, сжатие, адгезия, склеивание-коагуляция частиц).

**Агрегатный (структурный) уровень** почвенной организации определяет структурную память почвы и почвенную архитектуру.

На этом уровне резко проявляются различия в почвенной записи на поверхности раздела и во внутренних частях почвенных агрегатов. Поверхность раздела любого отдельного агрегата наиболее открыта для различных внешних воздействий (газов, растворов, твердых частиц). Внутренняя масса агрегата более защищена от таких воздействий. Поэтому запись на поверхностях раздела более лабильная, чем внутри агрегата. Внутриагрегатная масса более инертна по отношению к действующим процессам и внешним воздействиям, записывает информацию медленно, но и удерживает ее намного дольше в процессах эволюции почв, чем поверхность раздела. На этом уровне почвенной организации исследуются очень информативные носители почвенной памяти – кутаны, покрывающие поверхности агрегатов, поверхности пор, трещин. Это кутаны иллювиирования ила, пыли, карбонатов, соединений кремния, железа, алюминия и гумуса. Они позволяют отслеживать не только динамику изменений вещественного состава почвы, но и временную последовательность иллювиальных процессов.

**Уровень почвенных горизонтов**, как уровень почвенной памяти, имеет гораздо более сложную запись, чем предыдущие уровни. С одной стороны, он включает память всех предыдущих уровней, а с другой, имеет собственную горизонтную память.

На этом уровне:

протекают (записываются) элементарные (горизонтообразующие или профилеобразующие) почвообразовательные процессы (ЭПП);

взаимодействие различных сочетаний климата, растительности, породы, рельефа, определяющих эти ЭПП;

происходит формирование генетических горизонтов в почвенном профиле (органо-аккумулятивных, элювиальных, иллювиальных, иллювиально-гумусовых, иллювиально-глинистых, глеевых, карбонатных, солонцеватых и др.) и в каждом из них записываются «действия» ЭПП.

Выделяют три группы генетических горизонтов:

*поверхностные* (O, T, A) или (AO, AY, AJ, AU, AK, PU, E, EL, AEL) – записывают наибольший спектр различных факторов и процессов почвообразования;

*срединные* (В) или (ВЕL, ВНF, ВТ, ВI, ВМК, САТ) – записывают более глубоко протекающие факторы почвообразования и развиваются под управлением поверхностных горизонтов;

*глубинные* (С) – проникают лишь самые мощные факторы почвообразования, доминируют ЭПП замедленного внутрипочвенного выветривания.

Рассмотрим горизонтный уровень почвенной организации на примере почв, распространенных в разных почвенно-климатических поясах (рис. 7, 8, 9).



*Рисунок 7 – Горизонтный уровень тундровой почвы (подбуры глеевые иллювиально-железистые) в полярном почвенно-климатическом поясе*



*Рисунок 8 – Горизонтный уровень дерново-подзолистой почвы (дерново-подзолистые типичные) в бореальном почвенно-климатическом поясе*



*Рисунок 9 – Горизонтный уровень чернозема выщелоченного (чернозема глинисто-иллювиального) в суббореальном почвенно-климатическом поясе*

**Уровень памяти почвенного профиля** отражается в докучаевской формуле «почва – зеркало ландшафта» или «один тип климата – один тип ландшафта – один тип зональной почвы».

В идеальном смысле можно считать, что профиль записывает (запоминает) зональные черты климата, биоты и породы:

O-A-A2-A2B-B-C

O-AУ-EL-BEL-BТ-C

O-A1-A1A2-A2B-B-C

O-AУ-AEL-BEL-BТ-C

A-AB-B-Bк-Ск

AU-BI-Cca

AU-BCA-Cca

AU-CAT-Cca

As-Bs-Cs

S-Csg

На самом деле однотипная обстановка климата, биоты, рельефа и пород не всегда проявляется. Различные сочетания этих факторов, особенно в условиях неоднородного рельефа, приводят к неоднородности почвенного покрова даже на небольшой территории.

Поэтому более высоким уровнем почвенной памяти являются разномасштабные **уровни организации почвенного покрова** (почвенные комплексы, сочетания, комбинации, региональные покровы вплоть до педосферы Земли в целом). Эти уровни почвенной памяти записывают в разных масштабах пространственное сочетание различных факторов почвообразования, а также степень участия внешних воздействий на почвенный покров.

Подытожим сказанное в этом разделе.

- ✓ Общий облик почвенного покрова на континентах, в крупных регионах отражает глобальные климатические и биотические особенности территорий.

- ✓ Отдельные почвенные профили записывают главные черты природной среды и ее эволюции в каждой данной «точке» своего формирования.

- ✓ Горизонты, их состав, мощности, границы записывают более конкретные детали факторов почвообразования. В них отражается агрегатный, внутриагрегатный и молекулярный уровни памяти почв.

- ✓ Проблема множественности слоев памяти в почве (педосфере в целом) очень сложна, слабо изучена и привлекательна для дальнейших исследований.

### ***3.2. Методы исследования носителей почвенной памяти***

Методами исследования различных уровней почвенной организации являются:

- ✓ морфологические методы (макро-, мезо-, микроморфологические);

- ✓ аналитические методы изучения вещественного состава и свойств твердой фазы почвы (весь комплекс методов, принятых в почвоведении, геохимии, минералогии).

### ***3.3. Минеральные носители памяти почв***

Носителями почвенной памяти являются различные минеральные компоненты. Рассмотрим среди них следующие:

- ✓ песчаные и пылеватые частицы;

- ✓ глинистые частицы;
- ✓ минералы железа;
- ✓ карбонатные новообразования;
- ✓ поровое пространство.

**Песчано-пылеватые частицы** – самая инертная, стабильная, медленно изменяющаяся часть твердой фазы почвы. Как носители памяти, они имеют некоторые особенности: 1) сохраняют признаки, связанные с допочвенной историей материала; 2) несут большой объем литогенной памяти. Поэтому песчаные и пылеватые частицы – долгоживущий компонент почвы, обладает большой временной емкостью.

Макро- и микроморфологическое исследование таких крупных частиц позволило, например, объяснить локальные особенности генезиса почв на острове Валаам (Онежское озеро). Они сильно отличаются от других почв на окружающих территориях Балтийского щита. В них нет признаков оподзоливания. Иллювиальные горизонты залегают прямо под подстилкой или под горизонтом А и имеют красно-бурую (южную) окраску, редко наблюдаемую в почвах бореальной зоны. Окраска обусловлена накоплением оксидов и гидроксидов Fe. Эти почвы классифицированы как буроземы. Источником Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Fe(OH)<sub>3</sub> в песчаных и пылеватых частицах служит в данном случае особая порода – габбро-диабаз. Микроморфологический анализ крупных частиц показывает процессы переотложения, химического выветривания минералов в составе этих пород, диспергацию продуктов выветривания, сопровождающуюся накоплением *in situ* (букв.: на месте) тонкодисперсных глинистых частиц и гидроксидов Fe, высвобождение катионов-оснований. Совокупное действие этих процессов отвечает за формирование особого комплекса морфологических и химических свойств валаамских почв: яркую красно-бурую окраску, отсутствие оподзоленности, высокую емкость катионного обмена (ЕКО), насыщение почвенно-поглощающего комплекса (ППК) основаниями, накопление гумусово-железисто-глинистых комплексов. В сочетании с довольно мягким климатом в таежных лесах Валаама почвенные процессы благоприятствовали появлению особых почв, которые служили базой для раннего земледельческого освоения острова и создания устойчивых и продуктивных монастырских агросистем (рис. 10).



*Рисунок 10 – Валаам. Монашеский сад*

**Глинистые минералы** – химически активный минеральный компонент почв и пород, который может изменяться под влиянием факторов почвообразования, в т. ч. деятельности биоты, а также и любых внешних воздействий. Значит, глинистые минералы могут «записывать» и «запоминать» результаты этих изменений и сохраняться в почвенном профиле в течение долгого времени.

Влияние различных процессов на минералы реализуется главным образом опосредованно – через состав почвенных растворов. Именно состав почвенных растворов определяет направление и скорость изменения минералов. Значит, в памяти глинистого материала записываются определенные характеристики почвенного раствора и, соответственно, факторы, их контролирующие.

Наибольшую роль в изменении глинистых минералов играют следующие характеристики почвенного раствора:

- ✓ концентрация угольной кислоты;
- ✓ концентрация органических кислот;
- ✓ концентрация и формы соединений Si, Al, Fe, Mg, K, входящих в состав кристаллической решетки глинистых минералов.

Все характеристики почвенного раствора являются прямым или косвенным результатом деятельности биоты в определенных гидротермических условиях.

Процессы образования и изменения глинистых минералов в почве под действием условий среды или любых экзогенных воздействий делятся на четыре группы.

1. Синтез глинистых минералов.

2. Трансформационные изменения глинистых минералов.
3. Разрушение глинистых минералов.
4. Механическое перемещение глинистых минералов.

*Синтез* глинистых минералов протекает:

- а) путем гидролиза первичных алюмосиликатов



Образование каолинита рассматривается как пример первичной памяти;

б) осаждение из растворов (молекулы  $H_4SiO_4$  и гидрокомплексы Al формируют устойчивый алюмосиликатный золь – «протоимоголит», способный к миграции в кислой среде, что наблюдается в подзолистых почвах). Наличие аллофанов и имоголитов рассматривается как пример вторичной памяти;

в) в лабораторных условиях синтез монтмориллонита наблюдали, выращивая на базальте соевые бобы.

*Трансформационные* изменения в ряду, например, слюда → иллит → вермикулит (слюды → лабильные минералы) связаны с необменным поглощением (фиксацией) калия вермикулитом. Это можно рассматривать как память об условиях кислой реакции среды ( $pH < 4$ ) и память о том, что активность  $K^+$  в почвенном растворе превышала определенную величину ( $pK 2,5-3,0$ ).

*Разрушение* глинистых минералов – выход в раствор различных химических элементов из кристаллических решеток минералов. Главная роль здесь принадлежит органическим кислотам, продуктам жизнедеятельности микроорганизмов и корневых систем растений. Поэтому разрушение глинистых минералов – это память о функционировании биоты определенного состава в определенных условиях.

Критерием разрушения-растворения глинистых минералов является отрицательный баланс илистой фракции. Это значит, что в почве происходил процесс разрушения минералов, в итоге которого наблюдается исчезновение из всего или части почвенного профиля глинистых минералов. Миграция разрушенных минералов определяет подзолистый процесс почвообразования. Разрушение глинистых минералов сопровождается изменением степени дисперсности почвенного материала. Это оглинение (дробление частиц) и накопление частиц  $< 1$  мкм происходит за счет увлажнения-высыхания, промерзания-оттаивания почвенной массы. Таким образом, оглинение – это



память о действии атмосферных осадков, вызывающих увлажнение-высыхание или промерзание-оттаивание.

Миграция неразрушенных минералов в условиях промывного типа водного режима и переотложение их в нижележащих горизонтах приводит к лессиважу. Это явление диагностируется по наличию в иллювиальных горизонтах глинистых кутан, которые можно рассматривать как память о перемещении и переотложении неразрушенных глинистых минералов.

Рассмотрим это явление на примере данных В.М. Корсунова и Э.Ф. Ведровой (1982) по балансу минеральных веществ в профиле дерново-глубокоподзолистой почвы высокотравной черневой тайги Салаира (Западная Сибирь). В профиле почвы ил активно вымывается из элювиального горизонта (А2 или ЕL) и аккумулируется в иллювиальном горизонте (В или ВТ), что объясняется выносом высокодисперсного материала боковым током внутрипочвенных вод. Отчетливая дифференциация по элювиально-иллювиальному типу отражена и в химическом составе мелкозема (табл. 2). Как видим, верхняя 60-сантиметровая толща почвы относительно обогащена первичными минералами, в составе которых преобладают кварц, кремнекислота силикатов и глинозем. Глинные минералы в элювиальном горизонте разрушены и продукты распада ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ) вынесены из них в иллювиальный горизонт. Изменение в профиле молекулярных отношений также подтверждает накопление кварца в элювиальной толще по сравнению с породой.

Таблица 2 – Валовой состав дерново-глубокоподзолистой почвы по данным трехкислотной вытяжки, % от массы прокаленной почвы [Корсунов, Ведрова, 1982]

Глубина, см	Фракция		$\text{SiO}_2$				$\text{Fe}_2\text{O}_3$			$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$
	Н*	Р**	кварца	силикатов	Р	$\Sigma$	Н	Р	$\Sigma$		
0–10	26	31	42,84	16,17	12,49	71,50	0,37	4,89	5,26	6,7	22
10–38	27	28	44,88	16,52	11,50	72,90	0,35	4,73	5,08	6,9	24
38–58	23	28	49,30	17,37	11,19	73,86	0,28	4,78	5,06	7,5	26
70–90	22	45	32,83	14,19	20,29	67,31	0,33	6,61	6,94	4,1	13
100–120	21	47	32,32	13,17	21,58	67,07	0,27	6,65	6,92	4,1	13
200–220	19	48	33,00	12,46	19,20	64,66	0,19	6,11	6,30	4,4	14

\*Нерастворимая фракция

\*\*Растворимая фракция

Расчет показателей изменения вещественного состава подтверждает элювиированность верхней толщи почвы. В иллювиальной части профиля вынос вторичных минералов резко снижается. Вынесенные из элювиального горизонта кремний-силикатов, Fe и Al почти на 50 % накапливаются в иллювиальной толще, силикатный Ca продолжает интенсивно выноситься из горизонта В. Величина выноса из профиля вторичных минералов и основных элементов определяется потерей из элювиальной толщи (табл. 3). Так, при потере в элювиальном горизонте 3 767 г глинистых минералов 64 % этого количества задерживается в иллювиальном горизонте и только 36 % выносятся за пределы профиля. Поступающие в иллювиальный горизонт кремнезем и железо на 95 % поглощаются им, алюминий и магний – на 76–79 %.

Таблица 3 – Баланс нерастворимой и растворимой фракции минералов и ила [Корсунов, Ведрова, 1982]

Часть профиля	Фракция			Ил
	Н	Р	$\Sigma$	
ЭГ, 0–64 см	–341	–3767	–4108	–2323
% от исходного	14	61	48	68
ИГ, 64–200 см	–27	–1368	–1395	–350
% от исходного	1	12	9	6
Весь профиль	–368	–5135	5503	–2673
% от исходного	5	30	23	28

ЭГ – элювиальный горизонт

ИГ – иллювиальный горизонт

Для оценки элювиирования основных породообразующих элементов первичных и глинистых минералов следует обратить внимание на соотношение между потерей веществ из элювиального и иллювиального горизонтов профиля рассматриваемой почвы (табл. 4). Видно, что в иллювиальной толще глубокоподзолистой почвы почти полностью задерживаются все (за исключением кальция силикатов) элементы, мобилизованные в верхней части профиля. Отмечается и высокая подзолистость элювиального горизонта.

Таблица 4 – Соотношение между выносом веществ из элювиального и иллювиального горизонтов, г/100 см<sup>3</sup> [Корсунов, Ведрова, 1982]

Часть профиля	Вторичные минералы	Si <sub>сил</sub>	Fe	Al	Ca <sub>сил</sub>	Mg <sub>сил</sub>	Фракция Н
ЭГ	3 767	1 683	372	687	318	318	341
ИГ	1 368	79	19	143	542	75	27
ИГ, % от выноса из ЭГ	36	5	5	21	170	24	8

Приведенные характеристики глубокоподзолистой почвы Салаира показывают общую направленность процессов, сформировавших ее профиль [Корсунов, Ведрова, 1982], память и момент:

- ✓ почва имеет профиль элювиального типа. Оподзоливание проявляется в преобладающем выносе и перераспределении вторичных минералов высокодисперсных фракций минеральной части почвы;
- ✓ изменения вещественного состава происходят в результате первичных и вторичных, преимущественно глинистых, минералов;
- ✓ продукты разрушения минеральной части почвы появляются в растворенном виде;
- ✓ максимальной подвижностью при почвообразовании отличается силикатный кальций, поскольку он выносится не только из элювиального горизонта, но и иллювиального;
- ✓ исследования подтверждают современное (почва-момент) развитие подзолистого процесса в почве.

**Минералы железа** используются как признаки почвенной памяти по трем причинам:

1) определяют окраску почвы. Так, почвы, обогащенные гематитом (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), имеют красный цвет и классифицируются как красноземы, а обогащенные гетитом (FeOOH) – как желтоземы. Эти почвы распространены в зоне влажных тропиков и субтропиков. Почвообразование на красноцветных породах Русской равнины, по данным Водяницкого [1998], содержащих гематит и гетит, выражается в ослаблении элювиальных процессов. В условиях холодного влажного климата на Камчатке гематит быстро переходит в гетит и почвы теряют свой красный цвет [Карпачевский, 2005];

2) определяют реликтовые признаки почвы, выступая свидетелями ее возраста. Это обусловлено их уникальным свойством – ферромагнетизмом. Многие погребенные почвы Украины, Молдовы, Ки-

тая, Центральной Азии характеризуются повышенной магнитной восприимчивостью. Величина ее колеблется в зависимости от степени гидроморфности. В автоморфных почвах магнитная восприимчивость погребенных гумусовых горизонтов выше, чем современных поверхностных горизонтов. А в гидроморфных условиях – ниже за счет растворения минерала;

3) определяют эволюцию почв. Изменение климата, рельефа, растительного и животного мира, почвообразующих пород и их возраста влияет на развитие или затухание процессов окисления-восстановления железа, т. е. гидроксидогенез Fe. В степных ландшафтах он выражен слабее, чем в лесных. Поэтому по установленным свойствам оксидов железа можно выявить фазы оксидогенеза и по ним реконструировать пути эволюции почв.

Таким образом, минералы Fe отражают литогенную (унаследованную от породы) память, эволюционную (содержащую реликтовые признаки) и современную память.

**Карбонатные новообразования** записывают информацию об окружающей среде и биогеохимических взаимодействиях.  $\text{CaCO}_3$  – индикатор изменения количества осадков и тепла. Так, высокое содержание  $\text{CaCO}_3$  в лессах связывают с сухим и холодным климатом, а низкое – с теплым и влажным.

Анализ публикаций позволяет отметить, что многообразие морфологических форм, размеров, минералогического состава карбонатных новообразований дает разнообразную информацию о процессах и условиях их формирования. Различные формы карбонатных новообразований, например, связывают с изменением климата и биологической активности [Корсунов, Красеха, 2010], различиями в скорости миграции. Поэтому их рассматривают в целях реконструкции условий и процессов образования. Например, согласно климатической концепции образования мицеллярно-карбонатных черноземов, необходимо относительно повышенное количество летних и зимних осадков при достаточной продолжительности периода с активными температурами [Геннадиев, 1990]. Бескарбонатность верхней части профиля является результатом другого климата – более континентального с относительно сухим и жарким летним сезоном и холодным зимним.

Карбонатные новообразования типа белоглазки могут быть обусловлены притоком карбонатов в результате их горизонтально-нисходящей миграции с повышенных элементов рельефа. Накопление плотных карбонатных новообразований, например, в черноземах

на склонах Ставропольской возвышенности, развивалось во многом за счет делювиально-бокового привноса веществ в растворенном виде. Такое обызвесткование имеет литогенно-гидрогенную природу, иллюстрирующую почву-момент.

**Поровое пространство** как носитель почвенной памяти. Поры служат ареной процессов жизнедеятельности (функционирования) почвы и почвообразования. Они выполняют роль связи почвенного воздуха, раствора и организмов с твердой фазой почвы. Пористость почв зависит от гранулометрического состава, степени агрегированности, плотности сложения, удельной поверхности, площади взаимодействия корней растений и почвы.

Поры классифицируются по размерам (табл. 5) и морфологическому строению.

Таблица 5 – Характеристика пор разного размера  
[Е.Б. Скворцова, 2003]

Размер, наименование пор		Характеристика пор
1		2
Криптопоры	< 0,0001 мм	Пустоты в изолированных ультрамикроагрегатах и между ультрамикроагрегатами, входящими в состав субмикроагрегатов; содержат недоступную растениям трудноподвижную воду
Микропоры	0,0001–0,001 мм тонкие микропоры	Пустоты между изолированными первичными минералами, между субмикроагрегатами, входящими в состав микроагрегатов; содержат труднодоступную трудноподвижную воду
	0,001–0,01 мм средние микропоры	Пустоты между микроагрегатами и пылеватыми зернами первичных минералов; являются влагосберегающими, содержат среднедоступную среднеподвижную воду
	0,01–0,03 мм грубые микропоры	Пустоты, образованные мезоструктурными элементами: крупнопылеватыми и мелкопесчаными зернами первичных минералов, солей, глинистыми и скелетноглинистыми микроагрегатами; обладают свойствами капилляров, содержат среднедоступную среднеподвижную воду, могут относиться к порам аэрации

	1	2
Мезопоры	0,03–0,075 (0,1) мм	Поры упаковки мезоструктурных элементов, капиллярные поры внутри агрегатов; содержат легкодоступную легкоподвижную воду, относятся к порам аэрации
Макропоры	0,075 (0,1)–1 мм очень тонкие макропоры	Поры упаковки мезо- и микроагрегатов. Биогенные поры; содержат легкоподвижную капиллярную воду, относятся к порам аэрации
	2–5 мм средние макропоры и > 5 мм грубые макропоры (мегапоры)	Поры упаковки макроагрегатов, комков, глыб, биогенные поры; содержат легкодоступную легкоподвижную капиллярно-гравитационную и гравитационную воду, относятся к порам аэрации

Поры разного размера по-разному реагируют на почвообразование. Криптопоры и большинство микропор не участвуют в передвижении почвенных растворов и недоступны для корней и организмов. Поры такого размера почти не изменяются при почвообразовании, но сохраняют свойства, унаследованные от почвообразующей породы.

Мезопоры участвуют в капиллярном переносе воды, доступны для бактерий, корневых волосков, простейших и водорослей, отражают внутреннее строение макроагрегатов почвы (упаковку микроагрегатов). Мезопоры по сравнению с микропорами более динамичны, изменяются при набухании и усадке почвы, определяют биогенное оструктурирование, засоление и рассоление почвенной массы, формирование почвенных корок.

Макропоры принимают участие во всех основных почвообразовательных процессах. Тонкие и средние макропоры записывают и сохраняют информацию о процессах и факторах педогенного структурообразования. Грубые макропоры – это педотурбационные пустоты, морозобойные трещины, места обитания почвенной мегафауны. В макропорах, особенно мегапорах, сохраняются записи о биологических, климатических и других экзогенных факторах и процессах.

Таким образом, размер почвенных пор оказывает влияние на характер почвенной памяти. Более тонкие поры сохраняют информацию о литологической основе почвы. Мезо- и макропоры имеют наи-

большие возможности для записи комплекса почвенных процессов и факторов.

Показателями морфологического строения пор являются форма, ориентация и взаимное расположение пор, суммарный объем пор (общая пористость). Их протяженность, извилистость, «тупиковость» играют важную роль в движении воды, корней растений, животных [Карпачевский, 2005]. Морфологическое строение пор связано с их генезисом, что определяет и водные возможности памяти. Например, доминирование изрезанных пор указывает на агрегирование почвенной массы по округло-комковатому типу. Обилие трещиновидных пор говорит об угловатых формах структурных отдельностей. Биогенные поры представляют собой места обитания корней и почвенной фауны и их ходы.

Морфология пор несет память о пространственной организации почвы, о механизмах почвенного оструктурирования. Изменение общей пористости отражает процессы уплотнения и разуплотнения почвы, процессы диспергирования и дезагрегации почвенной массы. Е.Б. Скворцова разработала критерий F (критерий формы) для оценки формы пор (табл. 6).

Таблица 6 – Группировка почвенных пор по величине фактора формы F [по данным Е.Б. Скворцовой, 2003]

Значение фактора F	Форма пор	Описание пор
< 0,2	Трещиноватая	Трансагрегатные трещины, трещиновидные поры упаковки угловато-боковых и пластинчатых структурных отдельностей
0,2–0,4	Вытянутая Изрезанная	Поры упаковки комковато-зернистых агрегатов и состоящих из них блоков, другие вытянутые изрезанные поры в агрегированной и неагрегированной почве
0,4–0,6	Изометричная Изрезанная	Поры упаковки округло-комковатых агрегатов, поры-ваги в слабоагрегированной почве
0,6–0,8	Изометричная Слабоизрезанная	Каналы, слабоизрезанные поры, замещенные в неагрегированной почве
0,8–1,0	Округлая и близкая к округлой	Каналы, камеры, пузырьки

Расшифровка записей в поровом пространстве служит основой для диагностики структурного состояния и различных его реконструкциях при экзогенных воздействиях, а также позволяет прогнозировать движение воды в почве. Например, по трещинам фильтрация воды ускоряется, при горизонтальной ориентации пор, напротив, вода не может участвовать в фильтрации.

Изучая строение порового пространства в почвенном профиле, накапливается материал, характеризующий поровое пространство как носитель:

- ✓ литогенной почвенной памяти;
- ✓ эволюционной почвенной памяти;
- ✓ современных процессов почвообразования.

### ***3.4. Биогенные носители памяти почв***

Из биогенных носителей памяти почв рассмотрим микробиоморфные комплексы и гумусовые вещества.

*Микробиоморфные комплексы (МБК)* сохраняют свои параметры на протяжении длительного времени и являются биогенным компонентом памяти почв. Знание о микробиоморфной памяти важно, поскольку оно свидетельствует о том, что на каком-то минеральном субстрате поселилась жизнь и начались процессы почвообразования. Любые воздействия прежде всего отражаются на составе и распределении МБК, а значит и на изменениях почв и почвенных процессов.

К микробиокомплексам относятся пыльца и споры, детрит растений, грибные гифы, диатомовые водоросли, фитоциты, уголь, семена, раковины моллюсков, ходы червей, корней, кротовины. Информационная значимость МБК заключается в следующем [Основные достижения ..., 2017]:

- ✓ пыльца и споры отражают растительный покров региона;
- ✓ диатомовые водоросли свидетельствуют о повышенном гидроморфизме территории, характеристике водоема. Это показатель заметного количества водорастворимого органического вещества, болотного и аллювиального типов почвообразования;
- ✓ уголь – следы пожаров, состав региональной древесной флоры, а в пахотных почвах указывает на внесение в почву золы в качестве удобрений или на сжигание стерни;
- ✓ детрит используется для диагностики культурных слоев в палеопочвах, поверхностных, заболоченных и оторфованных горизонтах других почв;



✓ раковины – это индикатор поверхностных и срединных горизонтов аллювиальных почв, признак грубогумусной подстилки.

Особенности земледелия в прошлом с внесением органических удобрений (торф, навоз) и подсечное земледелие без внесения удобрений не фиксируются никакими иными анализами, кроме микробиоморфного. Распашка земель всегда сопровождается изменениями МБК. Если почва не удобряется, то происходит уменьшение содержания всех микробиоформ, за исключением фитоцитов культурных злаков. Если в почву регулярно вносятся органические удобрения, происходит резкое обогащение пахотного слоя детритом, углями, золой. При переходе пашни в залежь наблюдается еще больше детрита, пыльцы, спор.

Орошение приводит к постепенному появлению диатомовых водорослей, спикул губок.

Выпас скота оказывает сильное влияние на травяной ярус: уменьшается продуктивность, проективное покрытие, меняется флористический состав растений. Почва обедняется детритом, а пыльцевые зерна хуже сохраняются.

Микробиоморфные исследования используются в почвоведении на протяжении последних 15–20 лет, в криминалистике – около 10 лет. Изучение микробиоморфного комплекса искусственно созданной культурной почвы (возраст 150–170 лет) Аптекарского сада (остров Валаам) показывает, что вся толща этой почвы создана за счет постоянного привноса и перемешивания оторфованных подстилок, гумусовых горизонтов зональных почв, навоза и золы. В этой почве содержится также информация об органических и минеральных добавках в исходный грунт.

Количественные характеристики различных МБК позволяют делать выводы об истории развития среды, о характере, длительности и последовательности этапов почвообразования.

*Гумусовые вещества* в формировании памяти почв занимают особое место. Это обусловлено рядом причин:

- ✓ гумусовые вещества являются продуктами гумификации;
- ✓ гумификация протекает повсеместно при наличии любого количества растительной мортмассы (детрита);
- ✓ состав, структура и свойства гумусовых веществ определяются биоклиматическими условиями;
- ✓ разные группы гумусовых веществ характеризуют различные почвообразовательные (в первую очередь – профилеобразовательные)

процессы: гуминовые кислоты (ГК) – аккумулятивный, фульвокислоты (ФК) – элювиально-иллювиальный характер почвообразования.

Гумус в своих характеристиках сохраняет информацию о природной среде своего формирования на разных уровнях: составе, структурных особенностях и свойствах гумусовых кислот, составе и свойствах гумуса отдельных горизонтов и гумусового профиля в целом. Причины такой сохранности объясняются тем, что гумус представляет собой систему гумусовых веществ, компоненты которой являются системами молекул органической и неорганической природы. Их объединение («сборка») приводит к формированию органо-минеральных соединений, обладающих способностью самовосстанавливаться. Гумусовые профили «записывают» последовательную смену условий почвообразования на протяжении всего времени формирования почвы. Соотношение ГК:ФК служит маркером процесса почвообразования.

Многочисленные исследования показывают, что принципиальная возможность использования гумуса в качестве памяти почв и характере экосистем и ландшафтов, в которых они формируются, не вызывает сомнений.

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите носители почвенной памяти.
2. Поясните молекулярный уровень организации твердой фазы почвы.
3. Поясните внутриагрегатный уровень организации твердой фазы почвы.
4. Поясните агрегатный уровень организации твердой фазы почвы.
5. Поясните уровень почвенных горизонтов.
6. Поясните уровень памяти почвенного профиля.
7. Поясните уровень организации почвенного покрова.
8. Назовите методы исследования носителей почвенной памяти.
9. Перечислите минеральные носители почвенной памяти.
10. Дайте оценку песчано-пылеватым частицам в качестве носителей памяти почв.
11. Дайте оценку глинистым минералам как носителям почвенной памяти.

12. Поясните группы процессов образования и изменения глинистых минералов в почве в результате различных воздействий.
13. Приведите примеры исследования минералов как носителей памяти почв.
14. Назовите причины использования минералов Fe как признаков почвенной памяти.
15. Охарактеризуйте карбонатные новообразования в качестве диагностики памяти почвы.
16. Охарактеризуйте поровое пространство как носителя почвенной памяти.
17. Назовите классификацию и дайте характеристику почвенных пор.
18. Покажите влияние пор на почвенные процессы.
19. Дайте оценку почвенных пор в качестве носителя памяти.
20. Охарактеризуйте микробиоморфные комплексы в качестве носителей почвенной памяти.
21. Приведите примеры, подтверждающие информационную значимость микробиоморфных комплексов.
22. Дайте оценку гумусовым веществам в формировании почвенной памяти.
23. Приведите примеры, подтверждающие информационную значимость гумусовых веществ.

### **Лабораторная работа 1. Минеральные и биогенные носители почвенной памяти**

*Материалы, оборудование, пояснения к выполнению:* конспекты лекции и научных публикаций по теме, рабочая тетрадь, почвенные образцы и микромонолиты, ПК, карточки-задания.

#### ***Задания***

1. По данным карточки-задания (варианты 1–7): а) проанализируйте и опишите связи гранулометрического состава и физических свойств различных почв; б) сделайте заключение об изменении пористости в этих почвах; в) дайте оценку порового пространства в качестве носителя памяти.

## Карточка-задание

Вариант	Почва	Ил, %	Пыль, %	Песок, %	Уп, м <sup>2</sup> /Г	D, г/см <sup>3</sup>	d	P, %
1	Серозем	14	62	24	43	1,32	2,68	51
2	Темно-цветная	22	61	17	106	1,24	2,58	52
3	Светло-каштановая	23	60	17	101	1,24	2,61	52
4	Дерново-подзолистая	24	67	10	53	1,35	2,64	49
5	Солонец	25	60	15	93	1,28	2,63	49
6	Темно-каштановая	30	58	11	112	1,25	2,62	56
7	Чернозем	37	56	6	117	1,09	2,58	52

Примечание: Уп – удельная поверхность почвы; D – плотность сложения, d – плотность твердой фазы почвы.

2. По описанию почвенных профилей: а) выделите элементарные почвообразовательные процессы (см. классификацию процессов в приложении 1), под влиянием которых сформировались генетические горизонты, и запишите результаты в форме таблицы; б) назовите минеральные и биогенные носители почвенной памяти в каждом горизонте; в) укажите, какие морфологические признаки могут трансформироваться; запишите результаты в предлагаемую таблицу.

### Почвообразовательные процессы в профиле почвы

Горизонт	Почвообразовательный процесс	Морфологическая выраженность

## Карточки-задания

### *1. Типичный староорошаемый серозем*

A<sub>пах</sub> 0–27 см. Пахотный слой, серый, уплотненный, с корнями хлопчатника, глинистый.

A 28–38 см. Подпахотный слой, светло-серый, уплотненный, пористый, с редкими ходами землероев и насекомых, глинистый.

V<sub>1</sub> 38–56 см. Светло-серый, уплотненный, влажный, много ходов дождевых червей и экскрементов, встречаются карбонаты, глинистый.

V<sub>2</sub>V<sub>3</sub> 56–102 см. Светлее предыдущего, отмечено меньше экскрементов червей и больше карбонатных конкреций, тяжелый суглинок.

C 102–147 см. Палево-серый, уплотненный, влажный, встречаются карбонатные желваки, тяжелый суглинок.

### *2. Чернозем обыкновенный на пылевато-иловатой глине*

0–4 см. Рыхлая дернина трав.

4–70 см. Гумусовый горизонт. Темно-серый, глинистый. Структура в слое 0–10 см пылевато-комковато-зернистая, ниже ореховатая. Вскипание от HCl с глубины 60–72 см. Нижняя граница неровная.

70–85 см. Переходный горизонт. Неоднородно окрашенный, сильно перерытый землероями, глинистый, плотный. Структура ореховато-призматическая, карбонаты в рассеянном виде.

85–200 см. Карбонатный горизонт. Коричнево-палевый, глинистый, плотный, с призматической структурой. На глубине 150–180 см видны единичные пятна белоглазки.

### *3. Чернозем южный слабосолонцеватый на покровной глине*

0–2 см. Дернина.

2–50 см. Гумусовый горизонт. Темно-серый, глинистый. До глубины 15 см структура зернистая, ниже зернисто-ореховатая. Сложение верхней части горизонта рыхлое, ниже несколько уплотненное. Вскипает от HCl с глубины 39 см. Нижняя граница языковатая.

50–70 см. Переходный горизонт. Серовато-палевый, неоднородно окрашенный, глинистый, плотный, рассечен черными «языками». Структура призматическая. Сплошь вскипает от HCl, карбонаты в рассеянном состоянии, единично встречается белоглазка.

70–100 см. Подгоризонт максимального скопления белоглазки. Коричнево-палевый, глинистый, плотный. Много черных «языков» гумуса. Структура призматическая.

100–170 см. Карбонатный горизонт. Коричнево-палевый, глинистый, плотный, призматический. Нижняя граница очерчена выцветами солей.

170–310 см. Карбонатно-солевой горизонт. Коричнево-палевый, тяжелосуглинистый, содержит легкорастворимые соли.

4. *Лугово-черноземная солонцеватая, несколько смытая почва*  
0–50 см. Гумусовый горизонт. Темно-серый, глинистый, комковато-зернистый. От HCl вскипает с поверхности. Нижняя граница языковатая.

50–65 см. Переходный горизонт. Неоднородно окрашенный, глинистый, плотный, комковато-ореховатой структуры, вскипает от HCl, в нижней части – белоглазка.

65–80 см. Подгоризонт белоглазки. Коричнево-палевый, глинистый, плотный, вскипает от HCl. Главная масса карбонатов в рассеянном состоянии.

80–110 см. Карбонатный горизонт. Коричнево-палевый, глинистый, плотный, ореховато-призматический. С глубины 85 см заметны выцветы солей.

110–210 см. Соленосный горизонт. Коричнево-палевый, глинистый, плотный, призматический, с выцветами легкорастворимых солей.

#### 5. *Лугово-черноземная мерзлотная почва*

A<sub>пах</sub> 0–17 см. Темно-серый, средний суглинок, комковатый, в гумусовых затеках.

B<sub>1</sub> 17–55 см. Средний суглинок. По общему светло-бурому фону с сизоватым оттенком яркие темно-серые потеки гумуса. Структура комковатая.

B<sub>2</sub> 66–90 см. Светло-бурый со слабым сизоватым оттенком, средний суглинок, пористый, плитчатый. Карбонаты в виде псевдомицелия, вскипание с 66 см.

D 90–120 см. Светло-бурый с белесовато-бурыми пятнами оглиненный песок с прослойками бурой глины. Наибольшее скопление карбонатов.

#### 6. *Краснозем*

0–3 см. Лесная подстилка.

3–17 см. Гумусовый. Коричнево-бурый, комковато-зернистый, суглинистый, рыхлый, густо переплетен корнями, много ходов дождевых червей.

17–37 см. Переходный. Светло-коричневый, мелкие пятна выцветов соединений марганца, комковатый, уплотненный, глинистый, много ходов червей.

37–110 см. Окраска весьма неоднородная, расплывчатые красно-коричневые полосы чередуются с белесовато-серыми, придавая профилю намечающуюся зебровидность. Структура неясноглыбистая, глинистый, плотный.

110–130 см. Окраска еще более неоднородная, зебровидность более четко выражена, глинистый, плотный, встречаются рудяковые зерна.

#### *7. Бурая лесная глеевая оподзоленная почва*

$A_{дг}$  0–8 см. Влажный, буровато-черный, оторфованная дернина с большим количеством живых корней, переход резкий.

$A_{2g}$  8–25 см. Сырой, неравномерно окрашен, светло-желтый с белесыми и ржавыми пятнами, тяжелый суглинок, местами слоеватый.

$B_{1g}$  35–76 см. Сырой, пестро окрашен, серовато-бурый с сизыми и ржавыми пятнами, глинистый, мелкоореховатой структуры, переход постепенный.

$B_{2g}$  76–110 см. Мокрый, с 85 см со стенок сочится вода, грязно-бурый с ржавыми и сизоватыми пятнами, глинистый, мелкоореховатый.

$C_g$  110–130 см. Мокрый, серо-бурый с ржавыми пятнами, глинистый, плотный, крупноореховатый.

#### *8. Глее-мерзлотно-таежная почва*

$A_0$  0–4 см. Подушка живых лишайников, мхов.

$A_0$  4–11 см. Коричнево-бурый, торфянистый, рыхлый, увлажненный, пронизан корнями.

$B_{1g}$  11–20 см. Бурый, суглинистый с небольшой примесью мелкой щебенки, свежий, оглеение в виде сизоватых и ржавых пятен.

$B_{2g}$  20–36 см. Бурый, суглинистый, с признаками тиксотропии, уплотнен, влажный, неясные признаки оглеения.

$B_{2C}$  36–48 см. Бурый, суглинистый, влажный, небольшое количество корней, холодный.

$BC_g$  48–70 см. Палевый, суглинистый, тиксотропный, влажный, течет, корней нет, переход резкий по мерзлоте.

$C_m$  70–75 см. Похож на предыдущий, но мерзлый, плотный, слабо-льדיстый.

### 9. *Al-Fe-гумусовый подзол*

А<sub>0</sub>А<sub>1</sub> 0–5 см. Темно-серый с углистым оттенком, суглинистый, порошистой структуры, сухой, в нижней части оподзолен, карманами заходит в гор. А<sub>2</sub>, пронизан корнями, граница неровная.

А<sub>2</sub> 5–21 см. Белесый, слоеватый, порошистый, легкосуглинистый, сухой, перекошен морозной деформацией, местами вклинивается в гор. А<sub>0</sub>А<sub>1</sub> и поставлен вертикально; карманами заходит до глубины 35 см, корней мало.

В<sub>1</sub> 21–32 см. Золотисто-желтый, супесчаный, слабо уплотнен, с органо-минеральными конкрециями, сухой, неясно-ореховато-зернистый, перекошен морозной деформацией.

В<sub>2</sub> 32–42 см. Светло-палевый, сухой, легкосуглинистый, встречается галечник.

С 75–85 см. Светло-палевый, гравелистый суглинок с галькой.

### 10. *Подзолистая почва на водно-ледниковом песке*

А<sub>0</sub> 0–2 см. Слаборазложившаяся подстилка.

А<sub>2</sub> 2–24 см. Белесый, песчаный, со слабо намечающейся непрочной плитчатой структурой, рыхлый. Густо пронизан корнями; переход в горизонт В<sub>1</sub> языками и затеками.

В<sub>1</sub> 24–44 см. Охристо-желтый, в верхней части имеются слабо-заметные незначительные гумусовые затеки и белые языки подзолистого горизонта; песчаный, уплотненный, бесструктурный.

В<sub>2</sub> 44–95 см. Светло-желтый с охристым оттенком, песчаный, уплотненный, переход постепенный.

В<sub>2</sub>С 95–137 см. Серовато-желтый, песчаный, влажный, менее плотный, чем В<sub>2</sub>. С глубины 131 см встречается галька.

С 137–180 см. Серовато-желтый, песчаный, слабоуплотненный, с галькой, водно-ледниковый нанос.

### 11. *Дерново-сильноподзолистая почва на водно-ледниковом песке*

А<sub>пах</sub> 0–23 см. Светло-серый, супесчаный, уплотненный, влажный, пронизан корнями злаковых трав и корневищ хвоща, переход резкий.

А<sub>2</sub> 23–35 см. Белесовато-серый, супесчаный, уплотненный, с включениями угольков, средне пронизан корнями, переход мелкими языками белесого цвета.



$V_1$  35–66 см. Красновато-бурый, песчаный, плотный, влажный. В верхней части видны следы оподзоленности, слабо пронизан корнями.

$V_2$  66–78 см. Красновато-бурый, супесчаный, очень плотный, влажный (ортзандовая полоса).

$V_2C$  78–100 см. Серовато-бурый, супесчаный, уплотненный, влажный, в верхней части большое количество черных и темно-бурых конкреций.

$C$  100–160 см. Серовато-бурый, песчаный, уплотненный, влажный, мелкозернистый.

### *12. Дерново-глееватая почва на покровном суглинке*

$A_{\text{пах}}$  0–19 см. Темно-серый, мелкокомковатый, тяжелосуглинистый, влажный, уплотненный, густо пронизан корнями.

$A_1$  19–25 см. Темно-серый, со слабо заметным сизым оттенком, тяжелосуглинистый, зернисто-мелкоореховатый, более уплотненный, чем  $A_{\text{пах}}$ , корнями пронизан средне, переход ясный, граница волнистая.

$V_1$  25–60 см. Светло-бурый, тяжелосуглинистый, мелкоореховатый, в верхней части окрашен гумусом, по граням оглеение.

$V_2$  60–83 см. Светло-бурый, тяжелосуглинистый, ореховатый, с выраженной глееватостью по граням структурных отдельностей, сизые пятна и нити по ходам корней хвоща.

$V_2C$  83–121 см. Бурый, тяжелосуглинистый, крупноореховатый, глыбистый, ясно выражена глееватость, по ходам корней гумусовые затеки, в нижней части горизонта очень рыхлые зерна, бобовины.

### *13. Дерново-карбонатная выщелоченная почва*

$A_{\text{пах}}$  0–22 см. Серый, тяжелосуглинистый, мелкокомковато-зернистый, рыхлый.

$A_1V_1$  22–28 см. Бурый с коричневым оттенком, тяжелосуглинистый, ореховатый, переход заметный.

$V_1$  28–58 см. Коричневый с бурым оттенком, тяжелосуглинистый, ореховатый, уплотненный. Начало вскипания.

$V_{2к}$  61–90 см. Коричневый, суглинистый, ореховатый, уплотненный, пятна белоглазки, вскипает, переход постепенный.

$V_{2Cк}$  90–115 см. Коричневый с розовым оттенком, суглинистый, ореховатый, уплотненный, с прослойками карбонатов.

$S_k$  115–150 см. Светло-коричневый с красноватым оттенком, суглинистый, крупноореховатый, уплотненный, вскипает.

#### *14. Дерново-подзолистая почва на покровной глине*

$A_{\text{пах}}$  0–29 см. Светло-серый с белесоватым оттенком, тяжелосуглинистый, рыхлый, комковато-пылеватый.

$A_1$  29–31 см. То же, но более плотный и темный. Переход резкий.

$A_2B$  31–40 см. Буро-белесый, с обильной мучнистой кремнеземистой присыпкой, тяжелосуглинистый, мелкоореховатой структуры, уплотненный, переход постепенный.

$B_1$  40–83 см. Коричнево-бурый с шоколадным оттенком. До глубины 60–70 см встречается кремнеземистая присыпка, особенно заметная по трещинам. Глинистый, плотный, среднеореховатый.

$B_2C$  83–108 см. Буровато-желтый, примазки гумуса по граням структурных отдельностей, встречается кремнеземистая присыпка, глинистый, плотный, неясно-ореховатой структуры.

#### *15. Солонец*

$A_d$  0–3 см. Дернина, скрепленная корнями растений.

$A_1$  3–14 см. Серый, глинистый, крупные столбы, трещиноватый, весьма плотный, почти слитый; при пахоте выворачивается огромными глыбами; корней мало.

$B_1$  14–32 см. Темно-бурый, гляцевитый, глинистый, ореховатый, плотный. Крупная кварцевая галька.

$BC$  32–56 см. Неоднороден: чередуются темно-бурые ореховатые, не вскипающие от  $HC_1$  языки  $B_1$ , с серо-бурыми, менее структурными, сплошь вскипающими обратными языками  $C_1$ . Обилие карбонатов.

$C$  56–100 см. Светло-бурый, выламливается глыбками, распадающимися при подсушивании на орехи. Вязкий, корней мало, вскипает сплошь.

#### *16. Солодь луговая*

$A_d$  0–5 см. Плотная дернина, темно-бурая, почти черная, состоит из неразложившихся корней, отчасти стеблей.

$A_1$  5–11 см. Темно-бурый, почти черный, тяжелосуглинистый, рыхлый, структура не выражена. Обилие корней, дождевые черви, муравьиные гнезда, изредка кварцевая галька.

A<sub>2</sub> 11–23 см. Серый, местами светло-серый, тяжелосуглинистый, пылеватый, пластинчатый, уплотнен, корней мало. Продырявлен многочисленными червоточинами.

B<sub>1</sub> 23–43 см. Темно-бурый, глинистый, мелкоореховатый, трещиноватый, потеки гумуса, плотный, корней мало, изредка галька.

B<sub>2</sub> 43–62 см. Неоднородный: чередуются темно-бурые и бурые участки. Глинистый, ореховатый, весьма плотный; изредка галька, ржавые пятна.

C 62–110 см. Светло-бурый, желтоватый, с многочисленными белыми пятнами карбонатов, глинистый, плотный, в сыром состоянии структура выражена плохо. Корней нет. Сплошь ржавые пятна. Вскипает от HCl. Грунтовая вода на вкус пресная.

### *17. Темно-серая лесная почва*

A<sub>0</sub> 0–3 см. Дернина.

A<sub>1</sub> 3–15 см. Суглинок темно-серого цвета, слабоуплотненный, комковато-ореховатой структуры, пронизан корнями растений, переход постепенный.

A<sub>1</sub>A<sub>2</sub> 15–20 см. Суглинок с кремнеземистой присыпкой, темно-серого цвета, комковато-ореховатой структуры, слабоуплотненный, с густой корневой системой.

B<sub>1</sub> 20–75 см. Темно-бурый с кремнеземистой присыпкой, ореховато-зернистой структуры, суглинистый, плотный, частично пронизан корнями растений.

B 75–165 см. Супесь светло-серого цвета, с белесым налетом карбонатов. В нижней части песок комковатой структуры, частично пронизан корнями, плотный, встречается щебень.

C 165–185 см. Супесь красновато-бурого цвета, слабоуплотненная, комковатой структуры; встречаются камни. Постепенно переходит в пролювиальные щебнистые отложения, сцементированные мелкоземом.

### *18. Каштановая почва на щебнисто-хрящеватых отложениях*

A<sub>1</sub> 0–18 см. Каштановый, хрящевато-супесчаный, рыхлокомковатой структуры, уплотненный, сухой; значительное количество корней растений.

$B_1$  18–43 см. Буровато-серый щебнисто-хрящеватый, супесчаный, уплотненный, сухой, слабо пронизан корнями растений.

$B_2$  43–67 см. Буровато-палевый с желтоватым оттенком, плотный. Основная масса крупнозема – щебенка, окаربоначенная с поверхности; мелкозем также с мучнисто-карбонатными новообразованиями. Корней растений почти нет.

$C_k$  67–97 см. Крупный сероватый щебень, плотного сложения, с малым количеством мелкозема, желтоватого цвета. Корней нет.

#### *19. Аллювиальная луговая солончаковая почва*

$A$  0–14 см. Серый, среднесуглинистый, свежий, глыбисто-пылеватый, уплотненный. Бурно вскипает. Переход к нижнему горизонту заметный.

$B_1$  14–39 см. Светло-серый суглинок, свежий, глыбисто-комковато-пылеватый, плотный. Бурно вскипает.

$B_2$  39–49 см. Светло-серый, легкий суглинок, бесструктурный, слабоуплотненный. Вскипает слабо.

$B_3$  49–56 см. Серый, супесчаный, увлажненный, слабо уплотнен. Слабо вскипает.

$C$  56–95 см. Желтовато-серая супесь, чередующаяся с песчаными иловатыми аллювиальными отложениями. Не вскипает.

#### *20. Лугово-черноземная оподзоленная почва*

$A$  0–20 см. Дернина, темно-серая, комковато-зернистая, глинистая.

$A_1A_2$  20–84 см. Темно-серый, сверху зернистый, глубже крупнореховатый, вместе с реховатостью проявляется кремнеземистая присыпка, слабо уплотнен, тяжелосуглинистый.

$A_2B$  84–115 см. Буровато-серый, сырой, глинистый, призмовидная структура, по граням агрегатов глянec, при высыхании обильная кремнеземистая присыпка.

$BC$  115–150 см. Светло-бурый, глинистый, крупнопризматический с глянцем, переход постепенный.

$Cg$  150–185 см. Желто-бурый, мокрый, не вскипает.

*Форма отчетности:* наличие в рабочей тетради выполненных заданий. Устная защита выполненных заданий.

## Модуль 2. УСТОЙЧИВОСТЬ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОЧВ ПРИ АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

### Лекция 4. Антропогенные преобразования почвы

#### 4.1. Понятие и этапность антропогенеза

В настоящий период почти повсеместно на фоне естественных (природных) воздействий на почвенные процессы наблюдаются антропогенные воздействия, обусловленные хозяйственной деятельностью человека. Поэтому современная эволюция почв происходит при воздействии природного и антропогенного факторов. Хозяйственная деятельность человека – мощный и интенсивный фактор воздействия на почву. В результате такого воздействия процесс естественной эволюции почвы замедляется и даже прерывается. Интенсивность воздействия антропогенных факторов превосходит природные процессы. Исторически антропогенный этап эволюции почв разделяется:

- ✓ на эпоху скотоводческого освоения почв (V в. до н. э. – XVI н. э.);
- ✓ период локального земледелия (XVI – XVIII вв.);
- ✓ период расширения интенсивности освоения степей (увеличение распаханности и повышение пастбищной нагрузки и дигрессии растительности) (XVIII в. – до середины XIX в.);
- ✓ эпоху интенсивно-экстенсивного освоения степей (с середины XIX в. до середины XX в.);
- ✓ период агротехногенной эволюции почв (с 1950 гг. XX в. до настоящего времени).

Вот что пишут об этом В.М. Корсунов и Е.Н. Красеха [2010. С. 403]: *«Тысячи лет человек методом проб и ошибок постигал основы земледельческой культуры, оставаясь при этом заложником прагматического подхода, когда сиюминутная выгода всегда лежала в основе использования почв как средства производства. История земледелия свидетельствует, что человечество ощущало негативные последствия своей деятельности при освоении земель под пашню только после того, как результат был налицо: обезлесение, деградация почв и ландшафтов, опустынивание. ... Понимание, что устойчивость биосферы зависит от состояния почв и буферности почвенного покрова, еще долго не становилось частью общественного сознания. ... многие старые центры земледелия (Месопотамия, Средняя Азия, Индия,*

*Средиземноморье) пришли в упадок в связи с деградацией окружающей среды, развитием эрозии и вторичного засоления почв. Земледелие или перемещается в новые районы, где постепенно возникают новые очаги культуры и центры земледелия (равнины Индостана, горно-террасовое земледелие Индии, Китая и Юго-Восточной Азии), или постепенно возрождается в пределах прежних центров мировых цивилизаций (Месопотамия, Двуречье, Средняя Азия)». Далее авторы называют основные причины упадка многих земледельческих цивилизаций: 1) игнорирование или незнание связей в экосистемах между ее компонентами – почвами, рельефом, лесами, гидрогеологическими и литологическими особенностями строения территории, которые определяют квазиравновесное состояние биосферы; 2) непонимание «закона возврата», который сначала был очерчен римскими учеными Плинием и Колумеллой, а позже, в 1840 г., Ю. Либихом был введен в виде «закона полного возврата». Негативные примеры известны и в настоящее время (перенос оросительных мелиораций на черноземные почвы, что отрицательно сказалось на их свойствах; «поднятие целины» и др.). К сожалению, исторический опыт мало чему учит.*

К видам антропогенных воздействий на почву относятся уничтожение лесов, замена природных биогеоценозов агроценозами (*сведение лесов, распашка, выпас скота*), интенсивное применение механической обработки почвы (*этому процессу нет аналога в природе*), внесение в почву мелиорантов, удобрений, пестицидов (*чужеродных для почвы по составу и количеству*), изменение водного режима почвы и баланса влаги в результате орошения или осушения, поступление в почву отходов и выбросов промышленности, преобразование рельефа (*ведет к физическому уничтожению почв*). Разная направленность и интенсивность антропогенных изменений обуславливает формирование групп почв:

- ✓ антропоприродные;
- ✓ антропопреобразованные;
- ✓ агрогены;
- ✓ деградаты.

Виды направлений преобразования почв ряд ученых характеризуют:

- ✓ как аквальная трансформация (акваземы);
- ✓ инвертирование (инвертиземы);
- ✓ стратификация (стратоземы);

- ✓ амбустирование (пирогенные почвы);
- ✓ арборизирование (арбоземы);
- ✓ эрозия и дефляция (эроземы);
- ✓ мелиорация болот (торфоземы);
- ✓ химическое загрязнение (хемоземы).

Антропогенные воздействия изменяют почвообразовательный процесс. Он уже не является собственно природным, хотя и продолжает развиваться по законам природы, в том числе и под влиянием естественных факторов почвообразования. Это уже естественно-антропогенный процесс. Результат его – улучшение или ухудшение почвенного плодородия. По образному выражению, можно считать, что *«освоенная почва – зеркало хозяйственной деятельности человека»*. Выделим общие закономерности естественно-антропогенного почвообразовательного процесса:

- ✓ нарушение (ненарушение) сложившейся системы генетических горизонтов;
- ✓ усиление (ослабление) интенсивности биологической активности почв;
- ✓ повышение (снижение) интенсивности процессов минерализации и трансформации органического вещества почвы;
- ✓ формирование (слабое новообразование) гумуса с более узким отношением C:N, более высоким содержанием подвижных гумусовых веществ;
- ✓ усиление (слабое изменение) трансформации почвенных минералов (каолинизация и монтмориллонизация полевых шпатов и вермикулизация слюд);
- ✓ повышение (уменьшение) степени насыщенности почвенно-поглощающего комплекса катионами оснований;
- ✓ формирование специфического пищевого режима, его динамичности.

Почва – объект сельскохозяйственного использования. Здесь важно учитывать рациональность такого использования с целью получения максимальной биопродукции без нарушения целостного состояния почвы как системы, выполняющей различные биосферные функции и обладающей признаками устойчивости к антропогенным воздействиям.

## 4.2. Трансформация почвенного профиля

Степень трансформации почвенного профиля при антропогенных воздействиях зависит от интенсивности и длительности воздействий, а также от свойств исходной почвы. Новый почвенный профиль – это комбинация унаследованных естественных горизонтов и вновь сформировавшихся. Является результатом антропогенного преобразования *in situ*. Свойства новых антропогенно преобразованных горизонтов определяются характером унаследованных горизонтов. В почвенном профиле появляются новые генетические горизонты:

✓ при агрогенном воздействии – горизонт  $A_{\text{пах}}$  ( $P$  – агрогумусовый,  $PU$  – агротемногумусовый);

✓ при химическом загрязнении – горизонт  $X$  (химически загрязненный);

✓ при освоении болотных почв – горизонт  $PT$  (агроторфяный);

✓ при освоении болотных почв с применением глинования, пескования, известкования и минеральных удобрений – горизонт  $PTR$  (агроторфяноминеральный);

✓ при снятии верхнего горизонта – горизонт  $PB, PC$  (агроабразионный);

✓ при мелиоративных механических воздействиях – горизонт  $TUR$  (турбированный).

Эволюционные признаки антропогенной трансформации почв обозначаются дополнительными индексами:

$agr$  – наличие фрагментов одного или нескольких естественных горизонтов;

$d$  – наличие переуплотнения под воздействием рекреации, перевыпаса;

$pb$  – наличие фрагментов нижележащего естественного горизонта;

$pir$  – наличие остаточных продуктов горения торфа или органических веществ;

$pa$  – наличие под современным гумусовым горизонтом признаков прошлой распашки (постагрогенные почвы);

$hh$  – погребенный (механически) гумусовый горизонт.

Субстратные признаки антропогенной трансформации почв обозначаются индексами:

$aq$  – наличие слоистости в стратоземах;

$ael$  – наличие признаков эолового наноса;



*rh* – наличие наноса гумусированного материала;  
*ur* – наличие урбо-индустриальных включений (мусор, отходы);  
*rx* – наличие наноса токсичного материала;  
*x* – наличие химических загрязнителей.

Антропогенно-преобразованные почвы в системе таксономических единиц рассматриваются в новой «Классификации и диагностике почв России» (2004) как определенный этап естественно-антропогенной эволюции почв. Последовательность разных стадий антропогенной трансформации почв можно представить в виде следующей схемы:

*естественные почвы* → *слабо измененные почвы* →

*измененные почвы* → *антропогенные почвы*

### Общий характер строения профиля и таксономический уровень антропогенно-преобразованных почв



*Рисунок 10 – Таксономический уровень антропогенных почв*

Для примера рассмотрим схему формирования некоторых профилей в отделах антропогенных почв (табл. 7).

Таблица 7 – Строение профилей некоторых почв текстурно-дифференцированного и аккумулятивно-гумусового отделов

Отдел	Естественные почвы		Антропогенные почвы	
	тип	подтип	тип	подтип
Текстурно-дифференцированные	Дерново-подзолистые AY-EL-BEL-BT-C	Типичные AY-EL-BEL-BT-C Дерново-палево-подзолистые AY-Elf-BEL-BT-C Глееватые AY-EL-BELg-BTg-Cg	Агродерново-подзолистые P-(EL)-BEL-BT-C	Типичные P-(EL)-BEL-BT-C Глееватые P-(EL)-BEL(g)-BTg-Cg Агрогетерогенные Pagr-(EL)-BEL-BT-C
	Темно-серые AU-AUe-BEL-BT-C	Типичные AU-AUe-BEL-BT-C Глееватые AU-AUe-BELg-BTg-Cg	Агротемно-серые PU-(AUe)-BEL-BT-C	Типичные PU-(AUe)-BEL-BT-C Глееватые PU-AUe-BEL(g)-BTg-Cg
Аккумулятивно-гумусовые	Черноземы глинисто-иллювиальные AU-BI-C(ca)	Типичные AU-BI-C(ca) Оподзоленные AU-AUe-BI-C(ca)	Агрочерноземы глинисто-иллювиальные PU-AU-BI-C(ca)	Типичные PU-AU-BI-C(ca) Оподзоленные PU-AUe-BI-C(ca)
	Черноземы AU-BCA-Cca	Криогенно-мицеллярные AU-BCAmc-BCAg-Cca, g Дисперсно-карбонатные AU-BCA-Cca	Агрочерноземы Pu-AU-BCA-Cca	Криогенно-мицеллярные PU-AU-BCAmc,g-Cca,g Дисперсно-карбонатные PU-AU-BCA-Cca Агропереуплотненные PUad-AU-BCA-Cca

В заключение лекции отметим, что устойчивость почвенных свойств и признаков при антропогенных воздействиях нарушается. Теоретически почвоведы знают, как регулировать этот процесс, и имеют для этого разработанные, обоснованные научными исследованиями, системы рекомендаций. Дело за непосредственным применением их. Выделим некоторые проблемы, характерные для любого сельскохозяйственного предприятия:

- ✓ наличие и использование информации в хозяйстве о почвах и почвенном покрове;
  - ✓ наличие и практическое применение данных об агрохимической характеристике почв;
  - ✓ обеспеченность картограммами агроэкологических групп и типов земель;
  - ✓ форма организации территории (клеточно-прямоугольное расположение полей или контурное, выполненное в соответствии со структурой ландшафтов);
  - ✓ контакты с почвенно-агрохимической службой;
  - ✓ возможности использования геоинформационных технологий.
- Проанализируйте эти условия рационального землепользования самостоятельно на примере любого хозяйства Красноярского края.

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите этапы антропогенной эволюции почв.
2. Приведите примеры земледельческих приемов и подходов, применяемые в исторический период земледелия.
3. Назовите и поясните группы и виды антропогенных воздействий на почвы.
4. Сравните почвообразовательные процессы под влиянием естественных и антропогенных факторов.
5. Выделите общие закономерности естественно-антропогенных почвообразовательных процессов.
6. Покажите примеры нарушения сложившейся системы генетических горизонтов в антропогенных почвах.
7. Перечислите особенности формирования пищевого режима антропогенных почв.
8. Назовите примеры усиления или ослабления биологической активности антропогенных почв.
9. Проиллюстрируйте повышение или снижение процессов трансформации органического вещества в антропогенных почвах.
10. Назовите новые символы и индексы обозначения генетических горизонтов почв при антропогенной трансформации.
11. Назовите последовательность стадий антропогенной эволюции почв.
12. Прокомментируйте схему таксономического уровня антропогенных почв.

## Лабораторная работа 2. Оценка устойчивости минеральной части почв к агрогенным воздействиям

*Материалы, оборудование, пояснения к выполнению:* конспекты лекции, карточки-задания, рабочая тетрадь, ПК.

### *Задания*

По данным карточки-задания:

1. Постройте профильную диаграмму гранулометрического состава почвы.

2. Определите основное и дополнительное название гранулометрического состава в генетических горизонтах почвы по данным карточки-задания.

3. Сделайте анализ распределения отдельных фракций по профилю, просмотрев количество каждой фракции (особенно илистой), стараясь уловить закономерности в их распределении.

4. Рассчитайте относительные потери илистой фракции. Сделайте вывод об устойчивости гранулометрического состава почвы.

При выполнении задания учтите следующие варианты распределения отдельных фракций по профилю.

1. Каждая из фракций содержится по всему профилю примерно в одинаковых количествах. Такая картина свидетельствует об отсутствии процессов разрушения минеральной части почвы и передвижения продуктов разрушения по профилю.

2. Верхняя часть профиля обеднена илистой фракцией при относительном возрастании здесь песчаных и особенно пылеватых частиц. С некоторой глубины количество ила возрастает, постепенно достигая максимума. Такое распределение фракций свидетельствует о передвижении илистой фракции или продуктов разрушения вниз.

3. В средней части профиля наблюдается некоторое увеличение количества илистой фракции по сравнению с материнской породой при относительной однородности всего профиля. В данном случае формируется метаморфический горизонт за счет процесса оглинивания, т. е. разрушения первичных более крупных минералов и образования на их месте вторичных глинистых, более дисперсных минералов.

4. Установить какие-либо закономерности в изменении количества отдельных фракций не удастся. Правильным будет вывод о неоднородности материнской породы.

## Карточки-задания

Таблица 1

### Гранулометрический состав чернозема выщелоченного

Горизонт	Глубина, см	Фракции, %, размер частиц, мм					
		1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001
A <sub>пах</sub>	0–10	–	2,8	42,6	10,3	15,1	26,9
A	30–40	–	0,2	42,6	12,0	13,7	28,5
A	50–60	–	0,2	43,9	7,9	15,4	30,0
B	90–100	–	0,2	44,1	10,5	11,7	31,9
Bк	130–140	–	5,3	49,1	6,3	8,8	28,6

Таблица 2

### Гранулометрический состав чернозема выщелоченного

Горизонт	Глубина взятия образца, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)					
		1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001
A <sub>пах</sub>	0–14	1,1	13,5	35,7	16,8	18,7	14,2
A	24–34	1,2	13,5	28,9	10,9	20,8	24,7
B	40–50	1,1	12,5	23,9	11,4	16,6	34,5
Bк	60–70	1,1	14,4	22,7	10,6	16,0	35,2
Ск	120–130	3,8	23,2	20,0	8,5	17,5	27,1

Таблица 3

### Гранулометрический состав чернозема обыкновенного

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)					
		1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001
A <sub>пах</sub>	0–10	0,4	8,8	36,5	13,0	19,7	21,6
A	20–25	0,3	8,9	34,8	10,1	17,8	28,1
Bк	35–40	0,2	9,1	33,9	9,4	20,2	30,7
Bк	60–70	0,3	11,6	33,1	6,7	15,4	28,5
Ск	90–100	0,4	10,9	31,9	10,3	21,6	24,5

Таблица 4

## Гранулометрический состав чернозема южного

Горизонт	Глубина взятия образца, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)					
		1–0,25	0,25– 0,05	0,05– 0,01	0,01– 0,005	0,005– 0,001	<0,001
A <sub>пах</sub>	0–20	4,7	38,9	42,2	4,3	6,2	3,7
AB	20–30	5,4	37,8	41,3	4,2	1,5	9,8
BC <sub>к</sub>	30–60	11,0	39,4	29,6	3,2	5,4	11,4

Таблица 5

## Гранулометрический состав дерново-подзолистой почвы

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)					
		1–0,25	0,25– 0,05	0,05– 0,01	0,01– 0,005	0,005– 0,001	<0,001
A <sub>пах</sub>	0–20	2,3	34,8	29,1	10,9	12,8	8,6
A <sub>2</sub>	22–33	2,7	58,6	9,0	9,3	10,2	9,0
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	35–40	0,9	38,4	20,7	9,6	7,4	21,6
B <sub>1</sub>	53–63	2,6	1,0	49,5	7,6	5,6	32,6
B <sub>2</sub>	82–92	0,4	24,8	27,9	7,0	6,3	32,3

Таблица 6

## Гранулометрический состав серой лесной почвы

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)					
		1–0,25	0,25– 0,05	0,05– 0,01	0,01– 0,005	0,005– 0,001	<0,001
A <sub>пах</sub>	2–18	0,4	3,3	58,8	11,5	14,4	12,4
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	19–24	0,4	5,9	55,6	11,1	13,4	13,6
A <sub>2</sub> B	29–43	0,3	3,0	52,6	8,5	11,2	24,4
B	50–70	0,4	2,8	50,5	10,4	11,4	24,5
C	110–115	0,7	2,8	42,3	11,5	12,8	29,9

Таблица 7

## Гранулометрический состав чернозема оподзоленного

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)					
		1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001
A <sub>пах</sub>	0–22	–	–	45,8	12,8	14,4	27,1
A <sub>2</sub> B	50–60	–	–	38,8	9,4	14,6	37,2
B	90–100	–	–	36,0	14,0	13,4	36,7
Ск	150–160	–	–	29,3	18,0	26,9	25,8

Таблица 8

## Гранулометрический состав чернозема выщелоченного

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)					
		1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001
A <sub>пах</sub>	0–10	–	2,8	42,6	10,3	15,1	26,9
A	30–40	–	0,2	42,6	12,0	13,7	28,5
A	50–60	–	0,2	43,9	7,9	15,4	30,0
B	90–100	–	0,2	44,1	10,5	11,7	31,9
Вк	130–140	–	5,3	49,1	6,3	8,8	28,6

Таблица 9

## Гранулометрический состав чернозема выщелоченного

Горизонт	Глубина взятия образца, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)					
		1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001
A <sub>пах</sub>	0–14	1,1	13,5	35,7	16,8	18,7	14,2
A	24–34	1,2	13,5	28,9	10,9	20,8	24,7
B	40–50	1,1	12,5	23,9	11,4	16,6	34,5
Вк	60–70	1,1	14,4	22,7	10,6	16,0	35,2
Ск	120–130	3,8	23,2	20,0	8,5	17,5	27,1

Таблица 10

## Гранулометрический состав чернозема обыкновенного

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)					
		1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001
A <sub>пах</sub>	0–10	0,4	8,8	36,5	13,0	19,7	21,6
A	20–25	0,3	8,9	34,8	10,1	17,8	28,1
B <sub>к</sub>	35–40	0,2	9,1	33,9	9,4	20,2	30,7
B <sub>к</sub>	60–70	0,3	11,6	33,1	6,7	15,4	28,5
C <sub>к</sub>	90–100	0,4	10,9	31,9	10,3	21,6	24,5

Таблица 11

## Гранулометрический состав чернозема южного

Горизонт	Глубина взятия образца, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)					
		1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001
A <sub>пах</sub>	0–20	4,7	38,9	42,2	4,3	6,2	3,7
AB	20–30	5,4	37,8	41,3	4,2	1,5	9,8
BC <sub>к</sub>	30–60	11,0	39,4	29,6	3,2	5,4	11,4

Таблица 12

## Гранулометрический состав темно-каштановой почвы

Горизонт	Глубина взятия образца, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)					
		1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001
A <sub>пах</sub>	0–30	2,0	22,0	43,0	8,5	12,5	12,0
B	40–50	0,9	18,3	55,6	7,3	10,2	7,7
BC <sub>к</sub>	50–80	1,0	25,8	53,4	5,4	8,2	6,2
C <sub>к</sub>	90–100	65,8	18,0	11,2	0,4	1,3	3,3



Таблица 13

## Гранулометрический состав светло-серой лесной почвы

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)					
		1–0,25	0,25– 0,05	0,05– 0,01	0,01– 0,005	0,005– 0,001	<0,001
A <sub>пах</sub>	0–22	–	1,6	56,8	15,7	16,9	9,0
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	27–37	–	0,8	50,1	13,4	14,8	20,9
B	65–75	–	5,1	39,7	12,5	11,5	31,2
C	140–150	–	1,8	50,1	14,7	14,3	19,1

Таблица 14

## Гранулометрический состав дерново-карбонатной почвы

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)					
		1–0,25	0,25– 0,05	0,05– 0,01	0,01– 0,005	0,005– 0,001	<0,001
A <sub>пах</sub>	0–25	13,6	39,8	17,5	7,7	9,2	12,2
B	28–38	10,9	21,0	18,4	8,9	14,0	16,8
BC	50–60	7,3	35,1	16,5	9,5	10,1	20,5
C	70–80	11,0	30,7	16,0	11,7	12,2	18,4

Таблица 15

## Гранулометрический состав дерново-подзолистой почвы

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)					
		1–0,25	0,25– 0,05	0,05– 0,01	0,01– 0,005	0,005– 0,001	<0,001
A <sub>пах</sub>	0–22	4,2	28,2	17,9	10,9	35,4	21,3
A <sub>2</sub>	22–28	6,9	11,3	16,6	8,8	32,9	30,4
B	40–50	0,4	–	6,9	5,8	36,2	53,7
C	118–128	–	–	4,7	8,2	45,1	43,1

## Лекция 5. Устойчивость почв к агрогенным воздействиям

### 5.1. Современные представления об агрогенных изменениях свойств почв

Агрогенез накладывается на фон исходных природных свойств и представляет собой сопряженное протекание природных и агрогенных процессов.

Степень изменения свойств почвы определяется:

- ✓ интенсивностью, типом и длительностью воздействия;
- ✓ постоянством или прерывистостью воздействия во времени;
- ✓ типом микроклимата пахотной почвы;
- ✓ генетической природой естественной почвы.

Условия агрогенной среды (агрогенный комплекс факторов почвообразования) включают изменения характеристик круговорота и биологической активности, трансформацию микроклимата и агротехнические мероприятия.

**Изменение почвенного климата** касается термического и водного режимов.

**Агротехнические ежегодные мероприятия** включают механические и химические воздействия.

**Агрогенные изменения свойств почв и процессов** сопровождаются трансформацией гумусного, физического (структура, агрегатный состав, сложение), физико-химического (ЕКО, состав поглощенных катионов, кислотность, буферность), химического (содержание и формы соединений N, P, K) состояния.

**Специфичность агрогенеза, эволюционное состояние почв** – это особое почвообразование, осуществляемое взаимодействием агрогенных и природных процессов. Природно-агрогенное почвообразование в таежной зоне – постоянная конкуренция аккумулятивно-агрогенного и элювиального природного; в лесостепной и степной – аккумулятивно-агрогенного и иллювиального (на фоне ослабления аккумуляции возможно окарбоначивание, засоление). Эволюционное состояние агрогенной почвы неустойчиво. Оно нуждается в постоянном пополнении запасов вещества и корректировке гидротермического режима и физических свойств.

## 5.2. Особенности функционирования пахотной почвы

Сезонный внутригодовой цикл процессов в пахотной почве нарушается агротехногенезом. При этом выделяют два периода агротурбаций (весенний и осенний). Они направлены:

- ✓ на перемешивание почвенной массы с растительными остатками, удобрениями;
- ✓ разуплотнение;
- ✓ рыхление, крошение;
- ✓ сброс избыточной влаги.

Обработки сдвигают сроки природных сезонов для пахотной почвы. Так, осенний период пахотной почвы считается наиболее активным периодом агротурбации. Предзимний период сопровождается постепенным затуханием процессов нисходящей миграции вещества, но усилением восходящей миграции почвенных растворов. Зимний период является спокойным периодом природоподобных процессов. Весной возобновляются нисходящие миграции растворенных и твердофазных веществ в подпахотную часть профиля. Летний период – самый активный по развитию многих естественных процессов.

Процессы переорганизации почвенной массы – это элементарные почвообразовательные процессы, обусловленные вспашкой.

*Агротурбация* – агротехногенный процесс, осуществляемый на всю глубину пахотного слоя для его рыхления, дробления крупных агрегатов, перемешивания удобрений, пожнивных остатков, фрагментов подпахиваемой толщи. Влияет на физическое состояние, водно-температурный режим, на все профилеобразующие процессы, формирующие свойства пахотного слоя (метаморфизм органического и минерального вещества, миграция, оглеение, специфичность свойств при внесении минеральных удобрений, пестицидов и гербицидов). Это циклический процесс.

Сезонная смена процессов в пахотной почве вызывает изменения свойств в разных частях профиля (табл. 8). Рассмотрим эти изменения на примере дерново-подзолистой почвы, вовлеченной в пашню на протяжении 400 лет.

Таблица 8 – Сравнительная характеристика дерново-подзолистой почвы, находящейся в естественном состоянии и используемой под пашню

Угодье	Горизонт	Глубина, см	Структура	D, г/см <sup>3</sup>	Гумус, %	Конкреции
Лес	AУ	0–4	Комковато-порошистая	1,07	9,2	Нет
	EL	4–22	Плитчатая	1,15	1,7	Мало
	BEL	22–32	Плитчато-ореховатая	1,64	1,4	Много
Пашня 400 лет	P	0–13	Зернисто-комковатая	1,12	4,2	Единично
	Pagr	13–20	Порошисто-комковатая	1,30	4,4	Много
	ELagr	20–41	Порошисто-глыбистая	1,76	3,6	Много

Как видим, в пахотной почве сформировались пахотный и подпахотный горизонты, усилились комковатость и порошистость агрегатного состава, исчезли плитчатые и ореховатые отдельности, характерные для подзолистого процесса, произошло значительное уплотнение почвы, уменьшилось содержание гумуса и тип его распределения по профилю.

*Оструктуривание* – процесс образования агрегатов почвенной массы из отдельных механических элементов при одновременном обособлении отдельностей. Оптимальный структурный состав почвы: агрегатов размером 0,25–50 мм – 80 %, менее 0,25 мм – 15 %, глыб – не более 5 % к массе почвы. Состав структурных отдельностей отличается сезонной изменчивостью или динамикой. Многие исследователи отмечают, что в пахотных горизонтах всех почв суглинистого гранулометрического состава встречаются комковатые и глыбистые агрегаты [Карпачевский, 2005]. Один из главных факторов, определяющих формирование агрегатов, – их гранулометрический состав. Эта зависимость определяет степень устойчивости почвы к агрогенным воздействиям. Поэтому важно представить зависимость встречаемости агрегатов от гранулометрического состава почв (табл. 9).

Таблица 9 – Связь форм структурных элементов и гранулометрического состава почв [Карпачевский, 2005]

Тип структуры и агрегатов	Песок	Супесь	Легкий суглинок	Средний суглинок	Тяжелый суглинок	Глина
Неагрегированная почва						
Пылеватая	–	–	X	X	–	–
Слитая	–	–	–	–	X	X
Новообразованные элементы структуры						
Трещины	–	–	–	X	X	X
Ортштейны	–	X	X	X	X	X
Ортзанды	X	X	X	–	–	–
Пленки	X	X	X	–	–	–
Кутаны	–	–	–	X	X	X
Типы агрегатов						
Призматический	–	–	–	X	X	X
Ореховатый	–	–	–	X	X	X
Зернистый	–	–	X	X	X	X
Комковатый	–	–	X	X	X	X
Глыбистый	–	–	–	X	X	X
Плитчатый	–	–	X	X	–	–
Чешуйчатый	–	–	X	X	–	–

Примечание: X – присутствие агрегатов данного типа, – тип агрегата и гранулометрический состав не сочетаются.

Можно заметить, что в супесчаных и песчаных почвах не образуются кутаны, трещины, ортштейны, не формируются ореховатые, зернистые, столбчатые, призматические агрегаты, зато в почвах тяжелосуглинистых и глинистых не встречаются ортзанды, псевдофибры, плитчатые и чешуйчатые агрегаты. Распашка почв приводит к разрушению естественной структуры и формированию общей для многих пахотных почв комковато-глыбистой структуры. Таким образом, структурное состояние почв, характер агрегатов с большой вероятностью свидетельствуют о характере использования почв.

Известно, что гранулометрический состав почва наследует от почвообразующей породы. Некоторые почвенные процессы могут привести к изменению гранулометрического состава почвенных горизонтов, его дифференциации в пределах почвенного профиля. Но это характерно для почв, находящихся в условиях естественного почвообразования. Агрогенные воздействия не влияют на гранулометрический состав пахотной почвы. Данное свойство почвы можно

рассматривать в качестве показателя устойчивости к агрогенным воздействиям. Это свойство определяет распространение корней растений, содержание доступной воды, извлечение питательных веществ из почвы.

*Уплотнение пахотного и подпахотного горизонтов* – обязательное следствие земледелия. Появляется плужная подошва. Причинами уплотнения являются более слабое разрыхление почвы корнями однолетних растений, регулярное механическое воздействие, влияние тяжелой техники. Интенсивность уплотнения также характеризуется динамичностью. Естественное разуплотнение протекает весной и осенью благодаря процессам набухания – усадки, поздней осенью и зимой вследствие промерзания – оттаивания. Критический порог уплотнения для большинства почв превышает оптимальную плотность на 0,05–0,1 г/см<sup>3</sup>, Критическим порогом уплотнения для агроподзолистых почв считается 1,4 г/см<sup>3</sup>, для агрочерноземов – 1,25 г/см<sup>3</sup>, агрокаштановых – 1,30 г/см<sup>3</sup>. Характерное время уплотнения при агрогенезе варьирует в зависимости от свойств почв и уровня агротехники. Как правило, уплотнение агроподзолистых почв происходит через 2–3 года после их вовлечения в пашню, агросерых и агрокаштановых почв – через 5–7 лет, агрочерноземов – через 10–12 лет. Таким образом, агрочерноземы отличаются большей устойчивостью к изменению плотности почвы по сравнению с другими почвами.

Элементарные почвообразовательные процессы переорганизации почвенной массы (оструктурирование и уплотнение) относятся к *категории агрогенных циклических обратимых процессов*. Они отличаются только длительностью периода, в течение которого появляются негативные свойства, снижающие урожайность и требующие вмешательства человека.

Исследования В.А. Королева (2005) показывают, что длительная распашка черноземов центра Русской равнины приводит к заметным изменениям основных физических характеристик. Так, плотность сложения и плотность твердой фазы почв увеличиваются соответственно на 0,1–0,2 и 0,03–0,07 г/см<sup>3</sup>, уменьшаются общая пористость на 3,1–6,7 %, активная пористость – на 2,6–7,8 % (табл. 10). Между пахотными и целинными аналогами наблюдаются достоверные отличия по плотности сложения, общей и активной пористости по всему профилю, по плотности твердой фазы – в пределах гумусового горизонта.

Таблица 10 – Плотность и пористость пахотных черноземов  
выщелоченных (n = 27) [Королев, 2005]

Глубина, см	Плотность, г/см <sup>3</sup>		Пористость, %	
	сложения	твердой фазы	общая	активная
0–10	1,10	2,58	57,2	44,9
20–30	1,17	2,59	54,9	42,2
40–50	1,23	2,61	52,9	40,0
60–70	1,29	2,64	51,2	38,2
80–90	1,36	2,67	49,2	36,1
100–110	1,42	2,69	47,3	34,1
120–130	1,48	2,70	45,2	31,7
140–150	1,52	2,71	44,0	30,7

Неблагоприятные изменения основных физических показателей пахотных черноземов обусловлены как процессами дегумификации, так и перестройкой порового пространства. При обработке нарушается характерная для целины стабильность порового пространства, строение почвы трансформируется от близкого к изотропному на целине в анизотропное на пашне. Отмеченные неблагоприятные изменения физических свойств черноземов не имеют односторонней направленности и не являются необратимыми. С течением времени, когда в цикле «увлажнение-иссушение» набухание превышает усадку, происходит разуплотнение почвы. В постагрогенных подзолистых почвах, по данным Н.А. Караваевой (2008), плотность пахотного слоя восстанавливается до равновесных значений в течение 3–5 лет под луговым фитоценозом, 5–7 лет под листовенным лесом. В подпахотном горизонте этот процесс идет медленнее. В постагрогенных серых почвах и черноземах, по данным О.А. Сорокиной (2008), плужная подошва хорошо видна даже на 15–20-летней залежи.

*Формирование специфического режима физико-химических и агрохимических свойств пахотной почвы.* Физико-химические свойства почв связаны с ее поглощающим комплексом. К ним относятся емкость катионного обмена, состав и сумма обменных оснований, степень насыщенности почвы основаниями, гидролитическая кислотность и рН. Физико-химические свойства почвы непосредственно влияют на агрохимические показатели (подвижные соединения азота, фосфора, калия) и ее биологическую активность, обуславливают характер трансформации при применении разных агротехнологий и удобрений. Рассмотрим характер действия минеральных удобрений

как одного из сильнейших факторов агрогенного воздействия, на физико-химические и агрохимические показатели агрочерноземов двух различных по природно-климатическим условиям регионов: Краснодарский край и Красноярский край.

По данным А.Х. Шеуджена (2015), после завершения трех ротаций 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота на опытном поле Кубанского госагроуниверситета, благодаря высокой буферности чернозема выщелоченного не наблюдается значительных изменений его физико-химических свойств (табл. 11). Отмечается лишь слабая тенденция уменьшения значения этих показателей. Применение минеральных удобрений на полях севооборота несколько подкисляет почву, что, по мнению исследователя, связано с физиологической кислотностью применяемых удобрений, а также необменным поглощением одновалентных катионов в сочетании с отсутствием условий для вымывания ионов водорода и кислотного остатка. Длительное применение удобрений по сравнению с неудобренным вариантом немного повысило гидролитическую кислотность – на 0,12 и 0,16 мг-экв/100 г соответственно в 0–20 и 20–40 см слоях почвы. Систематическое применение минеральных удобрений обусловило незначительное уменьшение суммы обменных катионов и емкости катионного обмена за счет способности гумусового горизонта чернозема удерживать коллоиды вследствие высокого содержания обменного (или поглощенного) кальция, что обычно препятствует диспергированию и вымыванию. Значит, физико-химические свойства высокоплодородной почвы Краснодарского края являются показателями устойчивости почвы к таким агрогенным воздействиям, как применение удобрений.

Таблица 11 – Влияние минеральных удобрений за 3 ротации 11-польного севооборота на физико-химические свойства чернозема выщелоченного Краснодарского края [Шеуджен, 2015]

Вариант	Слой почвы, см	рН		Нг, мг-экв/100 г	Поглощенные катионы, мг-экв/100 г			ЕКО, мг-экв/100 г	V, %
		H <sub>2</sub> O	KCl		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	сумма		
Без удобрений	0–20	6,5	5,8	1,98	30,9	11,8	42,7	44,68	95,6
	21–40	6,6	5,9	1,96	31,7	10,2	41,9	43,86	95,5
NPK	0–20	6,3	5,4	2,10	29,6	29,6	40,3	42,40	95,0
	21–40	6,4	5,5	2,12	29,8	29,8	39,8	41,92	94,9

Примечание: Нг – гидролитическая кислотность; ЕКО – емкость катионного обмена; V – степень насыщенности основаниями.



В этом же опыте под влиянием вносимых удобрений отмечено увеличение содержания общего азота и изменение соотношения между его минеральными и органическими формами: возрастает доля минерального азота и снижается – органического (табл. 12). Следует добавить, что за три ротации севооборота удобрения способствовали увеличению абсолютного содержания в пахотном слое почвы азота органических соединений легко- и трудногидролизуемой фракций, но не оказали влияние на количество негидролизуемой. Видимо, как считают исследователи, остаточный азот удобрений прежде всего накапливается в легко- и трудногидролизуемых фракциях.

Таблица 12 – Содержание минерального и органического азота в выщелоченном черноземе Краснодарского края при длительном применении минеральных удобрений [Шеуджен, 2015]

Вариант	Слой почвы, см	Азот			
		минеральный		органический	
		мг/кг	% от общего	мг/кг	% от общего
Без удобрений	0–20	164	7,3	2086	92,7
	21–40	149	7,8	1751	92,2
NPK	0–20	240	9,2	2360	90,8
	21–40	217	9,6	2033	90,4

Применение минеральных удобрений не только стабилизирует запасы подвижных форм азота, но и постепенно их увеличивает (табл. 13). Почва опыта характеризуется довольно высокой фиксирующей способностью по отношению к аммоний, особенно на удобренном варианте.

Таблица 13 – Содержание минеральных форм азота в черноземе выщелоченном Краснодарского края при длительном применении удобрений, мг/кг почвы [Шеуджен, 2015]

Вариант	Слой почвы, см	Азот			
		нитратный	нитритный	аммонийный	
				обменно-поглощенный	фиксированный
Без удобрений	0–20	22	0,06	12	130
	21–40	20	0,08	11	118
NPK	0–20	30	0,10	16	194
	21–40	28	0,15	15	174

Чернозем выщелоченный на опыте краснодарских ученых отличается высоким запасом валового фосфора (табл. 14). За три ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота при выращивании сельскохозяйственных растений без внесения удобрений произошло снижение содержания валового фосфора в пахотном слое на 2,7 %, подпахотном – 4,5 %. Применяемая система удобрения культур в севообороте, наоборот, способствовала его увеличению соответственно на 6,8 и 2,4 %. Произошло это за счет увеличения содержания органофосфатов в почве, что обусловлено значительным повышением микробиологической активности почвы и увеличением количества растительных остатков вследствие роста урожайности культур севооборота под воздействием вносимых удобрений. Минеральные удобрения способствовали более интенсивному вовлечению в агрогеохимический цикл «нерастворимых» фосфатов и минеральных форм, являющихся основными источниками элемента для питания растений.

Таблица 14 – Содержание валового фосфора и форм его соединений в черноземе выщелоченном Краснодарского края, мг/кг [Шеуджен, 2015]

Вариант	Слой почвы, см	Фосфор			
		валовой	минеральный	органический	неизвлекаемый
До освоения севооборота	0–20	1 541	430	610	501
	21–40	1 458	365	560	533
Без удобрений	0–20	1 499	415	585	499
	21–40	1 393	350	515	528
NPK	0–20	1 646	565	670	431
	21–40	1 493	425	595	473

Анализируя эти данные, можно заключить, что применение удобрений на высокоплодородных почвах Кубани в большей мере способствовало увеличению содержания минеральных соединений фосфора, чем его органических. Неиспользованный растениями фосфор удобрений, по мнению А.Х. Шеуджена, сосредоточивается в зоне их внесения, т. е. в пахотном слое почвы. Трансформация фосфора удобрений, высвобождение соединений этого элемента и устанавливаемое сорбционное равновесие может свидетельствовать об устойчивых признаках почвы.

В связи с высокой обеспеченностью почвы опыта калием применяемая система удобрения культур севооборота не влияла на содержание валовых, водорастворимых, обменных и необменных форм элемента. Калийный режим чернозема определялся преимущественно его генетическими особенностями.

Сравним эти данные с подобными, полученными на полях Красноярского края. Е.В. Лозневой (2016) изучено изменение физико-химических и агрохимических свойств черноземов выщелоченных и серых лесных почв Красноярского края при агрогенном воздействии. На основе материалов локальных мониторинговых исследований установлено, что ежегодное внесение в черноземы выщелоченные органических и повышенных доз минеральных удобрений приводит к достоверному изменению  $pH_{КС1}$  в сторону щелочного интервала и значимому снижению гидролитической кислотности. Ежегодное увеличение  $pH_{КС1}$  составило 0,07 ед. рН или 1,00 ед. рН за 15-летний период, уменьшение гидролитической кислотности – 0,50 и 7,00 ммоль/100 г соответственно. В агроценозах интенсивного типа Назаровской лесостепи изменение подвижного фосфора имеет положительный характер и происходит со скоростью 1,96–4,56 мг/кг в год или 27,50–68,10 мг/кг за период наблюдений. Сельскохозяйственное использование черноземов Ачинско-Боготольской, Красноярской лесостепи и серой лесной почвы травяных лесов сопровождается отрицательной динамикой подвижного фосфора, которая составляет 0,50–3,71 мг/кг в год или 7,0–51,9 мг/кг за 15-летний период. Динамика обменного калия при агрогенном воздействии имеет слабовыраженный характер и определяется способностью черноземов и серых лесных почв глинистого гранулометрического состава при сельскохозяйственной нагрузке на агроценоз восстанавливать доступные формы из необменных форм при высоких валовых запасах  $K_2O$  в почве.

### ***5.3. Процессы трансформации органического вещества***

Длительный опыт науки и практики подтверждает, что потери органического вещества из почв нарастают повсеместно. Размеры уменьшения содержания гумуса в пахотных горизонтах черноземов европейской части России в результате их сельскохозяйственного использования оцениваются различными авторами величиной 20–50 % от исходного.

Главные причины, вызывающие отрицательный баланс гумуса в почвах [Орлов и др., 1996]:

- ✓ усиленная минерализация органических компонентов почвы вследствие интенсивной обработки, применения минеральных удобрений и расхода органического вещества на формирование урожая;
- ✓ недостаточное поступление в обрабатываемые почвы корневых и пожнивных остатков, органических удобрений;
- ✓ быстрая минерализация вносимых в почвы традиционных органических удобрений, включая сидераты;
- ✓ ускорение минерализации органического вещества при некоторых приемах гидротехнических и химических мелиораций;
- ✓ потери гумуса в результате эрозии и дефляции;
- ✓ отчуждение обогащенного гумусом пахотного слоя при проведении сельскохозяйственных мероприятий и особенно при уборке урожая.

Плодородие в значительной мере определяется минерализуемой частью гумуса, которая постепенно отчуждается при антропогенных воздействиях в течение многих десятилетий до установления нового стационарного уровня. При отсутствии должного гумусового контроля сохранившаяся устойчивая к биодеградации ядерная часть молекул представляет собой инертную структуру, которая потеряла способность осуществлять обменные реакции. Восстановление активной гидролизуемой части гумусовых кислот может быть обеспечено при различной системе земледелия и применения органических и минеральных удобрений.

Практически все элементы систем земледелия – от структуры использования пашни до отдельных технологических приемов – оказывают влияние на режим органического вещества.

*Влияние сельскохозяйственных культур* на режим органического вещества зависит как от биологических особенностей, так и от технологии возделывания. С биологическими особенностями культур связаны количество и состав корневых и пожнивных органических остатков как важнейшей приходной части баланса гумуса в пахотной почве. Положительное влияние на органическое вещество ослабевает в ряду: многолетние травы – зерновые – пропашные – пар. Данные таблицы 15 иллюстрируют запасы пожнивных и корневых остатков в агроценозах Красноярской лесостепи.

Таблица 15 – Запасы пожнивных и корневых остатков в агроценозах, ц/га [Чупрова, 1985]

Агроценоз	Пожнивные остатки	Корни в слое почвы, см			Всего
		0–20	20–50	0–50	
Пшеница	8,0	26,7	17,5	44,2	52,2
Горох	7,9	35,0	17,0	52,0	59,9
Вика + овес	8,3	37,0	15,2	52,2	60,5
Кукуруза	8,0	57,3	11,8	69,1	77,1
Люцерна 3-го года пользования	11,0	115,3	34,0	149,3	160,3

Максимальными запасами корневых и пожнивных остатков отличается люцерна 3-го года пользования. Наименьшие запасы корней в слое 0–50 см характерны для агроценоза пшеницы, бобовые отличаются большой массой корней. Кукуруза в отличие от других однолетних сельскохозяйственных растений образует наибольшую массу корней. Однако минерализация гумуса при возделывании пропашных культур за счет неоднократных обработок выше. Поэтому и потери гумуса под пропашными культурами значительно большие, чем под зерновыми. Особенно неблагоприятно влияет на баланс гумуса содержание почвы под чистым паром. На паровых полях растительные остатки в почву не поступают, а минерализация гумуса в 1,5–2 раза интенсивнее, чем на зерновых. Абсолютные потери гумуса в черноземах при паровании достигают 1,5–2 т/га в год.

*Механическая обработка* усиливает минерализацию органического вещества, в том числе и гумуса. К настоящему времени накоплен обширный материал, свидетельствующий о том, что сокращение глубины и частоты механической обработки способствует существенному уменьшению потерь гумуса за счет снижения интенсивности процессов эрозии и минерализации органического вещества. Результаты сравнительного изучения влияния плоскорезной и отвальной систем обработки почвы, проведенные В.И. Кирюшиным и И.Н. Лебедевой (1972), показали, что разница в содержании гумуса в пахотном слое между этими вариантами через 11 лет оказалась весьма существенной. Через 16 лет она еще более увеличилась в пользу плоскорезной обработки (табл. 16).

Таблица 16 – Содержание гумуса (%) в черноземе южном карбонатном в зависимости от системы обработки почвы в зернопаровом севообороте, 1959–1970 гг. [Кирюшин, Лебедева, 1972]

Система обработки почвы	Слой, см			
	0–10	10–20	20–30	30–40
Отвальная	4,61	4,58	4,18	3,43
Плоскорезная	4,90	4,76	4,05	3,44
Разница в содержании гумуса	0,29	0,18	0,13	0,01
НСР <sub>05</sub>	0,21	0,23	0,23	0,17

*Применение удобрений* оказывает сильное влияние на режим органического вещества. Механизм воздействия органических и минеральных удобрений на содержание гумуса в почвах различный. Органические удобрения (навоз, компосты, сидераты, солома) действуют на него положительно. Это заключается в том, что с органическими удобрениями уже вносится определенное и часто значительное количество гумусовых веществ, а негуминовая часть органических удобрений является благоприятной формой лабильного органического вещества и одновременно источником для последующей его гумификации. Интенсивность такого положительного действия органических удобрений определяется их качеством и дозой. Например, в длительном опыте на серых лесных почвах при возделывании бессменно конопля 40 т/га навоза ежегодно повысили содержание гумуса в пахотном слое от 3,3 до 4,7 %. В то же время доза навоза 10 т/га в зерно-травяных севооборотах позволяет поддерживать гумус на исходном уровне [Кирюшин и др., 1993].

Исследованиями Е.В. Лозневой (2016) установлено, что возделывание зерновых культур на старопахотных черноземах при малых дозах и несистематическом внесении минеральных удобрений сопровождается отрицательной временной динамикой гумуса, которая составляет 0,04–0,06 % (0,71–0,86 т/га) в год или 10,65–12,90 т/га за 15-летний период. При залежно-экстенсивном использовании серой лесной почвы зоны травяных лесов отмечается положительная динамика гумуса. Абсолютный ежегодный прирост составил 0,05 % (1,32 т/га), или 19,80 т/га, за исследуемый период. Установленные тенденции являются слабовыраженными и статистически не доказываются. Это дает основание говорить о динамичной стабилизации содержания и запасов гумуса в черноземах и серой лесной почве как об отдельном этапе агропедогенеза, в течение которого трансформация

происходит, но не достигает критических значений, за которыми следует достоверное снижение содержания и запасов гумуса.

Влияние минеральных систем на содержание гумуса в значительной мере зависит от условий их применения (внесение извести, формы удобрения, севооборот), так как эти условия влияют на величину биомассы и особенности их трансформации. В связи с косвенным влиянием действие минеральных удобрений значительно слабее, чем органических. Возможно и отрицательное действие минеральных удобрений на гумус почвы. Так, систематическое применение кислых удобрений приводит к подкислению почвы и повышению подвижности гумуса и, как следствие, к увеличению темпов его минерализации. Такая тенденция прослеживается в полевых опытах с удобрениями, проведенных кафедрой почвоведения и агрохимии КрасГАУ на черноземе выщелоченном Красноярской лесостепи [Ульянова и др., 2010]. Внесение минеральных удобрений способствовало минерализации гумуса, приводящей к уменьшению содержания углерода в стабильной части гумуса. Органическая и органо-минеральная система, наоборот, увеличивали количество стабильного углерода гумуса в почве на 57–253 мг/100 г в зависимости от варианта опыта.

Изменение гумусового состояния почв разных типов под действием удобрений затрагивает также структуру, химические свойства молекул гумусовых кислот, вызывая более сильное развитие боковых алифатических структур, уменьшая удельный вес устойчивых фрагментов в молекулах, способствуя накоплению химически менее зрелых гумусовых кислот.

### **Контрольные вопросы**

1. Сформулируйте понятие агрогенеза.
2. Назовите характеристики, которые определяют зависимость изменения свойств почв от агрогенных факторов.
3. Перечислите процессы переорганизации почвенной массы при агрогенезе.
4. Дайте характеристику агротурбации, оструктуриванию, изменению плотности и пористости почв при агрогенных воздействиях.
5. Проиллюстрируйте примерами формирование специфического режима физико-химических и агрохимических свойств пахотных почв.
6. Выделите особенности формирования специфического режима свойств почв Красноярского края.

### Лабораторная работа 3. Оценка устойчивости гумуса почв к агрогенным воздействиям

*Материалы и оборудование:* учебное пособие, тетрадь, карандаш, линейка, калькулятор, карточки-задания.

#### Задания

1. Рассчитайте абсолютные (т/га) и относительные (%) потери или восполнение запасов гумуса в старопахотных и окультуренных почвах. Оцените размеры потерь или восполнения запасов.

2. Установите закономерности гумусообразования в ненарушенных и пахотных почвах различных зон.

3. Сделайте вывод об экологической устойчивости гумуса почв.

*Форма отчетности:* наличие результатов выполненной работы в рабочей тетради, защита работы.

#### Обсуждение результатов

Приступая к выполнению работы, следует знать, что под старопахотными понимаются почвы, длительно используемые в экстенсивном земледелии, как правило, без систематического нормированного применения органических или органо-минеральных удобрений [Кленов, 2000]. Под окультуренными подразумеваются почвы, которые постоянно, многие десятилетия, получали повышенные дозы органических удобрений (30–100 т/га в год). Сделайте соответствующие расчеты в таблице. Объясните полученные закономерности. Сформулируйте их и запишите в тетради.

#### Запасы гумуса в ненарушенных и старопахотных (окультуренных) почвах (0–100 см)

Почвы	Возраст пашни, лет	Запасы гумуса, т/га		Восполнение (+), потери (-) гумуса			
				всего		за год	
		целина	пашня	т/га	%	т/га	%



## Карточки-задания

Таблица 1

Почвы	Возраст пашни	Запасы гумуса, 0–100 см, т/га	
		целина	пашня
Дерново-подзолистые	60	84,9	81,4
Серые лесные	100	255,1	214,0
Черноземы выщелоченные	100	379,5	293,0
Черноземы южные	100	252,3	218,3

Таблица 2

Почвы	Возраст пашни	Запасы гумуса, 0–100 см, т/га	
		целина	пашня
Дерново-подзолистые	60	138,7	125,9
Темно-серые лесные	100	319,5	264,9
Черноземы оподзоленные	100	396,8	319,0
Каштановые	30	98,9	97,3

Таблица 3

Почвы	Возраст пашни	Запасы гумуса, 0–100 см, т/га	
		целина	пашня
Дерново-подзолистые	100	95,6	90,2
Светло-серые лесные	100	227,8	194,2
Черноземы обыкновенные	100	365,8	295,3
Темно-каштановые	100	162,8	152,3

Таблица 4

Почвы	Возраст пашни	Запасы гумуса, 0–100 см, т/га	
		целина	пашня
Дерново-подзолистые	100	102,3	85,6
Светло-серые лесные	70	256,3	224,2
Черноземы оподзоленные	100	400,5	395,6
Каштановые	100	85,6	84,3

Таблица 5

Почвы	Возраст пашни	Запасы гумуса, 0–100 см, т/га	
		целина	пашня
Дерново-подзолистые	100	143,5	137,6
Светло-серые лесные	100	228,5	195,6
Черноземы выщелоченные	100	387,6	296,6
Черноземы южные	50	253,3	218,0

Таблица 6

Почвы	Длительность окультуривания	Запасы гумуса, 0–100 см, т/га	
		целина	пашня
Дерново-подзолистые	25	84,9	162,0
Светло-серые лесные	20	228,6	212,3
Черноземы выщелоченные	25	380,2	346,5
Черноземы южные	20	252,0	246,0

Таблица 7

Почвы	Длительность окультуривания	Запасы гумуса, 0–100 см, т/га	
		целина	пашня
Подзолы	18	38,6	112,2
Темно-серые лесные	20	312,0	279,6
Черноземы обыкновенные	20	363,0	252,8
Каштановые	20	98,9	107,8

Таблица 8

Почвы	Длительность окультуривания	Запасы гумуса, 0–100 см, т/га	
		целина	пашня
Подзолы	20	35,1	102,9
Серые лесные почвы	20	257,8	238,8
Черноземы оподзоленные	20	395,6	360,0
Каштановые	20	99,8	108,8

Таблица 9

Почвы	Длительность окультуривания	Запасы гумуса, 0–100 см, т/га	
		целина	пашня
Черноземы оподзоленные	20	396,2	360,0
Черноземы выщелоченные	20	359,5	336,4
Черноземы обыкновенные	20	333,8	315,9
Черноземы южные	20	223,0	214,6

Таблица 10

Почвы	Длительность окультуривания	Запасы гумуса, 0–100 см, т/га	
		целина	пашня
Дерново-подзолистые	20	84,5	95,6
Серые лесные	25	205,5	214,2
Черноземы выщелоченные	25	379,5	296,3
Светло-каштановые	20	85,6	82,3

## Лекция 6. Устойчивость почв к эрозионным воздействиям

### 6.1. Эрозионные процессы: понятие, классификация

На современном этапе ведения сельскохозяйственного производства защита почв от эрозии является одной из важнейших проблем охраны окружающей среды. Эрозионные процессы, разрушая верхний, наиболее плодородный слой почвы, приводят к существенным изменениям физических, агрохимических и биологических свойств почвы.

Из всех видов деградации наиболее масштабной и вредоносной является эрозия почв. Главенствующая роль эрозии (водная эрозия – 56 %, дефляция – 28 %) среди других процессов деградации почв связана, во-первых, с ее широким распространением, во-вторых, с глубиной и необратимостью изменений почвенного покрова, в-третьих, с громадными размерами причиняемого эрозией экологического и экономического ущерба.

*Эрозия почв* – это совокупность взаимосвязанных процессов отрыва, переноса и отложения почвы (иногда материнской и подстилающей пород) поверхностным стоком временных водных потоков и ветром [Кузнецов, Глазунов, 1996]. *Водная эрозия* происходит под влиянием стока дождевых, талых, поливных и сбросных вод. Необходимым условием возникновения водной эрозии является сток поверхностных вод. В зависимости от вида поверхностного стока различают *три вида эрозии почв*:

- ✓ дождевая эрозия (ливневая);
- ✓ эрозия при снеготаянии;
- ✓ ирригационная эрозия.

Указанные виды эрозии различаются не только по источнику стока, но и по механизму процесса, а также по величине причиняемого ими ущерба.

По *морфологическим признакам эрозионных форм* различают:

- ✓ поверхностную эрозию, или смыв почвы;
- ✓ линейную эрозию, или размыв почвы.

Поверхностная эрозия, или смыв, в свою очередь делится на плоскостную и струйчатую. Различие это достаточно условное. Считается, что плоскостная эрозия вызывается движением сплошной пелены стока. Практически условия для ее образования создаются редко, и смыв почвы осуществляется преимущественно струйчатыми потоками. Граница перехода поверхностной эрозии в линейную также условна: считается,

что если следы эрозии на поле исчезают в результате обычной обработки почвы, то это поверхностная эрозия, если нет – линейная.

Необходимым условием *ветровой эрозии, или дефляции почв*, является ветер, скорость которого достаточна для перемещения частиц почвы. По таким внешним признакам, как интенсивность, продолжительность и масштабы явления, а также размер ущерба, различают:

- ✓ повседневную ветровую эрозию;
- ✓ пыльные бури.

Отличительными признаками повседневной ветровой эрозии считают относительно низкую скорость ветра, лишь незначительно превышающую критическую для почв, и связанную с этим пространственную ограниченность явления, – повседневная эрозия чаще всего ограничена масштабами одного или нескольких соседних полей, на территории которых развиваются все стадии процесса – от выдувания почвы до отложения наносов. Практически все пахотные почвы в той или иной степени подвержены повседневной ветровой эрозии. При больших скоростях ветра, значительно превышающих критическую для почв, существенно увеличиваются высота подъема почвенных частиц в воздух и дальность их переноса, достигающая сотен и тысяч километров. Пыльные бури – грозное явление, масштабы которого не раз принимали размах стихийного бедствия.

## ***6.2. Распространение эрозии почв***

В проявлении эрозионных процессов и распространении эродированных почв прослеживается зональность, которая определяется закономерными изменениями природных и антропогенных факторов эрозии.

Разведка, добыча и транспортировка полезных ископаемых (нефть, газ) в зоне *тундры и лесотундры* сопровождаются механическим нарушением почвенного покрова и уничтожением растительности на больших площадях. Это приводит к созданию условий для проявления эрозионных процессов. Тундровые ландшафты и почвы легко подвергаются деградации, но медленно восстанавливаются. Ветровая эрозия носит очаговый характер и проявляется в основном на песках.

В северной и восточной частях *лесной зоны* широко распространены эрозионно опасные земли, однако преобладающая часть территории находится под лесом и надежно защищена от эрозии почв. В западной и южной частях зоны интенсивность эрозионных процессов возрастает в связи с увеличением площади пашни. Так, на наиболее освоенных участках Смоленско-Московской возвышенности смытые

почвы занимают до 25–30 % пашни. Ветровая эрозия почв в лесной зоне носит очаговый характер. Очаги ветровой эрозии возникают в результате сведения леса на песках и песчаных почвах, а также в результате осушения и распахивания избыточно увлажненных почв.

Для *лесостепной и степной зон* характерна максимальная степень освоенности территории. Это обстоятельство, а также широкое распространение покровных отложений низкой противоэрозионной стойкости, значительное количество осадков в эрозионно опасный период, высокая расчлененность территории создали условия для максимального развития процессов водной эрозии. Высокая степень распаханности территории, неустойчивое, периодически недостаточное увлажнение, высокая повторяемость ветров, часто суховейных, способствуют широкому распространению ветровой эрозии в этих зонах. Огромные территории подвержены ветровой эрозии в Западной и Восточной Сибири. Массовое освоение целинных и залежных земель положило начало широкому распространению ветровой эрозии в Сибири, на Южном Урале и в Поволжье.

По данным Государственного (национального) доклада о состоянии и использовании земель Российской Федерации за 2016 год, 26 % сельскохозяйственных угодий России эродированы и нуждаются в осуществлении мер по защите почв от эрозии. Наиболее опасными в эрозионном отношении являются территории Приволжского (50,0 %), Южного (24,3 %) и Центрального (12,4 %) федеральных округов, в дефляционно опасном – Сибирского (45,1 %) и Южного (40,2 %) федеральных округов. Важно отметить, что приrost смытых почв в черноземной полосе России составляет, в среднем, 0,3 %, а в некоторых районах достигает 1 % в год. Данные повторных почвенно-эрозионных съемок с интервалом в 30 лет, проведенных на пахотных дерново-подзолистых почвах Валдайской возвышенности, также свидетельствуют об увеличении площади смытых почв примерно на 1 % в год [Орлова и др., 1987].

В Красноярском крае процессам эрозии подвержено 1 249,5 тыс. га сельскохозяйственных угодий. Их них дефляции – 663,9 тыс. га, водной эрозии – 397,2 тыс. га, совместной – 188,4 тыс. га. Таким образом, наибольшее распространение по административным районам края имеет дефляция. Процессы дефляции наиболее сильно проявляются (% к пашне) в районах: Новоселовском – 61 % (дефляционно опасных земель 93 %), Канском – 47,5 % (дефляционно опасных – 58,4 %), Минусинском – 45,4 % (дефляционно опасных – 70 %).

В таблице 17 приведены показатели потенциальной опасности проявления эрозии.

Таблица 17 – Показатели потенциальной опасности проявления эрозии

Фактор	Показатель	
	водной эрозии	ветровой эрозии
Метеорологические условия	<p>Большое среднегодовое количество осадков при неравномерном их распределении в течение года. Большая мощность снегового покрова. Быстрое снеготаяние. Высокие показатели стока талых вод. Большой слой осадков за один дождь в сутки. Ливни в период плохой защищенности почвы растительным покровом. Высокие показатели стока дождевых вод</p>	<p>Континентальность климата. Активный ветровой режим: высокая повторяемость и скорость ветра от 3...5 м/с у поверхности почвы; турбулентность; вихри, пыльные бури. Небольшое количество среднегодовых осадков с резкими колебаниями по годам и сезонам; отсутствие или малое выпадение осадков в периоды, когда почва не защищена растительностью. Частая повторяемость бесснежных и малоснежных зим; промерзание и оттаивание почвы, пересушивание поверхности</p>
Рельеф	<p>Глубокие местные базисы эрозии. Собирающие водосборы. Высокая расчлененность территории оврагами и промоинами, средневзвешенные крутизна и длина склонов, доля южных склонов. Выпуклые профили склонов. Линейные формы микро- и нанорельефа ориентированы вдоль склона</p>	<p>Равнинность территории, отсутствие орографических препятствий для воздушных потоков; наличие форм рельефа, ориентированных в направлении движения ветров (ветровые коридоры); большая доля ветроударных склонов и понижений мезорельефа, увеличивающих вихревые и турбулентные явления</p>
Почвенный покров	<p>Почвы со слабой противозерозионной устойчивостью: с низким содержанием крупных водопрочных агрегатов и микроагрегатов; низкой влагоемкостью и водопроницаемостью, высокой влажностью при промерзании. Высокий средневзвешенный показатель смывости почвенного покрова</p>	<p>Высокое содержание в почве механических элементов размером 0,1...0,5 мм; легкий гранулометрический состав почв; сравнительно высокая карбонатность верхнего горизонта глинистых и суглинистых почв; пониженное содержание гумуса и уменьшенная мощность гумусового слоя; низкое содержание и малая прочность (связность) структурных элементов; песчаные и высококарбонатные рыхлые почвообразующие породы; наличие на территории или в непосредственной близости незакрепленных песков</p>

Фактор	Показатель	
	водной эрозии	ветровой эрозии
Растительность и использование	Высокая доля обрабатываемых земель на склонах. Разреженный и угнетенный растительный покров пастбищ, большая выбитость их скотом. Высокая доля пропашных культур и малая – многолетних трав в севооборотах, размещаемых на склонах. Низкое проективное покрытие почв культурами в эрозионно опасные периоды. Низкая биомасса культурных растений на склонах. Отсутствие противоэрозионных мелиораций	Разреженный и угнетенный растительный покров естественных кормовых угодий, большая выбитость их скотом, отсутствие лесополос и лесных массивов; давность освоения; высокая доля обрабатываемых легких и карбонатных почв; высокая доля пропашных культур и низкая – многолетних трав в севооборотах; изреженные и поврежденные ветровой эрозией посевы. Отсутствие системы почвозащитных мероприятий

### 6.3. Эрозионная устойчивость почв

В развитии процессов эрозии и дефляции почв большая роль принадлежит их эрозионной стойкости.

*Эрозионная устойчивость почв – это способность почвы противостоять разрушающему действию потоков талых, ливневых и ирригационных вод и ветра.*

Рассмотрим почвенные и литологические факторы развития эрозии и дефляции.

Свойства почв и грунтов определяют особенности формирования поверхностного стока и, следовательно, эродирующую способность потока, а она, в свою очередь, – интенсивность эрозионных процессов и степень распространения смытых и намывных почв.

*Поверхностный сток во время дождя возникает, когда его интенсивность начинает превышать интенсивность впитывания воды почвой, которая с течением времени убывает. Чаще всего поверхностный сток возникает через некоторое время после начала дождя. Поглощение почвой воды осуществляется в виде одновременного протекания ряда процессов:*

- ✓ турбулентное поглощение воды в крупные трещины, ходы корней и землероев;
- ✓ капиллярное и пленочное рассасывание воды в почве (если она сухая);
- ✓ формирование сплошного равномерного потока по мере заполнения почвенных пор водой и дальнейшего его поступления в виде осадков.

Соотношение указанных процессов, определяющих динамику интенсивности впитывания воды почвой, находится в большой зависимости от свойств почв, ее агротехнического состояния, влажности и гранулометрического состава [Кузнецов, Глазунов, 1996].

Сгруппированы почвы разного генезиса и гранулометрического состава в классы по их водопроницаемости во время дождя (табл. 18). Почвы первого класса характеризуются наименьшей водопроницаемостью, а почвы пятого – наибольшей. Для определения принадлежности почвы к одному из классов необходимо знать ее тип и гранулометрический состав.

Таблица 18 – Классификация почв по водопроницаемости

Потенциальная структура	Типы и подтипы почв	Группы по гранулометрическому составу				
		глины и тяжелые суглинки	средние и легкие суглинки	супеси и щебнистые почвы	пески	пески слабо задерживаемые
Водопрочная макроструктура	Черноземы тучные, обыкновенные	IV	V	–	–	–
Макроструктура средней устойчивости	Черноземы выщелоченные, оподзоленные; темно-серые и серые лесные почвы; темно-каштановые почвы	II	III	IV	–	–
Микроструктура или неустойчивая макроструктура	Подзолистые почвы; светло-серые лесные почвы; светло-каштановые; солонцы	I	II	III	IV	V



Данные таблицы показывают, что наибольшей водопроницаемостью обладают черноземы. Наименьшей – при одном и том же гранулометрическом составе – малогумусные почвы: подзолистые, светло-серые лесные, светло-каштановые. Однако большое влияние оказывает и гранулометрический состав почвы. Так, при изменении гранулометрического состава от глины до песка перечисленные выше малогумусные почвы могут относиться к любому из пяти классов.

Поверхностный сток формируется и при снеготаянии. Таяние снега происходит в две стадии: днем талая вода скапливается в крупных порах и движется вниз, оплавляя кристаллы снега; ночью же замерзает. Это явление повторяется много раз и приводит к перекристаллизации снега. Кристаллы становятся крупнее, приобретают зернистую форму; расстояние между ними увеличивается. С каждым днем в снеге накапливается все больше воды, а каналы внутри снежной толщи становятся все шире. Этот период снеготаяния называется *фазой аккумуляции*. Она занимает примерно одну треть всего периода снеготаяния. При дальнейшем таянии снега вода уже не в состоянии удерживаться в его толще и начинает стекать. Так начинается вторая фаза – *фаза стекания*.

Основой для прогноза стока при снеготаянии может служить схема, разработанная Г.П. Сурмачем (1969) применительно к зонам черноземных и каштановых почв (табл. 19). Схема позволяет, основываясь на оценке наблюдений за погодными условиями, получить, используя материалы таблицы 20, подходящее для текущего года сочетание типов сезонов и соответствующую этому качественную характеристику стока, а из таблицы 21 – соответствующие характеристики стока: слой и коэффициент стока.

Таблица 19 – Схема прогнозирования стока на черноземах и каштановых почвах [Сурмач, 1969]

Сочетание типов сезонов	Характер стока с обычной пашни	Характер стока с уплотненной пашни (озимые, многолетние травы, стерня) и пастбищных угодий
1	2	3
O <sub>1</sub> З <sub>1</sub> В <sub>2</sub> В <sub>3</sub>	Стока нет	Очень слабый или слабый
O <sub>1</sub> З <sub>3</sub> В <sub>1</sub> В <sub>2</sub> В <sub>3</sub>	Стока нет	Слабый до умеренного
O <sub>1</sub> З <sub>4</sub> В <sub>1</sub>	Слабый	Сильный
O <sub>1</sub> З <sub>4</sub> В <sub>2</sub> В <sub>3</sub>	Слабый до умеренного	Сильный
O <sub>2</sub> З <sub>1</sub> В <sub>1</sub> В <sub>2</sub> В <sub>3</sub>	Стока нет или очень слабый	Умеренный

1	2	3
O <sub>2</sub> Z <sub>2</sub> B <sub>1</sub> B <sub>2</sub> B <sub>3</sub>	Очень слабый	Умеренный до сильного
O <sub>2</sub> Z <sub>3</sub> B <sub>1</sub> B <sub>2</sub> B <sub>3</sub>	Стока нет или очень слабый	Слабый до умеренного
O <sub>2</sub> Z <sub>4</sub> B <sub>2</sub> B <sub>3</sub>	Слабый до умеренного	Сильный
O <sub>2</sub> Z <sub>4</sub> B <sub>1</sub>	Слабый	Сильный
O <sub>3</sub> Z <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>2</sub> B <sub>3</sub>	Стока нет или очень слабый	Сильный
O <sub>3</sub> Z <sub>2</sub> B <sub>1</sub> B <sub>2</sub> B <sub>3</sub>	Очень слабый	Умеренный до сильного
O <sub>3</sub> Z <sub>3</sub> B <sub>1</sub>	Очень слабый	Слабый до умеренного
O <sub>3</sub> Z <sub>3</sub> B <sub>2</sub> B <sub>3</sub>	Очень слабый до слабого	Умеренный
O <sub>3</sub> Z <sub>4</sub> B <sub>1</sub>	Слабый	Сильный и очень сильный
O <sub>3</sub> Z <sub>4</sub> B <sub>2</sub> B <sub>3</sub>	Слабый до умеренного	Сильный и очень сильный
O <sub>4</sub> Z <sub>1</sub> Z <sub>2</sub> B <sub>1</sub> B <sub>2</sub> B <sub>3</sub>	Умеренный и сильный	Очень сильный и чрезмерный
O <sub>4</sub> Z <sub>3</sub> B <sub>1</sub>	Очень слабый	Умеренный
O <sub>4</sub> Z <sub>3</sub> B <sub>2</sub> B <sub>3</sub>	Слабый	Умеренный и сильный
O <sub>4</sub> Z <sub>4</sub> B <sub>1</sub>	Сильный	Очень сильный
O <sub>4</sub> Z <sub>4</sub> B <sub>2</sub> B <sub>3</sub>	Очень сильный	Очень сильный

Таблица 20 – Характеристика типов сезонов [Сурмач, 1969]

Тип	Характеристика
1	2
<i>Осень</i>	
O <sub>1</sub>	Сухая; предзимнее увлажнение ниже нормы
O <sub>2</sub>	Влажная; предзимнее увлажнение около нормы
O <sub>3</sub>	Влажная; осадков в 1,5–2 раза больше нормы; почва увлажнена до общей влагоемкости
O <sub>4</sub>	Влажная; много осадков в предзимний период: пахотный слой почвы переувлажнен
<i>Зима</i>	
Z <sub>1</sub>	Холодная, без сильных оттепелей
Z <sub>2</sub>	Умеренно холодная, с оттепелями; местами не сплошная ледяная корка
Z <sub>3</sub>	Теплая с частыми оттепелями; частичное или полное стаивание снежного покрова; оттаивание почвы с последующим замерзанием (слабым)
Z <sub>4</sub>	Холодная или умеренно холодная с глубокими оттепелями и дождями; почти полное стаивание снега и последующее замерзание почв

1	2
<i>Весна</i>	
V <sub>1</sub>	Затяжная с равномерным снеготаянием при пасмурной погоде; без заморозков или со слабыми заморозками
V <sub>2</sub>	Дружная, при солнечной погоде и высокой интенсивности снеготаяния; почвенные заморозки
V <sub>3</sub>	Затяжная, прерываемая похолоданиями, сопровождаемыми дождями

Таблица 21 – Шкала для оценки стока [Сурмач, 1969]

Наличие и степень стока	Величина стока, мм	Коэффициент стока
Нет	0	0,00
Очень слабый	До 7	До 0,05
Слабый	8–20	0,06–0,15
Умеренный	21–40	0,16–0,35
Сильный	41–75	0,36–0,65
Очень сильный	76–115	0,66–0,85
Чрезмерный	Больше 115	Больше 0,85

Наиболее важным фактором формирования весеннего стока является влажность почвы в предзимний период. Мерзлая, но сухая почва проницаема для воды. Однако если почва замерзла в переувлажненном состоянии, и ее поры забиты льдом, водопроницаемость почвы очень мала. В связи с этим погодные условия осени ( $O_n$ ), особенно поздней, оказывают определяющее влияние на водороницаемость почвы и формирование весеннего стока: чем больше осадков, тем меньше водопроницаемость и больше сток.

Погодные условия зимы ( $Z_n$ ) также оказывают заметное влияние на сток. Оттепели, особенно прерываемые глубокими похолоданиями, способствуют насыщению верхнего слоя почвы льдом и формированию на поверхности почвы ледяной корки. Характер весны ( $V_n$ ) в условиях зоны черноземов и каштановых почв оказывает гораздо меньше влияния. Однако теплая весна, прерываемая похолоданиями, все же оказывает некоторое стимулирующее влияние на сток.

Противоэрозионная устойчивость почв и грунтов определяется следующими показателями:

– свойства коллоидно-дисперсных минералов, преобладающих в илистой фракции;

- гранулометрический состав;
- содержание гумуса и его состав;
- структурное состояние почвы и водопрочность структуры;
- состав обменных катионов;
- плотность почвы и плотность твердой фазы.

*Коллоидно-дисперсные минералы*, преобладающие в илистой фракции, в значительной мере влияют на устойчивость почв к эрозии. Таким малонабухающим минералам, как каолинит, соответствует относительно низкая противоэрозионная стойкость почв и грунтов, так как они обеспечивают слабое сцепление между частицами. Почвы и породы, в которых преобладают гидрофильные минералы – монтмориллонит и ему подобные, характеризуются сравнительно высоким сцеплением и противоэрозионной стойкостью.

Значительное влияние на противоэрозионную устойчивость почв оказывает *гранулометрический состав*. Из двух почв одинакового генетического типа большей противоэрозионной стойкостью обладает более тяжелая по гранулометрическому составу почва, содержащая больше илистой фракции, способной к структурообразованию. Особенно неблагоприятно высокое содержание фракции крупной пыли (0,05–0,01 мм), значительно понижающей водопрочность структуры.

Важная роль в эрозионной устойчивости принадлежит *гумусированности* почв. Чем больше гумуса содержится в верхней части профиля черноземов, тем лучше они оструктурены и обладают большей водовместимостью и водопроницаемостью. А.Д. Воронин и М.С. Кузнецов (1970) расположили почвы основных типов европейской части СССР по противоэрозионной стойкости в следующий ряд: чернозем мощный > чернозем обыкновенный > чернозем южный > дерново-подзолистая почва > светло-каштановая почва. Таким образом, противоэрозионная стойкость почв убывает на север и юг от черноземно-степной полосы вместе с уменьшением содержания гумуса. Состав гумуса также играет важную роль в эрозионной устойчивости почв. При этом существенное влияние оказывают гуминовые кислоты, связанные с подвижными полуторными окислами (фракция 1), ответственными за структурообразование [Кононова, 1963].

Важную роль в предупреждении и борьбе с эрозией почв играет *структура почвы*. По мнению А.А. Танасиенко (2003), от структурного состояния почв зависит, с одной стороны, количество впитавшихся различных по генезису вод, и, следовательно, величина поверхностного стока, а с другой – размер и объем отчуждаемого поч-

венного материала. Хорошо известно, что агрономически ценной является лишь водопрочная структура, не распадающаяся при воздействии воды на составляющие гранулометрические элементы. Формирование водопрочной структуры зависит от многих факторов, важнейшим из которых служит наличие органического и минерального клеев, соответственно – новообразованного гумуса и ила. Немаловажное значение в формировании почвенной структуры принадлежит и длительному сезонному промерзанию почвы, так как оно усиливает коагуляцию органических коллоидов на поверхности минеральных гранулометрических фракций, тем самым способствуя их дальнейшему склеиванию при оптимальном увлажнении талой почвы. В работах многих авторов высокая противозерозионная стойкость почв ассоциируется с ее высокой структурностью. Однако в некоторых случаях прочность структуры почвы в воде не обеспечивает высокой противозерозионной стойкости. Это свидетельствует о том, что противозерозионная стойкость не исчерпывается водопрочностью агрегатов, особенно это справедливо для уплотненных почв и грунтов.

*Обменные катионы* оказывают большое влияние на поверхностные свойства почвенных частиц, поэтому можно ожидать, что противозерозионная стойкость почв также зависит от их состава. Известно, что предварительно увлажненные агрегаты, насыщенные  $\text{Na}^+$ , распадаются быстрее, чем насыщенные  $\text{Ca}^{2+}$ . При этом водопрочность агрегатов почвы, насыщенной  $\text{Na}^+$ , в воздушно-сухом состоянии достаточно высокая, что обусловлено их низкой активной пористостью.

Исследованиями Ц.Е. Мирцхулавы (1985) установлен характер влияния *солей* на противозерозионную стойкость грунтов. Наименьшим сопротивлением размыву обладают грунты, содержащие легкорастворимые соли. Грунты, содержащие дисперсный гипс, обладают большей противозерозионной стойкостью; далее следуют грунты с крупнокристаллическими рассеянными карбонатами. Наибольшей противозерозионной стойкостью обладают грунты, содержащие окислы железа и сплошной макро- и микрокристаллический кальцит.

*Плотность почвы и плотность твердой фазы* почвы непосредственно связаны с весом агрегатов, поэтому можно ожидать наличие связи этих показателей с эрозионной устойчивостью почв.

Свойства почв, оказывающие влияние на процесс *ветровой эрозии*, можно разделить на две группы [Кузнецов, Глазунов, 1996]:

– непосредственно влияющие на противодефляционную стойкость (агрегатный состав, плотность агрегатов, межагрегатное сцепление);

– опосредованно влияющие на противодефляционную стойкость и интенсивность процесса ветровой эрозии (физические, химические и физико-механические свойства, которые определяют количественные характеристики свойств почв первой группы).

*Гранулометрический состав* – один из главных факторов, определяющих структурное состояние почвы и ее противодефляционную стойкость. Среди пахотных степных почв сильнее всего подвержены ветровой эрозии наиболее легкие и наиболее тяжелые по гранулометрическому составу. Легким почвам не хватает цементирующего материала (ила и мелкой пыли) для формирования достаточно крупных и механически прочных структурных агрегатов. В тяжелых по гранулометрическому составу почвах цементирующего материала достаточно, однако эти почвы в силу своего генезиса характеризуются относительно пористой мелкокомковатой или комковато-зернистой структурой, имеющей низкую противодефляционную стойкость.

Гранулометрический состав оказывает влияние не только на противодефляционную стойкость, но и на характер развития процесса ветровой эрозии. В ходе переноса частиц почвы ветром происходит их разрушение, а также истирание почвенной поверхности скачущими частицами. Оба процесса приводят к увеличению содержания в зоне дефляции мелких, легко перемещаемых ветром частиц.

Высокое содержание специфических *органических веществ* обеспечивает почве высокое плодородие, хорошие технологические качества и низкую противодефляционную стойкость. При одинаковой обработке черноземные почвы, включающие больше гумуса, содержат больше мелких агрегатов и более податливы эрозии, чем каштановые почвы. Внесение в почву свежих растительных остатков оказывает принципиально иное воздействие на противодефляционную стойкость почв. Агрегирующее действие растительных остатков проявляется только после появления в почве первых продуктов их разложения, которые являются клеящими веществами. Чем больше растительных остатков было запахано в почву, тем сильнее и дольше проявляется их агрегирующее действие. Более эффективно оставлять растительные остатки на поверхности почвы, чем их заделывать. В этом случае растительные остатки дольше служат источником пополнения клеящими веществами, а также средством защиты почвы от ветра. Богатые гумусом почвы в большей степени, чем другие, подвержены ветровой эрозии еще и потому, что они менее других подвержены образованию на их поверхности почвенной корки.

## Контрольные вопросы

1. Сформулируйте понятие «эрозия почв».
2. Назовите виды эрозии почвы.
3. Укажите морфологические признаки эрозионных процессов.
4. Опишите закономерности проявления эрозионных процессов по природным зонам.
5. Дайте определение эрозионной устойчивости почвы.
6. Укажите факторы развития эрозии и дефляции почв.

### Лабораторная работа 4. Оценка эрозионной устойчивости почв

*Материалы и оборудование:* учебное пособие, тетрадь, калькулятор, карточки-задания.

#### Задание 1

По карточкам-заданиям выполните следующее.

1. Оцените гранулометрический состав пахотного слоя почвы.
2. Рассчитайте коэффициент эрозионной стойкости почвы.
3. Объясните полученные коэффициенты, связав их с гранулометрическим составом.

*Форма отчетности:* обсуждение выполненной работы проводится в форме письменного отчета, в котором показаны расчеты коэффициента эрозионной стойкости почвы. Запишите результаты в форме приведенной таблицы и сформулируйте основные выводы.

#### Эрозионная стойкость почвы

Основное название почвы по гранулометрическому составу	Содержание, %		К
	глинистой фракции	крупной пыли и мелкого песка	

При обсуждении результатов работы обратите внимание на то, что эрозионная стойкость почв определяется содержанием глинистой фракции в пахотной почве. Чем больше ее содержится, тем выше

стойкость почв к смыву [Заславский, 1979]. Эрозионную стойкость почв определяют по соотношению

$$K = \frac{\text{глинистая фракция}}{\text{пылеватая фракция} + \text{мелкий песок}}$$

### Карточки-задания

Таблица 1

#### Гранулометрический состав дерново-подзолистой почвы

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)					
		1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001
A <sub>пах</sub>	0–20	2,7	44,9	37,4	7,0	5,6	2,4

Таблица 2

#### Гранулометрический состав дерново-подзолистой почвы

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)					
		1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001
A <sub>пах</sub>	0–20	1,2	33,3	34,7	10,9	13,2	6,7

Таблица 3

#### Гранулометрический состав дерново-подзолистой почвы

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)					
		1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001
A <sub>пах</sub>	0–22	4,2	28,2	17,9	10,9	35,4	21,3

Таблица 4

#### Гранулометрический состав дерново-подзолистой почвы

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)					
		1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001
A <sub>пах</sub>	0–19	2,9	43,4	16,9	6,8	12,3	16,4



Таблица 5

## Гранулометрический состав дерново-подзолистой почвы

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)					
		1–0,25	0,25– 0,05	0,05– 0,01	0,01– 0,005	0,005– 0,001	< 0,001
A <sub>пах</sub>	0–15	1,7	17,8	55,2	7,6	10,0	6,7

Таблица 6

## Гранулометрический состав дерново-подзолистой почвы

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)					
		1–0,25	0,25– 0,05	0,05– 0,01	0,01– 0,005	0,005– 0,001	< 0,001
A <sub>пах</sub>	0-20	2,3	34,8	29,1	10,9	12,8	8,6

Таблица 7

## Гранулометрический состав светло-серой лесной почвы

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)					
		1–0,25	0,25– 0,05	0,05– 0,01	0,01– 0,005	0,005– 0,001	< 0,001
A <sub>пах</sub>	0–18	–	15,8	60,4	2,2	13,1	8,5

Таблица 8

## Гранулометрический состав светло-серой лесной почвы

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)					
		1–0,25	0,25– 0,05	0,05– 0,01	0,01– 0,005	0,005– 0,001	< 0,001
A <sub>пах</sub>	0–22	–	1,6	56,8	15,7	16,9	9,0

Таблица 9

## Гранулометрический состав серой лесной почвы

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)					
		1–0,25	0,25– 0,05	0,05– 0,01	0,01– 0,005	0,005– 0,001	< 0,001
A <sub>пах</sub>	2–18	0,4	3,3	58,8	11,5	14,4	12,4

Таблица 10

## Гранулометрический состав серой лесной почвы

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)					
		1–0,25	0,25– 0,05	0,05– 0,01	0,01– 0,005	0,005– 0,001	< 0,001
A <sub>пах</sub>	0–21	–	13,3	50,8	11,6	17,7	6,6

Таблица 11

## Гранулометрический состав чернозема оподзоленного

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)					
		1–0,25	0,25– 0,05	0,05– 0,01	0,01– 0,005	0,005– 0,001	< 0,001
A <sub>пах</sub>	0–22	–	–	45,8	12,8	14,4	27,1

Таблица 12

## Гранулометрический состав чернозема выщелоченного

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)					
		1–0,25	0,25– 0,05	0,05– 0,01	0,01– 0,005	0,005– 0,001	< 0,001
A <sub>пах</sub>	0–10	–	2,8	42,6	10,3	15,1	26,9

Таблица 13

## Гранулометрический состав дерново-карбонатной почвы

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)					
		1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001
A <sub>пах</sub>	0–20	38,0	16,3	26,8	8,9	6,8	3,2

Таблица 14

## Гранулометрический состав дерново-карбонатной почвы

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)					
		1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001
A <sub>пах</sub>	0–25	13,6	39,8	17,5	7,7	9,2	12,2

Таблица 15

## Гранулометрический состав чернозема южного

Горизонт	Глубина взятия образца, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)					
		1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001
A <sub>пах</sub>	0–20	4,7	38,9	42,2	4,3	6,2	3,7

Таблица 16

## Гранулометрический состав темно-каштановой почвы

Горизонт	Глубина взятия образца, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)					
		1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001
A <sub>пах</sub>	0–30	2,0	22,0	43,0	8,5	12,5	12,0

## **Задание 2**

По данным характеристики осеннего, зимнего и весеннего сезонов составьте прогноз стока при снеготаянии, указав наличие и степень стока, величину стока (мм) и коэффициент стока. Данные расчетов занесите в таблицу.

### **Прогноз стока и его оценка**

Сочетание типов сезонов	Характер стока	Величина стока, мм	Коэффициент стока

#### **Вариант 1**

Чернозем обыкновенный. Посевы озимой ржи. Осень влажная; осадков выпало в 1,7 раза больше нормы. Зима холодная, без сильных оттепелей. Весна солнечная; отмечаются почвенные заморозки.

#### **Вариант 2**

Темно-каштановая почва. Пастбище. Осень сухая; предзимнее увлажнение ниже нормы. Зима холодная с глубокими оттепелями; почти полное стаивание снега и последующее замерзание почв. Весна затяжная с равномерным снеготаянием при пасмурной погоде.

#### **Вариант 3**

Чернозем оподзоленный. Поле чистого пара. Осень влажная; пахотный слой почвы переувлажнен. Зима умеренно холодная, с оттепелями. Весна затяжная, прерываемая похолоданиями, сопровождаемыми дождями.

#### **Вариант 4**

Чернозем выщелоченный. Поле, обработанное дискатором после картофеля. Осень влажная; предзимнее увлажнение около нормы. Зима холодная без сильных оттепелей. Весна солнечная, высокая интенсивность снеготаяния.

## **Вариант 5**

Чернозем обыкновенный. Поле люцерны 2-го года пользования. Осень сухая; предзимнее увлажнение почвы ниже нормы. Зима теплая с частыми оттепелями. Весна затяжная с равномерным снеготаянием.

## **Вариант 6**

Светло-каштановая почва. Стерня пшеницы. Осень сухая; предзимнее увлажнение почвы ниже нормы. Зима умеренно холодная с глубокими оттепелями. Весна затяжная с равномерным снеготаянием.

## **Вариант 7**

Чернозем выщелоченный. Стерня кукурузы. Осень влажная; почва увлажнена до общей влагоемкости. Зима умеренно холодная; местами несплошная ледяная корка. Весна солнечная, почвенные заморозки.

## **Вариант 8**

Чернозем оподзоленный. Стерня ячменя. Осень влажная; предзимнее увлажнение почвы около нормы. Зима умеренно холодная с глубокими оттепелями. Весна затяжная, прерываемая похолоданием, сопровождаемым дождями.

## **Вариант 9**

Чернозем типичный. Озимая пшеница. Осень сухая; предзимнее увлажнение почвы ниже нормы. Зима теплая с частыми оттепелями. Весна солнечная.

## **Вариант 10**

Каштановая почва. Стерня пшеницы. Осень влажная; почва увлажнена до общей влагоемкости. Зима умеренно холодная с оттепелями. Весна солнечная.

### **Вариант 11**

Чернозем выщелоченный. Поле чистого пара. Осень влажная; пахотный слой почвы переувлажнен. Зима холодная, без сильных оттепелей. Весна затяжная, прерываемая похолоданиями.

### **Вариант 12**

Чернозем южный. Посевы люцерны первого года пользования. Осень сухая, предзимнее увлажнение ниже нормы. Зима теплая с частичным стаиванием снежного покрова. Весна затяжная без заморозков.

### **Вариант 13**

Чернозем оподзоленный. Стерня овса. Осень влажная; почва увлажнена до общей влагоемкости. Зима холодная, без сильных оттепелей. Весна солнечная.

### **Вариант 14**

Чернозем выщелоченный. Озимая рожь. Осень сухая; предзимнее увлажнение ниже нормы. Зима холодная с глубокими оттепелями. Весна затяжная при пасмурной погоде.

### **Вариант 15**

Каштановая почва. Сенокос. Осень влажная; предзимнее увлажнение около нормы. Зима теплая с частыми оттепелями. Весна солнечная.

## **Семинар 2. Эрозионная устойчивость почв**

*Материалы, оборудование, пояснения к выполнению:* конспекты лекции, научных публикаций, ПК. Изучив материалы темы, подготовьтесь к семинару.

*Задание:* подготовьте ответы на вопросы семинара.

*Форма отчетности:* устные ответы на вопросы оцениваются баллами по пятизначной системе.

## Вопросы к семинару

1. Понятие об эрозии. Классификация эрозионных процессов.
2. Распространение эрозии почв в тундре и лесотундре.
3. Распространение эрозии почв в лесной зоне.
4. Распространение эрозии почв в лесостепи и степи.
5. Факторы водной эрозии.
6. Факторы ветровой эрозии.
7. Почвенные и литологические факторы водной эрозии.
8. Влияние свойств почв на формирование дождевого стока.
9. Особенности формирования стока при снеготаянии.
10. Противоэрозионная стойкость почв.
11. Почвенные и литологические факторы ветровой эрозии.
12. Роль агрегатного состава в формировании дефляционной устойчивости почв.
13. Гранулометрический состав и дефляционная устойчивость почв.
14. Роль химического состава в формировании дефляционной устойчивости почв.
15. Влажность почвы и дефляционная устойчивость почв.

### Лекция 7. Устойчивость почв к техногенным воздействиям

#### *7.1. Техногенное воздействие и устойчивость почвы: общие понятия, загрязнители*

Техногенное воздействие сопровождается поступлением в почву загрязнителей.

*Источники поступления:*

- тепловые электростанции;
- металлургические предприятия;
- автотранспорт;
- пыль, шламы;
- средства защиты растений от болезней и вредителей;
- отходы.

Масштабы техногенного загрязнения – от 4 тыс. га до 2 млн га и даже до 18 млн га. Например, Рb накапливается за счет сжигания бензина (60 %), производства цветных металлов (22 %), производства

стали (11 % от общего выброса); Zn – за счет производства (60 %), сжигания отходов (17 %), древесины (6 %).

По фактору мобилизации элементы-загрязнители располагаются в следующий ряд: Hg (440) > Pb (100) > Mo (46) > As (28) > Zn (23) > Cd (19) > Cu (19) > Ni (3,5) > V (3,2) > Cr (1,6) > Co (0,7) > Mn (0,5) [Глазовская, 1997].

Приоритетные загрязнители – *тяжелые металлы (ТМ)*. По мнению Ю.А. Израэля (1984), это Pb, Hg, Ca, As. По мнению Н. Реймерса (1990), это Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Bi, Hg. По мнению В.Б. Ильина (2001), это Hg, Pb, Cd, As, Zn. По ГОСТ 17.4.1.02-83: высокоопасные – As, Cd, Hg, Se, Pb, F; умеренно опасные – В, Co, Ni, Mo, Cu, Cr; мало опасные – V, Mn.

К *тяжелым металлам* относят больше 40 элементов с атомной массой свыше 50 атомных единиц.

ТМ поступают в почвы в виде жидких, аэрозольных и твердых выпадений. В составе аэрозолей преобладают галогениды Pb(OH)Br, сульфиды тяжелых металлов. К водорастворимым формам относятся карбонаты металлов, сульфаты металлов. В составе твердых выпадений присутствуют PbSO<sub>4</sub>, ZnSO<sub>4</sub>, PbO, ZnO, CdO, PbS, ZnS, CuS, FeS.

Установлено, что уровень содержания ТМ в пахотных почвах выше, чем в аналогичных целинных [Глазовская, 1997]. Период для «самоочищения» почв (А. Кабата-Пендиас, 1989): Cd 75–380 лет, Hg 500–1 000 лет, As, Cu, Ni, Pb, Zn 1 000–3 000 лет.

**Понятие устойчивости почв** к техногенным воздействиям не имеет пока однозначного определения, что объясняется сложностью проблемы и сложностью самого объекта анализа – почв. Устойчивость понимается как потенциальный запас буферности исходных природных почв и ландшафтов или как способность противостоять техногенным воздействиям. В этом случае устойчивость почв проявляется в способности к сохранению нормального функционирования. По М.А. Глазовской (1997), устойчивость – это способность нейтрализовать отрицательные эффекты антропогенного воздействия различных техногенных веществ. Показателями устойчивости являются кислотная и щелочная буферность почв, отсутствие статистически значимых изменений в химических и физико-химических свойствах почв, их микробиологической активности. По мнению автора, для



суждения об устойчивости почвы к техногенным воздействиям необходим анализ свойств и режимов почвы, от которых зависят:

- ✓ *процессы трансформации;*
- ✓ *процессы накопления;*
- ✓ *процессы выноса веществ в почвенном профиле;*
- ✓ *степень подвижности ТМ и доступности их для биоты.*

Приведем пример. При выпадении кислотных дождей в районе металлургических заводов на кислые подзолистые почвы процесс оподзоливания усиливается. В этом случае природный и техногенный процессы подкисления совместимы. При известковании таких почв, т. е. нейтрализации кислотности, природный и техногенный процессы разнонаправлены, несовместимы. Поэтому через несколько лет после внесения извести почва возвращается к исходному состоянию. Иначе говоря, нормализуется в соответствии с природной обстановкой, что свидетельствует об устойчивости или возврате почвы в прежнее состояние.

## ***7.2. Источники и механизмы поведения тяжелых металлов в незагрязненных почвах***

Природное валовое количество ТМ рассматривается как фоновая концентрация. Отметим главные депо ТМ в почвах.

✓ Минералы монтмориллонитовой группы (монтмориллонит, бейделит, нонтронит, сапонит). *Адсорбция* на поверхности минералов и в их межплоскостном пространстве.

✓ Гидрооксиды и оксиды Al и Fe. Они осуществляют *обмен ионами, окклюзию* (обволакивание слизью) тяжелых металлов.

✓ Гумусовое вещество. *Обменное поглощение* в алифатической части гумусовых кислот; *комплексные* органоминеральные соединения.

✓ Простые органические кислоты. *Обменное поглощение* и образование *комплексных* органических соединений.

Таким образом, ведущими процессами поведения тяжелых металлов служат катионный обмен, хелатирование и комплексообразование, гидролиз, реакции окисления и восстановления, окклюзия.

Взаимосвязь ТМ с компонентами почвы зависит:

✓ от радиуса иона (например, Mn, Cr, Zn, Ni, Cu, Co – ионы с радиусом от 0,52 до 0,93 Å положительно реагируют с илом);

✓ координационного числа элемента (6 – прямолинейная зависимость между количеством ила и ТМ; Zn, Cd с координационным числом > 6 не закрепляются на молекуле и активнее связываются гумусовым веществом и их концентрация коррелирует с содержанием гумуса.

Валовое содержание ТМ в почвах унаследовано от почвообразующих пород. Вклад почвообразования невелик и определяется в основном внутрипрофильным элювиально-иллювиальным перераспределением тонкодисперсных минеральных частиц и биогенной аккумуляцией (табл. 22). Так:

✓ биогенно накапливаемые элементы (Cu, Mn, Zn) концентрируются в горизонте А (в гумусовом веществе и илстых частицах). К (коэффициент накопления) = 1,2–1,5;

✓ процессами перераспределения по профилю являются лессиваж, подзолообразование, осолонцевание и осолодение. ТМ в А2 < В;

✓ аккумуляция ТМ в карбонатном горизонте объясняется резким изменением рН до щелочной и образованием в этой среде мало-подвижных соединений.

Таблица 22 – Распределение ТМ в профиле почв Западной Сибири, мг/кг [Ильин, 2012]

Генетический горизонт	Гумус	Ил	CaCO <sub>3</sub>	Со	Mn	Ni	Zn
	%			мг/кг			
Чернозем выщелоченный							
А	6,21	37	–	6,0	873	54,3	78,5
В	2,05	39	–	6,5	583	53,0	72,5
Вк	0,89	36	9	16,3	724	140,2	66,2
Ск	0,20	34	5	16,7	661	50,2	78,8
Дерново-подзолистая							
А1	3,85	33	–	14,4	1500	48,1	44,7
А2	3,04	33	–	16,1	960	47,0	43,3
В	0,95	40	–	17,2	541	60,0	55,0
С	0,30	40	–	14,5	523	53,3	56,6

Изучение профильного распределения ТМ необходимо по трем позициям:

1) обеспечивает получение информации о факторах, влияющих на статус химических элементов в условиях конкретного почвообразования;

2) дает представление о наличии и масштабе нисходящей миграции элементов;

3) позволяет оценить возможности использования горизонта С в качестве местной «фоновой» почвы.

Валовое содержание ТМ – свидетель накопления и содержания подвижных форм поллютантов (табл. 23). Для примера скажем, что по фракционному составу ТМ обнаруживается разное количество подвижных форм [Садовникова, Ладонин, 1994]. Так, Cd присутствует в почве в основном в обменной форме, что обеспечивает большую подвижность этого металла. Cu, Zn, Pb, наоборот, присутствуют в почве в труднорастворимых соединениях, что снижает их подвижность. Водорастворимые формы ТМ присутствуют в подзолистых почвах, а в черноземах их почти нет. Таким образом, подвижность ТМ различна в разных почвах. Как правило, в подзолистых почвах она выше, чем в черноземах. Установлено, что в черноземах ТМ прочно связаны с органическим веществом.

Таблица 23 – Содержание (мг/кг) и подвижность (%) ТМ в почвах

Cu			Pb			Zn		
валовое	подвижное	подвижность	валовое	подвижное	подвижность	валовое	подвижное	подвижность
Дерново-подзолистая								
6,8–9,1	0,12–0,25	1,7–2,7	14,6–16,5	0,43–1,13	2,6–7,7	30,5–35,0	0,59–1,68	1,8–4,8
Чернозем выщелоченный								
13,3–39,4	0,10–0,24	0,08–0,60	22,5	1,04	4,6	52,6–85,5	0,26–0,44	0,4–0,7

Для определения ТМ используют различные экстрагенты:

✓ 1М раствор HCl (потенциально доступная форма ТМ) – Г.Я. Ринькис (1972);

✓ ацетатно-аммонийный буферный раствор с рН 4,8 (доступная форма ТМ);

✓ водой извлекается легкодоступная форма ТМ.

При разработке гигиенических нормативов используют данные по подвижной части поллютантов. Среди подвижных форм ТМ преобладают *обменные и специфически сорбированные*. Они формируют основной поток поллютантов из почвы в растения.

### 7.3. Тяжелые металлы в почвах загрязненных территорий

По происхождению элементы-загрязнители делятся на техногенные и агрогенные. Рассмотрим вначале содержание ТМ в почвах на промышленных территориях. Источники техногенных загрязнителей – промышленные предприятия (атмосферные выбросы и жидкие стоки). Например, в выбросах юго-восточного округа Москвы содержатся в повышенных количествах Zn, Pb, Cu, Ni, в выбросах и стоках левобережья Новосибирска находится гораздо больше токсичных элементов – Pb, Cu, Zn, Cd, Cr, Mo, Ni, Co, As, Hg, а на правом берегу и в северном районе Красноярска – Pb, Zn, Cu, Mo, Ni.

Техногенное загрязнение всегда бывает *полиметалльным*, особенно возле металлургических предприятий. Это важнейшая особенность загрязнения территории. Различные исследования показывают, что почвы загрязняются ТМ в радиусе 5–6 км от источника. Как правило, химических элементов в воздушном пространстве над промышленной зоной во много раз больше, чем в атмосфере над природной зоной (табл. 24, 25).

Таблица 24 – Сравнительная оценка распространения химических элементов, мкг/м<sup>2</sup>

Химический элемент	Природный фон	Промышленный фон
As	0,005	0,10
Cd	0,006	0,13
Co	0,001	0,04
Cr	0,009	0,12
Cu	0,07	1,11
Ni	0,06	0,12
Pb	0,30	3,02
Zn	0,30	1,70

Таблица 25 – Доля химических элементов в растворимой форме в выбросах предприятий цветной металлургии, %  
[Ковнацкий и др., 1988]

Элемент	2,8–5,0 км	5,0–15,0 км	15,0–20,0 км	20,0–25,0 км
Cd	55	60	70	80
Co	10	11	19	15
Cr	6	39	69	48
Ni	4,3	28	7,1	29
V	4,2	28	44	49
Zn	42	56	70	74

В почве ТМ претерпевают различные трансформации. Главный итог превращений – *уменьшение мобильности* поллютантов и их *закрепление (накопление)* в верхнем слое (табл. 26, 27). Закрепление происходит:

- ✓ в результате сорбции ионов (адсорбируются на поверхности минералов, проникают в межплоскостное пространство глинных минералов, замещают другие ионы в кристаллической решетке);

- ✓ образования комплексных органоминеральных систем и хелатов.

Интенсивность этого процесса зависит от следующих условий (факторов):

- ✓ наличие (гидро) оксидов Al, Fe, Mn (препятствуют миграции поллютантов);

- ✓ pH (в кислой среде доля подвижных ТМ увеличивается, в щелочной – сокращается);

- ✓ окислительно-восстановительные условия (проявляется через способность менять свою валентность);

- ✓ гранулометрический состав почв;

- ✓ ГК и ФК в составе гумуса (комплексные металлоорганические соединения).

Таблица 26 – Содержание различных форм Zn в загрязненных почвах [Adriano, 1986]

Форма соединений	мг/кг	% от валового
Неспецифически сорбированная	0,02–0,58	0,1–2,2
Специфически сорбированная	0,16–6,67	0,3–14,0
Органическая	0,37–4,24	0,4–7,4
Связанная с оксидами Mn	0,14–4,20	0,5–4,5
Связанная с оксидами Fe, Al	2,00–64,70	9,8–43,7
Остаток	12,1–143,4	45,4–89,4

Таблица 27 – Содержание форм соединений Cd, Pb, Zn в почве в окрестностях цинкоплавильного завода, мг/кг [Xian, 1989]

Почва	Уровень загрязнения	Обменная	Связанная с CaCO <sub>3</sub>	Связанная с Fe, Mn	Связанная с органическим веществом
1	2	3	4	5	6
Cd					
Контроль		0,15	0,08	0,15	0,10
Загрязненная	min	0,80	0,23	0,32	–
	max	7,73	0,94	2,61	0,43

1	2	3	4	5	6
Pb					
Контроль		1,6	2,1	8,2	21,4
Загрязненная	min	1,4	0,7	5,9	9,8
	max	27,0	22,4	71,2	84,5
Zn					
Контроль		2,5	6,1	20,5	12,1
Загрязненная	min	9,2	15,9	49,9	12,6
	max	160,8	66,9	192,4	54,9

Рассмотрим далее содержание ТМ в агрогенных почвах. К источникам загрязнителей агрогенных почв относятся средства химизации сельского хозяйства (удобрения, препараты для защиты растений от вредителей и болезней). Как видим (табл. 28), азотные, фосфорные и калийные удобрения содержат довольно значительное количество ТМ.

Таблица 28 – Содержание тяжелых металлов в минеральных удобрениях [Державин, 1991]

Элемент	Азотные	Фосфорные	Калийные
Cd	1,3	2,6	0,6
Cu	202	1555	186
Hg	0,43	4,60	0,66
Pb	1,74	1,38	196
Zn	186	1230	182

Результаты обследования сельскохозяйственных земель РФ на загрязнение ТМ показали, что:

- ✓ гигиенически опасное содержание ТМ приходится на площадь 0,2–2,0 % от обследованной территории;
- ✓ минеральные удобрения пока не создают серьезной экологической опасности;
- ✓ осадки сточных вод (ОСВ) как вид органического удобрения представляет угрозу (табл. 29);
- ✓ наблюдается постепенное накопление поллютантов: приток > удаления.

Таблица 29 – Содержание тяжелых металлов в ОСВ, мг/кг  
[Ильин, 2012]

Элемент	Москва	С-Петербург	Новосибирск
As	44	–	–
Cd	90	17	80
Cr	2574	740	3850
Cu	1340	1350	1500
Hg	3	–	–
Mn	332	–	–
Ni	167	380	460
Pb	182	480	220
Zn	5860	1250	4800

По данным А.М. Архангельской (2015), длительное внесение в почву невысоких и умеренных доз удобрений и агроメリорантов не приводит к опасному загрязнению растительной продукции тяжелыми металлами. При оценке устойчивости агропочв автор учитывала такие показатели, как запас гумуса в гумусовоаккумулятивном слое, обменную кислотность, степень насыщенности почвы основаниями, биологическую продуктивность. В таблице 30 использована схема объединения вариантов многолетнего опыта по насыщенности удобрениями, отражающая силу влияния антропогенного воздействия на почву.

Таблица 30 – Устойчивость почв различно удобренных вариантов многолетнего стационарного опыта

Антропогенное воздействие на почву	Характеристика устойчивости почв к антропогенному воздействию при использовании удобрений по фону			
	без известкования		по известкованию	
	∑ баллов	оценка устойчивости	∑ баллов	оценка устойчивости
Слабое: контроль N, навоз	4,63	Относительно устойчивая	5,38	Устойчивая
	4,85		5,48	
Умеренное: NP, NPK	5,23	Устойчивая	5,73	Устойчивая
Сильное: NPK + навоз	5,33	Устойчивая	5,83	Устойчивая

Как видим, почва вариантов опыта со слабой насыщенностью удобрениями известкованного фона характеризуется минимальной устойчивостью к антропогенезу (относительная устойчивость), которая повышается при известковании. Умеренное и сильное антропогенное воздействие (50 кг д. в. минеральных удобрений и 6 т/га органических) позволяет светло-серой легкосуглинистой почве сохранить устойчивость, которая повышается во времени, и особенно на фоне периодического известкования.

#### **7.4. Буферность почв как показатель устойчивости**

*Буферность* – это защитные возможности почвы. Буферность зависит:

- от гумуса;
- глинистых веществ;
- карбонатов;
- оксидов Fe и Al;
- pH.

Таблица 31 – Шкала буферности по отношению к тяжелым металлам [Ильин, Сысо, 2001]

Показатель	Пределы содержания	Число баллов
Гумус, %	< 1	1
	2,1–4	3
	6,1–8	6
	> 10	9
Физическая глина, %	< 10	2
	21–45	10
	> 60	20
Полуторные оксиды, %	< 1	1
	2,1–3	4
	4,1–5	7
Карбонаты, %	< 0,5	1
	1,6–2,5	6
	3,6–4,5	12
	> 4,5	15
pH	5,1–5,5	2
	6,1–6,5	7
	6,6–7,0	10
	7,6–8,0	15



Таблица 32 – Градации буферности почв по отношению к тяжелым металлам [Ильин, Сысо, 2001]

Степень буферности	Число баллов
Очень низкая	< 10
Низкая	11–20
Средняя	21–30
Повышенная	31–40
Высокая	41–50
Очень высокая	> 50

Для оценки буферности учитывают барьеры:

- ✓ механические и биогеохимические ( $A_0$ , T, A);
- ✓ хемосорбционные ( $B$ ,  $B_H$ ,  $B_{Fe}$ );
- ✓ сорбционные и щелочные ( $B_K$ ,  $B_{Na}$ );
- ✓ хемоседиментационные (G);
- ✓ испарительные (верхние горизонты солончаков);
- ✓ криогенные (надмерзлотная концентрация ТМ).

Различные почвы обладают разной устойчивостью к антропогенной нагрузке. Это необходимо учитывать и при постановке исследований и разработке соответствующей нормативной и методической документации по оценке допустимого состояния почв и уровня допустимого воздействия на них. Различные по хозяйственному использованию почвы также имеют неодинаковую устойчивость к антропогенной нагрузке. Исходя из буферных свойств, установлен ряд почв по степени устойчивости к ТМ: тундровые < подзолистые < серые лесные < черноземы выщелоченные < черноземы обыкновенные, южные < каштановые почвы.

Экологическое нормирование почв на земельных угодьях разного хозяйственного назначения осложняется двумя обстоятельствами. Первое – каждый вид использования почв меняет природные свойства почв. Второе – каждый вид использования имеет свои законодательно установленные правила обращения, которые носят чаще всего технократический акцент. В итоге появляются неопределенности, мешающие правильно оценивать целесообразность хозяйственного использования и принимать однозначные решения о необходимости регулирующих (например, рекультивация, система удобрений и т. п.)

мероприятий. Эти неопределенности не позволяют также точно рассчитать уровень отклонения состояния почв от принятого за экологическую норму для конкретного вида использования почв.

Общепризнано, что все виды землепользования должны осуществляться на землях с почвами, сохраняющими свои природные свойства, т. е. с экологически здоровыми почвами. При этом нужно определить нижний предел допустимого состояния (качества) этих почв и уровень допустимого антропогенного воздействия на них. В качестве критерия служит способность почвы сохранять устойчивость при антропогенной нагрузке или способность восстановления своих основных свойств. Это декларируется в ст. 3 ФЗ «Об охране окружающей среды».

По способности к самовосстановлению определяют предельно допустимую норму нарушения качества почв. Эта норма определяется путем длительных научных наблюдений и предполагает, что порог устойчивости почвы для всех типов хозяйственного использования не допускает утраты более 30 % биоорганического потенциала почв и негативного воздействия на сопредельные компоненты окружающей среды. Нормирование ТМ является важным разделом мониторинга окружающей среды. Ведущий инструмент нормирования – ПДК. Основной недостаток норматива заключается в том, что он не полностью отражает буферную способность почвы и игнорирует защитные возможности растений. Помимо нормирования на государственном уровне в РФ, существуют авторские разработки. Они помогают лучше понимать экологическую обстановку и находить правильные практические решения. *Актуальными разделами* нормирования следует считать:

- ✓ расширение списка нормированных элементов-загрязнителей;
- ✓ переход от использования валового содержания ТМ на их подвижную форму;
- ✓ учет функционального назначения загрязненных почв.

Базовые экологические нормы «состояния – воздействия» для почв с учетом специфики их хозяйственного использования предложены А.С. Яковлевым и М.В. Евдокимовой (2011) (табл. 33).

Таблица 33 – Допустимые значения экологического состояния почв

Состояние	Почвы природно-антропогенных объектов				
	заповедники	сельскохозяйственного назначения	населенных пунктов	лесного фонда	водного, промышленного и транспортно-го фондов
Химическое Физическое Биологическое	Фон Фон Фон	ПДК		Не допускается переход загрязняющих веществ в сопредельные природные среды	

Как видим, для почв заповедных территорий базовыми служат значения показателей, близкие к фоновым величинам. Допустимые уровни загрязнения почв сельскохозяйственного назначения и поселений не должны выходить за рамки медицинских нормативов ПДК. Для почв лесного фонда и промышленности ограничивающим фактором является недопущение перехода загрязняющих веществ в сопредельные природные среды. Например, максимально допустимый уровень загрязнения почв нефтепродуктами для территории рекреационного и жилого использования соответствует 300 мг/кг, а для производственного и транспортного – 1 000 мг/кг. Та и другая концентрация соответствуют здоровой почве и находятся в пределах индивидуальных границ допустимых значений для почвенного покрова земель конкретного назначения.

А.С. Яковлев и М.В. Евдокимова (2011) предлагают пятиуровневую шкалу оценки экологического состояния почв. Первый и второй уровни относятся к периоду постепенного, слабо выраженного накопления негативного признака. Это соответствует стабильному состоянию почвы. Третий уровень соответствует неустойчивому состоянию почвы (утрата около 30 % качества), четвертый, пятый и шестой – катастрофическому и бедственному уровням (стремительная и необратимая потеря качества). Значит, за экологическую норму или допустимый уровень можно принять промежуток от первого до начальных значений третьего уровня.

Способами детоксикации ТМ являются применение на полях органических удобрений, известкования, цеолитов, фитомелиорации (хрустальная травка, ярутка синеющая, тополь), плантажной вспашки, обеспечивающей захоронение загрязненного слоя на глубине 40–50 см, создание насыпного слоя (рекультивация).

Исследования или наблюдения проводят в фоновой и импактной зонах воздействия загрязнителей. Фоновая зона – территория, на которой отсутствует воздействие. Импактная – территория непосредственного воздействия антропогенеза.

Таким образом, потеря биоорганического потенциала почв не должна превышать 30 % его фоновых значений. При этом необходимо также установление пороговых значений загрязнения и деградации почв, при которых возможен быстрый переход загрязняющих веществ не только в почвенные массы, но и сопредельные природные среды; определение границ различной устойчивости почв к агрогенным воздействиям в зависимости от гумусированности, кислотности, гранулометрического состава и других свойств; учет разнообразия видов хозяйственного использования земель.

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите источники поступления ТМ в почвы.
2. Назовите приоритетные загрязнители и расположите элементы-загрязнители по фактору мобилизации.
3. Дайте определение устойчивости почвы к техногенным воздействиям.
4. Назовите главные депо ТМ в незагрязненных почвах и механизмы их связи с почвой.
5. Покажите зависимости ТМ с компонентами почвы.
6. Покажите распределение ТМ в профиле почв. Для чего это необходимо?
7. Поясните показатели содержания ТМ в валовой и подвижной формах.
8. Назовите источники загрязнителей в незагрязненных почвах.
9. От чего зависит закрепление ТМ в почвах?
10. Приведите примеры содержания ТМ в агрогенных почвах.
11. Проиллюстрируйте значения устойчивости в агропочвах.
12. Дайте определение буферности почв и ее зависимость от свойств почв.
13. Назовите барьеры для оценки буферности почв.
14. Перечислите задачи экологического нормирования почв.
15. Назовите актуальные разделы нормирования и экологического состояния почв.

## Лабораторная работа 5. Оценка деградации почв

*Материалы и оборудование:* рабочая тетрадь, справочная литература, учебное пособие, ПК.

### *Задание*

1. Определить степень и период физической деградации почв (задания 1–15, преподаватель выдает каждому одно из этих заданий).

2. Определить степень и период химической деградации почв (задания 16–31, преподаватель выдает каждому одно из этих заданий).

*Форма отчетности:* наличие в рабочей тетради всех этапов выполнения заданий, а также сформулированные выводы и положения, вытекающие из обсуждения полученных результатов. По оценке и прогнозу деградации почв предложите комплекс мероприятий по устранению причин и последствий этого процесса.

### *Обсуждение результатов*

Выделим основные понятия и термины, необходимые для анализа полученных результатов.

**Деградация почв** – ухудшение свойств почвы как среды обитания организмов в результате воздействия природных или антропогенных факторов.

**Деградированные почвы** – почвы, в которых негативные процессы природного или антропогенного характера привели к снижению продуктивности растительной продукции или ее качества.

**Степень деградации почв** – характеристика их состояния, отражающая ухудшение качества их состава и свойств.

В качестве **критериев деградации почв** применяются:

- ✓ изменение показателей по отношению к исходному состоянию почвы;
- ✓ изменение показателей по отношению к состоянию почвы, принимаемому за контроль;
- ✓ изменение показателей по отношению к однотипной, условно ненарушенной почве;
- ✓ изменение показателей по сравнению с данными предшествующих исследований.

**Период деградации почв** – гипотетическое время (в годах), за которое анализируемая почва пройдет путь по рассматриваемому показателю от нулевой до четвертой степени деградации.

Период деградации – это величина, обратная **скорости деградации**.

Определение степени и периода деградации почвы проводится по каждому из наблюдаемых факторов деградации: физической, химической и биологической. При этом критериями каждого фактора деградации почв служат соответствующие показатели.

Если деградация почвы характеризуется увеличением значения показателя (плотность почвы, содержание тяжелых металлов и т. д.), то период деградации рассчитывается по формуле

$$T_d = [(X_{\max} - X_0) \times \Delta T] / (X_1 - X_0), \quad (1)$$

где  $X_{\max}$  – значение показателя, соответствующего 4-му баллу деградации;

$\Delta T$  – временной промежуток между двумя обследованиями (в годах);

$X_1$  – значение критерия деградации почвы при текущем обследовании;

$X_0$  – предыдущее значение критерия деградации почвы.

Если деградация почвы характеризуется уменьшением значения показателя (содержание гумуса, элементов питания, мощность гумусово-аккумулятивного горизонта и т. д.), то период деградации определяется следующим образом:

$$T_d = [(X_0 - X_{\min}) \times \Delta T] / (X_0 - X_1), \quad (2)$$

где  $X_{\min}$  – значение показателя, соответствующее 4-му баллу деградации.

Если при определении химического загрязнения уровень содержания элемента в незагрязненной почве равен 0, то период деградации определяется по формуле

$$T_d = X_{\max} \times \Delta T / X_1 - X_0, \text{ (год)}. \quad (3)$$

В итоговой оценке степени деградации почв учитываются:

- процесс, имеющий наибольшую скорость деградации;
- балл степени нарушенности почвы;
- период деградации.

## *Методика определения степени физической деградации почв*

Физическая деградация устанавливается по следующим показателям: изменение мощности гумусово-аккумулятивного горизонта, мощности абиотического (эолового, например) горизонта, плотность почвы, уровень грунтовых вод (табл. 34).

*Пример расчета.* Плотность чернозема выщелоченного, используемого под посевы полевых культур в течение 30 лет, равна 1,22 г/см<sup>3</sup>. Плотность фоновой (нераспаханной) почвы – 0,98 г/см<sup>3</sup>.

Как видим, произошло увеличение плотности почвы. Кратность увеличения составляет  $1,22 / 0,98 = 1,24$ . Находим по таблице, что это соответствует второму баллу деградации. Далее рассчитаем период деградации по формуле (1)

$$X_{\max} = 1,22 \times 1,4 = 1,71$$

$$X_0 = 0,98$$

$$\Delta T = 30$$

$$T_d = [(1,71 - 0,98) \times 30] / (1,22 - 0,98) = 91 \text{ год.}$$

Таким образом, физическая деградация чернозема выщелоченного может быть обозначена 2<sup>91</sup>. Иначе говоря, почва, имеющая в настоящий период второй балл деградации, через 91 год при сохранении данной тенденции достигает 4-го балла деградации.

Таблица 34 – Показатели и критерии физической деградации почв  
(Титова, Дабахов, 2000)

Показатели физической деградации почв	Степень деградации, в баллах				
	0	1	2	3	4
Мощность гор. А – (снижение на долю мощности)	< 0,1 А	(0,1–0,2)А	(0,3–0,5)А	(0,6–1,0)А	> А
Мощность абиотического наноса, см	< 1	1–3	4–10	11–20	> 20
Плотность почвы (кратность увеличения)	< 1,1 раза	1,10–1,20 раза	1,21–1,30 раза	1,31–1,40 раза	> 1,4 раза
Уровень грунтовых вод (превышение критического УГВ), %	Ниже критического	0–15	16–30	31–50	> 50

## *Методика определения степени химической деградации почв*

Химическую деградацию почвы оценивают по изменению содержания гумуса, валовых и подвижных форм питательных элементов, легкорастворимых солей, обменного натрия, величины окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) и степени загрязнения почвы отдельными токсикантами (табл. 35).

Таблица 35 – Показатели и критерии химической деградации почв  
(Титова, Дабахов, 2000)

Показатели химической деградации почв	Степень деградации в баллах				
	0	1	2	3	4
Содержание питательных элементов (кратность снижения)	< 1,3	1,2–1,5	1,6–2,0	2,1–5,0	> 5,0
Содержание гумуса (кратность снижения)	< 1,2	1,2–1,4	1,5–1,7	1,8–2,0	> 2,0
Содержание легкорастворимых солей (увеличение в %)	< 0,10	0,11–0,20	0,21–0,40	0,41–0,80	> 0,81
Содержание обменного натрия (увеличение на % от ЕКО)	< 5	5–10	11–25	26–50	> 50
ОВП почвы (уменьшение, мв)	< 50	51–100	101–200	201–400	> 400
Степень загрязнения (превышение величины ПДК, кратность)					
1-я группа токсичности	< 1	1,0–2,0	2,1–3,0	3,1–5,0	> 5,0
2-я группа токсичности	< 1	1,0–3,0	3,1–5,0	5,1–10	> 10
3-я группа токсичности	< 1	1,0–5,0	5,1–20,0	21–100	> 100

*Пример расчета.* В серой лесной почве по результатам первого тура обследования содержалось 4,2 % гумуса, 0,225 % валового P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 1,650 % валового K<sub>2</sub>O. Через 10 лет (данные 2-го тура обследования) содержание гумуса снизилось до 3,9 %, валового фосфора – до 1,400 %, валового калия – до 1,400 %.



а валового калия – не изменилось. По этим данным можно сказать, что произошло незначительное ухудшение питательных свойств почвы.

Определим степень и период деградации по содержанию гумуса. Кратность снижения составила  $4,2 / 3,9 = 1,08$ , что соответствует нулевой степени деградации. Однако при сохранении тенденции уменьшения содержания гумуса почва со временем может перейти в разряд деградированной. Поэтому рассчитаем период деградации по формуле (2)

$$X_{\min} = 4,2 / 2 = 2,1$$

$$X_0 = 4,2$$

$$X_1 = 3,9$$

$$\Delta T = 10$$

$$T_d = [(4,2 - 2,1) \times 10] / (4,2 - 3,9) = 70 \text{ лет.}$$

Значит, при сохранении имеющейся тенденции уже через 70 лет почва перейдет в разряд очень сильно деградированной. Химическая деградация серой лесной почвы по гумусу может быть обозначена  $0^{70}$ .

Рассмотрим пример определения степени и периода химической деградации по содержанию тяжелых металлов в агросерой почве, находящейся 15 лет в зоне влияния Березовской ГРЭС-1.

Вариант	Содержание тяжелых металлов, мг/кг			
	Pb	Cd	Zn	Cu
> 80 км от трубы (фон)	15,5	0,4	17,8	8,0
0–5 км от трубы Березовской ГРЭС-1	60,2	1,2	88,0	12,0

Свинец и кадмий относятся к металлам первой группы токсичности. ОДК по свинцу для данной почвы равняется 65 мг/кг, ОДК по кадмию – 1,0 мг/кг. Определим кратность превышения фактического содержания над ОДК:

по свинцу  $60,2 / 65 = 0,93$  (нулевая степень деградации);

по кадмию  $1,2 / 1,0 = 1,2$  (первая степень деградации).

Цинк и медь относятся к металлам второй группы токсичности. ОДК по цинку составляет 110 мг/кг, по меди – 66 мг/кг. Кратность превышения фактического содержания над ОДК:

по цинку  $88,0 / 110,0 = 0,8$  (нулевая степень деградации);

по меди  $12,0 / 66,0 = 0,18$  (нулевая степень деградации).

Допустим, что имеющаяся тенденция влияния ГРЭС сохранится. Поэтому определим период деградации по этим элементам, используя формулу (1)

а) по свинцу

$$X_{\max} = 65,0 \times 5,0 = 325$$

$$X_0 = 15,5$$

$$X_1 = 60,2$$

$$\Delta T = 15$$

$$T_d = [(325 - 15,5) \times 15] / (60,2 - 15,5) = 104 \text{ года};$$

б) по кадмию

$$X_{\max} = 1,0 \times 5,0 = 5,0$$

$$X_0 = 0,4$$

$$X_1 = 1,2$$

$$\Delta T = 15$$

$$T_d = [(5,0 - 0,4) \times 15] / (1,2 - 0,4) = 86 \text{ лет};$$

в) по цинку

$$X_{\max} = 110 \times 20 = 2200$$

$$X_0 = 17,8$$

$$X_1 = 88,0$$

$$\Delta T = 15$$

$$T_d = [(2\,200 - 17,8) \times 15] / (88,0 - 17,8) = 466 \text{ лет};$$

г) по меди

$$X_{\max} = 66 \times 20 = 1\,320$$

$$X_0 = 8,0$$

$$X_1 = 12,0$$

$$\Delta T = 15$$

$$T_d = [(1\,320 - 8,0) \times 15] / (12,0 - 8,0) = 4\,920 \text{ лет}.$$

Таким образом, химическая деградация по данным металлам слабая. Период деградации в 4 балла по свинцу –  $0^{104}$ , по кадмию –  $1^{86}$ , по цинку –  $0^{466}$ , по меди –  $0^{4920}$ .

При использовании ПДК результаты изменятся.

### *Задачи по физической деградации*

1. Плотность горизонта  $A_1$  дерново-подзолистой почвы до распашки составляла  $1,09 \text{ г/см}^3$ , после распашки –  $1,31 \text{ г/см}^3$ . Период использования почвы под пашню 42 года.

2. Мощность горизонта  $A_1$  серой лесной почвы до распашки была равна 28 см, плотность сложения этого горизонта –  $1,05 \text{ г/см}^3$ . В течение 17 лет использования наблюдались эрозионные процессы, в результате которых мощность горизонта  $A_1$  уменьшилась до 24 см, а плотность увеличилась до  $1,18 \text{ г/см}^3$ .

3. Мощность горизонта А чернозема южного на пахотном массиве равна 33 см, а на целине – 37 см. Период использования почвы в пашне 55 лет.

4. В результате дефляции на поверхности гумусового горизонта мощностью 17 см появился эоловый слой мощностью 7 см. Мощность гумусового горизонта фоновой почвы равна 20 см.

5. В результате орошения каштановой почвы отмечено повышение уровня грунтовых вод на 11 см. На контрольном участке (без орошения) уровень грунтовых вод равен 7 м.

6. В результате орошения чернозема обыкновенного выявлено увеличение гумусового горизонта на 4 см, плотности сложения этого горизонта – на  $0,12 \text{ г/см}^3$ . По данным предыдущих исследований, мощность горизонта была равна 19 см, а плотность сложения –  $1,02 \text{ г/см}^3$ .

7. Исходное состояние чернозема выщелоченного: мощность горизонта А – 31 см, плотность сложения –  $0,98 \text{ г/см}^3$ . Через 12 лет использования показатели изменились: мощность горизонта А увеличилась на 2,5 см, плотность сложения увеличилась на  $0,11 \text{ г/см}^3$ .

8. В результате использования черноземно-луговой почвы под пастбище отмечено уменьшение мощности гумусового горизонта на 9 см, увеличение плотности сложения на  $0,22 \text{ г/см}^3$ , повышение уровня грунтовых вод на 0,7 м. Время использования почвы – 45 лет. Показатели исходной почвы: мощность гумусового горизонта – 44 см, плотность сложения –  $1,00 \text{ г/см}^3$ , уровень грунтовых вод – 3,3 м.

9. По данным исследования в 1975 г., чернозем обыкновенный на пашне Ширинского района характеризовался следующими показателями: мощность горизонта А – 31 см, плотность –  $1,12 \text{ г/см}^3$ . По результатам исследования в 2000 г. обнаружено появление песчано-

пылеватого слоя мощностью 3–4 см на поверхности гумусового горизонта, уплотнение нижней части пахотного слоя до  $1,28 \text{ г/см}^3$ .

10. Мощность гумусового горизонта каштановой почвы на 15-летней залежи составляет 33 см, плотность сложения –  $0,99 \text{ г/см}^3$ . В фоновой почве эти показатели равны 27 см и  $1,15 \text{ г/см}^3$ , соответственно.

11. Уровень грунтовых вод на орошаемой пашне с каштановыми почвами находится на глубине 22 м. После прекращения орошения через 20 лет отмечено понижение уровня грунтовых вод на 6 м.

12. В пахотной серой лесной почве контрольного варианта определено: мощность горизонта А – 24 см, плотность сложения –  $1,34 \text{ г/см}^3$ . В варианте с длительным внесением органических удобрений (15 лет) мощность гумусового горизонта увеличилась на 6 см, плотность почвы уменьшилась до  $1,05 \text{ г/см}^3$ .

13. В результате дефляции за период 30 лет мощность гумусового горизонта чернозема обыкновенного уменьшилась на 7 см. Мощность этого горизонта в фоновой почве составляет 44 см.

14. Плотность сложения темно-серой почвы в рекреационной зоне Дороховского бора равна  $1,46 \text{ г/см}^3$ , фоновой, не испытывающей рекреационную нагрузку, –  $1,17 \text{ г/см}^3$ . Период рекреационного воздействия – 55 лет.

15. Залежь 18 лет на каштановой почве: мощность гумусового горизонта – 28 см, плотность –  $1,25 \text{ г/см}^3$ . Пашня на аналогичной почве: мощность гумусового горизонта – 25 см, плотность –  $1,11 \text{ г/см}^3$ .

### *Задачи по химической деградации*

1. Содержание гумуса в горизонте А<sub>1</sub> дерново-подзолистой почвы до распашки составляло 4,7 %, после распашки – 3,8 %. Период использования почвы под пашню 42 года.

2. Содержание гумуса в горизонте А чернозема южного на пахотном массиве равно 7,8 %, а на целине – 8,7 %. Период использования почвы под пашню 33 года.

3. Содержание легкорастворимых солей в гумусовом горизонте каштановой солончаковой почвы равняется 0,55 %. В результате длительного, но бессистемного орошения в течение 33 лет концентрация легкорастворимых солей возросла до 0,98 %.

4. В горизонте В чернозема обыкновенного на орошаемой пашне обнаружено увеличение обменного натрия до 7 м-экв/100 г по сравнению с аналогичным черноземом на разнотравно-злаковом фитоценозе, в котором содержание обменного натрия не превышало 0,7 м-экв/100 г. Период использования почвы 58 лет.

5. Залежь 15 лет на каштановой почве: содержание гумуса 3,5 %, содержание легкорастворимых солей – 0,95 %, обменного натрия – 6,8 м-экв/100 г. Пашня на аналогичной почве: содержание гумуса – 3,1 %, содержание легкорастворимых солей – 0,66 %, обменного натрия – 8,3 м-экв/100 г.

6. Чернозем выщелоченный в начале исследований характеризовался следующими показателями: содержание гумуса – 8,5 %, валового азота – 0,45 %, подвижного фосфора – 40 мг/кг, обменного натрия – 22 мг/100 г. Результаты исследования через 15 лет выявили снижение содержания гумуса – на 0,23 %, валового азота – на 0,09 %, подвижного фосфора – на 8 мг/100 г и увеличение обменного натрия – на 4 мг/100 г.

7. По данным первого тура обследования, обнаружено, что содержание гумуса в агросерой почве равно 4,7 %, валового азота – 0,25 %, обменного калия – 23 мг/100 г. Через 10 лет, по данным второго тура обследования, отмечено уменьшение гумуса на 1 %, валового азота – на 0,08 %, обменного калия – на 15 мг/100 г.

8. Показатели состояния обследуемой почвы: Cr = 22, Zn = 31, Cu = 40, Pb = 20, Cd = 2, Ni = 25, Co = 25 мг/кг. Показатели состояния фоновой почвы: Cr = 8, Zn = 15, Cu = 8, Pb = 12, Ni = 15, Co = 22 мг/кг.

9. Показатели состояния агросерой почвы, находящейся в 0–60 км зоне от трубы Березовской ГРЭС-1: Cd = 0,22, Co = 12, Cr = 22, Cu = 18, Pb = 13 мг/кг. Показатели состояния фоновой почвы: Cd = 0,14, Co = 10, Cr = 21, Cu = 17, Pb = 12 мг/кг.

10. Показатели состояния агросерой почвы, находящейся в 0–5 км зоне от трубы Березовской ГРЭС-1: Cd = 0,42, Co = 22, Cr = 28, Cu = 28, Pb = 16 мг/кг. Показатели состояния фоновой почвы: Cd = 0,14, Co = 10, Cr = 21, Cu = 17, Pb = 12 мг/кг.

11. Содержание водорастворимого фтора в черноземе обыкновенном, находящемся в 0–10 км зоне от трубы алюминиевого комбината, составляет 21 мг/кг. ПДК для фтора равно 10 мг/кг.

12. В насыпном гумусовом горизонте инициальной почвы на отвалах угольного разреза «Назаровский» содержится Mn = 1 570, Cr = 110, Pb = 39, Hg = 3 мг/кг. ПДК для Mn = 1 500, Cr = 90, Pb = 32, Hg = 2 мг/кг.

13. В насыпном гумусовом горизонте гидроотвала угольного разреза «Назаровский» содержится 6,7 % гумуса, 0,39 % валового азота, 0,37 % легкорастворимых солей, подвижного цинка 26 мг/кг, подвижного кобальта 7 мг/кг. В гумусовом горизонте ненарушенной (фоновой) почвы (чернозем выщелоченный) содержится 7,5 % гумуса, 0,43 % валового азота, 0,09 % легкорастворимых солей. Значения ПДК для тяжелых металлов смотрите в приложении (Большой практикум по почвоведению с основами геологии: учеб. пособие / В.В. Чупрова, Н.Л. Кураченко, А.А. Белоусов [и др.]; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2007. – 375 с.)

14. Значение ОВП в гумусовом горизонте пойменной почвы, используемой под пастбище, равняется 550 мВ. Это на 57 мВ меньше, чем в гумусовом горизонте такой же почвы, используемой под сенокос.

15. В пахотном слое каштановой почвы содержание легкорастворимых солей не превышает 0,77 %, обменного натрия – 5 мг-экв/100 г. В гумусовом горизонте каштановой почвы, используемой под пастбище, отмечено увеличение степени засоления на 0,55 %, количества обменного натрия – на 4 мг-экв/100 г.

## Лекция 8. Устойчивость почв к рекреационным воздействиям

### 8.1. Понятие и формы рекреации

**Рекреация** [Реймерс, 1990] – восстановление здоровья и трудоспособности путем отдыха вне жилища.

Экономическая оценка социальной функции рекреации в санатории 275–385 руб., в доме отдыха 45–54 руб. на одного отдыхающего.

Общий доход от рекреации, выраженный через повышение производительности труда, оценивался в 2000 г. около 1 млрд руб., в 2014 г. – 1,1 млрд руб.

Рекреационные нагрузки – это часть природных и культурных ресурсов, обеспечивающая отдых как средство поддержания и восстановления трудоспособности и здоровья людей. Виды:

- ✓ культурно-исторические;
- ✓ природные (места отдыха в природе, природные комплексы).

Природные ресурсы рекреации экономически оцениваются в размере 2 % национального богатства РФ.

**Рекреация** – совокупность явлений, возникающих в связи с эксплуатацией объекта для туризма и отдыха. *Объекты* природной рекреации – лес, горы, степи, долины рек, озер, морей и другие природные комплексы.

Сущность рекреации заключается в *двусторонней связи*: воздействие объекта на отдыхающих и отдыхающих на объект. Субъектами рекреации являются *рекреанты*. Основная природоохранная *задача* в зонах рекреации – сохранение условий нормального развития природной среды, что зависит:

- ✓ от *устойчивости* природных комплексов;
- ✓ *способности их восстанавливать* свои возобновимые ресурсы (растения, животные, почвы).

*Форма* – способ, каким рекреанты используют объект, в разной степени воздействуя на него, и сами подвергаются его воздействию. Рекреация классифицируется по форме воздействия:

- ✓ дорожная рекреация;
- ✓ бездорожная рекреация;
- ✓ добывательская рекреация;
- ✓ бивачная рекреация;
- ✓ транспортная рекреация;

✓ кошевая рекреация.

Воздействие проявляется:

в виде *прямого* механического повреждения растений и верхнего горизонта почв;

*косвенно* через ухудшение физических, химических и биологических свойств почвы, смены растительности, вызванной трансформацией экологических условий обитания.

Экосистемы рекреационного использования подвергаются изменениям. *Устойчивость к изменениям* зависит от свойств самой экосистемы, форм и длительности рекреационной нагрузки. Границы устойчивости определяются на основе количественных оценок механизмов изменений, выделения обратимых и необратимых форм изменений или стадий рекреационной дигрессии. Граница устойчивости экосистемы является границей допустимых рекреационных нагрузок. Реакция компонентов природного комплекса на рекреационное воздействие различна: атмосферный воздух < литогенная основа < почвенный покров < растительный и животный мир.

За показатель дигрессии принимают стадии изменения фитоценозов [Карпиносова, 1962; Кандалова, 2010]:

I стадия – напочвенный живой покров состоит из типичных лесных видов. Тропиночная сеть отсутствует, обильны эфемероиды;

II стадия – тропы до 10 % площади, появляются луговые и сорные виды;

III стадия – типичный напочвенный покров сохраняется на 50–60 % площади участка, остальную часть занимают группировки лугово-лесных и сорных видов. Площадь, занимаемая тропиной сетью, достигает 20–30 %;

IV стадия – тропы на 40–60 % площади, преобладают луговые злаки;

V стадия – вытоптанная площадь занимает до 80–90 %, лесные виды сохраняются на 5–10 % территории.

Воздействие вытаптывания на почвенный покров прослеживается на протяжении 7 последовательных стадий [Чижова, 1977; Добровольский и др., 1985; Шугалей, 1991]:

I – истирание опада, уменьшение мощности гумусового слоя;

II – уменьшение количества ОВ в почве;

III – увеличение плотности и уменьшение пористости почвы;



IV, V, VI – уменьшение проницаемости почв, уменьшение инфильтрационной способности, увеличение поверхностного стока;

VII – повышенное проявление эрозии почв и плоскостного смыва мелкозема.

При исследовании антропогенных сукцессий на луговых и степных экосистемах отмечается, что действие выпаса сильнее, чем при сенокосении [Горшкова, 1973; Баянов, Ямалов, 2006]. Так, еще в 1921 г. И.К. Пачоский установил следующие стадии дигрессии травяного покрова типчаково-ковыльных и разнотравно-типчаково-ковыльных степей Черноморья (аналогичных степей Хакасии) под влиянием пастбы:

I – полное отсутствие выпаса (в травяном покрове преобладают корневищные злаки, наблюдается процесс олуговения степей);

II – стадия умеренного выпаса (эдификаторами становятся дерновинные злаки, ковыль, типчак);

III – стадия тонконогового сбоя (основным злаком становится тонконог, типчак изреживается, появляются малоценные в кормовом отношении растения);

IV – стадия выгона (разрастаются однолетники с расprostертыми стеблями).

Таким образом, основными видами рекреационного воздействия являются вытаптывание и уплотнение почвы, посещение леса, лугов и водоемов, выжигание подстилки, сбор растений, смена лесных трав на луговые и затем на сорные. Почвенный и растительный покров наиболее чувствителен к рекреационному воздействию [Казанская, 1977; Оборин, 2010]. *Индикаторами* изменений свойств почв при рекреационных нагрузках считают органическое вещество, микроэлементы, гранулометрический состав, емкость катионного обмена, плотность сложения, пористость, внутрпочвенное поровое пространство, структурное состояние, биологическую активность и др. [Медведев, Лактионова, 2012]. *Устойчивость* почвы на стадии обратимых и необратимых процессов определяется свойствами *почвы-памяти*.

## 8.2. Измерение рекреационного воздействия

**Рекреационная нагрузка** – совокупность воздействия рекреантов на природные комплексы. Проявляется через вытаптывание («окна вытаптывания»), уничтожение лесной и травяной подстилки, появление тропинок, троп, кострищ и т. п.

**Рекреационная емкость** характеризует количество отдыхающих без учета единицы площади территории отдыха.

**Посещаемость** – количество отдыхающих за день.

**Плотность рекреантов** – количество отдыхающих, проходящих по единице площади на территории отдыха за единицу времени, чел./га в час (в день).

**Количественные оценки** механизмов изменений.

**Предельно допустимая рекреационная нагрузка** – такая, которая не превышает естественный потенциал природного комплекса. Показывает, сколько человек могут использовать данную единицу площади для отдыха без ущерба для компонентов природного комплекса (экосистемы).

Установлены величины предельно допустимых нагрузок:

✓ для ельника-черничника на дерново-сильнопodzолистой суглинистой почве – 15 чел./га;

✓ березняков травяных на серых лесных почвах – 25–30 чел./га;

✓ соснового бора на песках – 7 чел./га;

✓ лесопарковой зоны – 40–50 чел./га;

✓ галечниковых пляжей – 22 чел./га;

✓ травянистых пляжей – 250 чел./га.

По данным [Фурсова, 1971; Чижова, 1977; Мискина, 2001], установлено:

при нагрузке до 100 чел./га за сезон преобладают процессы восстановления нарушенного растительного покрова;

при нагрузке 100–300 чел./га за сезон процессы нарушения и восстановления находятся в равновесии;

при нагрузке  $> 300$  чел./га за сезон наблюдаются нарушения растительного и почвенного покрова.

Но при этом необходимо учитывать, что разные природные комплексы отличаются неодинаковыми рекреационными емкостями. Отклик их на воздействия различный. В основе методики определения стадий рекреационной дигрессии [Казанская, 1972] заложены состав и состояние почвенного покрова. Граница устойчивости находится между III и IV стадиями дигрессии:

- **I стадия дигрессии** характеризуется ненарушенной подстилкой, дерниной, полным набором характерных для данного сообщества видов растений;

- **II стадия дигрессии** – намечаются тропинки (не > 5 % площади), начинается вытаптывание подстилки, меньше влаголюбивых видов растений;

- **III стадия дигрессии** – выбитые участки занимают до 10–15 % всей площади, уменьшается площадь подстилки, внедряются луговые и сорные виды растений под пологом леса, появляются ксерофиты в травяных экосистемах;

- **IV стадия дигрессии** – выбитые участки 15–20 % площади, куртины подроста чередуются с полянами и тропами, полностью разрушается подстилка, разрастаются луговые травы в лесах, а в травяных экосистемах преобладают ксерофиты.

- **V стадия дигрессии** – выбитая площадь увеличивается до 60–100 %, почти полностью лишена растительности, сохраняются лишь пятна сорняков и однолетников, деревья в лесах с механическими повреждениями.

Устойчивость варьирует в зависимости:

- ✓ от влажности почвы;
- ✓ гранулометрического состава почвы;
- ✓ мощности гумусового горизонта;
- ✓ уклона поверхности;
- ✓ состава древостоя;
- ✓ возраста древостоев;
- ✓ степени задернованности травами;
- ✓ природной экосистемы (естественные леса более устойчивы, чем искусственные насаждения).

### **8.3. Рекреационные нагрузки на лесные экосистемы**

Рекреационные леса – это леса, предназначенные для отдыха населения с интенсивностью посещения (плотностью) 6 чел./га. Критерием рекреационной нагрузки или экономической ценности рекреационного ресурса является устойчивость леса к рекреационным нагрузкам. В этом случае возрастает роль экологического аспекта в размере цены на лесные ресурсы.

Рассмотрим влияние рекреации на изменение растительного покрова в лесах (табл. 34).

Таблица 34 – Изменение сосняка-зеленомошника  
в рекреационном использовании

Степень дигрессии	Кол-во сосен на га	Подлесок, экз/га	Масса подстилки, г/м <sup>2</sup>	Проективное покрытие	Соотношение видов разных экологических групп, %		
					лесные	луговые	степные
I	400	515	994	22	21	1	–
II	400	450	646	20	35	1	–
III	400	400	422	10	8	2	–
IV	250	300	296	10	6	15	2
V	150	100	126	12	4	5	3

Как видим, с увеличением рекреационной нагрузки уменьшается количество деревьев и подлеска, существенно снижается масса подстилки, сокращается проективное покрытие травянистыми растениями. Очень заметно меняется соотношение экологических групп растений: снижается доля лесных и возрастает доля луговых растений, появляются степные виды растений.

Далее рассмотрим изменение почвы под влиянием рекреации (табл. 35). Дерново-подзолистая почва под ельником кисличниковым, находящаяся в V стадии дигрессии, отличается наихудшими физическими свойствами. Твердость почвы возросла почти в 29 раз, водопроницаемость уменьшилась в 120 раз, запас подстилки снизился в 36 раз по сравнению с этой же почвой, но находящейся в I стадии дигрессии.

Таблица 35 – Изменение физических свойств дерново-подзолистой почвы под ельником-кисличником

Физические свойства	Стадии дигрессии				
	I	II	III	IV	V
Твердость почвы, кг/см <sup>2</sup>	2,4	3,2	5,0	11,0	69,0
Водопроницаемость, мм/мин					
A <sub>0</sub>	–	45,3	30,1	–	–
A1	60,0	48,2	40,6	22,5	0,5
Мощность подстилки, см	2,0	1,5	1,0		
Запас подстилки, г/см <sup>2</sup>	4 283	5 305	1 963	388	114

По данным Л.С. Шугалей (2011), высокие рекреационные нагрузки в лесах Назаровской и Чулымо-Енисейской котловин (табл. 36) ухудшают не только плотность, но и другие водно-физические свойства почв. С увеличением плотности сложения уменьшается пористость и количество водопрочных агрегатов. Ю.С. Решетниковой (2011) установлено, что вытаптывание приводит к возрастанию плотности сложения почвы до критических величин для корневых систем растений. Показано [Оборин, 2010], что высокой плотностью сложения мелкозема, до  $2,2 \text{ г/см}^3$  в слое 0–5 см, характеризуются тропы, подвергающиеся механическому воздействию в течение всего года. В настоящий период в России отсутствуют нормативы, характеризующие плотность разных типов почв рекреационных зон. Однако многие ученые считают, что плотность выше  $1,45 \text{ г/см}^3$  является границей устойчивости биогеоценозов к рекреационному воздействию.

Таблица 36 – Изменение физических свойств почв Назаровской и Чулымо-Енисейской котловин [Шугалей, 2011]

Стадии дигрессии	Плотность сложения, $\text{г/см}^3$	Плотность твердой фазы	Пористость, %	Водопрочные агрегаты > 0,25 мм
Сосняк папоротниково-разнотравный. Дерново-подзолистая почва. Дороховский бор				
I–II	0,95	2,37	60	58
III	0,94	2,44	58	50
IV	1,25	2,35	53	36
Березняк осочково-разнотравный. Темно-серая лесная почва. Оз. Инголь				
I–II	0,60	2,35	75	22
III	1,20	2,35	60	16
Березняк разнотравно-осочковый. Аллювиально-луговая насыщенная почва. Оз. Большое				
I	0,37	2,21	83	11
II	0,36	2,20	85	10
III	0,33	2,28	84	9

Химические свойства почв на вытоптаных участках Дороховского бора, прибрежной зоны оз. Инголь и Большое изменяются менее заметно, чем физические параметры почв (табл. 37).

Диагностическими признаками дигрессии на подбурах острова Валаам являются мощность и плотность лесных подстилок. Так, в сосняке брусничном III стадии дигрессии полностью отсутствует лесная подстилка. На IV стадии дигрессии эрозия прогрессирует. В лесах I, II стадий дигрессии на участках, закрытых для посещения, за 2–3 года отмечается задернение поверхности и рыхление уплотненных подстилок и почвы.

Таблица 37 – Изменение химических свойств почв под влиянием рекреации в Назаровской и Чулымо-Енисейской котловинах [Шугалей, 2011]

Стадии дигрессии	Гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/100 г	K <sub>2</sub> O, мг/100 г	Легкогидролизуемый азот, мг/100 г	N-NH <sub>4</sub> , мг/100 г	N-NO <sub>3</sub> , мг/100 г
Сосняк папоротниково-разнотравный. Дерново-подзолистая почва. Дороховский бор						
I	9,29	5,40	25,53	5,12	45,53	1,86
II	9,20	4,80	27,53	5,27	34,53	2,67
III	7,25	8,66	35,73	5,73	17,96	2,23
Березняк осочково-разнотравный. Темно-серая лесная почва. Оз. Инголь						
I	11,58	8,96	14,0	13,53	39,91	следы
III	10,96	8,83	13,63	9,97	22,07	следы
Березняк разнотравно-осочковый. Аллювиально-луговая насыщенная почва. Оз. Большое						
I	14,32	5,60	10,12	40,18	10,65	следы
II	14,10	4,80	9,88	40,44	9,89	следы
III	14,30	3,85	9,92	39,92	10,10	следы

Рекреационное воздействие на почвы и древостои в национальном парке «Лосиный остров»: оценивались площадь вытоптанной территории, уплотнение, потеря прироста древесного яруса, потеря подстилки и органического вещества. Установлено, что по сравнению с ненарушенными участками плотность почвы на тропах возросла в 10–15 раз, мощность A1 дерново-подзолистой почвы сократилась на 25–50 %, потери запасов подстилки – 0,05–2 т/га, потери C<sub>орг</sub> – 0,03–1,0 т/га. Таким образом, авторы предлагают рекреационную устойчивость лесных экосистем оценивать по состоянию почвенного покрова (долей нарушенных почв). Граница между II и III стадией рекреационной дигрессии определяется по *потере прироста деревьев*. Достоверное снижение прироста приравнивается к площади нарушенного почвенного покрова > 5 %.

Устойчивость почв Крыма к рекреационным нагрузкам определяется по соотношению тепла и влаги. Установлен ряд почв по убыванию устойчивости: *черноземы предгорные – дерново-карбонатные – горные луговые – бурые горно-лесные – бурые остепненные – коричневые горные почвы.*

В рекреационной зоне Никитского ботанического сада наблюдения проводились на куртинах, дорожках (мало-, средне- и максимально используемые). Показано, что плотность почвы на куртинах значительно меньше ( $0,9–1,20 \text{ г/см}^3$ ), чем под дорожками ( $1,60–1,65 \text{ г/см}^3$ ). Пористость почвы заметно снижается под дорожками (35–40 %) по сравнению с куртинами (50–65 %). Водопроницаемость почвы под дорожками в 20 раз меньше, чем в почве куртин. Это приводит к ухудшению лесорастительных условий, угнетению растений, снижению их декоративности и уменьшению продолжительности жизни. Для оценки их устойчивости при возрастающих рекреационных нагрузках в данном случае использовались *показатели плотности сложения и пористости* в сопоставлении с состоянием растений.

#### **8.4. Рекреационные нагрузки на травяные экосистемы**

Влияние рекреационных нагрузок на травяные экосистемы рассмотрим на примере исследований Г.Д. Рудаковой, выполненных на кафедре почвоведения и агрохимии Красноярского ГАУ в приозерной зоне озера Тус (Ширинская степь). Объекты исследования показаны на рисунке 11. Плотность рекреантов на озере достигает в июле более 6 400 чел./га.



*Рисунок 11 – Схема расположения пробных площадей на трансектах в приозерной рекреационной зоне оз. Тус*

Автором выделены V стадий дигрессии по таким показателям, как продолжительность жизни растений, эколого-фитоценотический тип экосистем, отношение растений к влаге (табл. 38). Установлено, что количество многолетних видов растений возрастает от береговой линии озера к водораздельной. Снижение количества многолетних видов растений сопровождается увеличением числа двулетних видов. По эколого-фитоценотическому составу растительность представлена типичными степными и луговыми видами растений. На участке V стадии дигрессии луговые растения исчезают.

Таблица 38 – Эколого-биологический состав растительности в приозерной зоне оз. Тус [Рудакова, Зоркина, 2010]

Показатель	Стадии дигрессии		
	II	III	V
Выбитая площадь, %	12	50	> 80
По продолжительности жизни			
Многолетние	30	16	9
Двулетние	3	–	7
Однолетние	–	1	2
По эколого-фитоценотическому типу			
Степной	21	–	7
Луговой	–	8	–
По отношению к влаге			
Ксерофиты	27	2	–
Мезофиты	–	6	2
Запас надземной фитомассы, т/га	4	2,5	1,2

Прибрежные фитоценозы (участки III и V стадий дигрессии) переувлажнены, поэтому здесь преобладают мезофиты. Далее от озера наблюдается постепенное исчезновение мезофитов и увеличение доли ксерофитов, особенно на вытоптаных участках, тропинках. Несмотря на это, запас фитомассы здесь значительно выше, чем на прибрежной зоне, испытывающей сильное вытаптывание поверхности почвы рекреантами.

Нарушение почвы связано с вытаптыванием. Это влечет за собой увеличение плотности сложения почвы. Установлено, что плотность  $> 1,45 \text{ г/см}^3$  является границей устойчивости почвы в условиях Ширинской степи. На каждые  $0,1 \text{ г/см}^3$  пористость почвы снижается на 3 %. Вытаптывание приводит к ухудшению водно-физических свойств поч-



вы, усилению эрозионных процессов, замедлению биологических процессов и уменьшению запасов питательных элементов (табл. 39).

Таблица 39 – Физические свойства почв в рекреационной зоне оз. Тус [Рудакова, 2012]

Номер пробной площади, название почвы, стадия дигрессии	Глубина, см	Плотность сложения, г/см <sup>3</sup>	Плотность твердой фазы	Пористость, %
F1, аллювиальная темно-гумусовая гидрометаморфическая засоленная мелкая среднегумусированная тяжелосуглинистая, IV–V стадия дигрессии	0–6	1,58	2,60	41
	6–13	1,58	2,75	41
	13–30	1,46	2,60	41
F2, чернозем текстурно-карбонатный гидрометаморфизованный карбонатный среднегумусированный легкосуглинистый, III стадия дигрессии	0–2	1,01	2,60	61
	2–17	1,01	2,62	61
	17–24	1,20	2,62	64
	24–33	1,34	2,70	50
	33–48	1,35	2,70	50
Глубже 48	1,21	2,78	56	
F4, чернозем текстурно-карбонатный гидрометаморфизованный карбонатный среднегумусированный легкосуглинистый, II стадия дигрессии	2–16	1,29	2,78	54
	16–37	1,11	2,62	54
	37–46	0,91	2,65	54
	46–63	0,84	2,66	53
	63–80	0,92	2,66	68
F5, аллювиальная темно-гумусовая гидрометаморфическая засоленная среднемелкая среднегумусированная, II стадия дигрессии	4–24	1,08	2,35	54
	24–33	1,07	2,33	54
	33–46	1,15	2,40	54
	46–63	1,12	2,40	53
	63–80	0,87	2,65	68
F6, чернозем текстурно-карбонатный гидрометаморфизованный маломощный среднегумусированный среднемощный, III стадия дигрессии	2–36	0,98	2,60	62
	36–47	1,00	2,63	62
	47–67	0,95	2,63	64
	67–76	0,99	2,60	64
F7, чернозем текстурно-карбонатный типичный маломощный малогумусированный легкосуглинистый, I стадия дигрессии (контроль)	4–26	0,94	2,62	64
	26–50	0,98	2,65	63
	50–80	1,20	2,67	55
	Глубже 80	1,18	2,66	55

Уплотнение почвы обычно связано с ее утрамбовкой, что наблюдается в степях с карбонатными почвами, вдоль берегов озер, на тропинках и дорогах. Часто почва утрамбовывается под действием транспортных средств, например в туристических кемпингах: сначала выбивается растительность, затем уплотняется верхний слой почвы. Вследствие этого увеличивается плотность и снижается пористость.

Рекреационная нагрузка на химические свойства изученных почв проявляется косвенно, через растительность и механическое уплотнение верхних слоев почвы, смену видового, доминантного состава растений в фитоценозе и разную интенсивность продукционного процесса (табл. 40).

Таблица 40 – Физико-химические свойства почв в рекреационной зоне оз. Тус [Рудакова, 2012]

Пробная площадь, название почвы	Генетический горизонт, глубина образца, см	pH <sub>H2O</sub>	Сухой остаток, %	ЕКО, мг/экв на 100 г	Мг/кг			
					N-NO <sub>3</sub>	Щелочно-гидролизуемый азот	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Северный трансект								
F1, аллювиальная темно-гумусовая гидрометаморфическая засоленная мелкая среднегумусированная	AU <sub>s</sub> 2–6	8,06	0,99	15,5	14,4	94,7	30,9	442,1
	Q <sub>s</sub> 6–13	8,01	0,30	13,6	4,2	34,5	2,1	296,8
	CQ <sup>-</sup> 13–30	8,43	0,26	15,5	3,2	20,5	1,1	206,6
F2, чернозем текстурно-карбонатный гидрометаморфизованный карбонатный среднегумусированный легкосуглинистый	AU 2–17	8,21	0,59	21,3	1,8	66,0	10,6	369,7
	AUCAT 17–24	8,94	0,27	9,7	2,2	43,2	1,1	126,5
	CAT <sub>g</sub> 1 24–33	8,80	0,19	9,7	2,2	12,6	2,7	108,3
	CAT <sub>g</sub> 2 33–48	8,79	0,11	11,6	1,5	13,5	3,0	86,3
	C <sub>cag</sub> 48–56	8,76	0,12	15,5	2,2	13,5	2,4	167,4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
F4, чернозем текстурно- карбонатный гидромета- морфи- зованный кар- бонатный среднегумуси- рованный лег- косуглини- стый	AU 2–16	8,39	0,12	29,1	9,6	66,0	10,6	449,2
	AUCAT 16–37	8,18	0,12	23,8	14,1	58,3	1,1	161,3
	CAT <sub>s</sub> 37–46	8,78	0,13	19,4	18,6	44,4	2,7	115,8
	CATC <sub>Ca</sub> 46–60	8,71	0,54	15,5	9,4	28,0	3,0	130,1
	C <sub>Ca</sub> 60–87	8,48	0,15	19,4	4,8	28,0	2,4	134,2
Южный трансект								
F5, аллюви- альная темно- гумусовая гидромета- морфическая засоленная среднемелкая среднегумуси- рованная	AU <sub>s</sub> 4–24	7,99	0,81	5,8	7,4	38,3	19,4	217,3
	Q <sub>s</sub> 1 24–33	8,26	0,74	15,5	2,6	66,7	1,1	152,1
	Q <sub>s</sub> 2 33–46	8,56	0,20	5,8	2,0	31,7	1,0	102,0
	Q <sub>s</sub> 3 46–63	8,59	0,08	3,8	1,2	21,5	1,0	61,8
	CQ <sup>~</sup> 63–80	8,73	0,01	7,7	1,1	26,6	1,0	56,2
F6, чернозем текстурно- карбонатный гидромета- морфи- зованный маломощный среднегумуси- рованный среднемощный		8,30	0,12	21,3	1,9	81,6	19,0	350,8
		8,27	0,19	13,6	3,1	19,6	5,5	237,0
		8,46	0,27	7,8	2,6	19,6	6,9	145,6
		8,67	0,30	6,7	1,9	15,8	1,3	229,8
F7, чернозем текстурно- карбонатный типичный маломощный малогумуси- рованный легкосуглини- стый		8,40	0,10	15,5	1,8	44,6	11,2	202,2
		8,48	0,10	13,6	2,5	21,0	1,4	92,6
		8,64	0,11	5,8	1,9	21,0	9,5	88,7
		9,25	0,02	7,7	1,8	20,5	7,9	93,9

Исследования Г.Д. Рудаковой показали, что почва и растительность в приозерной зоне Чулымо-Енисейской котловины характеризуются неодинаковой устойчивостью к рекреационным воздействиям. Растительный покров сильнее и быстрее реагирует на рекреацию, чем свойства почвы, которые формируются в течение длительного почвообразовательного процесса и регистрируются в ней на уровне памяти. Для оценки степени дигрессии напочвенного покрова ею предложены следующие параметры (табл. 41).

Таблица 41 – Параметры оценки степени дигрессии в приозерной (оз. Тус) рекреационной зоне [Рудакова, 2012]

Показатель	Луговые			Степные		
	II	III	IV-V	I	III	V
Проективное покрытие, %	85–90	75–80	< 75	60–80	55–60	30–40
Вытопанная площадь, %	85–90	75–80	70–75	5–10	40–45	80–90
Запасы фитомассы, т/га	2–5	1,5–3,0	1,5–2,0	1,0–1,5	0,5–0,9	0,3–0,4
Плотность сложения, г/см <sup>3</sup>	1,0–1,1	1,1–1,2	1,5–1,6	0,9–1,0	1,1–1,2	1,4–1,5
Пористость, %	60	52	45			
C <sub>мб</sub> , мкг/10 г	4 995	2 555	309	3 889	347	235

Итак:

✓ рекреационное использование природных комплексов приводит к расчленению территории на участки неодинаковой поврежденности, характеризующиеся различным состоянием растительности и свойств почв;

✓ рекреационное воздействие изменяет преимущественно физические свойства почв. Восстановление их – соответствующие мероприятия (1–10 лет). Эти показатели цикличны, обратимы, являются носителями короткоживущей памяти почв;

✓ устойчивость почв к рекреационным воздействиям определяют необратимые носители почвенной памяти.

## ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Понятие «устойчивость почв».
2. Обоснование проблемы устойчивости почв к экзогенным воздействиям.
3. Экологические проблемы использования природных ресурсов.
4. Основные подходы к изучению устойчивости почв.
5. Классификация экзогенных воздействий на почву.
6. Причины, определяющие устойчивость почв к экзогенным воздействиям.
7. Критерии оценки устойчивости почв.
8. Механизмы, обеспечивающие устойчивость почв к экзогенным воздействиям.
9. Понятие «почва-память».
10. Понятие «почва-момент».
11. Характерное время почвенных свойств.
12. Носители почвенной памяти. Уровни организации твердой фазы почвы: молекулярный – внутриагрегатный – агрегатный – горизонтный – почвенный профиль.
13. Гранулометрический состав как носитель почвенной памяти.
14. Глинистые минералы как компонент памяти почв.
15. Минералы железа как память почвы.
16. Карбонатные новообразования в качестве почвенной памяти.
17. Поровое пространство как носитель почвенной памяти.
18. Биогенные носители почвенной памяти.
19. Гумусовые вещества в качестве почвенной памяти.
20. Показатели как носители почвы-момента.
21. Методы исследования носителей почвенной памяти.
22. Виды антропогенного воздействия на почву.
23. Этапность антропогенеза.
24. Общие закономерности естественно-антропогенного почвенного процесса.
25. Трансформация почвенного профиля при агрогенных воздействиях.
26. Современные представления об агрогенном изменении свойств почв.
27. Особенности функционирования пахотных почв.

28. Процессы трансформации органического вещества в условиях агрогенного воздействия.

29. Техногенные воздействия и устойчивость почв: понятия, загрязнители.

30. Источники и механизмы поведения тяжелых металлов в незагрязненных почвах.

31. Тяжелые металлы в почвах загрязненных территорий.

32. Буферность почв как показатель устойчивости.

33. Почвенные и литологические факторы водной эрозии.

34. Почвенные и литологические факторы дефляции.

35. Рекреация: понятие и ее значение.

36. Формы рекреации.

37. Измерение рекреационного воздействия.

38. Рекреационные нагрузки на лесные экосистемы.

39. Рекреационные нагрузки на травяные экосистемы.

40. Устойчивость почв и экологическое нормирование почв.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По В.В. Докучаеву, почва представляет собой сердцевину ландшафта и поэтому влияет на формирование естественных и агрогенных почв, эволюцию и изменение свойств почв при их использовании и влиянии на них различных воздействий. В этой связи важно знание почвенных процессов для понимания механизмов экзогенных воздействий и принятия решений для устранения негативных последствий этого воздействия. Изучив материал учебного пособия, магистры и аспиранты стали подготовленными в теоретическом и практическом аспектах. В этом состояла наша главная задача при подготовке настоящего пособия.

И все-таки главной причиной острой востребованности знаний об устойчивости почв к экзогенным воздействиям является нарастающая угроза полной потери почвенных ресурсов за счет ускорения темпов их деградации, загрязнения и отчуждения в неиспользуемые сферы. Поэтому более вероятный и ускоренный вариант перехода к новым технологиям использования почвенных ресурсов могут предложить образованные специалисты.

Надеемся, уважаемые магистры и аспиранты, что, изучив материал пособия, вы будете способствовать повышению эффективности научного поиска, что позволит создать объективную теорию управления устойчивости почв к экзогенным воздействиям.

## ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ПОНЯТИЯ

**Буферность** – это защитные возможности почвы.

**Деградация почв** – ухудшение свойств почвы как среды обитания организмов в результате воздействия природных или антропогенных факторов.

**Деградированные почвы** – почвы, в которых негативные процессы природного или антропогенного характера привели к снижению продуктивности растительной продукции или ее качества.

**Период деградации почв** – гипотетическое время (в годах), за которое анализируемая почва пройдет путь по рассматриваемому показателю от нулевой до четвертой степени деградации.

**Почва-память** – это совокупность устойчивых и консервативных свойств почвенного профиля, являющихся интегральным результатом действия факторов и почвенных процессов в течение всего периода почвообразования (от нуля-момента до момента наблюдения).

**Почва-момент** – это совокупность динамических лабильных свойств, являющихся результатом факторов и процессов в момент наблюдения.

**Плотность рекреантов** – количество отдыхающих, проходящих по единице площади на территории отдыха за единицу времени, чел./га в час (в день).

**Рекреация** – совокупность явлений, возникающих в связи с эксплуатацией объекта для туризма и отдыха.

**Рекреационная нагрузка** – совокупность воздействия рекреантов на природные комплексы (вытаптывание, уничтожение лесной и травяной подстилки, появление тропинок, троп, кострищ и т. п.).

**Рекреационная емкость** – количество отдыхающих без учета единицы площади территории отдыха.

**Степень деградации почв** – характеристика их состояния, отражающая ухудшение качества их состава и свойств.

**Техногенная устойчивость почв** – потенциальный запас буферности исходных природных почв и ландшафтов или как способность противостоять техногенным воздействиям.

**Устойчивость природных ландшафтов** – способность сохранять саморегулирующееся функционирование в пределах естественного колебания их параметров под воздействием внешних факторов.

**Устойчивость почв** – способность почвы длительное время сохранять свое состояние (состав, структуру, пространственное поло-



жение) в условиях относительно небольшого изменения или колебания факторов почвообразования, а также способность восстанавливать основные качественные характеристики своего исходного состояния после его нарушения.

**Характерное время почвы** – время, необходимое для того, чтобы почва (признак, процесс), развивающаяся под влиянием факторов среды, пришла в равновесие (или квазиравновесие) с этими факторами.

**Экзогенные воздействия на почву** – это внешние воздействия.

**Эрозия почв** – это совокупность взаимосвязанных процессов отрыва, переноса и отложения почвы (иногда материнской и подстилающей пород) поверхностным стоком временных водных потоков и ветром.

**Эрозионная устойчивость почв** – это способность почвы противостать разрушающему действию потоков талых, ливневых и ирригационных вод и ветра.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Архангельская, А.М. Экологическая оценка устойчивости светло-серой лесной почвы к антропогенному воздействию в условиях Верхнего Поволжья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / А.М. Архангельская. – М., 2015. – 20 с.

2. Баянов, А.В. Пастбищная дигрессия остепненных лугов северо-восточной части Республики Башкортостан / А.В. Баянов, С.М. Ямалов // Мат-лы I Междунар. конф. молодых ботаников в Санкт-Петербурге. – СПб., 2006. – С. 63–67.

3. Большой практикум по почвоведению с основами геологии: учеб. пособие / В.В. Чупрова, Н.Л. Кураченко, А.А. Белоусов [и др.]; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2007. – 375 с.

4. Булгаков, Д.С. Потенциальная и фактическая устойчивость почв к природно-антропогенным воздействиям / Д.С. Булгаков, И.И. Карманов, Э.Н. Молчанов // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям: тезисы доклада Всерос. конф. 24–25 апреля 2002 г. – М.: Изд-во Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева, 2002. – С. 8.

5. Водяницкий, Ю.В. Железистые минералы и тяжелые металлы в почвах / Ю.В. Водяницкий, В.В. Добровольский. – М.: Изд-во Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева, 1998. – 217 с.

6. Воробейчик, Е.Л. Устойчивость почвы и индикаторы оценки устойчивости почв к внешним воздействиям / Е.Л. Воробейчик, С.С. Картаков, С.Ю. Кайгородова // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям: тезисы доклада Всерос. конф. 25–25 апреля 2002 г. – М.: Изд-во Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева, 2002. – С. 19.

7. Воронин, А.Д. Опыт оценки противозерозионной стойкости почв / А.Д. Воронин, М.С. Кузнецов // Эрозия почв и русловые процессы. – М.: Изд-во Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева, 1970. – С. 99–115.

8. Геннадиев, А.Н. Почвы и время: модели развития / А.Н. Геннадиев. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 232 с.

9. Герасимов, И.П. Элементарные почвенные процессы как основа для генетической диагностики почв / И.П. Герасимов // Почвоведение. – 1973. – № 5. – С. 102–111.

10. Глазовская, М.А. Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям / М.А. Глазовская. – М.: Изд-во МГУ, 1997. – 100 с.
11. Горшкова, А.А. Пастбища Забайкалья / А.А. Горшкова. – Иркутск, 1973. – 159 с.
12. Державин, Л.М. Химизация и экология // Химизация сельского хозяйства. – 1991. – № 7. – С. 3–7.
13. Добровольский, Г.В. Влияние человека на почву как компонент биосферы / Г.В. Добровольский, Л.А. Гришина, Б.Г. Розанов // Почвоведение. – 1985. – № 12. – С. 55–65.
14. Добровольский, Г.В. Тихий кризис планеты / Г.В. Добровольский // Вестник Российской академии наук. – 1997. – Т. 67. – № 4. – С. 313–320.
15. Добровольский, Г.В. Экология почв. Учение об экологических функциях почв / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М.: Изд-во МГУ, 2006. – 364 с.
16. Ельников, И.И. Концепция, методические принципы и задачи оперативной диагностики устойчивости плодородия почв / И.И. Ельников // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям. – М.: Изд-во Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева, 2002. – С. 16.
17. Заславский, М.Н. Эрозия почв / М.Н. Заславский. – М., 1979. – 245 с.
18. Израэль, Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю.А. Израэль. – М.: Гидрометеоиздат, 1984. – 556 с.
19. Ильин, В.Б. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области / В.Б. Ильин, А.И. Сысо. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 229 с.
20. Ильин, В.Б. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва – растение / В.Б. Ильин. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. – 220 с.
21. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях: пер. с англ. / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
22. Казанская, Н.С. Изучение рекреационной дигрессии естественных группировок растительности / Н.С. Казанская // Изв. АН СССР. – Серия: география. – 1972. – № 1. – С. 52–59.
23. Казанская, Н.С. Рекреационные леса (состояние, охрана, перспективы использования) / Н.С. Казанская, В.В. Ланина, И.Н. Марфенин. – М.: Лесная промышленность, 1977. – 96 с.

24. Кандалова, Г.Т. Как оптимизировать использование степных пастбищ Хакасии в современных условиях / Г.Т. Кандалова // Степной бюллетень. – 2010. – № 10. – С. 10–18.

25. Караваева, Н.А. Агрогенная память почв / Н.А. Караваева // Память почв: почва как память биосферно-геосферно-антропосферных взаимодействий. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – С. 578–613.

26. Карпачевский, Л.О. Экологическое почвоведение / Л.О. Карпачевский. – М.: ГЕОС, 2005. – 336 с.

27. Карпинослова, Р.А. Изменения в растительном покрове Останкинской дубравы / Р.А. Карпинослова // Бюлл. Главного ботанического сада АН СССР. – 1962. – № 46. – С. 74–79.

28. Керженцев, А.С. Функциональная экология / А.С. Керженцев. – М.: Наука, 2006. – 259 с.

29. Кирюшин, В.И. Опыт изучения изменения органического вещества в черноземах Северного Казахстана при их сельскохозяйственном использовании / В.И. Кирюшин, И.Н. Лебедева // Почвоведение. – 1972. – № 8.

30. Кирюшин, В.И. Экологическая устойчивость агроландшафтов и почв: определения и классификации / В.И. Кирюшин // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям. – М.: Изд-во Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева, 2002. – С. 6–7.

31. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева [и др.]. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.

32. Кленов, Б.М. Устойчивость гумуса автоморфных почв Западной Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. – 176 с.

33. Ковда, В.А. Патология почв и охрана биосферы планеты (препринт) / В.А. Ковда. – Пущино, 1989. – 35 с.

34. Козловский, Ф.И. Почва как зеркало ландшафта и концепция информационной структуры почвенного покрова / Ф.И. Козловский, С.В. Горячкин // Почвоведение. – 1996. – № 3. – С. 288–297.

35. Кононова, М.М. Органическое вещество почвы / М.М. Кононова. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 314 с.

36. Концепция оптимизации режима органического вещества почв в агроландшафтах / В.И. Кирюшин, Н.В. Ганжара, И.С. Кауричев [и др.]. – М.: МСХА, 1993. – 71 с.

37. Королев, В.А. Современное физическое состояние черноземов центра Русской равнины: автореф. дис. ... канд. биол. наук / В.А. Королев. – Воронеж, 2005. – 42 с.

38. Корсунов, В.М. Диагностика почвообразования в зональных лесных почвах / В.М. Корсунов, Э.Ф. Ведрова. – Новосибирск: Наука, 1982. – 160 с.
39. Корсунов, В.М. Педосфера Земли / В.М. Корсунов, Е.Н. Красеха. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2010. – 472 с.
40. Кудеяров, В.Н. Оценка питательной деградации пахотных почв России с позиций современного состояния агрогеохимического цикла питательных элементов / В.Н. Кудеяров, В.М. Семенов // Почвенные и земельные ресурсы: состояние, оценка, использование. – М.: Изд-во Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева, 2014. – С. 79–88.
41. Кузнецов, М.С. Эрозия и охрана почв / М.С. Кузнецов, Г.П. Глазунов. – М.: Изд-во МГУ, 1996. – 335 с.
42. Лебедева, И.И. Деградация почв и устойчивость почв к деградации: общие представления и понятия / И.И. Лебедева, В.Д. Тонконогов // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям. – М.: Изд-во Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева, 2002. – С. 9.
43. Лозневая, Е.В. Изменение физико-химических и агрохимических свойств почвы Средней Сибири при агрогенном воздействии: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Е.В. Лозневая. – Улан-Удэ, 2016. – 19 с.
44. Медведев, В.В. Анализ опыта европейских стран в проведении мониторинга почвенного покрова (обзор) / В.В. Медведев, Т.А. Лактионова // Почвоведение. – 2012. – № 1. – С. 106–114.
45. Мирцхулава, Ц.Е. Надежность систем осушения / Ц.Е. Мирцхулава. – М., 1985. – 239 с.
46. Мискина, Л.В. Природные рекреационные нагрузки Челябинской области и их современное использование / Л.В. Мискина, А.А. Меньшиков, С.Н. Фетисов // Тихоокеанский мед. журн.: спец. вып. «Современные технологии восстановительной медицины». – 2001. – № 1. – С. 18–21.
47. Некоторые особенности загрязнения атмосферного воздуха промышленного города с развитой цветной металлургией / Е.Ф. Ковнацкий, В.А. Сурнин, И.В. Казачевский [и др.] // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах: сб. тр. V Всесоюз. совещ. (Обнинск, 12–15 января 1987 г.). – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – С. 128–132.
48. Оборин, М.С. Особенности анализа рекреационной и антропогенной нагрузки вследствие санитарно-курортной и туристской

деятельности / М.С. Оборин // Географический вестник Пермского университета. – 2010. – № 2. – С. 194–200.

49. Орлов, Д.С. Реальные и кажущиеся потери органического вещества почвами Российской Федерации / Д.С. Орлов, О.Н. Бирюкова, М.С. Розанова // Почвоведение. – 1996. – № 2. – С. 197–208.

50. Орлова, В.К. Особенности и темпы эрозии пахотных земель во время снеготаяния / В.К. Орлова, В.С. Родионов, А.Д. Флесс // Работа водных потоков. – М.: Изд-во МГУ, 1987. – С. 55–60.

51. Основные достижения и перспективы почвенной метагеномики / под ред. Е.В. Першиной, О.В. Кутовой, Б.М. Когут [и др.]. – СПб.: Информ-Навигатор, 2017. – 288 с.

52. Память почв: почва как память биосферно-геосферно-антропосферных взаимодействий / отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 692 с.

53. Проблемы эрозии и охраны почв / М.С. Кузнецов, Н.Г. Добровольская [и др.] // Структурно-функциональная роль почвы в биосфере. – М.: Геос, 1999. – С. 216–228.

54. Реймерс, Н.Ф. Природопользование: словарь-справочник / Н.Ф. Реймерс. – М.: Мысль, 1990. – 637 с.

55. Решетникова, Ю.С. Влияние рекреационных нагрузок на характеристики почвы рекреационных объектов / Ю.С. Решетникова, А.В. Терешкин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – № 4 (78). – С. 57–59.

56. Ринькис, Г.Я. Оптимизация минерального питания растений / Г.Я. Ринькис. – Рига: Зинатне, 1972. – 355 с.

57. Розанов, Б.Г. Генетическая морфология почв / Б.Г. Розанов. – М.: Изд-во МГУ, 1975. – 292 с.

58. Росновский, И.Н. Внешние воздействия и типы устойчивости почв / И.Н. Росновский, С.Г. Копысов // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям. – М.: Изд-во Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева РАСХН, 2002. – С. 11–12.

59. Рудакова, Г.Д. Оценка рекреационного воздействия на основные компоненты экосистемы в приозерной зоне Чулымо-Енисейской котловины: дис. ... канд. биол. наук / Г.Д. Рудакова. – Красноярск, 2012. – 173 с.

60. Рудакова, Г.Д. Эколого-биологическая характеристика растительности рекреационной зоны озера Тус / Г.Д. Рудакова, Т.М. Зоркина // Вестник КрасГАУ. – 2010. – № 4. – С. 41–47.

61. Садовникова, Л.К. Метод изучения соединений цинка в фоновых и загрязненных почвах / Л.К. Садовникова, Д.В. Ладонин // Физические и химические методы исследований почв. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – С. 130–141.
62. Скворцова, Е.Б. Строение макро- и мезопор в целинных суглинистых почвах на европейской территории России / Е.Б. Скворцова // Почвоведение: аспекты, проблемы, решения. – М.: Изд-во Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева, 2003. – С. 397–425.
63. Снакин, В.В. Экология и природопользование в России. Энциклопедический словарь / В.В. Снакин. – М.: Academia, 2008. – С. 64–65, 528, 773.
64. Сорокина, О.А. Агрогенная трансформация серых лесных почв / О.А. Сорокина; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2008. – 176 с.
65. Сорокина, О.А. Состояние химизации земледелия на примере применения удобрений в Российской Федерации и Красноярском крае / О.А. Сорокина // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 9. – С. 9–17.
66. Сурмач, Г.П. Прогнозирование стока талых вод с черноземов и каштановых почв / Г.П. Сурмач // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1969. – № 12. – С. 53–56.
67. Танасиенко, А.А. Специфика эрозии почв в Сибири / А.А. Танасиенко. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. – 176 с.
68. Таргульян, В.О. Почва как биокосная природная система: реактор, память и регулятор биосферных взаимодействий / В.О. Таргульян, Т.А. Соколова // Почвоведение. – 1996. – № 1. – С. 34–47.
69. Титова, В.И. Агрэкосистемы: проблемы функционирования и сохранения устойчивости (теория и практика агронома-эколога) / В.И. Титова, М.М. Дабаханов. – Н. Новгород: Изд-во НГСХА, 2000. – 134 с.
70. Ульянова, О.А. Влияние системы удобрения на плодородие чернозема выщелоченного Красноярской лесостепи / О.А. Ульянова, Н.Л. Кураченко, В.В. Чупрова // Агрохимия. – 2010. – № 1. – С. 12–22.
71. Ульянова, О.А. Трансформация удобрительных композиций в почвах Красноярской лесостепи / О.А. Ульянова. – Красноярск, 2014. – 228 с.
72. Фурсова, Л.М. Функциональное зонирование территории лесопарков (на примере лесопаркового защитного пояса г. Москвы) / Л.М. Фурсова. – М.: Наука, 1971. – С. 125–133.

73. Хан, Д.В. Органо-минеральные соединения и структура почвы / Д.В. Хан. – М.: Наука, 1969. – 140 с.
74. Хитров, Н.Б. Представление об устойчивости почв к внешним воздействиям / Н.Б. Хитров // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям. – М.: Изд-во Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева, 2002. – С. 3–6.
75. Чижова, В.П. Рекреационные нагрузки в зонах отдыха / В.П. Чижова. – М.: Лесная промышленность, 1977. – 48 с.
76. Чупрова, В.В. Гумусное состояние почв лесостепной части Красноярского края / В.В. Чупрова // Баланс органического вещества и плодородие почв в Восточной Сибири. – Новосибирск: Сиб. отделение ВАСХНИЛ, 1985. – С. 9–15.
77. Чупрова, В.В. Управление плодородием почвы / В.В. Чупрова // Инновационные технологии производства продуктов растениеводства: рекомендации. – Красноярск, 2011. – С. 42–50.
78. Шеуджен, А.Х. Агрохимия чернозема / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: Полиграф-ЮГ, 2015. – 232 с.
79. Шугалей, Л.С. Антропогенез лесных почв юга Средней Сибири / Л.С. Шугалей. – Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1991. – 185 с.
80. Шугалей, Л.С. Почвы лесных биогеоценозов юга Средней Сибири и их устойчивость к антропогенезу / Л.С. Шугалей // Разнообразие почв и биоты Центральной Азии: мат-лы Междунар. науч. конф. – Улан-Удэ, 2011. – С. 52–54.
81. Яковлев, А.С. Экологическое нормирование почв и управление их качеством / А.С. Яковлев, М.В. Евдокимова // Почвоведение. – 2011. – № 5. – С. 582–596.
82. Adriano, D.C. Trace elements in the terrestrial environment / D.C. Adriano. – New York, Berlin, Heidelberg, Tokyo: Springer-Verlag, 1986. – 553 p.



## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Морфологическая характеристика элементарных почвообразовательных процессов (Розанов, 1975)

Название процесса	Определение	Морфологическая выраженность
1	2	3
<b>1. Биогенно-аккумулятивные</b>	Сопровождаются накоплением в верхней части профиля тех или иных веществ	
Гумусообразование in situ	Процесс разложения растительных остатков на месте их отмирания и последующего новообразования гумуса без его перемещения по профилю	Образование поверхностного темного гумусового горизонта комковатой или зернистой структуры
Гумусонакопление	Процесс аккумуляции гумуса в поверхностном горизонте почвы в результате разложения растительных остатков и гумусообразования при сочетании гумусообразования in situ и некоторого перемещения вниз	Образование поверхностного темного гумусового горизонта комковатой или зернистой структуры, наиболее темного и оструктуренного, в профиле постепенно теряющего гумусовую прокраску и оструктуренность с глубиной. Гумусовые языки и затеки
Подстилкообразование	Формирование на поверхности органического слоя лесной подстилки или степного войлока, находящегося по вертикальным слоям на различных стадиях разложения растительных остатков	Подстилка сплошным слоем легко отделяется от лежащей минеральной толщи почвы и состоит из различных невооруженным глазом растительных остатков
Торфообразование	Процесс консервации отмерших органических остатков при весьма незначительной гумификации	В разложенном торфе форма растительных остатков не различается вооруженным глазом, и весь горизонт выделяется как сплошная мажущаяся масса
		В среднеразложенном торфе растительные остатки лишь частично сохранили свою форму в виде обрывков тканей. В неразложенном – растительные остатки полностью или почти полностью сохранили свою форму

1	2	3
Дерновый процесс	Интенсивное гумусообразование и гумусонакопление под воздействием травянистой растительности (преимущественно злаковой)	Дерновый горизонт характеризуется существенной ролью корневых систем в его составе, а твердая фаза представлена мелкозернистыми или мелкокомковатыми агрегатами
Реградация (проградация)	Процесс вторичного обогащения гумусом или другими соединениями верхних горизонтов деградированных и оподзоленных почв	Характеризуется темным гумусовым горизонтом комковато-зернистой структуры без признаков оподзоленности, лежащем на переходном горизонте АВ, имеющем признаки прошлой оподзоленности
<b>2. Иллювиально-аккумулятивные</b>	Процессы аккумуляции веществ в средней части профиля элювиально-иллювиально дифференцированных почв ниже элювиального горизонта	
Глинисто-иллювиальный	Процесс иллювиального накопления вторичной глины, выносимой из элювиального горизонта в неразрушенном состоянии	В профиле выделяется горизонт глинистый и уплотненный. Он имеет призматическую или ореховатую структуру
Гумусово-иллювиальный	Процесс иллювиального накопления гумуса, выносимого из элювиального горизонта	Образование в профиле второго темноокрашенного гумусового горизонта ниже элювиального горизонта или в нижней части верхнего гумусового горизонта. Формируется обычно в песчаных почвах, бесструктурный
Железисто-иллювиальный	Процесс иллювиального накопления аморфных окислов железа, выносимого из элювиального горизонта в ионной, коллоидной или связанной с органическим веществом формах	Приводит к образованию горизонта ярко-желтого, красного или буро-желтого цвета в виде сплошного слоя или серии извилистых уплотненных прослоек – ортзандов
Глиноземно-гумусово-иллювиальный	Процесс иллювиального накопления аморфных окислов алюминия вместе с гумусом, вынесенных сверху из элювиального горизонта	Формируется буроземный профиль без морфологических признаков оподзоленности, но с несколько подчеркнутым уплотнением и оглиниванием в гор. В

1	2	3
Железисто-гумусово-иллювиальный	Процесс иллювиального накопления аморфных окислов железа вместе с гумусом, вынесенных сверху из элювиального горизонта	Образование сплошного или состоящего из серии извилистых прослоек иллювиального горизонта темно-бурой, охристо-бурой, красновато-бурой окраски
Подзолисто-иллювиальный	Иллювиальное накопление глинистых окислов в профиле подзолистых частиц и аморфных полуторных почв, вынесенных из подзолистого горизонта	Образование оглиненного уплотненного горизонта ореховатой или призматической структуры с хорошо выраженными структурными отдельностями, имеющими натечные пленки по граням
Карбонатно-иллювиальный	Иллювиальное накопление карбонатов кальция, вынесенных сверху, в средней или нижней части профиля	Морфологически этот процесс с большим трудом может быть разделен с процессом гидрогенной аккумуляции карбонатов. Необходимо аналитическое исследование почв
Солонцово-иллювиальный	Иллювиальное накопление глины, аморфных и полуторных оксидов и гумуса в солонцовом горизонте солонцов и солонцеватых почв при существенном участии Na в составе обменных катионов	Солонцовый горизонт выделяется как наиболее оглиненный и уплотненный, сильно растрескивающийся. В сухом состоянии он имеет столбчатую или призматическую структуру с темными корочками и лаковыми пленками на гранях
<b>3. Гидрогенно-аккумулятивные</b>	Группа процессов почвообразования, связанная с современным или прошлым влиянием грунтовых вод на формирование почвенного профиля	
Засоление	Накопление водорастворимых солей в почвенной толще при поднятии минерализованных грунтовых вод	При засолении сульфатом натрия образуется пухлый горизонт, хлоридом натрия или смесью хлорида и сульфата натрия – корковый, хлоридами кальция и магния – мокрый, содой – черный. Белые выцветы на поверхности почвы – признак интенсивного сезонного или постоянного процесса засоления, если преобладают сульфаты и хлориды. При содовом – поверхность черная, вязкая, растрескивающаяся при высыхании

1	2	3
Загипсовывание	Вторичная аккумуляция гипса в почвенной толще при отложении его из минерализованных грунтовых вод при достижении насыщения им в отношении $\text{CaSO}_4$	Образование гипсового горизонта, в некоторых случаях – гипсовой коры с кристаллическим строением.
Окарбоначивание	Вторичная аккумуляция карбоната кальция в почвенной толще при отложении его из минерализованных грунтовых вод при достижении ими насыщения в отношении $\text{CaCO}_3$ и $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	Образование карбонатного горизонта или карбонатной коры с характерными для них морфологическими признаками
Оруденение	Гидрогенное накопление оксидов железа разной степени гидратации	Образование «железистого солончака» или рудякового горизонта (болотной руды). На ранних стадиях формируются ожелезненные торфяные или минеральные горизонты, интенсивно прокрашенные охристо-бурыми оксидами железа. На более зрелых стадиях – конкреционные горизонты (линонит)
Окремнение	Гидрогенное накопление кремнезема и цементация им почвенных слоев, имеющее распространение в областях циркуляции щелочных растворов	Образование опалово-халцедоновых горизонтов
Олуговение	Воздействие грунтовых вод на нижнюю часть профиля при условии хорошего дренажа, что приводит к повышению общей увлажненности почвы без ее заболачивания	Увеличение интенсивности гумусовой прокраски в профиле, увеличение мощности гумусового горизонта, увеличение языковатости нижней границы гумусового горизонта, наличие ржавых и сизых пятен в нижней части

1	2	3
Отложение наилка	Гидрогенный пойменный, подводный или делювиальный процесс аккумуляции минерального вещества на поверхности почвы при его осаждении из водного потока	Материал, оставленный на поверхности, ясно отделяется от нижележащей толщи и представляет собой тонкослоистую растрескивающуюся корочку. При водном почвообразовании эта слоистость заметна меньше
<b>4. Элювиальные процессы</b>	Разрушение и преобразование минеральной и органической части почвы в специфическом элювиальном горизонте с выносом из него продуктов этого разрушения	
Выщелачивание	Обеднение того или иного горизонта почвы основаниями в результате их выхода из кристаллической решетки минералов или органических соединений, растворения и последующего выноса	Морфологических признаков процесса выщелачивания практически нет. Выщелоченность может быть определена лишь аналитическим путем
Оподзоливание	Процесс формирования элювиального горизонта	Осветленный белесовый горизонт слоеватой структуры или бесструктурный, облегченный по гранулометрическому составу, мучнистый на ощупь, содержит аморфный кремнезем
Псевдооподзоливание	Образование осветленного горизонта в верхней части профиля почв в результате совместного действия лессивирования и поверхностного оглеения	Морфологически трудно отличим от оподзоливания. Его признаки в следующем: наличие в осветленном горизонте видимых невооруженным глазом отбеленных крупных зерен кварца, бурых небольших оксидных конкреций, незначительная пятнистость
Лессивирование	Процесс пептизирования, отмывки илистых частиц с поверхности зерен грубообломочного материала или из микроагрегатов и выноса их в неразрушенном состоянии из элювиального горизонта	Формирование под элювиальным горизонтом глинисто-аккумулятивного иллювиального горизонта. В нем обильны натечные слоистые ориентированные глины по порам и микротрещинам и глинистые пленки по граням структурных отдельностей

1	2	3
Осолодение	Разрушение минеральной части почвы под воздействием щелочных растворов с накоплением остаточного аморфного кремнезема и выносом из элювиального (осолоделого) горизонта аморфных продуктов разрушения	Осолоделый горизонт имеет сизовато-белесую окраску, слоеватую структуру, языковатую нижнюю границу, содержит мучнистый кремнезем
Псевдооглеение	Внутрипочвенное поверхностное оглеение под воздействием периодического переувлажнения верховодкой при сезонном образовании ее на водоупорном иллювиальном горизонте или более тяжелом нижнем слое почвообразующей породы	Появление мраморовидной, пятнистой окраски: буро-красная или буро-желтая, ржавая матрица, в ячейках которой размещаются неправильной формы белесовато-сизые пятна. Присутствуют железистые или марганцево-железистые конкреции
Сегрегация	Образование внутрипочвенного осветленного горизонта путем стягивания соединений железа и марганца из общей почвенной массы в центры концентрации без существенного выноса за пределы горизонта	Формируется резко выраженный белесый горизонт с разбросанными железистыми конкрециями шарообразной формы
Элювиально-гумусовый	Образование и накопление гумуса, в составе которого существенную роль играют подвижные соединения, слабо закрепленные катионами металлов	Формируется потечно-гумусовый горизонт, а часто и иллювиально-гумусовый в нижней части гумусового горизонта. Отмечается потемнение нижней части гумусового горизонта, наличие гумусовых затеков, отсутствие четкой структуры
Al-Fe-гумусовый	Мобилизация железа и алюминия минеральных пленок кислыми гумусовыми веществами и их последующей миграцией с образованием элювиально-иллювиального профиля без глубокого разрушения минеральной части в элювиальном горизонте. Характерен для песчаных почв	Формируется осветленный либо прокрашенный в сероватые тона гумусом элювиальный горизонт, лишенный окислов железа и алюминия, и нижележащий иллювиально-Al-Fe-гумусовый горизонт. Элювиальный горизонт бесструктурный с намекающейся слоеватой структурой. Иллювиальный – уплотнен

1	2	3
Рассоление	Вынос легкорастворимых солей из первоначально засоленных почв	В рассоляющемся профиле сверху вниз последовательно располагаются карбонатные новообразования, затем гипс и еще ниже сульфаты и хлориды натрия
Деградация	Изменение поверхностного горизонта изогумусовых почв под влиянием поселения леса, увеличения увлажнения или другие причины, приводящие к ухудшению их свойств и обеднению	Проявляется в посветлении окраски гумусового горизонта, укрупнении структуры, с одной стороны, и распылении ее – с другой, появление кремнеземистой присыпки
<b>5. Процессы метаморфизации</b>	Группа процессов преобразования состава и строения почвообразующей породы в результате почвообразования, происходящего <i>in situ</i> без выноса или привноса вещества	
Сиаллитизация	Внутрипочвенное выветривание первичных алюмосиликатов с образованием и аккумуляцией <i>in situ</i> вторичной глины сиаллитного состава	Оглинивание и некоторое уплотнение почвы по сравнению с почвообразующей породой, обычно наблюдается в средней безгумусовой части профиля при отсутствии видимой элювиально-иллювиальной дифференциации профиля и слоев иллювиирования в оглиненном горизонте
Монтмориллонитизация	Внутрипочвенное выветривание первичных алюмосиликатов с образованием и накоплением <i>in situ</i> вторичной глины монтмориллонитового состава	Образование в почве тяжелого глинистого горизонта, сильно набухающего, вязкого и пластичного во влажном состоянии и сильно растрескивающегося при высыхании; обычно он темный даже при очень малом содержании гумуса
Ферралитизация	Внутрипочвенное выветривание первичных алюмосиликатов с образованием и аккумуляцией <i>in situ</i> вторичной глины ферраллитного состава	Характерная высокая степень оглиненности, желтая или красная окраска, неясная макроструктура при высокой микроагрегированности; наличие мелких железистых конкреций

1	2	3
Оглеение	Преобразование минеральной почвенной массы в результате постоянного или периодического переувлажнения, приводящего к сильному развитию восстановительных процессов, иногда сменяемых окислительными	Бесструктурность и вязкость почвенной массы, пятнистость с преобладанием синих, голубых, зеленоватых, оливковых тонов в окраске, наличие ржавых пятен
Слитизация	Обратимая цементация монтмориллонитово-глинистых горизонтов почв в условиях периодического чередования интенсивного увлажнения и просыхания	Образование слитых горизонтов – набухающих, липких, пластичных, вязких при увлажнении; сильно-трещиноватых, плотных, глыбистой или тумбовидной структуры
Оструктуривание	Разделение почвенной массы на агрегаты разного размера и формы	Образование структурных отдельностей
<b>6. Криогенные процессы</b>	Группа процессов в почвах связана с воздействием длительного (многолетнего постоянного или длительно сезонного) промораживания почвенной массы в условиях холодного полярного или высокогорного климата	
Криогенное засоление	Засоление почвы при отсутствии выноса освобождающихся в процессе выветривания солей за ее пределы вследствие отсутствия нисходящих или боковых потоков при господстве низких температур	Соли выкристаллизовываются в виде белых налетов на поверхности камней или равномерно пропитывают белыми кристалликами мелкозем почвы
Криогенное окарбоначивание	Аккумуляция карбонатов в почве вследствие их образования при освобождении оснований из выветривающейся породы в условиях отсутствия выноса за пределы почвы вследствие отсутствия нисходящих или боковых потоков при господстве низких температур	Карбонаты кальция и магния выделяются в форме налетов и корочек на поверхностях обломков камней или мучнистой массой заполняют поры и трещины



1	2	3
Криогенное ожелезнение	Аккумуляция и выделение окислов железа в почве, освобождающихся при выветривании породы в условиях отсутствия их выноса за пределы профиля	В примитивных почвах выделения железа могут быть в виде оксидных пленок и корочек на поверхностях камней, в виде пропиток агрегатов мелкозема. В сформированных профилях образуются охристые ожелезненные горизонты (пленки на агрегатах и по трещинам, мелкие мягкие конкреции)
Al-Fe-гумусово-криогенный процесс	Мобилизация подвижными гумусовыми кислотами Al и Fe, освобождающихся при выветривании первичных минералов, с последующими образованием надмерзлотного аккумулятивного горизонта, прокрашенного гумусом и железом	Образованный горизонт характеризуется темно-охристо-бурой или темно-бурой окраской, непрочной комковатой структурой, наличием мелких железистых конкреций
<b>7. Антропогенные процессы</b>	Возникают и идут в почвах под влиянием человеческой деятельности и приводят к тем или иным изменениям, как в общем направлении почвообразования, так и в морфологии почвенного профиля	
Образование пахотного горизонта	Обособление в верхней части почвенного профиля особого горизонта в результате периодической его обработки при земледелии	Если он сформирован в пределах гумусового горизонта, то его окраска обычно светлее, чем нижележащей части гумусового горизонта. Если он сформирован из гумусового и элювиального и (или) иллювиального горизонтов, то в пахотном горизонте встречаются пятна этих горизонтов в нарушенном состоянии
Образование плужного горизонта	Процесс пахотно-иллювиального накопления глины, гумуса и полуторных оксидов непосредственно под пахотным горизонтом, длительно обрабатываемом на одну и ту же глубину	Плужный горизонт обычно не превышает по мощности нескольких сантиметров, темно-бурой окраски, оглинен, уплотнен, содержит железисто-гумусовые и глинистые пленки

1	2	3
Кольматаж (заиление)	Отложение на поверхности почвы суспендированного в ирригационной воде материала и наращивание вверх почвенной толщи	Если кольматированная почва постоянно орошается и обрабатывается, то этот процесс морфологически выявить практически невозможно
Вторичное засоление	Засоление почвы в результате неправильно спроектированного или неправильно осуществляемого орошения вследствие подъема минерализованных грунтовых вод или накопления солей из оросительных вод	Проявляется в появлении сезонных (в сухой сезон) белых выцветов или налетов солей на поверхности почвы, мелких белых прожилок в массе засоляющегося горизонта, в появлении поверхностной корки и глыбистой структуры
Осолонцевание	Появление свойств солонца или солонцеватости при длительном орошении почв слабоминерализованными водами, содержащими свободную соду	Разрушение исходной комковатой или зернистой структуры, появление глыбистости, слитости, появление гляцевых пленок по граням структурных отдельностей
<b>8. Педотурбационные процессы</b>	Механическое перемешивание почвенной массы под воздействием тех или иных природных и вызванных человеком сил	
Самомульчирование	Образование рыхлого мелкоглыбистого горизонта при растрескивании в процессе обсыхания слитых горизонтов почв	Слой поверхностной мульчи ясно отделяется от ниже лежащей слитой массы почвы, существует лишь в сухом состоянии
Растрескивание	Интенсивное сжатие почвенной массы на значительную глубину при ее обсыхании с образованием вертикальных и горизонтальных трещин	Растрескивание почв тем больше и глубже, чем больше они набухают при увлажнении (замерзании), что зависит от гранулометрического и минералогического состава
Криотурбация	Морозное механическое перемещение одних почвенных масс в отношении других в пределах какого-либо горизонта или всего профиля	Происходит комплекс различных механических движений почвенной массы: морозобойное растрескивание, пучение, тиксотропное течение, расслоение

Окончание табл.

1	2	3
Биотурбация	Перемешивание почвы роющей деятельностью почвенной фауны	Затаскивание или просыпание поверхностного материала по ходам землероев вниз или вытаскивание ими на поверхность глубинного материала
Обработка почвы	Перемешивание почвы простыми или механическими сельскохозяйственными орудиями в практике земледелия	Этот процесс может совершенно изменить почву в течение короткого времени. Интенсивность его различна в зависимости от вида и целей обработки
<b>9. Деструкционные процессы</b>	Поверхностное механическое разрушение почв динамическими силами атмосферных агентов: воды и ветра	
Эрозия	Механическое разрушение поверхности почвы под действием поверхностного стока атмосферных осадков	а) Присутствие на поверхности промоин, размывов, оврагов; б) уменьшение мощности поверхностного гумусового горизонта по сравнению с нормальной для данной территории; в) приближение к поверхности горизонтов, являющихся внутрипочвенными (элювиальный, иллювиальный); г) бурая окраска поверхностного пахотного горизонта при серой или черной в неэродированных почвах; д) наличие на поверхности иллювиального горизонта при отсутствии элювиального
Дефляция	Механическое разрушение почвы под действием ветра	Признаками наличия этого процесса в песках является специфичный дюнный (барханный, бугристый) рельеф, поверхностная эоловая зябь, полное отсутствие почвы. На суглинках – наличие на поверхности эолового пылевого наноса

**УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЧВ  
К ЭКЗОГЕННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ**  
*Учебно-методическое пособие*

*Чупрова Валентина Владимировна*

*Кураченко Наталья Леонидовна*

*Редактор И.В. Пантелеева*

Санитарно-эпидемиологическое заключение № 24.49.04.953.П. 000381.09.03 от 25.09.2003 г.

Подписано в печать 7.11.2018. Формат 60×84/16. Бумага тип. № 1.

Печать – ризограф. Усл. печ. л. 11,0. Тираж 55 экз. Заказ № 264

Редакционно-издательский центр Красноярского государственного аграрного университета  
660017, Красноярск, ул. Ленина, 117

Почвоведение, несомненно имея первенствующее, так сказать, основное значение для сельского хозяйства, вместе с тем остается вполне самостоятельной отраслью естествознания, со своими собственными задачами.

*В. Докучаев*