

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учрежде-
ние
высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

Гаффарова Л.Г., Миникаев Р.В.

**«УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЧВ К АНТРОПОГЕННОМУ
ВОЗДЕЙСТВИЮ»**

**Учебное пособие
для практических занятий и
самостоятельной работы магистров**

Казань, 2021

УДК 631.474
ББК 40.38

Устойчивость почв к антропогенному воздействию: учебное пособие / Л.Г. Гаффарова, Р.В. Миникаев. – Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2021. – 90 с.

Рецензенты:

Кандидат биологических наук, заведующий кафедрой почвоведения ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», доцент Смирнова Е.В.

Доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры растениеводства и плодовоовощеводства Казанского ГАУ Амиров М.Ф.

Учебное пособие по курсу «Устойчивость почв к антропогенному воздействию» предназначено для магистров, аспирантов очного и заочного обучения агрономического факультета по направлениям 35.03.04. профиль «Экология почв и продовольственная безопасность», 06.01.04. профиль «Агрохимия».

Учебное пособие содержит теоретический материал по данному курсу, тематику практических работ, контрольные и тестовые вопросы.

Цель пособия – закрепить теоретические знания и приобрести практические навыки по лекционному курсу «Устойчивость почв к антропогенному воздействию».

© Гаффарова Л.Г., Миникаев Р.В., 2021

© Казанский государственный аграрный университет, 2021

ВВЕДЕНИЕ

Устойчивость почв к антропогенному воздействию приобретает особую актуальность и является компонентом устойчивости биосферы. Устойчивость почвы (consistence) в более узком понимании есть сила сцепления частиц почвы и свидетельствует о сопротивлении почвы деформации или уничтожению. Если почва слабоустойчива, то обработка, в частности, вспашка, может привести к уничтожению структуры, что будет способствовать эрозии почвы и разрушению ее естественного плодородия.

Проблема устойчивости почвы и ее механизмов во многом является новой для традиционного почвоведения. Хотя соответствующие понятия и даже термин "устойчивость почвы и почвенного покрова" и встречаются в литературе, но они относятся скорее к частным вопросам и формам устойчивости, не охватывая проблемы в целом. Традиционная для докучаевского генетического почвоведения концепция почвообразования и его факторов затрагивает в общей форме лишь проблему структурной устойчивости в форме концепции стадии равновесия почв. Функциональная устойчивость по существу не рассматривается, что отражает исторически сложившееся отставание в изучении функционирования почвы в экосистеме и ландшафте. Между тем функциональный аспект проблемы устойчивости и ее механизмов, несомненно, является приоритетным.

Усиление антропогенной нагрузки на экосистемы ставит вопрос и делает актуальной проблему понимания и оценки их устойчивости.

Учебное пособие подготовлено преподавателями кафедры агрохимии и почвоведения Казанского государственного аграрного университета на основании рабочей программы дисциплины, с учетом опыта преподавания на агрономическом факультете и обеспечения своевременной актуализации учебно-методических материалов с учетом требований вступивших в силу федеральных законов и нормативных актов по вопросам сохранения и повышения плодородия земель. Наиболее значимые изменения были внесены на основе двух важнейших нормативных документов:

- ГОСТ Р 57446-2017 «Наилучшие доступные технологии. Рекультивация нарушенных земель и земельных участков. Восстановление биологического разнообразия»;

- Постановление правительства РФ от 10.07.2018 г. № 800 «О проведении рекультивации и консервации земель».

А также с учетом требований профессионального стандарта «Агрохимик-почвовед», утвержденного приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 02.09.2020 г. № 551н. и во исполнение подпункта 2 пункта 4 Решения Президиума Совета законодателей Российской Федерации при Федеральном Собрании Российской Федерации «О мерах по обеспечению плодородия земель сельскохозяйственного назначения» от 18 декабря 2020 г.

1. Проблема устойчивости в естествознании и почвоведении

Почва, как ведущее звено биосферы, во многом определяет ее устойчивость, в частности, очищение от загрязняющих веществ, что обусловлено в значительной мере способностью почвенных микроорганизмов разлагать широкий спектр природных и техногенных загрязнителей. Высокая чувствительность почвенных микроорганизмов даже к низким концентрациям загрязняющих веществ и любым нарушениям в почве позволяет использовать микробиологические характеристики для оценки экологического состояния почвы.

По мнению ведущих ученых [17], устойчивость почв к различным воздействиям определяется способностью микроорганизмов противостоять различным стрессам и возвращаться к нормальному функционированию. Широко применяемым показателем нарушения и мерой устойчивости почвы к воздействиям является величина микробного метаболического коэффициента ($q\text{ CO}_2$), который определяется как отношение базального (фоновое) дыхания почвы к её микробной биомассе ($C_{\text{мик.}}$). По данным Н.Д. Ананьевой (2003), сравнивая величины $q\text{ CO}_2$ нарушенной и ненарушенной (контроль) почвы можно дать оценку различным воздействиям и определить степень нарушения экологического состояния почвы. Нужно заметить, что человеческий фактор занимает главенствующее место, так как он может изменить, сгладить воздействие природного фактора.

Проявление негативных изменений, связанных с воздействием антропогенного фактора, может повлечь за собой снижение почвенного плодородия.

Основной задачей является систематическое воспроизводство почвенного плодородия, получение стабильных урожаев и улучшение баланса питательных веществ с учётом биоклиматического потенциала агроландшафтов.

Первоочередным шагом к реализации, данной целевой программы является более углубленное изучение изменений основных свойств почв под влиянием естественных и антропогенных воздействий. В этой связи важно рассмотреть данную проблему в плоскости консервативности (устойчивости) и изменчивости свойств почв.

Устойчивость почв к химическому загрязнению зависит от ряда параметров, коррелирующих со степенью подвижности и токсичности для живых организмов соединений Al, Fe, Pb, Cu, Cd, Hg, Zn, Ni и Se, а также с опасностью накопления тяжелых металлов на различного рода геохимических барьерах в малоподвижных формах. Важнейшими параметрами, определяющими устойчивость почв к загрязнению, относятся: кислотно-щелочные условия, величина pH, окислительно-восстановительные условия, признаки оглеения, мощность гумусового горизонта (A) и ряд других. Генетические типы почв, обладают разным уровнем эколого-геохимической устойчивости к тяжелым металлам:

- очень низкой устойчивостью характеризуются почвы болотно-подзолистого типа;
- низкую устойчивость проявляют дерново-подзолистые и аллювиальные (пойменные) почвы;
- устойчивостью ниже среднего уровня обладают дерново-глеевые почвы;
- среднюю устойчивость имеют серые лесные почвы;
- устойчивостью выше среднего уровня отличаются дерново-карбонатные почвы и черноземы.

Всесторонняя оценка современной сельскохозяйственной деятельности человека свидетельствует о том, что она превратилась в мощный экологический фактор, влияющий на характер почвообразовательного процесса и подчас необратимо меняющий не только свойства самой почвы, но и сопряженных с ней экосистем в целом. По самым скромным оценкам, значительное ускорение технического прогресса обусловило деградацию более чем 40% мировых запасов сельскохозяйственно пригодных земель. По масштабам последствий данное явление сопоставимо только с глобальными изменениями климата. Интенсивная вспашка, регулярное отторжение урожая и массовое применение средств химизации обусловили серьезные нарушения функций почвы по поддержанию баланса таких важных атмосферных газов как CO_2 , оксиды азота и метан.

В связи с этим одним из основных вопросов современной почвенной экологии становится возможность оценки и прогнозирования изменений, происходящих в целинной почве после ее вовлечения в сельскохозяйственное и промышленное освоение. Для этого необходимо разработать систему критериев, позволяющую судить о степени деградации почвы как природной экосистемы под влиянием антропогенного воздействия. Такие традиционно используемые в настоящее время показатели, как содержание подвижных и валовых форм питательных элементов, уровень кислотности, общая порозность и т.д., а также средние показатели биологической продуктивности, свидетельствуют скорее об уровне эффективного плодородия почвы, а не об экологической стратегии ее трансформации.

Кроме того, весьма актуальным является вопрос поиска критериев, позволяющих оценить эффективность конкретных почвозащитных агротехнологий и используемых для улучшения экологических характеристик почвы различных биологически активных органических субстратов, таких, например, как вермикомпост, органические удобрения и другие биопрепараты.

Важность и пригодность тех или иных биологических индикаторов устойчивости почвы определяется их участием в биологических почвенных процессах, степенью их чувствительности на внешние воздействия и возможностью практического использования.

Чтобы отвечать требованиям универсальности биологические критерии должны обладать следующими свойствами:

1. Быть высокочувствительными и отзывчивыми на внешние воздействия, но при этом реагировать не на сезонные изменения погоды, а на изменения климата и антропогенное воздействие.

2. Хорошо коррелировать с полезными почвенными функциями, такими, например, как деструкция органических отходов и детоксикация ксенобиотиков, подавление патогенных микро- и мезоорганизмов и проч.

3. Быть полезными для пояснения основных процессов в экосистеме. (Известно, например, что продуктивность и экологическая устойчивость почвы хорошо коррелируют. Однако, если продуктивность почвы ниже желаемой, это еще не означает необходимость рекультивации. Биологические индикаторы покажут фермеру, какой должна быть оптимальная продуктивность почвы).

4. Быть понятными и полезными для специалистов-практиков (например, в США и Эквадоре используют показатели обогащенности почвы червями, клещами, нематодами и бактериями, что весьма понятно и просто) и быть простыми в определении, а также недорогими.

В настоящее время изучение условий устойчивого функционирования экосистем является одним из «краеугольных камней» большинства экологических научных школ. При этом в почвенных исследованиях все большее внимание начинают уделять состоянию так называемой «живой фазы» почвы, представляющей собой основу почвы как биокосной системы. Поэтому поиск универсальных микробиологических критериев, позволяющих оценить степень устойчивости агроэкологических функций почвы при различных уровнях антропогенной нагрузки, а также эффективность конкретных почвозащитных технологий, является весьма актуальным и находится в русле важнейших исследований мировой аграрной науки.

1.1. Типы устойчивости почвы

Почва, будучи многокомпонентной и многофазной системой, проявляет устойчивость во многих свойствах. Поэтому могут быть выделены различные типы устойчивости почв [17].

Наиболее показательны и характерны:

- 1) устойчивость поверхности;
- 2) противозерозионная устойчивость;
- 3) геохимическая устойчивость по отношению к кислотным выпадениям, загрязнению тяжелыми металлами и другими продуктами техногенеза;
- 4) биологическая устойчивость – сохранение растительного покрова и почвенной биоты.

В соответствии с основными типами воздействий предложено выделение пяти типов устойчивости почв:

- к механическим воздействиям;
- к гидрологическим воздействиям;
- к химическим и радиохимическим воздействиям;
- к тепловым воздействиям;

– к биологическим воздействиям.

В контексте с изложенным, под устойчивостью понимается свойство почвы как компонента экосистемы сохранять собственные свойства, параметры режимов, соотношение фаз и структурную организацию, зависящее от других компонентов экосистемы (факторов почвообразования).

Способность почвы накапливать результаты внешних воздействий, не изменяя при этом кардинально свою структурно-функциональную организацию и экологические функции в экосистеме, характеризуется понятием пластичность и упругость. Пластичность является одним из механизмов реализации её устойчивости. Вторым механизмом реализации устойчивости почв является их упругость, характеризующая свойство почвы полностью возвращаться в исходное состояние после прекращения внешнего воздействия.

Контрольные вопросы.

1. По мнению ведущих ученых, какими процессами определяется устойчивость почв?
2. Какова основная задача контроля за состоянием почв?
3. Какие параметры устойчивости почв определяют уровень загрязнения?
4. Какие типы почв имеют среднюю устойчивость эколого-геохимической функции?
5. Какие серьезные нарушения функций почв произошли с интенсивным ведением сельскохозяйственного производства?
6. Какими требованиями универсальности должны обладать биологические критерии?
7. Назовите основные типы устойчивости почв.
8. Какие типы воздействия на почву существуют?
9. Какая фаза почвы представляет собой основу почвы как биокосной системы?
10. Какими понятиями характеризуется способность почв накапливать результаты внешних воздействий?

2. Факторы механизма устойчивости

Механизмы, обеспечивающие устойчивость почв к внешним воздействиям, включают:

- многообразие компонентов почвы (разнообразие минеральных компонентов; гумусовых веществ и продуктов их взаимодействия, биоразнообразие внутрипочвенного ценоза), обеспечивающее возможность замены одного компонента другим для выполнения одной и той же функции почвы;
- механическую прочность, упругость, эластичность твердофазных компонентов почвы и структурных связей между ними;
- способность к поглощению веществ и энергии, обеспечиваемая совокупностью физических, химических и биологических явлений (адсорбция, ионный обмен, низкая растворимость многих соединений, активное удержание жи-

выми организмами и др.), которые, в свою очередь, обусловлены гетерополидисперсностью твердых фаз, наличием живых организмов и сложностью порового пространства в почве;

– способность к радиальному и латеральному сбросу и/или транслокации легкорастворимых компонентов; возможность сохранения внешних условий, обеспечивающих активное существование почвенных процессов, поддерживающих, способствующих периодическому обновлению состава, свойств и строения почв.

2.1 Критерии устойчивости почв

Разработка критериев оценки устойчивости почв является весьма важной и сложной задачей, от успешного решения которой зависит успех в управлении устойчивостью почв [17].

Критерии оценки устойчивости почв включают:

- критические значения воздействий, вызывающие разрушение системы или перевод её в необратимо неустойчивое или другое устойчивое состояние;
- параметры системы (инвариант), остающиеся неизменными при различных возмущениях системы;
- параметры динамики основных характеристик;
- критерии устойчивости по Ляпунову, орбитальной, асимптотической и структурной устойчивости на основе математических моделей изучаемых систем;
- критерии, основанные на отборе наиболее чувствительных характеристик почвы к данному виду воздействия;
- критерии, основанные на относительном изменении какого-либо свойства или характеристики почвы.

2.2 Агрофизические критерии оценок почв

Создание целостной концепции воспроизводства почвенного плодородия и систем управления плодородием почв предопределяет выбор критериев и определение их количественных параметров [17]. В области агрофизики почв номенклатура критериев включает:

- плотность почв;
- содержание коллоидной фракции;
- природа коллоидной фракции;
- состояние коллоидной фракции;
- сорбционную емкость коллоидной фракции ацидоидов, базоидов и амфолитоидов;
- содержание водопрочных агрегатов;
- влагоемкость почв;
- водопроницаемость почв;
- удельная поверхность почв;

- общая и внутриагрегатная пористость и т.д.

Совокупность этих параметров при наличии обоснованных количественных лимитов может стать источником построения логико-математических моделей рационального управления плодородием почв в различных природных зонах мира.

2.3 Микроморфологические критерии устойчивости почв

По мнению Турсиной Т.В. (2002), микроморфология может контролировать и предсказывать самые ранние изменения в строении почв, когда другие методы еще не в состоянии фиксировать эти изменения. Устойчивость различных типов почв должна оцениваться по трем главным характеристикам:

1. Характер гумуса – соотношение микроформ гумуса, являющееся результирующей в основном двух факторов – растительности и климата, в меньшей степени – рельефа и породы.

2. Наличие химических (CaCO_3 , CaSO_4 , Fe, некоторые соли) и биологических (клеящие вещества, вырабатываемые почвенной мезофауной) структур, где главную роль играют почвообразующие породы, а второстепенную – климат и растительность.

3. Условия внутрипрофильного дренажа, включающего в себя устойчивость структуры (макро- и микроагрегированность) почвообразующего материала, его водопроницаемость и отсутствие литологических водоупоров. Главная роль здесь принадлежит почвообразующим породам и рельефу.

Одним из критериев оценки устойчивости почв к антропогенному воздействию является показатель биогенности. Критерий определяется количеством микробной биомассы, приходящейся на единицу органического вещества почвы с учетом обогащённости его азотом. Количественный показатель биогенности получают как произведение соотношений микробной массы к массе органического вещества и массы азота органических соединений к их массе. По этому критерию почвы различных природных зон могут быть разделены на три группы [6]:

- почвы с низкой биогенностью при показателе биогенности < 2 ;
- почвы со средней биогенностью $2 - 8$;
- почвы с высокой биогенностью > 8 .

2.3.1. Изменение минералогического состава почв как показатель их устойчивости к антропогенным воздействиям

При характеристике устойчивости почв как открытой системы приходится признавать факт неоднозначного понимания сущностной стороны вопроса в области их минералогии. С одной стороны, сохранение минеральных компонентов твердой фазы на уровне природного статуса рассматривается показателем устойчивости минеральной системы. С другой стороны, предполагается,

что минеральные компоненты по определению должны выполнять функции донора элементов питания растений. Последняя роль может проявляться только при трансформационных превращениях минералов.

Компромиссное решение, сформулированное Чижиковой Н.П. (2002), определяет, что: «разработка концепции устойчивости минералов почв затрагивает проблемы деградации почв при их сельскохозяйственном использовании, поскольку именно изменения минералогического состава почв приводят к ряду негативных явлений в почвах...» [6]. Систематические исследования этой проблемы в широкой географической сети наблюдений позволили Н.П. Чижиковой заключить, что тонкодисперсные минеральные компоненты почв активно реагируют на различные виды антропогенных воздействий, но наибольшее влияние оказывают изменение режима функционирования почв и реакции среды. Изменения минеральной основы почв относятся к категории необратимых.

2.3.2. Устойчивость структурного состояния почв к антропогенным воздействиям

Совершенно очевидно, что каждая почва в той или иной природной зоне имеет свой порог критических значений показателей физических свойств. Устойчивость структурного состояния почв реализуется за счет взаимодействия различных специфических почвенных механизмов (набухание – усадка, замораживание – оттаивание, обработка почвы и внесение органических веществ, воздействие корневых систем растений, жизнедеятельность почвенных организмов, динамика природы и состояния коллоидных систем и их соотношения в формировании полисорбентных свойств и т.д.), определяющих переагрегацию механических элементов и прочность агрегатов и относительную стабильность порового пространства [14].

Посредством определенного набора агротехнологических приемов для каждого конкретного случая можно создать условия для восстановления структурного состояния. Время, необходимое для восстановления, а также вид и объём приемов могут различаться в зависимости от гранулометрического и минералогического состава, количества и качества гумуса, количества и соотношения коллоидов ацидоидной, базоидной или амфолитоидной природы и т.д.

Контрольные вопросы.

1. Назовите механизмы, обеспечивающие устойчивость почв к внешним воздействиям.
2. Назовите основные критерии устойчивости почв.
3. Какие критерии оценок включают агрофизические свойства почв?
4. Какие характеристики устойчивости почв, по мнению Турсиной Т.В. (2002г), можно контролировать, изучая микроморфологию?
5. Назовите основные критерии биогенности почв.
6. К какой категории относится изменение минеральной основы почв?

7. Как связана устойчивость почв минералов и процессы деградации?
8. Какие специфические почвенные механизмы определяют структурное состояние почв?
9. От чего зависит время, затраченное при применении агротехнических приемов, для восстановления структуры почв?
10. Зависят ли критические значения физических свойств почв от природной зоны и типа почв?

3. Устойчивость различных по генезису почв к антропогенным воздействиям

В настоящее время на основе многолетних исследований, проведенных в различных природных зонах, Федоровым А.С. (2002) разработана концепция устойчивости почв к антропогенным воздействиям. В предложенной им концепции под устойчивостью почвы понимается «проявление её протекторной функции, обусловленной как генетическими свойствами, так и материалами, веществами и приемами, используемыми человеком, для сохранения целостности, восстановления взаимосвязей и нормального функционирования в пространстве и во времени биокосной системы и входящих в неё структур различных иерархических уровней» [17].

Устойчивость почв различных природных зон к антропогенным воздействиям в соответствии с концепцией определяется рядом прямых и косвенных факторов. Прямые факторы, определяющиеся достаточно стабильными параметрами (гранулометрический состав, минералогический состав, запасы и тип гумуса, средообразующая биота), характеризуются показателями, связанными с процессами почвообразования, свойствами почв и антропогенной деятельностью. Динамичность природных процессов (кислотность, щелочность, карбонатность, окислительно-восстановительные процессы, содержание подвижных форм элементов и т.д.) определяется прямыми функциональными факторами, к которым принадлежат также и кратковременные, и длительные воздействия человека на почву. Они изменяют устойчивость почв к внешним воздействиям путем внесения удобрений, материалов, обладающих высокой сорбционной способностью, повышающих буферные свойства, биологическую активность и плодородие почв.

К косвенным факторам устойчивости почв в концепции отнесены климат, рельеф и время. Синтез представлений о факторах и параметрах устойчивости почв к антропогенным воздействиям позволил разработать количественные показатели уровней устойчивости.

3.1. Устойчивость структур почвенного покрова

Устойчивость структур почвенного покрова непосредственно связана с воздействием природных и антропогенных факторов. Известно, что почвенный покров той или иной природной зоны имеет различную внутреннюю и внеш-

ную степень устойчивости. Скорость изменений в структуре почвенного покрова (СПП) определяет внутреннюю устойчивость, а способность СПП сохранять свое строение при существующих изменениях факторов – внешнюю устойчивость. Естественная, природная устойчивость, связана с различными изменениями природных факторов и, как правило, стремится к гетерогенезации компонентного состава почвенного покрова. Она приводит к усилению сложности и контрастности, формированию разнообразных структур почвенного покрова. Ассоциации почв в СПП нашей зоны с пестрым почвенным покровом и сложным рельефом весьма многочисленны и изменчивы как по компонентному составу, так и долевого участию каждого компонента. Структуры почвенного покрова на разных уровнях организации обусловлены изменчивостью факторов дифференциации почвенного покрова и разнообразием их комбинаций в пространстве:

1. Ассоциация зональных дерново-подзолистых почв с контурами различной конфигурации и размеров гидроморфных почв переменного уровня гидроморфности пород.
2. Ассоциация зональных дерново-подзолистых почв с контурами дерново-карбонатных почв на элювии.
3. Ассоциация зональных дерново-подзолистых почв с пестроцветными серыми лесными почвами.
4. Ассоциация черноземов с серыми лесными почвами.
5. Ассоциация черноземов смытых со смытыми серыми лесными почвами.
6. Ассоциация черноземов несмытых со смытыми серыми лесными почвами.
7. Ассоциация черноземов смытых с несмытыми серыми лесными почвами.
8. Ассоциация черноземов луговых с болотными почвами.
9. Ассоциация влажно-луговых с болотными почвами.
10. Ассоциация пойменных с болотными почвами и др.

При интегрировании материалов полевых и химических исследований почв и структуры почвенного покрова в нашей зоне оправдана упрощенная схема агропроизводственной группировки агрогенных почв, в основу которой входят параметры, играющие первостепенную роль при агрономической оценке земель: гранулометрический состав, содержание карбонатов и гумуса, глубина залегания карбонатов, мощность гумусового слоя и физическое состояние. В практике картографических и бонитировочных работ оправдывается методический подход к агропроизводственной дифференциации земель, допускающей вариативность их использования в земледелии, пастбищном и лесном хозяйствах.

Техногенная устойчивость, вызванная антропогенными воздействиями на почвенный покров, существенно меняет роль времени как фактора природной устойчивости СПП. Агрогенез, например, приводит к гомогенизации почвенно-

го покрова, особенно на микроуровнях его строения (трансформация комплексов в пятнистости; трансформация сочетаний в вариации и т.д.).

При этом степень внутренней устойчивости СПП резко падает и определяется буферностью отдельных её компонентов на фоне общей трансформации почвенного покрова. В то же время внешняя устойчивость СПП при воздействии антропогенных прессингов обуславливается способностью регенерации как отдельных компонентов, так и структур в целом. Во многом это обуславливается свойствами самих почв, формирующих СПП, их способностью сопротивляться внешним воздействиям и быстро восстанавливаться.

В.П. Белобров отмечает, что такую особенность имеют структуры литогенного генезиса (мозаики и ташеты), которым присуща не только наибольшая устойчивость, но и её возрастание при усилении литогенной пятнистости [6].

В агрогенных почвах в условиях интенсивного земледелия происходят сильные изменения и в биологии, и в химизме почвы. Между тем ряд исследователей отмечают негативное воздействие высоких доз минеральных удобрений на качество производимой продукции и на экологию, особенно на биологическую активность и микробиологию почвы. Отмеченное, обуславливает актуальность исследований в этом направлении. Особенно важны длительные наблюдения за пищевым режимом, микробиологией и биологией почвы в условиях стационарных полевых опытов как в целях мониторинга плодородия почв, сохранения устойчивости почв, так и получения высокой и экологически чистой сельскохозяйственной продукции.

Контрольные вопросы.

1. Кто разработал концепцию устойчивости почв к антропогенным воздействиям в различных природных зонах?
2. Назовите прямые факторы устойчивости почв в различных природных зонах.
3. Какие факторы устойчивости почв относятся к косвенным?
4. Какую степень устойчивости имеет почвенный покров?
5. К чему природная устойчивость почвенного покрова?
6. Чем обусловлена изменчивость факторов дифференциации почвенного покрова и разнообразием их комбинаций в пространстве?
7. Назовите параметры при агрономической оценке земель.
8. К чему приводит агрогенез в структуре почвенного покрова?
9. Что обеспечивает внешняя устойчивость структуры почвенного покрова при воздействии антропогенного фактора?
10. Какие изменения происходят в антропогенных почвах при интенсивном земледелии?

4. Деградация почвенного покрова

Деградация почв зависит от внешних, воздействующих на нее природных и антропогенных факторов. Деградация почв может возникать за счет резкого

изменения естественных потоков вещества и энергии в системе «почва - окружающая среда». В конечном итоге, деградация наступает при превышении буферной емкости почв и ландшафтов по степени распашки территории, ее застройки, использовании для технических нужд, по уровню антропогенного воздействия веществом и энергией [6].

Окультуривание почв, как правило, приводит к нарушению в них естественных взаимосвязей, к увеличению неравновесности состояния, что может поддерживаться только за счет постоянного притока в систему вещества, энергии и информации. Наиболее важными причинами деградации окультуренных почв являются: осушение, орошение, подтопление, засоление, осолонцевание, уплотнение почв, их опустынивание, подкисление, загрязнение, механическое разрушение, проявление различных видов эрозии, почвоутомление, неправильное внесение удобрений и мелиорантов, обеднение почв, подзолообразование, осолодение и т.д.

Ряд авторов предлагает группировку видов деградации. Габбасова И.М. (2001) выделяет три основных причины деградации почв: эрозионную, гидрологическую, химическую. С практической точки зрения, рационально рассматривать деградацию почв под влиянием растений (технологий выращивания и самих растений), выращивания животных; под влиянием продуктов отхода растениеводства, животноводства; под влиянием отходов промышленности, при строительстве; под влиянием загрязнения среды, под влиянием естественных и антропогенных гидрологических условий территории. При этом деградация может быть обусловлена превышением допустимых нагрузок на экосистему при правильном природопользовании; несовершенством существующих технологий; нарушением существующих технологий, авариями [1].

На развитие деградационных процессов в значительной степени влияют внешние факторы. Гравитационные, магнитные, электрические поля Земли, геопатогенные зоны в значительной степени определяют биопродуктивность, а следовательно, и устойчивость почв к деградации. Так, например, наличие разломов земной коры соответствует накоплению на поверхности токсикантов, что снижает биопродуктивность и способствует развитию деградационных процессов. Локальное изменение гравитационного поля, обусловленное залежами полезных ископаемых, изменяет и рост корневых систем растений. Это приводит и к изменению устойчивости растений к засухе. Изменение устойчивости к деградации растительного покрова – есть причина изменения устойчивости к деградации почв. Геохимические провинции также в значительной степени влияют на устойчивость почв к деградации. Повышенное содержание цинка, селена и ряда других микроэлементов способствует устойчивости растений к засухе, что снижает риск деградации.

4.1. Параметры оценки деградации почв

Следует различать деградацию почв как средства сельскохозяйственного производства, лесного хозяйства, геохимического барьера, компонента биогеоценозов и агрофитоценозов. Деградация почв может приводить к деградации их свойств, процессов, режимов саморегулирования и саморазвития. С экологической точки зрения, деградация почв может приводить к деградации различных экологических функций почв. При этом деградация одной функции почв не обязательно соответствует деградации других функций. В то же время, каждая экологическая функция почв определяется значительным количеством свойств почв и, в более широком плане, процессов и режимов.

Габбасовой И.М. (2001) предлагается выделить следующих параметров, характеризующих развитие деградации почв: 1) совмещенность типов деградации (число типов и видов деградации, протекающих одновременно); 2) интенсивность нагрузки – давление, которое оказывает конкретный фактор деградации в единицу времени на единицу площади; 3) скорость деградации – величина изменений в единицу времени (на разных уровнях деградации); 4) обратимость деградации – возможность восстановления утраченных в процессе деградации свойств почв, характерных для данного генетического типа или восстановления плодородия; 5) устойчивость почв к деградации – способность почв противостоять внешним воздействиям (неравные исходные функциональные возможности и конкретные свойства генетически разных почв определяют их неодинаковую устойчивость к одному и тому же типу или виду деградации); 6) степень деградации – степень отклонения параметров от аналогичной недеградированной почвы или удаленность от оптимальных показателей, характерных для ненарушенных почв[1].

Деградация почв сопровождается уменьшением их биопродуктивности. Это приводит к уменьшению содержания в почвах гумуса. В связи с тем, что микроорганизмы менее энергично разлагают ароматические группировки гумуса, в почве увеличивается их доля, а также доля инертного гумуса; увеличивается его термоустойчивость, отношение С:Н. Протекание этих процессов приводит к уменьшению комплексобразующей способности органического вещества, его биологической активности, структурообразующей способности, емкости поглощения, протекторной функции. Для окультуренных почв степень их деградации коррелирует с развитием почвообразовательных процессов: подзолообразования, оглеения, засоления, осолонцевания, осолодения. В то же время деградация почв пропорциональна развитию таких почвенных процессов, как эрозия, уплотнение, подкисление, загрязнение и т.д. При оценке степени деградации почв необходимо оценивать степень деградации горизонтов, профиля почв, катены, ландшафта, агрофитоценоза, степень изменения свойств почв, процессов, режимов.

Совместное влияние на почву нескольких факторов деградации.

Как правило, на почву действует одновременно несколько факторов внешней среды. Они действуют на различные экологические функции почв. Развитие деградации одного компонента экосистемы тесно связано с деграда-

цией других компонентов. В связи с этим, приходится оценивать устойчивость к деградации рельефа, растительности, почв, пород. При слабой устойчивости к деградации одного из компонентов системы, вся совокупность является также неустойчивой. Этот принцип правилен при оценке деградации отдельных свойств почв. Во всех рассмотренных случаях отмечается аддитивное взаимодействие, синергизм и антагонизм взаимного влияния компонентов экосистемы, внешних факторов, свойств, процессов и режимов почв.

Устойчивость почв к деградации под влиянием даже одного фактора зависит от сочетания и взаимовлияния протекающих процессов. Так, деградация почв под влиянием подкисления зависит не только от рКа функциональных групп мигрирующих соединений, но и от количества этих соединений, от их комплексообразующей способности и, в том числе, от констант устойчивости образующихся комплексов. Этим объясняется значительно более сильное разрушающее влияние на почву фульвокислот, по сравнению с минеральными кислотами, при тех же значениях рН и концентрациях.

В исследованиях, проведенных на дерново-подзолистых и торфяно-перегнойно-глеевых почвах, установлено, что устойчивость почв к загрязнению тяжелыми металлами уменьшается при подкислении почв и развитии анаэробно-биозиса. В то же время, устойчивость почв к оглеению и подкислению, в ряде случаев возрастала в определенном интервале загрязнения почв, в связи с ингибированием кислотообразующих и анаэробных микроорганизмов.

Следует отметить, что резкое изменение внешних факторов формирования почв (орошение, осушение и т.д.) приводит к увеличению степени неравновесности состояния почв к увеличению податливости их к различным деградационным процессам. Интенсивное воздействие на почву любых антропогенных факторов приводит к увеличению степени неравновесности ее состояния. При наличии при этом деградационных факторов происходит резкое увеличение деградации почв. Интенсивность данных процессов сохраняется и после прекращения действия на почву факторов почвообразования.

4.2. Этапы деградации

Деградация системы проходит последовательно несколько этапов: 1) уменьшение адекватности ответной реакции системы на внешние воздействия; 2) уменьшение энергетической эффективности использования ФАР и антропогенно затраченной энергии; 3) изменение структурных взаимосвязей в системе; 4) изменение вещественного состава; 4) изменение процессов саморазвития и саморегуляции. Для почв и биоты в процессе деградации характерно упрощение системы и потеря ей энергии и информации. При интенсивной деградации все более упрощается и сокращается матричная функция почв и ее компонентов. Произведенное резкое изменение свойств, процессов и режимов почв уменьшает устойчивость почв к последующим воздействиям. При развитии процессов деградации всегда сначала возникают локальные очаги деградации [1]. Если их вовремя установить, то проще устранить нежелательные процессы.

На разных этапах деградации система в неодинаковой степени способна противостоять внешним воздействиям. Сначала устойчивость велика, а затем снижается, и при почти полной деградации дополнительные внешние воздействия снова менее эффективны.

4.3. Устойчивость почв к деградации

Экологическая устойчивость почв к антропогенным нагрузкам – это способность почвы сохранять свои экологические функции при антропогенных воздействиях. Очевидно, что эта способность отмечается как для отдельных почв, так и для разных экологических функций, для отдельных воздействующих на почву факторов.

а) Устойчивость почв к антропогенному воздействию определяется устойчивостью к деградации всех компонентов экологической системы (рельефа, растительности, биоты, почвообразующих пород). При слабой устойчивости к деградации одного из компонентов экосистемы равновесие и в других компонентах нарушается. Деградация почв приводит к деградации рельефа и растительности, однако, существует и обратная зависимость.

б) Устойчивость к отдельным типам деградации (подкислению, засолению, эрозии и т.д.) даже у одной почвы различна. Почва может быть устойчива к вытаптыванию, но неустойчива к загрязнению и т.д.

в) При воздействии на систему внешних факторов, как правило, на одни свойства или параметры системы они действуют положительно, на другие отрицательно, то есть при деградации одних показателей системы (почв) деградация других свойств необязательна.

г) В одних интервалах воздействующего фактора почва может быть устойчива к нему, а в других интервалах неустойчива. При подкислении почв это определяется количеством в почве функциональных групп с определенной величиной pK_a ; при оглеении почв это определяется количеством в почве соединений с определенной степенью окисленности. То есть буферность почв неодинакова в разных интервалах pH и в разных интервалах Eh . Если почва обладает большой буферностью в одном интервале Eh , то это не значит, что она будет обладать большой буферностью и в других интервалах ОВП.

д) При антропогенном воздействии выше порога буферности по отдельным параметрам (степень распашки территории, уменьшение биоразнообразия, степень открытости системы, загрязнение и т.д.) начинают развиваться самоускоряющиеся процессы деградации системы.

е) Устойчивость почв к деградации зависит от состояния системы и ее свойств. На разных стадиях деградационного процесса устойчивость к дальнейшей деградации разная. В определенные (конкретные) фазы развития почв устойчивость к деградации отличается (она меньше для молодых почв и на ранней фазе их развития). Устойчивость к деградации зависит от времени жизни объекта. Устойчивость к деградации зависит от скорости процессов в объекте.

Устойчивость систем к деградации зависит от ряда факторов: 1) от устойчивости к воздействию каждого компонента системы; 2) от вида воздействия; 3) от интервалов воздействия; 4) от продолжительности воздействия; 5) от уже достигнутой фазы деградации системы и каждого ее компонента; 6) от сочетания стрессовых воздействий и действия на систему других физических полей; 6) от проявившихся процессов гистерезиса и памяти.

При оценке факторов, влияющих на деградацию почв, необходимо учитывать не только их интенсивность, но также продолжительность воздействия, градиент и закономерную смену во времени и в пространстве. Так, например, Габбасовой И.М. (2001) показано, что с увеличением степени эродированности во всех генетических типах почв лесостепной зоны возрастает удельная поверхность почв и выделенного из них ила, что обеспечивает повышение устойчивости почв при переходе от слабой к средней и от средней к сильной степени эродированности. Зайдельманом Ф.Р. (1992) показано, что, если сильно заболоченные минеральные почвы после осушения оказываются в обстановке застойно-промывного режима, то в них развивается интенсивный вынос щелочноземельных катионов, ила, сильное подкисление, уменьшение содержания несиликатного и валового железа, алюминия, увеличение содержания их подвижных форм, т.е. вторичное заболачивание вызывает интенсивное оподзоливание и глубокую деградацию почв[14].

Разная устойчивость почв к деградации в зависимости от сочетания внешних и внутренних условий определяет и разные предельно допустимые уровни воздействия на конкретные почвы в определенных условиях. Так, например, предельно допустимая концентрация тяжелых металлов в почвах определяется не их валовым содержанием, а активностью водорастворимых форм соединений. При этом активность зависит от прочности связи ионов с твердой фазой и с другими ионами в растворе. Она определяется эффективными произведениями растворимости осадков, эффективными константами нестойкости комплексов и эффективными константами ионного обмена в системе твердая фаза – раствор. Эти показатели зависят от рН и Eh среды, ионной силы раствора, его комплексообразующей способности. При образовании в растворе комплексов предельно допустимые концентрации зависят от знака и плотности их заряда, молекулярной массы. Величина предельно допустимых концентраций тяжелых металлов в почвах возрастает с увеличением рН, с увеличением емкости обмена катионов, с утяжелением гранулометрического состава, с увеличением прочности связи этих катионов с твердой фазой, с уменьшением скорости их перехода из твердой фазы в раствор, с увеличением доли минералов групп монтмориллонита и вермикулита.

Деградация агрофитоценозов в значительной степени зависит от устойчивости к деградации растительного покрова. Эволюцией экосистем движет противоречие, порожденное существованием двух противоположных процессов (между постоянно изменяющимися условиями среды и наследственностью живых систем) – абиотического энтропийного и биотического неэнтропийного.

Агрофитоценозы отличаются от естественных ценозов ограниченностью видо-вого разнообразия и, часто, недостаточной адаптацией растений к факторам внешней среды, в которую они помещены. Уменьшение биологической продуктивности является также следствием уменьшения биоразнообразия и появления в напочвенном покрове резко ограниченного числа видов с ограниченными адаптационными возможностями к условиям среды. Это приводит к уменьшению устойчивости и надежности системы. Устойчивость к деградации растительного покрова, в отличие от устойчивости к деградации почв, имеет ряд специфических особенностей.

4.4. Обратимость деградационных изменений почв

Обратимость деградационных изменений почв зависит от степени их деградации, от вида деградации, от буферных свойств конкретных почв, агрофитоценозов, ландшафтов; от внешних условий, от проявления других видов деградации. Выделяют пять категорий степени обратимости деградации почв: 1) легкая степень обратимости, требующая простейших агротехнических мероприятий или снятия определенной нагрузки; 2) средняя степень обратимости, требующая специальных, более дорогостоящих мероприятий, существенной смены характера использования почвы; 3) затрудненная обратимость, при которой необходимо проведение комплекса сложных и длительных рекультивационных мероприятий, строительство капитальных сооружений, и даже принципиальная смена системы использования почвы не всегда возможна; 4) тяжелая степень обратимости, при которой восстановить свойства исходной почвы невозможно, но можно создать искусственную почву, обладающую плодородием; 5) необратимая деградация почв [1].

При сельскохозяйственном использовании деградация отмечается, в большей степени, в том случае, когда сначала почва окультурена, внутренние связи в ней и связи с другими компонентами экосистемы нарушены, а затем поддержка плодородия на новом уровне, за счет внесения вещества и энергии, прекращается. Задача состоит как в замедлении процессов деградации, так и в поддержании новых условий поступления вещества и энергии в систему с целью ее приближения к новым условиям термодинамического равновесия. Для оптимизации экологической обстановки при деградации почв более эффективно изменять причину, а не следствие. Однако, первопричины деградации, в большинстве случаев, зависят от уровня ведения производства, и их устранить сложно. В этом случае стараются изменить следствие более высокой иерархической подчиненности, которое само является причиной многих последовательных деградационных изменений почв.

Возможны и другие варианты оптимизации обстановки: 1) компенсирование деградационного воздействия другими воздействиями; 2) увеличение буферности почв к деградации – связывая образующиеся токсичные продукты, увеличивая буферную емкость почв; 3) увеличение самовосстанавливающей способности почв, активизируя соответствующие функции (разные для опреде-

ленных видов и степеней загрязнения и т.д.); 4) усиление сопротивляемости почв сопутствующим видам деградации, т.к. чаще деградация под влиянием одного фактора усиливает деградацию под влиянием другого фактора; 5) усиление сопротивляемости деградации других компонентов экосистемы (рельефа, пород, растительности).

Суть восстановления загрязненных экосистем – максимальная мобилизация внутренних ресурсов экосистемы на восстановление своих первоначальных функций. Самовосстановление и рекультивация представляют собой неразрывный биогеохимический процесс [6]. В ряде случаев, если один параметр системы «почва-растение» выходит за рамки оптимума, то для его регулирования можно использовать оптимизацию других свойств почв.

Контрольные вопросы

1. Какие причины приводят к деградации почв?
2. Что происходит с естественными взаимосвязями в почве при окультуривании?
3. По мнению Габбасовой И.М. какие три основные причины деградации почв?
4. Какие внешние факторы влияют на развитие деградационных процессов?
5. Какие параметры характеризуют деградацию почв?
6. Какие факторы учитываются при оценке деградации почв?
7. Какие изменения происходят с почвенным органическим веществом при деградации почв?
8. Назовите основные этапы деградации.
9. Какими факторами определяются устойчивость систем?
10. Назовите 5 категорий обратимости степени деградации.

5. Изменение показателей кислотно-основных свойств почвы под влиянием длительного применения удобрений

Систематическое применение обоснованных доз макроудобрений являются основой повышения величины урожаев и плодородия почв. Однако как предостерегал академик Д.Н. Прянишников (1945) “никакой избыток удобрений не сможет заменить недостаток агрохимических знаний”. В то же время известно, что интенсивное применение макроудобрений оказывает весьма разноплановое влияние на химизм почвы, на метаболизм отдельных элементов питания растений, на ее свойства, в т.ч. и на поглотительные её свойства, содержание поглощенных оснований, на её кислотность и т.д. Это обстоятельство касается как макро-, так и микроэлементов и кислотности почв. Поэтому необходимо разностороннее изучение эффективности удобрений [10, 11].

Хотя в последние годы применение удобрений и резко упало, но без удобрений невозможно обеспечить продовольственную безопасность страны,

поэтому вопросы применения удобрений в широком плане и сохранения плодородия почвы будут всегда актуальны.

В связи с этим особое значение приобретают исследования роли удобрений в формировании конечного урожая, а также плодородия почв, в особенности влияние их при интенсивном применении на поглотительные свойства почв, на катионный состав ППК и в целом на их статические показатели плодородия. Как пишет Ф.И.Козловский (2003), в настоящее время длительные полевые опыты рассматриваются как объекты «эталонных» исследований в решении наиболее сложных генетико-географических проблем эволюции почв при их сельскохозяйственном использовании.

В настоящее время почвы агроландшафтов, особенно пахотных угодий в условиях интенсивного земледелия, испытывают большую антропогенную нагрузку и устойчивость их к этим воздействиям неодинаково. При этом важно установить какие показатели и компоненты устойчивости и какие параметры как сильно изменяются, чтобы почва как естественно-историческое тело не потеряло своих свойств, не деградировала.

Емкость поглощения и состав обменных катионов почвы, отражая весь ход почвообразовательного процесса, в то же время ярко характеризуют свойства почвы. К.К. Гедройц (1955) положил именно этот признак почвы — качество и количество ее обменных катионов — в основу своей почвенной классификации.

Емкость поглощения почвы складывается из емкости поглощения её минеральных и органических коллоидов. В разных почвах органические коллоиды неодинаково участвуют в поглощении катионов [11, 15].

Чем больше гумуса в данном горизонте почвы, тем больший % от общей емкости поглощения связан с органическими коллоидами. Существует определенная связь между содержанием гумуса в почве и емкостью поглощения [2,15].

Количество и состав минеральных коллоидов в почве чрезвычайно разнообразны, и потому связь между емкостью поглощения и содержанием минеральных коллоидов не всегда тесная [6] .

Почвы, которые содержат мало илистой фракции, легкие по механическому составу, имеют малую емкость поглощения по сравнению с тяжелыми глинистыми. Обработка, внесение органических и минеральных удобрений, культура тех или иных растений — все это отражается на содержании обменных катионов почв, их количестве и составе. В некоторых случаях возникающие изменения являются благоприятными в смысле их влияния на плодородие почв (накопление Са удаление Na), и может быть отрицательное действие (потери Са, накопление H^+ иона) [15].

Изменения в составе поглощенных катионов и в величине емкости поглощения почв под влиянием с/х культур проявляются в разной степени на почвах различной степени окультуренности [14].

Под культурой растений в агроценозе мы видим еще большое увеличение содержания обменного кальция в почве, оно достигнет максимума при культуре клевера, который своей глубоко идущей корневой системой извлекает кальций из нижних горизонтов почвы и обогащает им верхние горизонты.

Минеральные удобрения и навоз способствует увеличению содержания обменного кальция при культуре с/х растений. Важную роль играет унавоживание в поддержании и повышении количества обменных катионов в почве. Окультуренные почвы, испытавшие на себе длительное действие навоза, обычно отличаются более высоким содержанием обменных оснований (Ca, Mg) и меньшим содержанием H^+ (Al) по сравнению с аналогичными или по почвенной классификации неокulturенными почвами [15].

Помимо унавоживания и применения других органических удобрений (торф, компост), а также извести и гипса, накоплению обменных катионов в верхних горизонтах почвы содействуют культуры растений, способных использовать катионы из нижних горизонтов [7].

Почвенные обменные катионы определяют во многом свойства почвы, оказывают также и непосредственное влияние на растения. Вопросу о взаимоотношениях между растениями и обменными катионами посвящено большое число работ. Начало им положил К.К. Гедройц.

Он выяснил отношение растений к различным катионам, когда эти катионы полностью насыщают почву.

С этой целью почвы обрабатывались солями различных катионов, до полного насыщения: избыток солей отмывался водой, почвой набивались сосуды, вносились полные удобрения (N, P, K, Mg, S) и производился посев растений.

1. При полном насыщении почвы Ca растения развиваются также хорошо и даже несколько лучше, чем на неизменном черноземе. Стоит отметить, что подобный же результат был получен Гедройцем и в опыте, где не вносились никакие удобрения. В этом случае хорошее развитие овса заставляет делать предположение, что овес может мириться с отсутствием обменных Mg и K, используя, очевидно Mg и K фиксированные (необменные) или даже находившиеся в кристаллической решетке минералов.

2. При почве насыщенной Mg урожай получен почти такой же, как и на почве, насыщенной кальцием.

3. Все остальные катионы давали минимальный урожай, причиной чему является их ядовитость или резко кислая реакция (в случае H^+ иона). Может, отрицательное действие на урожай оказывало также отсутствие кальция в доступном растениям состоянии.

4. При внесении $CaCO_3$ в некоторых случаях урожай повышаются. Особенно высокий урожай при внесении $CaCO_3$ получается на почве ненасыщенной (H^+): это и понятно – кислая реакция почвы нейтрализуется, Ca присутствует, следовательно, есть все условия для развития растений.

Гедройц подразделил все катионы на 3 группы. К 1-й группе относятся те катионы, при насыщении которыми почвы полностью обеспечивают урожай растений. К ним относятся кальций и стронций. Кальций представляет собой единственный катион, который насыщая почву, создает для растений вполне благоприятные условия.

Вторая группа катионов включает Mg^{2+} , Mn^{2+} , F^{2+} , Al^{3+} и H^+ . При полном насыщении ими растения гибнут, но внесение $CaCO_3$, в той или иной мере сохраняет урожай.

В третью группу входят катионы, обладающие ядовитыми свойствами по отношению к растениям и внесение $CaCO_3$ в этом случае бесполезно. Сюда входит NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ba^{2+} . Они вредны прежде всего из-за высокой щелочности среды.

Из приведенных опытов следует, что полное насыщение почвы кальцием является наиболее желательным с точки зрения создания условий, тем более, что и физические свойства почвы при насыщении ее кальцием оптимальны [Гедройц, 1955]. 100 %-е насыщение почвы кальцием не должно быть конечной целью всякого рода химической мелиорации. Невозможно признать оптимальным полное насыщение почвы кальцием, т.к. ряд растений при этом будет страдать от недостатка Mg. Этим объясняются некоторые случаи отрицательного действия больших доз извести $CaCO_3$. Оно может быть исправлено внесением доломита ($CaCO_3 + MgCO_3$), вместо углекислой извести ($CaCO_3$) [15].

Гедройц считает идеальной почву, имеющую следующий состав обменных катионов: Ca – 65%, Mg – 10%, K – 5 %, H – 20%.

Оно конечно не действительно соответствует идеальному соотношению во всех случаях климата и культур, но в общих чертах отражает целесообразный состав обменных катионов.

Желательно еще присутствие на поверхности коллоидов очень малых доз катионов — микроэлементов, таких как Mn, Cu, Co, Zn, Ni и др [19].

В условиях интенсивного земледелия в агроценозах наблюдается ухудшение поглотительных свойств почв, что связано с потерей органических и минеральных коллоидов в результате эрозии и дегумификации. Ежегодные потери кальция составляют около 100 кг/га [Нуриев, 2009].

5.1. Почвенная кислотность и факторы ее формирования

В зависимости от соотношения между концентрациями водородных и гидроксильных ионов в почвенном растворе почвы могут иметь нейтральную, кислую или щелочную реакцию, которая обозначается символом pH. Нейтральная или близкая к нейтральной реакция характерна для большей части черноземных почв. Кислую и сильно кислую реакцию имеют преимущественно лесные и некоторые болотные почвы. Сильнощелочная реакция характерна для солонцов и слабощелочная – для карбонатных почв [7].

Почвы с кислой реакцией широко распространены преимущественно в северных зонах с влажным климатом, где они образовались в основном на кислых, бескарбонатных породах. На значительных площадях почв с кислой реакцией возделываются ценные сельскохозяйственные культуры – зерновые, фуражные, овощные, плодовые и технические. Однако развитие некоторых культур и полезных микроорганизмов угнетается рядом отрицательных свойств почвы, особенно – сильнокислых. Известно, что при кислой реакции увеличивается растворимость соединений Al, Mn, Fe, Cu и Zn. При сильнокислой реакции в почве создаются условия для образования высоких концентраций растворимых и подвижных форм H, Al, Mn, Fe, Cu и Zn, которые угнетают растительность и полезную микрофлору.

Для сельскохозяйственного производства большое значение имеет объяснение сущности и причин почвенной кислотности и подвижности Al, Mn, Fe, Cu и Zn в почвах. Результаты недавних исследований показали, что высокая концентрация H в почве не всегда оказывает прямое вредное воздействие на растения [19].

Достижения в области органической химии, например, представления о хелатировании металлов, помогают глубже понять процессы передвижения элементов в почве и овладеть методами их исследования и управления. Как растворимость и подвижность, так и проявление токсичности по отношению к растениям в значительной степени зависят от того, в какой форме находятся Al, Mn, Fe, Cu и Zn в почвах [19].

5.2. Влияние факторов почвообразования на кислотность почв

Сочетание факторов, в результате взаимодействия которых образовались почвы, в каждой физико-географической обстановке было различно. Этим определялось течение почвообразовательных процессов в прошлом, и от этого зависят элементарные процессы, определяющие ход современного почвообразования. Содержание подвижных соединений H, Al, Mn, Fe, Cu и Zn также зависит от условий почвообразования [6].

Почвообразующая порода играет важную роль в формировании состава и химических свойств почвы, в том числе и её кислотности. Почвы которые образовались на карбонатных породах (лёсс, известняки, мергелистые, глины и др.), характеризуются преимущественно слабощелочной, нейтральной или слабокислой реакцией. В условиях продолжительного и очень сильного переувлажнения некоторые кислые почвы, несмотря на то, что они сформированы из карбонатных почвообразующих пород, могут обладать сильнокислой реакцией [10].

При развитии эрозии кислотность пахотных горизонтов некоторых почв, образовавшихся на карбонатных породах, может уменьшиться из-за выхода к поверхности более глубоко залегающих карбонатных горизонтов. Кислотность в почвах, располагающихся в нижних частях склонов, может понизиться из-за

воздействия вод, обогащенных бикарбонатами, которые стекают с верхней части склона, где карбонаты «вышли» на поверхность.

В кислых почвах, сформировавшихся на почвообразующих породах с высоким содержанием соединений никеля, хрома и цинка, могут присутствовать токсичные количества Ni, Cr и Zn [10].

Климат играет важную роль при формировании кислых почв. Обычно сильно- и очень сильнокислые почвы образуются в северных климатических зонах, где они интенсивно и глубоко промываются и где в сочетании с низкими температурами и воздействием хвойной лесной растительности при разложении растительных остатков создаются условия для образования большого количества кислых продуктов. Накопление в почве органических кислот и реакционноспособных фульвокислот способствует не только формированию в ней горизонтов с сильнокислой реакцией, но и разложению части минеральных веществ, в результате чего образуются оподзоленные почвы.

Многими авторами установлено, что при оподзоливании из-за разрушения первичных и глинистых минералов в почве быстро высвобождается Al. Одна его часть переходит в обменное состояние, другая – мигрирует в иллювиальный горизонт в форме хелатных соединений. В подзолистых почвах создаются условия для накопления больших количеств обменного H и Al [7]. При переувлажнении образуются большие количества фульвокислот и низкомолекулярных гуминовых кислот, Fe трехвалентный восстанавливается до Fe двухвалентного, а при последующем высыхании появляются сильные кислоты, которые разрушают часть минеральных соединений почвы. Установлено, что динамика растворимости соединений марганца и железа зависит от степени увлажнения почвы. В переувлажненных почвах в результате восстановления Mn и железа возникает высокая концентрация подвижных соединений Mn и Fe [7].

Рельеф как фактор, от которого зависит распределение влаги и температуры в почвах, также имеет определённое значение для формирования кислотных свойств почвы. При прочих равных условиях северные склоны сильнее увлажняются и имеют более низкую температуру, чем южные.

Рельеф имеет большое значение в случае формирования почв на ровных, не имеющих стока участках, где создаётся условия для длительного переувлажнения и оглеения почв. Оглеение и связанные с ним восстановительные процессы могут послужить причиной образования больших количеств подвижного Mn и Fe, однако на соседних участках с тем же типом почвы, но не оглеенных в связи с лучшей дренированностью, этого не происходит.

Действие различных сочетаний природных почвообразующих факторов на каждом конкретном участке создаёт разные условия, по мнению Палавеева (1981). В результате развиваются почвы с различной реакцией и неодинаковой потенциальной возможностью для образования подвижных соединений H, Al, Mn и Fe.

В настоящее время в агроценозах под влиянием интенсивного применения удобрений, особенно физиологически кислых, происходит подкисление почв [10].

Химический состав почвы в процессе сельскохозяйственного использования под влиянием антропогенных воздействий претерпевает значительные изменения в пространстве и во времени.

5.3. Динамика содержания поглощенных оснований

Очень сильные изменения в режиме поглощенных оснований происходят при интенсивном применении высоких норм азотных и калийных удобрений. Так на высоких фонах калийного удобрения 200 кг/га при различной обеспеченности азотом (N_{60} , N_{120} , N_{180}) произошло снижение суммы поглощенных оснований соответственно на 2,2-3,5 мг-экв. на 100 г. почвы.

Снижение содержания поглощенных оснований связано с повышенным выносом их урожаями с.-х. культур, т.к. улучшение условий питания способствовало росту урожая, и с другой стороны, вымыванием их в более нижние горизонты почвенного профиля. Из-за трудоемкости мы не смогли охватить все варианты опыта профильным изучением динамики поглощенных оснований. Для подтверждения отмеченного приводим профильное содержание поглощенных оснований в почве лишь для 2-х вариантов опыта (табл.1).

Таблица 1. Динамика поглощенных оснований в профиле серой лесной почве под влиянием удобрений.

Вариант	Горизонт и глубина, см	Сумма поглощенных оснований, мг/экв на 100г почвы
1. Без удобрений	A_{II} 0-25	23,0
	A_1A_2 25-31	18,0
	B_1 31-46	19,8
	B_2 46-80	20,5
2. N_{120} P_{50-70} K_{200}	A_{II} 0-25	20,0
	A_1A_2 25-30	17,0
	B_1 30-45	20,0
	B_2 45-85	21,6

Как видно из данных таблицы 2,3, в варианте с удобрениями количество поглощенных оснований в пахотном слое и в подпахотном горизонте заметно снижается, а вниз по профилю несколько повышается по сравнению с вариантом без удобрений. Так, в горизонте B_2 почвы варианта без удобрений их количество составляет 20,5 , а в варианте с удобрениями 21,6 мг-экв., т.е. в иллювиальных горизонтах почвы под действием длительного применения высоких доз удобрений происходит вымывание оснований.

Вытеснение поглощенных оснований из почвенно-поглощенного комплекса (ППК) почвы, а, следовательно обеднение ее кальцием и магнием под действием удобрений отмечают и другие исследователи [10, 13] и происходит оно следующим образом.

Таблица 2. Динамика поглощенных оснований в серой лесной почве под влиянием удобрений

Варианты	Поглощенные основания	
	мг-экв на 100 г	Изменение
I блок		
Исходное содержание		-
1. Контроль без удобр	22,9	-0,5
2. NP- фон	22,4	-1,2
3. фон + KCl	21,7	-1,5
5. фон + KCl+Zn	21,4	-1,5
6. фон + KCl+Cu	21,4	-1,6
8. фон + KCl+B	21,3	-1,5
9. фон+калийная соль	21,4	-1,4
10. фон +K ₂ SO ₄	21,5	
среднее	21,0	-1,9

Аналогичное действие оказывает и мочевины. Мочевина в почве довольно быстро разлагается до аммиака и CO₂.

Аммиак подобно калию вытесняет из ППК кальция и магния и поглощенного водорода, что ведет и к подкислению реакции почвенной среды, о чем будет сказано ниже.

Таблица 3. Динамика содержания поглощенных оснований под влиянием длительного применения возрастающих норм калийных и азотных удобрений.

Варианты	Поглощенные основания	
	мг-экв на 100 г	Изменение к контролю

II блок		
Исходное. содержание	22,6	-
1. Контроль	22,0	-0,6
2. N ₆₀ P – фон	21,5	-1,1
3. фон + K ₄₀	21,3	-1,3
4. фон + K ₈₀	21,4	-1,2
5. фон + K ₁₂₀	20,9	-1,7
7. фон + K ₂₀₀	20,4	-2,2
III блок		
Исходное содержание	22,5	
1. Контроль	22,0	-0,5
2. N ₁₂₀ P – фон	21,2	- 1,3
3. фон + K ₄₀	21,0	-1,5
4. фон + K ₈₀	20,9	-1,6
5. фон + K ₁₂₀	20,7	-1,8
7. фон + K ₂₀₀	20,0	-2,5
IV блок		
Исходное содержание	20,5	
1. Контроль	20,0	-0,5
2. N ₁₈₀ P – фон	19,0	-1,5
3. Фон + K ₄₀	18,7	-1,8
4. фон + K ₈₀	18,0	-2,5
5. фон + K ₁₂₀	17,5	-3,0
7. фон + K ₂₀₀	17,0	-3,5

5.4. Динамика показателей кислотности

Ионы водорода, находящиеся в поглощённом состоянии коллоидными частицами обуславливают потенциальную или «скрытую» кислотность почвы. Она представлена обменной и гидролитической формами. Обменная кислотность определяется при взаимодействии почвы с раствором нейтральной соли, например, 1н KCl, при этом концентрацию ионов водорода можно выразить в виде мг-экв на 100г почвы или в виде рН. Обменная кислотность представляет часть потенциальной кислотности. Большая часть потенциальной кислотности представлена гидролитической, которая переходит в почвенный раствор при взаимодействии с раствором гидролитически щелочной соли. В опытах изучалась динамика обменной кислотности, измерялась концентрация H⁺ в мг-экв на 100г почвы (табл. 4).

Как видно из данных таблицы 4, обменная кислотность в почве контрольного варианта равна 0,12 мг-экв, рН сол. равна 5,5 а гидролитическая составляет 3,5 мг-экв. Длительное применение макроудобрений азотно-фосфорных, а также на их фоне различных форм калийных удобрений,

сочетаний их с микроэлементами способствовало повышению всех форм кислотности: обменной с 0,13 до 0,17 мг-экв, изменению рН сол. с 5,5 до 5,0 и увеличению гидролитической кислотности с 3,5 до 3,9 мг-экв на 100 г почвы.

Таблица 4. Изменение кислотности серой лесной почвы под влиянием длительного применения азотно- фосфорных и различных форм калийных удобрений в севообороте [13].

Варианты	Кислотность		рН сол
	Обменная	Гидролитическая	
	мг-экв на 100 г почвы		
Исходное значение	0,12	3,4	5,5
1. Контроль без удобрений	0,13	3,5	5,4
2. NP – фон	0,15	3,7	5,2
3. фон + KCl	0,16	3,8	5,1
5. фон + KCl+Zn	0,17	3,8	5,1
6. фон + KCl+Cu	0,16	3,9	5,1
8. фон + KCl+B	0,15	3,8	5,1
9. фон+кал.соль	0,15	3,7	5,0
10. фон + K ₂ SO ₄	0,17	3,9	5,0

Длительное применение повышенных доз азотных и калийных удобрений способствовало заметному подкислению почвы. Так, на фоне N₆₀ в почве варианта с K₂₀₀ обменная кислотность повысилась на 0,09 мг-экв; гидролитическая на 0,5 мг-экв, а рН сол. понизилась на 0,5, а на фонах N₁₂₀ и N₁₈₀ эти показатели кислотности еще больше повысились, соответственно, на 0,13 мг-экв, 0,7 рН и 1,1-1,5 мг-экв. Таким образом, данные проведенных исследований свидетельствуют о том, что чем выше норма азота и калия, тем выше отрицательное влияние их на показатели кислотности почвы. В 1 блоке исследованный показатель рН варьирует в пределах слабокислой (рН 5,6). В вариантах опыта с удобрениями произошло снижение рН солевой вытяжки на 0,2-0,4. Наибольшее снижение кислотности имеет место в вариантах с сульфатом калия (табл.5).

Применение повышенной нормы азотных удобрений в сочетании с высокими нормами калийных привело к резкому подкислению почвы. Почва по кислотности за 18 лет перешла из группы близкой к нейтральной в группу слабокислой в вариантах N₁₂₀ K₂₀₀ и в группу среднекислой – в варианте с высокими нормами азота и калия – N₁₈₀ P K₂₀₀. Так, в почве исходной до опыта рН составляет 5,6, в варианте N₁₂₀ P₆₀ K₁₂₀ рН составил 5,2, а варианте N₁₈₀ P₆₀ K₂₀₀ всего лишь – 4,9. Таким образом, под влиянием высоких доз азотных и калийных удобрений снижение составило величину рН = 0,7[13].

Таблица 5. Динамика кислотности серой лесной почвы под влиянием длительного применения возрастающих норм калийных и азотных удобрений.

Вариант	Кислотность		pH сол
	Обменная	Гидролитическая	
	мг-экв на 100 г почвы		
II блок			
Исходное значение	0,11	3,4	5,6
1. Контроль	0,12	3,5	5,5
4. N ₆₀ P – фон	0,13	3,8	5,4
5. Фон + K ₄₀	0,14	3,9	5,4
4. фон + K ₈₀	0,15	3,9	5,2
5. фон + K ₁₂₀	0,17	4,0	5,0
7. фон + K ₂₀₀	0,20	4,1	5,0
III блок			
Исходное значение	0,11	3,2	5,5
1. Контроль	0,12	3,3	5,3
4. N ₁₂₀ P – фон	0,14	3,7	5,4
5. Фон + K ₄₀	0,14	3,8	5,3
4. фон + K ₈₀	0,15	4,0	5,2
5. фон + K ₁₂₀	0,18	4,2	5,2
7. фон + K ₂₀₀	0,24	4,4	5,0
IV блок			
Исходное значение	0,11	3,0	5,6
1.Контроль	0,11	3,0	5,5
2. N ₁₈₀ P – фон	0,12	3,6	5,0
3. Фон + K ₄₀	0,14	3,8	5,0
4. фон + K ₈₀	0,16	3,9	5,0
5. фон + K ₁₂₀	0,19	4,2	4,9
7. фон + K ₂₀₀	0,22	4,5	4,9

Механизм подкисления почвы под влиянием высоких норм азотных и калийных удобрений заключается в том, что при интенсивном применении минеральных удобрений происходит, с одной стороны, повышенное образование фульвокислот, что обуславливает образование кислого гумуса и приводит, в конечном счёте, к подкислению почвы и усиленное отчуждение оснований с урожаем и их вымывание, с другой.

Сравнительный анализ полученных данных по изучению динамики гумуса и кислотности в вариантах опыта с удобрениями выявил тесную зависимость между ними. В вариантах опыта, где происходит снижение гумуса наблюдается повышение кислотности

Емкость поглощения почвы, которая представляет из себя сумму всех поглощенных ионов, как катионов и анионов включая и обменный H^+ , изменяется согласно характеру изменения слагаемых – суммы поглощенных оснований и гидролитической кислотности. Величина емкости поглощения в пахотном слое почвы варианта без удобрения составляет 23,5–25,9 мг-экв на 100 г почвы, а в исходной почве (до опыта) она составляла 23,5 –26,6 мг-экв.

Колебания в емкости поглощения серой лесной почвы за исследованный отрезок времени составили 0,7 мг-экв в варианте без удобрений (контроль) и 1,2–1,7 мг-экв на фоне азотно-фосфорных в сочетании с различными формами калийных удобрений.

Согласно динамике емкости поглощения изменилась степень насыщенности ее основаниями – на 0,4–1,9 % снизился этот показатель. Под влиянием возрастающих доз азотных и калийных удобрений наблюдается ухудшение поглотительных свойств почвы: емкость поглощения уменьшилась по мере возрастания доз удобрений от 0,7 до 2,0 мг-экв, а степень насыщенности основаниями – от 2 до 5–8 %.

Таким образом, под влиянием умеренных доз минеральных удобрений ухудшение поглотительных свойств почв выражено не так заметно, оно усиливается в вариантах с высокими дозами удобрений.

Контрольные вопросы.

1. От чего зависит емкость поглощения в почве?
2. Какие изменения в составе почвенно-поглотительного комплекса будут в окультуренных почвах?
3. На какие группы К.К. Гедройц поделил все катионы в почве?
4. Какое соотношение катионов по мнению К.К. Гедройца будет являться “идеальной почвой”?
5. Какие микроэлементы должны присутствовать на поверхности почвенных коллоидов?
6. Какие неблагоприятные процессы связаны с увеличением кислотности почв?
7. Назовите основные причины формирования кислых почв.
8. Каков механизм подкисления почв под влиянием высоких норм азотных и калийных удобрений?
9. Какие калийные удобрения снижают кислотность почв?
10. Как влияют возрастающие дозы азотных и калийных удобрений на поглотительные свойства почв?

6. Роль минеральных удобрений в системе “агротехника-почва-растения”

Под действием ежегодно применяемых высоких доз минеральных удобрений изменяются химические, физические, физико-химические (сорбционная емкость, состав обменных катионов, дисперсность),

микробиологические и биохимические свойства почвы. Наиболее сильным изменениям подвержен пахотный горизонт почвы, где сосредоточивается основная масса минеральных удобрений. Как показали наши исследования и опыты других ученых [15], чем длиннее период применения минеральных удобрений и чем выше нормы их внесения, тем сильнее изменяются свойства почвы. На эти изменения оказывают влияние не только количество удобрений и длительность их воздействия, но и формы, а также происхождение туков. Влияние минеральных удобрений на почвы различно и зависит от ее механического и минералогического состава, содержания в ней карбонатов, количества и состава гумуса, климатических, метеорологических и гидрологических условий. В различных почвенно-климатических районах наблюдаются зональные и региональные закономерности в изменении химических свойств почв под влиянием многолетнего внесения минеральных удобрений; происходит увеличение или уменьшение содержания легкорастворимых и усвояемых растениями соединений [10]. Известно, что при внесении азотных, фосфорных, калийных, цинковых и молибденовых удобрений в кислых почвах увеличивается содержание усвояемых Р, К, Мо и Zn. Что касается подвижных соединений азота, то их содержание может уменьшаться или увеличиваться в зависимости от норм азотных и органических удобрений, а также от свойств почв [6].

Интенсивное применение удобрений на кислых почвах способствует изменению усвояемости не только основных питательных элементов – N, P, K, Ca, Mg, Al, Mn, Cu, Mo и Zn, но и других - Na, S, Si, Cl, F, Pb, Cd, Ni, B, V, W и Co. Это происходит благодаря систематическому внесению указанных элементов с минеральными удобрениями, а также вследствие их взаимодействия с почвами и растениями. В некоторых странах производят минеральные удобрения, содержащие до 8 мг/кг кадмия, который не только загрязняет окружающую среду, но и токсичен для живых организмов и человека [10].

Повышение кислотности почв усиливает минерализацию соединений и способствует уменьшению растворимости многих элементов (N, S, Si, Mo, V, W и др.). Указанные элементы в обычных количествах очень часто являются антагонистами токсичных соединений алюминия, марганца, железа, меди и цинка и поэтому в некоторой степени смягчают вредное действие кислотности почв. Азотные удобрения обычно повышают токсичность среды. Простой суперфосфат нельзя рассматривать как чисто фосфорное удобрение, так как он содержит пять биогенных элементов – фосфор, кальций, серу, марганец и железо. Следовательно, положительное действие этого удобрения не ограничивается ролью одного фосфора, а связано с влиянием кальция и серы. Аналогично суперфосфату калийную соль нельзя считать только калийным удобрением – это комбинированное удобрение, содержащее калий, натрий, магний, кальций, серу, хлор и т.д. Ассортимент минеральных удобрений,

используемых в растениеводстве, играет важную роль в комплексной химизации пахотных угодий с повышенной кислотностью [10].

Наряду с подкислением среды минеральные удобрения могут нарушать соотношения между элементами минерального питания растений и процессы гумификации, способствовать ретроградации фосфора и ухудшению структуры почвы. Заболевания животных и человека, связанные с недостатком или избытком минеральных веществ, также дают основание для предположения о неблагоприятности почвенных условий вследствие применения средств химизации и нарушения круговорота кальция и магния в этой системе. Магний – необходимый и незаменимый питательный элемент не только для растений, но и для человека и животных. Он является активатором ферментов, входит в состав костей и крови, необходим для нормального функционирования нервной системы и т.д. Осуществление указанных функций может быть реализовано при условии достаточного содержания магния в продуктах питания и фураже. Недостаток магния в кормах является причиной нехватки его в организме (гипомагниемия), что распространено во многих странах с пастбищным животноводством [14].

При интенсивном земледелии вследствие усиленного удобрения и известкования почв, а также использования других средств в них значительно понижается содержание магния и усиливается антагонизм между кальцием и магнием. Поэтому на пастбищах применению азотно-калийных удобрений должно предшествовать внесение магнийсодержащих материалов. Недостаток магния в организме человека способствует появлению онкологических заболеваний, эндемичной диареи, тромбозов, спазмов кровеносных сосудов и повышению уровня холестерина в крови. Отмечая важную роль кальция в формировании костей, следует указать, что при недостатке его в почвах и растениях увеличивается число людей, страдающих кариесом зубов и другими заболеваниями. Понижение уровня кальция сопровождается не только прямым действием, но и косвенным последствием. Например, в продуктах питания с низким содержанием кальция накапливается стронций, и наоборот. Благодаря повышению содержания кальция в продуктах питания в костях накапливается меньше стронция. Нарушение соотношения Ca:Sr в растениях сказывается на формировании тканей и репродуктивных органов. Избыточные количества стронция вредны для растений, животных и человека. Согласно Минеева В.Г. (2004), для профилактики и обезвреживания токсического действия стронция применяются соли кальция и фосфора.

Дефицит кальция и магния в системе “почва-растение-животное” усиливается при систематическом внесении высоких доз фосфора и калия.

6.1. Роль известкования в системе “почва-растение-животное”

Известкование кислых почв является самым сильным и быстросействующим мелиоративным приемом в этой системе. Внесенные в почву кальций и магний (с доломитовой мукой) блокируют токсичное действие H, Al, Mn, Fe,

Co, Cu, Zn и других элементов. Кроме того, известь активизирует в почвах деятельность микробов, усиливает минерализацию легкогидролизуемых органических веществ и уменьшает дисперсность почвы. Под влиянием известкования в продовольственных и фуражных культурах повышается содержание кальция и снижается уровень токсичных элементов. Известкование не только устраняет токсичность H, Al, Mn, Fe, Ca, Co и Zn, но и устраняет возможное негативное влияние таких элементов, как Co, I, Ni, Cz, Sn, Cd, Pb, Fe, и радиоактивных ^{90}Sr , ^{144}Ce , ^{137}Cs , и ^{131}I .

Известно, что известкование препятствует поступлению в растения кобальта, вследствие чего люди и животные могут страдать от эндемических заболеваний (акобальтоз, гипо- и авитаминоз B_{12} и др.). На таких почвах наряду с известью необходимо вносить кобальтовые удобрения или обогащать солями кобальта корма перед скормливанием животным.

Установлено, что известь значительно снижает биологическую активность йода в почве, так как при высоких показателях pH резко падает его количество.

Основные требования к природоохранной работе в сельском хозяйстве излагаются в Законе «Об охране окружающей природной среды» (1991), в статье 46 Закона «Экологические требования в сельском хозяйстве», Указе Президента РФ «О Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию». В них даются конкретные предписания по рациональному использованию почв, удобрений, средств защиты, биоразнообразия и биоресурсов.

Агротехнические приемы: обработка почвы, внесение удобрений, создание благоприятного водного режима почвы и т.п. способствуют увеличению количества почвенных микроорганизмов и повышению их активности. Участие микроорганизмов в круговороте веществ, в том числе в процессах превращения важнейших биогенных элементов — O, C, N, P, S и др. представляет собой их важнейшую функцию.

Контрольные вопросы.

1. Как повышение кислотности почв влияет на минерализацию соединений и растворимость элементов?
2. Что минеральные удобрения могут нарушать в питании растений?
3. Назовите положительный эффект извести на биологическую активность почв.
4. Какова роль кальция и магния в организме человека?
5. Какой микроэлемент после известкования плохо поступает в растения?

7. Изменение показателей биологической активности под влиянием антропогенного фактора

Специфика почвенных микроорганизмов и микробиологических процессов в почве определяет их типовые различия почв и их различия в плодородии.

Развивающиеся в почве различные группы микроорганизмов (бактерии, грибы, актиномицеты) и водоросли насчитываются – от миллионов до миллиардов в 1 г почвы. Ниже приводится краткая их характеристика.

Бактерии – наиболее распространенная группа микроорганизмов в почве. Их количество колеблется от десятков и сотен миллионов до нескольких миллиардов в 1 г почвы и зависит от свойств почвы и их гидротермических свойств. Бактерии осуществляют разнообразные процессы превращения органических и минеральных соединений в почвах.

Актиномицеты – используют в качестве источника углерода разнообразные органические соединения. Они могут разлагать клетчатку, лигнин, перегнойные вещества почвы. Участвуют в образовании гумуса. Лучше развиваются в почвах с нейтральной или слабощелочной реакцией.

Грибы – нитевидные гетеротрофные сапрофитные микроорганизмы, обильно населяющие почву. Они активно участвуют в процессах минерализации и гумификации [18].

Среди почвенных грибов встречаются вредные для сельскохозяйственных растений, вызывающие ряд заболеваний.

Большое значение имеют в почве микроорганизмы, участвующие в трансформации азота. Хотя запасы азота в природе весьма значительны, так как большое количество азота входит в состав организмов, населяющих землю, однако органический азот для растений не доступен. Основная масса его, не может быть использована растениями без минерализации [8].

Поэтому в создании благоприятных условий азотного питания для растений в почве важную роль играет процесс аммонификации - разложение белковых соединений до аммиака: белок - аминокислота - NH_3 органические безазотистые соединения.

Вторым этапом превращения азотистых веществ в природе является окисление аммиака сначала в азотистую, а затем в азотную кислоту. Этот процесс известен под названием нитрификации и вызывается особыми нитрифицирующими бактериями.

Нитрифицирующие бактерии, превращающие аммиак и аммонийные соли в нитраты; аэробны, грамотрицательны, подвижны (имеют жгутики); обитают в почве и водоёмах. Выделены и описаны в 1890 г. русским микробиологом С. Н. Виноградским. Превращение NH_3 в нитраты — Нитрификация — осуществляется в две стадии. Сначала нитрифицирующие бактерии окисляют NH_3 до нитрита.

Во второй стадии нитратные бактерии окисляют нитриты до нитратов.

Между нитрифицирующими бактериями существуют метабиотические отношения: бактерии, окисляющие аммиак, обеспечивают субстратом бактерий, окисляющих нитрит. Нитрифицирующие бактерии за счёт энергии окисления могут усваивать углерод CO_2 атмосферы или карбонатов и использовать

его для синтеза веществ, входящих в состав клетки (нитрифицирующие бактерии не усваивают органические вещества, содержащиеся в почве, воде водоёмов или в искусственных питательных средах).

Третий этап превращения азотсодержащих веществ в почве связан с восстановлением нитратов до молекулярного азота. Он известен под названием денитрификации. Этот вредный для сельского хозяйства процесс осуществляется под влиянием жизнедеятельности денитрифицирующих бактерий и приводит к значительным потерям азота.

Все денитрифицирующие бактерии - аэробы и могут окислять органическое вещество за счёт кислорода воздуха, но, попадая в анаэробные условия, они используют кислород нитратов как акцептор электрона («дыхание за счёт нитратов»). Выращивают денитрифицирующие бактерии на питательных средах с нитратами и индикатором, меняющим цвет при восстановлении нитратов в среде. Денитрифицирующие бактерии распространены в почве, воде и грунте водоёмов [10].

Показатели биологической активности почвы (интенсивность дыхания, ферментативная активность, структура микробиоценоза, скорость разложения целлюлозы и др.) дают ценную информацию об экологических условиях среды. Изучение биологической активности почвы приобретает особое значение при переходе на экологически чистые методы ведения сельского [4].

В естественных ценозах и агроценозах имеет место положительная связь между дыханием почвы и ее плодородием. Дыхание почвы в большей степени зависит от вегетации растений, от содержания и поступления в нее различных органических веществ, удобрений и пестицидов, как правило, усиливающих выделение углекислого газа [14]. Однозначного ответа на вопрос о влиянии минеральных удобрений на почвенное дыхание в научной литературе нет. Так, по данным И.А. Дегтяревой (2006), среднее значение эмиссии CO_2 из чернозема обыкновенного за вегетационный сезон под посевами озимой пшеницы при внесении удобрений было в 1,5 раза больше, чем без удобрений. И.А. Дегтярева также отмечает, что интенсивность выделения CO_2 из почв повышается при внесении минеральных удобрений. В то же время, по данным В.Н. Кудярова (1979), азотные удобрения в условиях парования серой лесной почвы практически не влияют на выделение CO_2 . По-видимому, действие минеральных удобрений на дыхание почвы проявлялось непосредственно через растения.

Исследования биологической активности почвы по показателю почвенного дыхания проводили в условиях многолетнего стационарного опыта на выщелоченном черноземе по изучению элементов биологизированных технологий возделывания сельскохозяйственных культур (с ограниченным применением или полным отказом от них). Выявлено, что почвенная микрофлора активизируется при совместном внесении органических и минеральных удобрений.

Таким образом, при интенсивной технологии возделывания озимой пшеницы, люпина узколистного и гречихи с внесением полной дозы минеральных удобрений на фоне последействия соломы и сидерата почва обладает наиболь-

шей биологической активностью. Размещение озимой пшеницы в севообороте после однолетних трав и внесение минерального удобрения почти в 2 раза повышает деятельность почвенной микрофлоры [3].

По современным представлениям применение минеральных и органических удобрений является регулирующим фактором биологической активности почв агроценоза, связанным с жизнедеятельностью растений и их взаимодействием с микробным сообществом почв [3]. Уникальная зона почвы – ризосфера, которая создается за счет выделения энергетически богатых углеродсодержащих компонентов живыми корнями растений (ризодепозитов) с последующим размножением микроорганизмов в окружающей почве, наиболее чувствительна к воздействию агрохимических средств.

Ферментативная активность почвы – это способность ее ускорять биологические и биохимические процессы превращения благодаря имеющимся в ней ферментам. Ферменты являются биологическими катализаторами, которые без повышения температуры способны несколько раз ускорять эти реакции. Что касается ферментативной активности почв, то следует иметь в виду суммарный показатель ее активности и она у различных почв неодинакова. Зависит она от их генетических и экологических особенностей. Интенсивность ферментативной активности почв определяется активностью различных ферментов: гидролаз, оксидаз, оксидоредуктаз, каталаз и т.д. [18].

Ферментов поставляют населяющие почву живые макро- и микроорганизмы и растения. Ферменты растительного и микробиологического происхождения осуществляют распад и синтез гумусовых веществ почвы. Активность ферментов отражает генетические особенности почв. Она является дополнительным диагностическим показателем, характеризующим различные почвенные типы. Ферменты связаны с наиболее важными биохимическими процессами почвы: трансформацией элементов питания, корневым питанием растений, плодородием почвы, распадом и синтезом органического вещества почвы, окислительно-восстановительным режимом почвы.

Микробиологический анализ устанавливает состав микрофлоры почвы и пользуются этим показателем для характеристики её биохимических свойств и биологической активности [4]. При этом определяют количество (в тыс. на 1 г сухой почвы) представителей основных групп почвенных микроорганизмов; бактерий (отдельно азотобактера, нитрифицирующих и денитрифицирующих, аммонификаторов), актиномицетов, грибов, а также содержание почвенных водорослей, основных представителей простейших (амёб и инфузорий).

Почва служит средой обитания почвенных микроорганизмов и совокупности разных групп организмов. Почвенные микроорганизмы играют важную роль в круговороте веществ в природе, почвообразовании и формировании плодородия почв. Почвенные микроорганизмы могут развиваться не только непосредственно в почве, но и в разлагающихся растительных остатках. В почве встречаются также некоторые болезнетворные микробы, вредные микроорганизмы и др. По общей массе почвенные микроорганизмы составляют боль-

шую часть микроорганизмов нашей планеты: в 1 г чернозема содержится до 10 млрд. (иногда и более) или до 10 т/га живых микроорганизмов [4]. Почвенные микроорганизмы различаются по отношению к температуре, давлению, реакции среды, к источникам питания. Количество их и скорость размножения имеет сезонный характер: больше их в теплый период года, а зимой меньше. Верхние гумусовые и органогенные слои почвы богаче почвенными микроорганизмами по сравнению с нижележащими иллювиальными; особое обилие характерно для прикорневой зоны растений — ризосферы [4].

К нежелательным явлениям в агроценозе относится возможная конкуренция между корнями растений и микроорганизмами за питательные вещества, обусловленная, главным образом, потребностью в минеральном азоте. Соотношение C:N в зоне корней обуславливает наиболее важный механизм ризосферного эффекта [4].

Возрастание актиномицетов к концу вегетации растений сопровождается наибольшим усилением дыхательной активности почвы в этот период [4].

Вносимые в почву минеральные удобрения в большей степени влияют на биоразнообразие ризосферного микробного сообщества растений. Биологическая активность почв характеризует масштабы и направление процессов превращения вещества и энергии в ней и является суммарным результатом сопряженно протекающих биохимических процессов. Различные виды антропогенного воздействия на почву могут изменять условия существования почвенных микроорганизмов, влияя тем самым на их активность [18].

Тяжелые металлы, попадающие в почву как в основную депонирующую среду наземных экосистем, могут накапливаться в ней до высоких уровней, образуя техногенные аномалии, представляющие существенную опасность для нормального функционирования почвенной биоты [6].

Плодородие почвы зависит от целого ряда взаимосвязанных факторов: агрохимических, агрофизических, биологических. Существенную роль в формировании плодородия почвы играют такие показатели ее биологической активности как интенсивность выделения из почвы углекислого газа, целлюлозоразрушающая способность и активность почвенных ферментов. Препятствует реализации продуктивного потенциала почвы наличие в ней токсинов различного происхождения [14].

Важный показатель, позволяющий оценить влияние тех или иных агротехнических приемов на почву, — ее токсичность. Анализ научной литературы позволяет заключить, что приобретение токсических свойств крайне негативно сказывается, в первую очередь, на микробном сообществе почвы: изменяется его структура, снижается количество и активность микроорганизмов. Вследствие этого в токсичной почве уменьшается содержание усвояемых веществ, витаминов, физиологически активных соединений и, в конечном счете, снижается продуктивность сельскохозяйственных культур. В проявлении токсичности почвы главную роль играет грибная почвенная микрофлора. Она способ-

ствует синтезу неполно окисленных продуктов метаболизма, которые обладают токсичностью.

Важными приемами снижения токсичности почвы являются введение в севооборот сидерального пара, применение как органических, так и минеральных удобрений. Увеличение биологической активности и снижение токсических свойств почвы, в свою очередь, дают возможность улучшить условия для роста и развития культурных растений и получить высокие урожаи [6].

7.1. Биологическая активность почвы и эффективность удобрений

Интенсивное производство сельскохозяйственной продукции предусматривает систематическое применение минеральных азотных удобрений. Их вносят в почву в амидной, аммонийной и нитратной формах. Все формы азотных удобрений водорастворимы, быстро взаимодействуют с твердой фазой почвы, потребляются почвенными микроорганизмами и растениями, формируя тем самым минеральный и органический пулы почвенного азота. Аммонийная форма азота более предпочтительна для растений по сравнению с нитратной [10], однако в полевых условиях это предпочтение, как правило, не реализуется, нивелируясь влиянием почвенно-экологических факторов.

Хотя потребление азота сельскохозяйственными культурами в основном не зависит от формы удобрений, но почвенные микроорганизмы чувствительны к обеспеченности азотом. Они быстро реагируют на внесение удобрений. Азотные удобрения являются средством устранения нехватки азотного питания для микроорганизмов и как фактор нарушения микробного сообщества. Установлено, что длительное применение минеральных удобрений отражается на составе и структуре микробного сообщества, содержании углерода и азота в микробной биомассе [4,8].

Однако характер влияния разных форм азотных удобрений на физиологическое состояние почвенного микробного сообщества и его дыхательную активность остается неясным. Не совсем понятны и причины быстрого исчезновения азота нитратов в удобренной почве, преобладания нитратов в минеральном пуле азота пахотных почв. Это может быть связано с ассимилирующей и нитрифицирующей деятельностью почвенных микроорганизмов. Новая парадигма углеродно-азотной стехиометрии гласит, что все биотические процессы трансформации азота контролируются наличием доступного для микроорганизмов углерода, а микробная биомасса служит источником и истоком для подвижных соединений углерода и азота одновременно [10]. Поэтому количественное определение микробной биомассы и экофизиологических характеристик микробного сообщества является важным условием оценки азотного режима почв.

В длительных опытах на серой лесной тяжелосуглинистой почве, было установлено последствие 40-летнего внесения разных форм минеральных удобрений на почвенное микробное сообщество, определено углеродно-азотный статус серой лесной почвы, выявлено взаимосвязь между микробными

и агрохимическими свойствами почв, а также эффективность применяемых удобрений.

Установлено, что многолетнее внесение разных форм азотных удобрений в серую лесную почву способствовало увеличению удельной скорости дыхания микробной биомассы на 32-142% по сравнению с фоном. Отмеченное иллюстрирует напряженность микробных процессов углеродного цикла. Обнаружено также преобладание нитратных форм азота над аммонийными (в 1.2-4.5 раза), причем наибольшее (в 3.2 и 4.5 раза) было отмечено в почве с внесением кальциевой и аммиачной селитры соответственно [6].

В опытах, проведенных в Казанском ГАУ на серой лесной почве в севообороте, установлено, что длительное применение минеральных удобрений в экологически сбалансированных дозах повышает продуктивность севооборота. При этом улучшается качество сельскохозяйственной продукции и не ухудшается экология почвы [12].

Исследовано действие очага с высокой концентрацией мочевины на азотный режим и ферментативную активность серой лесной почвы, исследование проведено в микрополе в опыте в сосудах. Установлено, что в зоне с повышенной концентрации азотных удобрений происходило ингибирование активности исследуемых ферментов азотного цикла [18].

Одним из основных показателей биологической активности почвы и степени ее плодородия является ферментативная активность, уровень которой позволяет в свою очередь характеризовать направленность биохимических процессов трансформации азотистых веществ почве. Исследованиями ряда авторов выявлена связь между ферментативной активностью почвы и ее азотным режимом, характер которой зависит от агротехники, использования органических и минеральных удобрений.

При внесении азотных удобрений вследствие неравномерного распределения их по объему пахотного слоя в почве создаются микрозоны с различным содержанием минерального азота, что ведет к нарушению естественного хода микробиологических процессов в этих участках.

В исследованиях С.Г. Муртазиной (1980, 2010), Ф.Х. Хазиева (1991) установлено, что внесение азотных удобрений является одним из способов регуляции азотного режима почвы путем воздействия на биохимические процессы превращения азотсодержащих соединений. При локальном размещении мочевины в почве формируются зоны с различным содержанием легкогидролизуемого и минерального азота. В очаге замедлялись процессы гидролиза мочевины и нитрификации $N-NH_4^+$, что способствовало изменению динамики азотсодержащих фракций; наличие концентрированного очага азотных удобрений ингибировало активность ферментов уреазы, аспарагиназы, протеазы, однако в смежных участках наблюдался исходный или повышенный уровень ферментативной активности. Внесение азотных удобрений взброс и локально приводило к изменению характера связи между активностью почвенных ферментов и содержанием азота в разных фракциях; подтверждено участие почвенных гид-

ролаз в мобилизации азота почвы при применении азотных удобрений, что проявлялось в положительной корреляции между активностью уреазы и аспарагиназы и потреблением азота почвы яровой пшеницей.

7.2. Регуляция функционирования микробиоценоза

Надежное обоснование фактического состояния и прогноза трансформации свойств почв в регулируемых агроэкосистемах невозможно без знания специфики процессов функционирования микробиоценоза, интенсивность и направленность которых во многом определяют устойчивость продукционного процесса растений. Выявлено, что улучшение водного и пищевого режимов почв стимулирует жизнедеятельность почвенной микрофлоры, вследствие чего могут усиливаться процессы минерализации органического вещества почвы, что служит дополнительным источником азотного питания растений. Под воздействием микроорганизмов могут изменяться скорости основных процессов цикла азота и даже почвенный профиль [18].

Для черноземов показано, что в результате длительного удобрения увеличивается общая численность бактерий по всему профилю почвы, но особенно заметно в слое 0-10 см. Значительно повышается содержание аммонификаторов, в основном за счет неспорообразующих форм. Численность актиномицетов в профиле черноземов изменяется по-разному: в выщелоченном – возрастает по всему профилю, в типичном – только в верхнем слое, в оподзоленном – в нижних горизонтах.

Механическая обработка почвы и приемы оптимизации минерального питания также влияют на микробиоценоз. Выявлено, что на дерново-подзолистой почве безотвальное рыхление заметно снижает, относительно отвального, общую численность микроорганизмов, в том числе аэробных целлюлозоразлагающих, бактерий, растущих на КАА, грибов, но повышает численность денитрифицирующих бактерий. Внесение органических и минеральных удобрений увеличивает общую численность микроорганизмов, особенно аэробных целлюлозоразлагающих. Разложение целлюлозы повышает фосфатмобилизующую способность микроорганизмов. Это основано на том, что некоторые миксобактерии, вибрионы, особенно грибы и актиномицеты способны извлекать фосфор из труднодоступных минеральных и органических фосфатов. Известкование кислых почв еще больше усиливает их биологическую активность. Все это влияет на доступность питательных элементов из почвенных ресурсов и в первую очередь на запасы азота в микроббиомассе.

Численность микроорганизмов не является постоянной величиной и может колебаться очень сильно. Например, в дерново-подзолистой почве численность бактерий может изменяться по сезонам в 3-5 раз, длина гиф грибов – в 6-10 раз. Однако ферментативная активность возрастает при этом всего в 2-3 раза [4]. Для серой лесной почвы показано, что содержание микробного азота в зависимости от способов ее обработки и уровня минерального питания

пшеницы может варьировать от 2 до 71 мг/кг почвы. Выявлено, что на черноземах выщелоченных применение органических удобрений активизирует развитие неспороносных форм бактерий, растущих на МПА, а количество спорообразующих форм снижается примерно в два раза. Использование только минеральных удобрений или их сочетания с навозом оказывает заметное мелиорирующее действие, расширяя и удлиняя почвенный профиль, осваиваемый олигонитрофилами и микроорганизмами, принимающими участие в минерализации органических соединений азота и являющимися его основными потребителями.

Однако видовой состав микроорганизмов и их численность далеко не всегда могут выступать в качестве надежного критерия оценки их функционирования. Н.И. Гантимуровой (1984) показано, что в черноземных почвах значительно больше денитрифицирующих бактерий, чем в дерново-подзолистых. Общая численность микроорганизмов в черноземах колебалась за сезон от 4900 до 5300 тыс./г почвы, в дерново-подзолистых почвах – от 1900 до 3800 тыс./г, т.е. в среднем количество микроорганизмов в первом случае в 1,8 раза выше, чем во втором. Тем не менее исследования, проведенные ранее в регулируемых условиях увлажнения с помощью ^{15}N , показали, что потери азота удобрений вследствие процессов денитрификации, наоборот, в дерново-подзолистых почвах оказываются выше (примерно на 10 %), чем в черноземах выщелоченных, т.е. денитрификаторы в дерново-подзолистых почвах функционируют примерно в 2 раза эффективнее. Следовательно, активность микрофлоры зависит в большей степени от условий, в которых находятся микроорганизмы, но не от их численности. Это имеет принципиальное значение для понимания механизмов функционирования микробоценоза в почвах и его роли при определении потоков азота и скорости основных процессов азотного цикла в агроэкосистемах [18].

Функционирование микробоценоза влияет на циклы не только азота, но и содержание зольных элементов. Выявлено, что питание растений, например фосфорное, можно улучшить с помощью бактерий рода *Pseudomonas* (штамм PGPRP). Это происходит за счет гидролиза органических фосфатов под действием фосфатаз и растворения минеральных фосфатов при продуцировании органических кислот. Фосфатный режим можно также существенно изменить, внося в почву легкодоступное органическое вещество, внесение глюкозы в темно-серую лесную почву существенно увеличивает содержание микробного фосфора независимо от форм фосфорных удобрений. Это имеет большое значение, так как от величины запаса микроббиомассы во многом зависит удовлетворение потребности растений в фосфорном питании в течение вегетационного периода, особенно на почвах, бедных легкоподвижными минеральными соединениями фосфора. Функционирование микробоценоза непосредственно связано с процессами мобилизации и иммобилизации фосфора в почве, что прежде всего сказывается на фосфатном режиме и обеспеченности растений фосфорным питанием. Регулируя поступ-

ление легкодоступных органических соединений в почву, можно в определенной мере управлять этими процессами и воздействовать на поступление ионов фосфора из почвенного раствора в корневую систему растения.

Ряд сложных проблем в регулируемых агроэкосистемах возникает в связи с всевозможными заболеваниями, источником которых зачастую является патогенная почвенная микрофлора. Так, бессменное возделывание сельскохозяйственных культур увеличивает поражаемость растений различными заболеваниями.

В последние годы становится все более актуальной разработка систем интегрированной биологической защиты растений на основе использования живых клеток бактерий, грибов, актиномицетов и бактериофагов. Одним из наиболее изученных объектов, используемых при создании биопрепаратов, является род ризосферных бактерий *Pseudomonas*. Установлено, что некоторые штаммы этого рода способны синтезировать ауксины, цитокинины и гиббереллиноподобные вещества, оказывающие стимулирующее действие на рост и развитие растений. Действующим началом являются бактериальные клетки, колонизирующие корни и побеги растений и способные синтезировать ряд метаболитов, подавляющих рост фитопатогенов. Обработка посевного материала штаммами PGPR существенно снижает поражаемость клеток фитопатогенами, активизируя таким образом продукционный процесс растений. Препараты такого класса безвредны для человека, теплокровных животных и рыб.

Проведена оценка различий в активности функционирования микробиоценоза на лугово-черноземной почве при применении различных систем удобрений. Первый вариант – монокультура в течение 10 лет, с ежегодным применением органических удобрений в сочетании с минеральными; второй вариант – монокультура в течение 3 лет, с внесением минеральных удобрений и растительных остатков с отношением $C : N < 20$. Затем был проведен специальный опыт с инкубированием почвы этих вариантов при температуре 28⁰С. В качестве критерия оценки активности микрофлоры использовали дыхание почвы. Результаты показали, что активность микрофлоры в начальный период компостирования почвы была максимальной. В первые сутки в варианте с органоминеральными удобрениями было продуцировано углекислого газа на 35 % больше, чем при использовании только минеральных удобрений. Затем интенсивность дыхания постепенно затухала и примерно через месяц достигла своего минимального значения (2-3 мг/кг почвы в сутки). Характер продуцирования углекислого газа в ходе инкубирования почвы менялся в зависимости от используемой системы удобрений. Так, выделение CO₂ из почвы было существенно выше в варианте с минеральными удобрениями в период до семи дней; в дальнейшем ситуация изменилась, и до конца опыта дыхание было выше в варианте с органоминеральными удобрениями. Это связано с тем, что свежее органическое вещество, поступающее в виде растительных остатков с отношением $C : N < 20$,

обычно довольно быстро минерализуется. Затем темп продуцирования CO_2 заметно снижается, так как большая часть легкоразлагаемого органического вещества уже минерализовалась. При применении органо-минеральных удобрений поступающие в почву органические соединения менее доступны для микроорганизмов, но в целом их запас значительно выше, что и сказывается на дыхательной способности почв. В таких условиях растения становятся более защищенными в отношении патогенов. Резюмируя эти данные, можно сказать, что стабильно высокая биологическая активность почвы является одним из основных условий, обеспечивающих экологически устойчивое состояние агроэкосистемы [18].

Отметим, что таким же путем можно повысить устойчивость функционирования агроэкосистемы и при возделывании картофеля – культуры, в большой степени подверженной различным заболеваниям. Известно, что на приусадебных участках выращивают картофель в монокультуре в течение нескольких десятков лет без снижения урожая и ухудшения качества продукции. При этом обязательными условиями являются ежегодное применение органических удобрений и наличие хорошего посевного материала. Там, где фермеры не соблюдают данные условия, у клубней картофеля начинают появляться различные заболевания (ризоктониоз, мокрая гниль и др.), и наступает почвоутомление. Поэтому на промышленных плантациях обязательным требованием агротехники является своевременная смена предшественника, что позволяет стабилизировать урожайность и качество картофеля при возрастающей антропогенной нагрузке [6].

При возделывании овощных и зерновых культур в почве складывается присущий только этому виду культуры микробоценоз. Для него характерны свои, полезные, вредные и нейтральные для растений, микроорганизмы. Причем для одних культур они являются вредными, а для других могут быть нейтральными. Учитывая эту особенность, овощные культуры специально размещают по зерновому предшественнику, что позволяет в значительной мере освободиться от патогенов. Лук в условиях дефицита тепла очень сложно выращивать без средств защиты растений. Поэтому на промышленных плантациях его выращивают иногда по зерновому, а не по овощному предшественнику, страхуясь таким образом от патогенов, характерных для овощных полей.

Для изучения активности микрофлоры, присущей почвам под зерновыми и овощными культурами, осенью были отобраны образцы лугово-черноземной почвы. В этих образцах при оптимальном увлажнении изучалось дыхание микрофлоры в условиях термостата при температуре 28°C . Почву брали из полевого севооборота, в котором в течение 3 лет после распахки залежи выращивали зерновые культуры с внесением только минеральных удобрений в дозе $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$. До залежи ежегодно возделывались зерновые практически без применения удобрений. В овощном севообороте беспрерывно возделывались картофель и овощи в течение 10 лет. При их выращивании систематически

вносили органические удобрения в дозе 20-30 т/га и минеральные удобрения в дозе $N_{60-90}P_{60}K_{60}$. В качестве органических удобрений вначале использовалась солома (в течение 2 лет), а в последующие годы в почву заделывали скошенные луговые травы, используя их в качестве сидеральной культуры.

Результаты исследований показали, что вначале интенсивность дыхания почвы была выше в варианте, где выращивали зерновые культуры. Из почвы овощного севооборота уже в первые сутки компостирования выделилось CO_2 почти 500 мг/кг почвы, а при возделывании яровой пшеницы – на 13 % больше. Затем наблюдалось постепенное падение эмиссии CO_2 , и через месяц различий практически не наблюдалось. В последний срок отбора проб картина даже изменилась на противоположную стартовой. Из почвы под зерновыми культурами углекислого газа выделилось на 20 % меньше, чем под овощными, что связано с неравномерностью накопления азота в минеральной форме. На основании полученных данных можно сказать, что свежее органическое вещество залежи в сочетании с растительными остатками зерновых культур менее устойчиво к процессам минерализации, чем созданное за счет внесения органических и минеральных удобрений и запахивания нетоварной части овощных культур.

Таким образом, высокая активность микроорганизмов является необходимым условием улучшения экологической ситуации в агроценозах. Регулируя состав поступающих в почву органических соединений, можно изменить активность микроорганизмов, повлиять на видовое разнообразие микробоценоза в желательном направлении. Это позволяет не только снизить количество применяемых пестицидов, но зачастую вообще от них отказаться и тем самым повысить устойчивость функционирования агроэкосистем. Только стабильно функционирующие агроэкосистемы позволяют получать экологически чистую продукцию при высокой антропогенной нагрузке на почвенный покров [14, 11].

Контрольные вопросы.

1. Какие группы микроорганизмов встречаются в почве?
2. Существует ли взаимосвязь между сельскохозяйственными культурами и видовым разнообразием микробоценоза?
3. Назовите основные стадии превращения азота в почве.
4. От чего зависит дыхание почвы в агроценозах?
5. Какова роль ферментов в почве?
6. С какими биохимическими процессами почвы связаны ферменты?
7. Как влияет на качество сельскохозяйственной продукции применение повышенных доз минеральных удобрений?

Практические работы.

1. Агрооценка ландшафтно-экологических условий

Представление о ландшафтах и ландшафтной оболочке Земли сходно с понятием «природнотерриториальный комплекс» (ПТК), представляющим собой комплекс природных компонентов (почвообразующей породы, погодных условий, природных вод, почв, растительности и животного мира).

Само понятие ландшафта объясняется Н.А. Солнцевым: ландшафт – это генетически однородный природный территориальный комплекс, имеющий одинаковый геологический фундамент, один тип рельефа, одинаковый климат и состоящий из свойственного только ему набора динамически сопряженных и закономерно повторяющихся урочищ [9].

В структуре ландшафтной оболочки Земли геосистемы имеют различные пространственно-временные масштабы, представляя собой иерархичную систему таксонов, самой крупной из которых выступает ландшафт.

Компоненты геосистемы постоянно находятся в вещественноэнергетическом и информационном обмене, среди таких взаимодействий – биогеохимический круговорот веществ.

Особенностью природно-антропогенных ландшафтов является наличие трех подсистем: природной, социальной и производственной, взаимодействие которых осуществляется путем обмена веществом, энергией и информацией.

В соответствии с ГОСТом 17.87.1.02.88 сельскохозяйственным ландшафтом называется ландшафт, используемый для целей сельскохозяйственного производства, формирующийся и функционирующий под его влиянием.

Более точно сельскохозяйственный ландшафт – это антропогенно-природный ландшафт, образованный в результате сельскохозяйственного производства, в результате которой он может быть: культурный, акультурный, в том числе деградированный.

Выделение морфологических единиц природного ландшафта (подурочище, урочище, местность) необходима при организации территории – противоэрозионной, мелиоративной, а также при экологическом нормировании территории.

Природные условия, определяющие функционирование ландшафтов выделяют следующие компоненты – рельеф, литология, климат, влияние грунтовых вод, растительность, почвенный покров. Оцениваемые параметры зависят от уровня интенсификации производства.

Оценка расчлененности территории проводится по основным группам земель. При оценке линейной эрозии применяют глубину местных базисов эрозии. Для овражно-балочной системы базис эрозии проходит по дну оврага, поймы реки, для малой реки – уровень воды в реке, в которую она впадает. Всеобщим базисом эрозии является уровень мирового океана. Местным называют базис эрозии, характерный для данной местности.

Коэффициент расчлененности территории K характеризует горизонтальное расчленение рельефа:

$$K = L / S,$$

где L – длина долинной и балочной сети (км), S – площадь территории (км²).

Этот показатель неприменим для районов с нелинейным расчленением.

Ширина водосборного бассейна a (среднее расстояние между соседними тальвегами) эрозионной сети определяется по обратной формуле:

$$a = S / L.$$

Для районов с преобладанием нелинейного расчленения (озерного, холмистого, бугристого, западинного и др.) используют формулу:

$$a = S / k,$$

где k – общее число понижений (озер, западин и др.)

С коэффициентом расчлененности территории и шириной водосборного бассейна связана средняя длина склонов l :

$$l = 2 K = 0,5a.$$

Степень повреждения территории современными формами линейной эрозии характеризуется коэффициентами расчлененности территории оврагами, овражности и плотностью оврагов. Коэффициент расчлененности территории оврагами – суммарная протяженность оврагов на 1 км² площади. По этому показателю различаются – слабая (менее 0,25 км/км²), средняя (0,25-0,50), сильная (0,50-0,75) и очень сильная (более 0,75) степени развития эрозии. Расчлененность овражной сетью определяется также по среднему расстоянию между соседними оврагами (по средней ширине водосборного овражного бассейна): более 1000 м – слабая, 1000...500 м – средняя, 500...250 м – сильная, менее 250 м – очень сильная.

Коэффициенты овражности – отношение площади оврагов к общей площади территории (га/км²). Плотность оврагов – число оврагов на 1 км². Плотность оврагов менее 0,25 шт./км² соответствует слабой степени развития линейной эрозии, 0,25...0,5 – средней, 0,5...0,75 – сильной, более 0,75 – очень сильной.

Глубину расчленения и стадии развития процессов линейной эрозии (реликтовые и/или современные формы) характеризует тип линейного расчленения. По глубине расчленения различают слабоврезанные (5...10 м), средневрезанные (10...25 м) и глубокооврезанные (25...50 м) эрозионные системы; по составу элементов – ложбинно-лощинные, ложбинно-лощиннобалочные, лощинно-балочные, овражно-лощинно-балочные и др.

Система оценки рельефа. Каждый ЭАА в системе агроэкологической оценки рельефа, должен получить следующие характеристики:

- приуроченность к форме мезорельефа (увал, холм, ложина и т.д.);
- приуроченность к элементу мезорельефа (вершина, склон, днище и т.д.);
- приуроченность к определенной части склона и его форме (нижняя, средняя или верхняя часть прямого, выпуклого или вогнутого склона);
- крутизна склона;

- форма в плане (характер водосбора: рассеивающий, собирающий, прямой);
- экспозиция (теплая, холодная, нейтральная);
- расстояние от водораздела;
- микрорельеф.

Для всей оцениваемой территории устанавливается следующий комплекс показателей оценки:

- морфолого-генетический тип макрорельефа;
- комплекс типов мезорельефа (по происхождению);
- категория типов мезорельефа (по особенностям рельефа и литологии);
- горизонтальная расчлененность территории (коэффициент расчлененности, средняя ширина водосбора, средняя длина склонов);
- вертикальная расчлененность;
- тип линейного расчленения по составу гидрографической сети и глубине вертикального расчленения;
- пораженность современными линейными эрозионными процессами (коэффициент овражности, суммарная протяженность оврагов на 1 км², плотность оврагов).

Задания.

1. На основе топографической карты Республики Татарстан изучить формы и элементы рельефа.
2. Изучить особенности речной долины, и ее морфологические части.
3. Провести систему оценки рельефа заданного участка.

2. Оценка загрязнений вредными веществами агроландшафтов и почв

В соответствии с Федеральным законом Российской Федерации №7-ФЗ “Об охране окружающей природной среды” (2002) существенно возрастают требования в области охраны природы и рационального использования земель. Интенсивное применение минеральных удобрений и сопутствующие ему изменения условий окружающей среды в системе “агротехника-почва-растение-животное-человек” оказывают решающее воздействие на производство продукции растениеводства и животноводства, служащей для обеспечения растущих потребностей населения. Однако нередко питательные вещества поступают в сельскохозяйственные экосистемы в недостаточном или избыточном количестве. Чтобы избежать отрицательных последствий недостаточного или чрезмерного удобрения, необходимо проводить строгий агрохимический и экологический контроль. Только при хорошо налаженном контроле можно целенаправленно регулировать почвенное плодородие и не допускать развития неблагоприятных процессов. Эффективный аналитический контроль должен охватывать как питательные элементы первостепенной значимости – макро- и микроэлементы, так и второстепенные – Cd, Hg, Se, I,

Sn, Sr, Ce, Cs, F, Rb, Pb, As, Be, W и V, которые в высоких концентрациях могут оказывать вредное воздействие на животных и человека.

Предотвращение вредного влияния токсичных элементов и проведение профилактических мероприятий в этой системе возможны на основе систематического агрохимического и химического контроля окружающей среды. В связи с этим агрохимическая служба должна выполнять анализы не менее 32 химических элементов в объектах окружающей среды. Поскольку в основных сельскохозяйственных районах изменения химических свойств среды происходят преимущественно под действием вносимых минеральных удобрений и химических средств защиты растений становится очень важной разработка приемов их рационального использования. Значительным последствием обладают пестициды. Взаимное влияние удобрений и пестицидов на почвы и растения изучено пока недостаточно.

Подавляющее число пестицидов – кумулятивные яды, токсичное действие которых зависит и от концентрации и от длительности воздействия. Поэтому при их использовании строго необходимо придерживаться инструкции и учитывать побочные действия.

Таким образом, проведение профилактических мероприятий по предотвращению вредного влияния токсичных элементов и средств защиты должно основываться на агрохимическом и агроэкологическом контроле системы. Высокие требования современного этапа развития общества ставят перед сельским хозяйством новые задачи по ускоренному овладению новейшими методами комплексной системы защиты окружающей среды.

2.1. Методические основы оценки миграционной подвижности тяжелых металлов в аграрных экосистемах

В условиях усиления антропогенного, техногенного воздействия на агроландшафты становится актуальной сохранение экологической чистоты почв, водных и растительных ресурсов и в целом получаемой растениеводческой и животноводческой продукции. Наиболее опасными тяжелыми металлами по токсичности и способности к биоаккумуляции считаются ртуть, свинец, кадмий, медь, цинк, олово, мышьяк. Государственный центр агрохимической службы «Татарский» в последние годы проводит постоянные наблюдения и обследование земель по изучению и мониторингу микроэлементов (МЭ) и тяжелых металлов (ТМ): меди, цинка, свинца, ртути и кадмия. Экологическая оценка производится по содержанию валовых и подвижных форм ТМ (табл. 1-3)

Таблица 1. Группировка почв по содержанию подвижных форм микроэлементов

Степень обеспе- ченности	B	Mo	Cu	Mn	Zn	Co
Низкая	< 0,2	< 0,1	< 2,0	< 20	< 1,0	< 1,0
Средняя	0,2 – 0,6	0,1 – 0,3	2,0 – 3,5	20 – 60	1,0 – 3,0	1,0 – 3,0
Высокая	> 0,6	> 0,3	> 3,5	> 60	> 3,0	> 3,0

Таблица 2. Ориентировочно- допустимые концентрации (ОДК),
валовое содержание, мг/кг

Группа почв	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
Песчаные и супесчаные	20	33	55	2	0,5	32
Кислые суглинистые и глинистые pH _{KCl} < 5,5	40	66	110	5	1,0	65
Близкие к нейтральным суглинистые и глинистые pH _{KCl} > 5,5	80	132	220	10	2,0	130

Таблица 3. Шкала экологического нормирования тяжелых металлов
в почве (Покровская, 1988)

Содержание	Свинец	Кадмий	Цинк	Медь
Очень небольшое	< 5	< 0,05	< 15	< 5
Небольшое	5 – 10	0,05 – 0,10	15 – 30	5 – 15
Среднее	10 – 35	0,10 – 0,25	30 – 70	15 – 50
Увеличенное	35 – 70	0,25 – 0,50	70 – 100	50 – 80
Большое	70 – 100	0,50 – 1,0	100 – 150	80 – 100
Очень большое	100 – 150	1 – 2	150 – 200	100 – 150
Умеренное загрязнение	150 – 500	2 – 5	200 – 500	150 – 250
Высокое загрязнение	500 – 1000	5 – 10	500 – 1000	250 – 500
Очень высокое загрязнение	> 1000	> 10	> 1000	> 500

Задание 1.

1. Согласно ОДК, ПДК и шкале экологического нормирования оценить содержание тяжелых металлов (ТМ) в пахотных почвах Республики Татарстан.
2. Какова обеспеченность почв биогенными ТМ.
3. Назвать причины различного содержания ТМ в Предкамье и Закамье (табл. 4)

Таблица 4. Содержание солей тяжелых металлов (ТМ) в пахотных почвах Республики Татарстан на 1.01.2020 г.

Почвенно-	Формы ТМ	Средневзвешенное содержание, мг/кг
-----------	----------	------------------------------------

климатические зоны		меди	цинка	свинца	ртути	кадмия
Предкамье	валовое	16	41	13	0,01	0,55
Предволжье	подвижное	0,30	1,65	0,74	-	0,11
Закамье	валовое	25	45	18	0,02	0,96
	подвижное	0,56	1,77	1,08	-	0,13
По республике	валовое	21	43	15,7	0,016	0,75
	подвижное	0,4	1,71	0,91	-	0,12
ПДК	валовое	55	100	32	2,1	3,0
	подвижное	3,0	20	6,0	-	-

2.2. Эколого-токсикологическая оценка содержания тяжелых металлов в системе «почва-растение»

Не менее важный научный и практический интерес представляет содержание ТМ в растительной продукции, куда они попадают из загрязненной почвы, воздуха вместе с удобрениями и ядохимикатами, а также в составе техногенных выбросов.

В длительном опыте (12 лет) с минеральными удобрениями изучали изменение содержания ТМ в системе «почва-растение» (табл. 5).

Таблица 5. Изменение содержания тяжелых металлов в системе «почва-растение» в севообороте под влиянием удобрений (С.Г. Муртазина и др., 2010)

Варианты	Среднее содержание, мг/кг				
	меди	цинка	свинца	кадмия	ртути
Серая лесная почва					
Контроль	16,0	40,7	5,5	0,50	0,01
N60P60K40	25,0	56,7	6,5	0,49	0,01
N120P60K120	18,5	51,0	5,91	0,55	0,02
N180P60K40	19,3	52,0	5,8	0,52	0,02
N180P60K200	24,7	42,2	6,8	0,56	0,03
ПДК для почвы	55,0	100,0	30,0	1,0	1,0
Яровая пшеница					
Контроль	1,25	37,8	н.о.	0,30	0,0025
N60P60K40	1,25	38,1	н.о.	0,32	0,0025
N120P60K120	1,50	40,2	н.о.	0,30	0,005
N180P60K40	1,60	42,2	н.о.	0,30	0,005
N180P60K200	1,63	44,5	н.о.	0,37	0,0025
ПДК для зерна	10,0	50,0	н.о.	0,30	0,1

Задание 2.

Исходя из данных таблицы 5 дать эколого-токсикологическую оценку содержания ТМ в агроценозе:

1. Как изменяется содержание ТМ в серой лесной почве в результате интенсивного применения удобрений?

2. Как влияют высокие дозы удобрений на содержание ТМ в зерне яровой пшеницы?

3. Какие биогенные ТМ являются дефицитными в зерне пшеницы и с чем это связано?

Таблица 6. Группировка по содержанию тяжелых металлов в растениеводческой продукции

Варианты	Cu	Zn	Pb	Cd
Недостаточное	< 30	< 10		
Избыточное	>50	> 30	>5	>0,3

3. Оценка деградации физических, физико-химических и биологических свойств почв

Под понятием деградация понимают в общем как совокупность процессов, приводящих к ухудшению плодородия почв, и в частности как процесс разрушения структуры почв, потери гумуса, обменных оснований, снижение элементов питания. С точки зрения экологии, это дополнительно сокращение экологических функций почв. Кирюшин В.И. (1998) отмечает, что под деградацией почв следует понимать устойчивое ухудшение их свойств и связанное с ним сокращение или утрату экологических и производственных функций. Фрид А.С. (1999) определяет деградацию почв, как одно из проявлений эволюции или катастрофических неэволюционных изменений, оцениваемых человеком в аспекте хуже - лучше, которое может вызываться природными и антропогенными факторами.

Развитие компонентов экосистемы и всей системы в целом предполагает постоянную, точную подстройку функционирования системы, ее взаимосвязей, структуры и вещественного состава к изменяющимся внешним условиям и антропогенным нагрузкам. С точки зрения энергоэнтропии, прогрессивно развивающиеся системы характеризуются накоплением свободной и внутренней энергии, уменьшением энтропии, увеличением надежности и долговечности. Деградация почв приводит к противоположным тенденциям.

Для почв при деградации наблюдается уменьшение биопродуктивности систем, плодородия почв, уменьшение КПД использования фотосинтетически активной радиации и антропогенно затраченной энергии как на повышение урожая, так и на воспроизводство плодородия почв. Произошедшие изменения сопровождаются уменьшением адекватности ответных реакций системы на внешние воздействия окружающей среды и на антропогенный прессинг. В конечном итоге, это приводит к разбалансировке системы, а именно, к нарушению естественных структурных взаимосвязей в системе, к увеличению степени аддитивности ее компонентов. Наблюдающееся увеличение степени несоответствия системы внешним условиям соответствует увеличению разомкнутости петли гистерезиса, изменению свойств почв от факторов внешней среды,

уменьшению эластичности, надежности и долговечности системы. В практическом плане, это приводит к изменению свойств, процессов и режимов почв, агроэкосистем, к нарушению процессов их саморегулирования и саморазвития. При этом возникающие изменения связаны с трансформацией и миграцией не только вещества, но также энергии и информации.

При оценке деградации почв и ландшафтов перспективно их рассматривать, как самоорганизующиеся и «живые» системы, состоящие из большого количества подсистем различной степени подчиненности. С нашей точки зрения, необходимо рассматривать почву: 1) как исторически сложившееся биокосное тело; 2) как средство сельскохозяйственного производства; 3) как избирательную полупроницаемую мембрану; 4) как защитную оболочку литосферы; 5) как сорбент, в котором происходит трансформация потоков вещества и энергии из всей экологической системы. Деградация почв, как средства сельскохозяйственного производства, это потеря плодородия почв и продуктивности земель. Деградация почв, как исторически сложившегося тела – это уменьшение накопления энергии, увеличение энтропии системы, уменьшение ее надежности, эластичности и долговечности.

Почва выполняет значительное количество экологических функций. Ухудшение или деградация одной функции не всегда соответствует ухудшению других экологических функций. Так, например, подщелачивание среды приводит к уменьшению биопродуктивности, но часто – к увеличению буферности почв по отношению к загрязнению их тяжелыми металлами, т.к. они при таких условиях образуют труднорастворимые осадки. Критерии деградации, с точки зрения выполнения ими разных экологических функций, также неодинаковы. Так, развитие подзолообразования в таежно-лесной зоне соответствует деградации окультуренных почв, но в то же время соответствует приближению почв к условиям равновесия с внешними факторами, естественной эволюции почв.

При экологической оценке деградации почв рассматривают следующие показатели: факторы деградации, виды деградации, взаимовлияние процессов деградации, мощность деградационных воздействий, скорость деградации, этапы деградации, устойчивость почв к деградации, степень деградации, обратимость деградационных изменений. С практической точки зрения, необходимо оценивать уровень воздействия факторов, вызывающих деградацию, степень изменения почв, возможность восстановления почв, пути оптимизации обстановки.

Задания.

1. Оценить показатели физических, физико-химических и свойств почв по данным таблиц 1-5 варианта 1-2
2. Дать оценку биологическим показателям почвы (табл.1-4).

Почва опытного участка серая лесная среднесуглинистая, характеризуется следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса в пахотном слое составляет 2,6-3,2%, сумма поглощенных оснований 19-22 мг-экв., гидролитическая кислотность по Каппену 2,5-4,0 мг-экв. на 100 г почвы, рН со-

левой 5,5-5,8; содержание подвижных форм фосфора и калия соответственно 10-12 и 11-13 мг-экв. на 100 г почвы.

Чередование культур севооборота:

1. Яровая пшеница.
2. Ячмень.
3. Овес.
4. Чистый пар.
5. Озимая рожь.

Таблица 1. Изменение кислотности и общего количества микроорганизмов в почве в зависимости от интенсивности применения минеральных удобрений (С.Г. Муртазина и др.,2010)

Варианты	pH _{сол}	Всего микроорганизмов (в тыс. на 1 г почвы)
1. Контроль (без удобрений)	5,6	3400
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₄₀	5,4	3900
3. N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀	5,2	4000
4. N ₁₈₀ P ₆₀ K ₂₀₀	5,0	3300

Таблица 2. Влияние удобрений на содержание грибов и актиномицетов в почве (С.Г. Муртазина и др.,2010)

Варианты	Общее кол-во микроорганизмов, млн./ г.	Грибы, тыс./г.	Актиномицеты, млн/г
1. Контроль без удобрений	3,4	300	1,3
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₄₀	3,9	600	1,2
3. N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀	4,0	1000	1,2
4. N ₁₈₀ P ₆₀ K ₂₀₀	3,3	1800	Не обнаружены

Таблица 3. Количество и состав микроорганизмов в почве в длительном опыте с удобрениями, в тыс. на 1 г почвы (С.Г. Муртазина и др., 2010)

Варианты	Аммонификаторы	Нитрификаторы	Денитрификаторы	Аэробно-целлюлозоразлагающие	Азотобактер	Общее количество бактерий
1. Контроль без удобрений	2005	70	0,02	20	1	2100
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₄₀	1974	100	0,02	24	2	2100
3. N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀	1654	115	0,25	30	1	1800
4. N ₁₈₀ P ₆₀ K ₂₀₀	1614	50	0,35	26	1	1700

Таблица 4. Влияние удобрений на целлюлозоразлагающую активность почвы (С.Г. Муртазина и др., 2010)

Варианты	Бактерии (на МПА) млн./ г.	Целлюлозо-разлагающие микроорганизмы, тыс./г.	Интенсивность разложения целлюлозы, %убыли массы за вегетационный период
1. Контроль без удобрений	2,1	20	18
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₄₀	2,1	24	40
3. N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀	1,8	30	54
4. N ₁₈₀ P ₆₀ K ₂₀₀	1,7	26	35

Таблица 5. Влияние удобрений на аммонифицирующую способность почвы (С.Г. Муртазина и др., 2010)

Варианты	Общее кол-во микроорганизмов млн./ г.	Аммонифицирующие микроорганизмы, тыс./г.	Аммонифицирующая способность, мг/кг N-NH ₃
1. Контроль без удобрений	3,4	2005	8,9
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₄₀	3,9	1974	19,0
3. N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀	4,0	1654	30,2
4. N ₁₈₀ P ₆₀ K ₂₀₀	3,3	1614	7,4

Таблица 6. Влияние удобрений на нитрифицирующую способность почвы (С.Г. Муртазина и др., 2010)

Варианты	Нитрификаторы, тыс./г.	Нитрифицирующая способность, N- NO ₃ мг/ кг почвы
1. Контроль без удобрений	70	6,0
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₄₀	100	9,8
3. N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀	115	15,5
4. N ₁₈₀ P ₆₀ K ₂₀₀	50	5,5

Таблица 7. Влияние длительного применения удобрений на ферментативную активность почвы (С.Г. Муртазина и др., 2010)

Варианты	Бактерии (на МПА) млн. г.	Активность уреазы, мг аммиака г/24часа	Активность каталазы, куб.см 0,1М KMnO ₄ 1г/20 мин.
1. Контроль без удобрений	2,0	0,50	4,0
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₄₀	1,9	1,05	5,0
3. N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀	1,6	1,26	5,9
4. N ₁₈₀ P ₆₀ K ₂₀₀	1,6	0,45	3,3

Таблица 8. Влияние длительного применения удобрений на токсичность почвы (С.Г. Муртазина и др., 2010)

Варианты	Класс опасности	Характеристика	Эффект торможения корней, %
1. Контроль без удобрений	отсутствует	Не токсичная	0
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₄₀	отсутствует	Не токсичная	0
3. N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀	4	Малотоксичная	12
4. N ₁₈₀ P ₆₀ K ₂₀₀	4	Малотоксичная	18

Вариант 1

Таблица 1 - Гранулометрический и микроагрегатный состав почвы

Горизонт	Размеры частиц в мм								
	>0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	>0,01	<0,01	
A ₁ 0-20	0.89/ 4.80	4.46/ 8.26	49.82/ 64.67	11.22 11.52	11.82 / 7.43	21.80/ 3.32			
A ₂ 20-33	0,38/ 10,10	1,21/ 10,14	45,69/ 61,61	6,98/ 8,02	11,62/ 7,19	34,12/ 3,54			
B ₁ 33-68	0,40/ 3,77	0,86/ 9,61	45,69/ 67,72	6,60/ 9,51	10,11/ 7,03	36,35/ 2,36			
B ₂ 68-100	0,41/ 7,04	0,51/ 13,30	45,69/ 60,86	6,21/ 8,61	8,61/ 8,15	38,57/ 2,04			
C100-135	0,16/ 4,64	3,31/ 7,27	39,41/ 72,90	5,90/ 6,49	12,03/ 4,17	39,19/ 4,53			

Таблица 2 - Агрохимические свойства

Глубина взятия образца, в см	Гумус, в %	Сумма поглощённых оснований ммоль/100г	рН		Гидр. Кислотность ммоль/100г
			солевой	водный	
A ₁ 0-20	3,64	20,7	5,3	5,7	2,65
A ₂ 20-33	1,04	14,0	4,6	5,9	3,59
B ₁ 33-68	0,73	19,0	4,0	4,5	5,36
B ₂ 68-100	-	21,20	4,3	5,3	3,32
C100-135	-	19,32	4,8	5,7	2,37

Таблица 3 - Структурно-агрегатный состав почв

Горизонт	Размер структурных отдельностей, мм									
	>10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25	>0,25
A10-20	3,7	4,3	5,8	10,5/ 0,1	10,5/ 0,1	13,6/ 0,9	19,1/ 4,3	11,7/ 8,6	20,8/ 86,1	
A ₂ 20-33	2,9	4,6	6,7	12,8/ 0,2	12,3/ 0,2	14,0/ 2,7	17,0/ 8,2	9,7/ 11,5	20,0/ 77,1	
B ₁ 33-68	2,5	10,9	16,7	22,3/ 0,3	13,1/ 1,6	10,2/ 9,6	9,5/ 26,4	4,8/ 15,6	10,2/ 46,6	
B ₂ 68-100	17,3	23,9	17,5	17,1/ -	8,4/ 1,4	5,7/ 11,5	4,7/ 29,7	1,9/ 19,2	3,5/ 38,1	
C100-135	69,1	11,9	7,0	6,0/ 0,5	2,3/ 3,2	1,4/ 16,7	1,2/ 42,4	0,4/ 18,1	0,7/ 19,2	
C 135-140	49,3	10,9	9,3	9,1/ 0,1	4,3/ 0,2	3,5/ 1,4	3,6/ 5,3	3,0/ 9,5	6,9/ 83,5	

Таблица 4 - Физические свойства

Горизонт,	Плотность	Плотность	Скважность в %
-----------	-----------	-----------	----------------

глубина взятия образца, в см	ТФ	почвы г/см ³	Объём пор от почв					
			общая	занимаемых водой				Р _{аэр}
				прочно связанной	рыхло- связанной	капилляр- ной	всего	
A ₁ 0-10	2,57	1,17		5,8	2,4	28,8		
A ₁ 10-20	2,62	1,26		5,2	2,1	30,6		
A ₂ 20-33	2,61	1,32		11,0	4,5	17,4		
B ₁ 33-68	2,64	1,46		12,0	4,9	17,6		
B ₂ 68-100	2,64	1,52		н.о	н.о	25,1		
C100-135	2,66	1,52		14,2	5,8	13,0		
C135-140	2,69	1,42		11,9	4,9	14,8		

Таблица 5 - Водные свойства

Глубина взятия образца, в см	Полевая влажность, в %	Влагоёмкость, в %		Максималь- ная гигроскопич- ность	Влаж- ность устойчи- вого за- вядания расте- ний	Влаж- ность за- медле- ния роста растений	Диапа- зон ак- тивной влаги
		полная	наимень- шая				
A ₁ 0-10	26,9			7,53		17,01	
A ₁ 10-20	23,9			6,14		15,96	
A ₂ 20-33	22,4			12,51		—	
B ₁ 33-68	20,1			12,33		-	
B ₂ 68-100	24,5			Н.о		—	
C100-135	25,2			13,97		—	
C135-140	24,9			12,54		—	

Вариант 2

Таблица 1. Гранулометрический и микроагрегатный состав

Горизонт	Размеры частиц в мм								
	>0,25	0,25-0,05	>0,05	0,05-0,01	>0,01	<0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001
A _п 0-18	0,15/ 2,18	10,84/ 23,29		41,94/ 53,46			12,65/ 10,54	10,84/ 8,27	23,59/ 2,25
A _п 18-28	0,10/ 2,72	2,82/ 26,90		47,08/ 53,72			12,09/ 8,84	9,46/ 6,49	28,45/ 1,33
A ₂ 28-40	0,05/ 3,46	3,36/ 10,32		41,47/ 70,18			9,22/ 7,14	7,87/ 5,83	38,03/ 3,07
B ₁ 40-70	0,17/ 5,79	1,18/ 33,43		39,54/ 46,99			8,45/ 7,19	7,55/ 3,04	43,11/ 3,56
B ₂ 70-110	0,06/-	4,35/-		35,44/-			10,21	6,37	43,54
BC110-118	0,05	3,85		35,56			9,89	8,57	42,08
C118-150	0,10	4,00		35,70			9,53	10,31	40,36

Таблица 2. Агрохимические свойства

Глубина взятия образца в см	Гумус в %	Сумма поглощённых оснований ммоль/100г	рН		Гидролитическая кислотность, ммоль/100г
			солевой	водный	
A _п 0-18	2,68	21,68	5,92	7,0	1,20
A _п 18-28	1,73	23,14	5,9	7,1	1,21
A ₂ 28-40	0,78	25,84	5,9	7,2	1,00
B ₁ 40-70		25,91	5,9	7,2	1,22
B ₂ 70-110	-	21,20	5,3	7,3	1,32
BC110-118	-	19,32	4,8	6,7	1,37

Таблица 3. Структурно-агрегатный состав почв

Горизонт	Размер структурных отдельностей, мм
----------	-------------------------------------

	>10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25	>0,25
A _п 0-18	18,6	7,5	7,9	11,2/ 0,3	9,5/ 0,2	11,3/ 0,9	15,0/ 5,7	8,2/ 21,5	10,6/ 71,9	
A _п 18-28	10,5	6,0	6,5	10,4/ 1,2	9,9/ 0,2	12,8/ 0,8	18,9/ 5,0	10,6/ 22,6	14,3/ 76,2	
A ₂ 28-40	7,5	7,1	14,4	24,1/ -	14,6/ 1,6	10,5/ 1,8	9,7/ 13,2	4,8/ 40,4	7,3/ 42,9	
B ₁ 40-70	0,9	11,4	21,0	28,5/ -	15,0/ 0,8	9,2/ 11,2	8,0/ 35,2	2,9/ 18,7	3,0/ 34,0	
B ₂ 70-110	17,3	21,8	18,4	18,1/ 0,2	9,3/ 5,3	6,7/ 15,4	5,1/ 28,9	1,7/ 15,3	1,6/ 34,9	
BC110-118	26,1	15,4	15,1	17,4/ -	9,8/ 0,8	7,2/ 4,4	5,6/ 17,5	1,8/ 22,7	1,6/ 54,6	
C118-150	42,8	10,1	8,2	10,3/ -	6,0/-	5,4/ -	5,5/ 0,9	3,5/ 2,8	8,1/ 96,3	

Таблица 4. Физические свойства

Горизонт, глубина взятия об- разца, в см	Плот- ность ТФ	Плот- ность почвы г/см ³	Скважность в %					
			Объём пор от почвы					
			об- щая	занимаемых водой				Р _{аэр}
				прочносвя- занной	рыхлосвя- занной	капил- лярной	всего	
A _п 0-18	2,58	1,08		4,6	1,9	28,0		
A _п 18-28	2,53	1,09		5,0	2,0	30,3		
A ₂ 28-40	2,63	1,41		7,8	3,2	20,6		
B ₁ 40-70	2,63	1,63		13,5	5,5	14,1		
B ₂ 70-110	2,72	1,54		12,7	5,2	11,1		
BC110-118	2,62	1,56		12,1	4,9	14,5		
C118-150	2,68	1,49		12,1	5,0	15,0		

Таблица 5. Водные свойства

Глубина взятия об- разца в см	Поле- вая влаж- ность в %	Влагоёмкость, в %		Максималь- ная гигро- скопич- ность	Влаж- ность устойчи- вого завя- дания растений	Влаж- ность замедле- ния роста растений	Диапазон активной влаги
		полная	наимень- шая				
A _п 0-18	19.9	29.1	19.4	5.73		13.58	
A _п 18-28	16.8	28.7	19.0	5.84		–	
A ₂ 28-40	19.5	21.2	13.9	11.86		–	
B ₁ 40-70	30.6	22.2	13.9	–		–	
B ₂ 70-110	17.3	19.4	13.0	11.53		–	
BC110-118	20.5	20.4	13.5	11.64		–	
C118-150	18.9	23.6	15.5	12.29		–	

4. Оценка устойчивости серой лесной почвы в интенсивном земледелии

Минеральные удобрения являются мощным антропогенным фактором, которые регулируют интенсивность, напряженность биохимических процессов и их направленность.

Под влиянием очень высоких доз минеральных удобрений ухудшаются условия развития актиномицетов, аммонификаторов, нитрификаторов, целлюлозоразлагающих бактерий, при одновременно высоком содержании численности грибов, что указывает на уменьшение активности полезной бактериальной микрофлоры.

Продуктивность севооборота измеряется совокупной урожайностью культур севооборота, ее можно выразить в ц/га или т/га урожая зерна. При наличии в севообороте кормовых культур целесообразно ее выразить в кормовых единицах с учетом различной пищевой ценности сельскохозяйственных культур.

Однако под влиянием очень высоких доз удобрений ухудшается микробиологический состав почвы, снижаются показатели ее биологической активности, в том числе ферментативная активность, повышается количество грибов, денитрифицирующих бактерий и обнаруживается токсичность почвы. В результате всех этих процессов эффективность удобрений падает, устойчивость почвы к антропогенному воздействию нарушается и желаемый результат – повышение урожайности культур севооборота и в целом продуктивности севооборота не достигается. Проведенные исследования показывают, что в условиях серых лесных почв в интенсивных севооборотах повышение дозы азота до 120 кг/га является достаточной и дальнейшее повышение доз основных элементов питания нарушает устойчивость почвы и наносит вред ее экологии

Задания.

1. По данным таблиц 1-2 оценить эффективность применения высоких доз удобрений на серой лесной почве.

Таблица 1. Продуктивность севооборота под действием возрастающих доз удобрений, ц/га корм. ед. (С.Г. Муртазина и др., 2010)

Вариант	Сумма за I ротацию	Сумма за II ротацию
1. Контроль (без удобрений)	91	86
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₄₀	125	134
3. N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀	170	184
4. N ₁₈₀ P ₆₀ K ₄₀	158	150

Таблица 2. Продуктивность севооборота под действием возрастающих доз удобрений, ц/га корм. ед. (С.Г. Муртазина и др., 2010)

Вариант	Сумма за III ротацию	Средняя за ротацию
1. Контроль -без удобрений	80	20
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₄₀	140	35
3. N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀	192	48
4. N ₁₈₀ P ₆₀ K ₄₀	144	36

2. Определить по данным лабораторных анализов основные таксоны почв и провести оценку устойчивости основных почвенных показателей (вариант 1-

Вариант 1.

Таблица 1. Гранулометрический и микроагрегатный состав

Горизонт	Размеры частиц в мм								
	>0,25	0,25-0,05	>0,05	0,05-0,01	>0,01	<0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001
A _п 0-10	0,2	2,3	2,5	63,6			11,3	11,7	10,9
A _п 10-29	0,3	3,2	3,5	63,8			13,3	5	13,8
A ₂ B 29-40	0,3	0,3	0,6	56,4			9,6	8,3	25,1
B ₁ 40-60	0,1	1,4	1,5	43,3			10,4	11,5	33,3
B ₂ 60-105	0,2	1	1,2	41,6			12,2	16,6	28,4

Таблица 2. Агрохимические свойства

Глубина взятия образца в см	Гумус в %	Сумма поглощенных оснований ммоль/100г	рН	Гидролитическая кислотность ммоль/100г
			водный	
A _п 0-10	3,52	14,5	5,5	3,7
A _п 10-29	1,61	12,7	4,6	4,4
A ₂ B 29-40	0,51	12,1	4,6	4,5
B ₁ 40-60	0,42	10,1	5,5	3,8
B ₂ 60-105	0,11	10	5,4	3,6

Таблица 3. Структурно-агрегатный состав почв

Гор.	Размер структурных отдельностей, мм									
	>10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25	>0,25
A _п 0-10	13,70	6,99	9,53	13,47/ 0,74	9,22/ 3,62	9,72/ 3,62	14,37/ 16,08	11,09/ 33,88	11,87/ 44,88	
A _п 10-29	17,44	9,27	12,03	8,93/ 0,16	9,52/ 1,20	9,41/ 4,76	11,73/ 16,00	8,65/ 33,15	11,98/ 44,73	
A ₂ B 29-40	9,79	12,35	16,05	21,82/ 1,26	13,52/ 11,12	10,62/ 22,20	8,78/ 28,26	3,32/ 14,52	3,70/ 22,64	
B ₁ 40-60	30,28	17,78	13,83	15,89/ 1,30	7,20/ 5,48	4,99/ 24,58	4,38/ 31,20	2,56/ 13,98	3,05/ 23,46	
B ₂ 60-105	31,69	16,72	13,52	15,49/ 2,16	7,89/ 6,00	5,47/ 25,30	4,88/ 31,54	2,32/ 11,90	1,98/ 23,10	
C105-140	57,64	10,07	7,90	7,49/ -	3,54/ 1,34	3,08/ 5,36	3,38/ 13,30	2,79/ 17,90	4,06/ 62,10	

Таблица 4. Физические свойства

Горизонт, глубина взятия образца, в см	Плотность ТФ	Плотность почвы г/см ³	Скважность в %					
			Объём пор от почвы					
			общая	занимаемых водой				Разр
				прочно- связанной	рыхло- связанной	капилляр- ной	всего	
A _п 0-10	2,47	1,11		8,3	3,4	23,3		
A _п 10-29	2,47	1,07		8	3,3	24		
AB 29-40	2,49	1,18		9,2	3,8	27,4		
B ₁ 40-60	2,49	1,15		8,2	3,4	27,3		
B ₂ 60-105	2,51	1,26		9	3,7	26,3		
C105-140	2,47	1,26		8,7	3,5	26,7		
A _п 0-10	2,52	1,57		9,5	3,9	17		

Таблица 5. Водные свойства

Глубина взятия образца, в см	Полевая влажность в %	Влагоёмкость, в %		Максимальная гигроско- пичность	Влажность устойчивого завядания растений	Влажность замедления роста растений	Диапа зон актив ной влаги
		полная	наимень- шая				
A _п 0-10	19,9	29,1	19,4	5,73		10,5	-
A _п 10-29	16,8	28,7	19	5,84		12,3	-
AB 29-40	19,5	21,2	13,9	11,86		14,5	-
B ₁ 40-60	20,6	22,2	13,9	-		-	-
B ₂ 60-105	17,3	19,4	13	11,53		-	-
C105-140	16,5	20,4	13,5	11,64		-	-

Вариант 2.

Таблица 1. Гранулометрический и микроагрегатный состав

Горизонт	Размеры частиц в мм								
	>0,25	0,25-0,05	>0,05	0,05- 0,01	>0,01	<0,01	0,01- 0,005	0,005- 0,001	<0,001
A _п 0-20	0,48/ 5,98	19,72/ 21,52		42,90/ 60,0			3,70/ 7,95	14,15/ 4,20	19,05/ 6,35
A _п 20-30	0,08/ - 11,76	24,07/ 25,84		42,50/ 57,45			6,25/ 7,80	7,55/ 6,65	19,55/ 0,50
B ₁ 30-55	0,58/ 5,84	20,82/ 23,16		40,60/ 54,50			11,60/ 8,85	4,70/ 5,60	21,70/ 2,70
B ₁ 55-80	0,14/ 9,22	19,26/ 21,26		40,35/ 53,20			7,05/ 9,75	6,80/ 5,45	26,40/ 1,17
B ₂ 80-120	0,20	28,90		28,55			7,00	7,10	28,25
C120-170	0,06	17,28		30,95			6,45	7,65	26,75

Таблица 2. Агрохимические свойства

Глубина взятия об- разца в см	Гумус в %	Сумма по- глощённых оснований в ммоль/100г	pH		Гидролитическая кислотность ммоль/100г
			солевой	водный	
A _п 0-20	6,07	34,75	5,44	6,36	3,70
A _п 20-30	4,09	29,08	5,52	6,54	2,55
B ₁ 30-55	2,12	18,89	4,90	6,44	2,25
B ₁ 55-80	0,52	16,97	4,0	5,65	3,80
B ₂ 80-120	0,32	20,52	4,64	7,42	2,27
C120-170	-	-	7,10	7,62	-

Таблица 3. Структурно-агрегатный состав почв

Горизонт	Размер структурных отдельностей, мм									
	>10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25	>0,25
A _п 0-20	18,18	7,14	6,51	9,45/ -	8,03/ 0,40	9,48/ 2,10	15,75/ 10,04	10,07/ 36,86	20,40/ 56,60	
A _п 20-30	6,48	10,18	11,26	17,26/ 0,34	11,78/ 0,20	10,32/ 4,50	11,49/ 25,54	6,09/ 23,80	15,08/ 45,72	
B ₁ 30-55	29,81	12,21	9,72	12,92/ -	8,26/ -	7,14/ 0,38	7,30/ 0,82	3,80/ 29,66	8,81/ 63,14	
B ₁ 55-80	75,04	6,11	4,78	4,17/ -	2,20/ 0,60	1,94/ 4,28	2,08/ 25,30	1,38/ 25,16	2,36/ 44,66	
B ₂ 80-120	36,84	12,64	11,14	11,93/ -	6,11/ 0,04	4,56/ 0,56	5,19/ 2,20	3,34/ 9,50	8,21/ 87,70	

Таблица 4. Физические свойства

Горизонт, глубина взятия образца, в см	Плотность ТФ г/см ³	Плотность почвы г/см ³	Скважность в %					
			Объём пор от почвы					
			общая	занимаемых водой				Р _{аэр}
				прочно-связанной	рыхло-связанной	капиллярной	всего	
A _п 0-20	2,41	1,08		5,5	2,2	26,6		
A _п 20-30	-	1,13		5,8	2,4	26,7		
B ₁ 30-55	2,41	1,27		5,7	2,3	25,5		
B ₁ 55-80	-	1,40		—	—	—		
B ₂ 80-120	2,52	1,49		6,9	2,8	20,0		
C120-170	2,33	1,38		8,1	3,0	15,6		

Таблица 5. Водные свойства

Глубина взятия образца, в см	Полевая влажность в %	Влагоёмкость, в %		Максимальная гигроскопичность	Влажность устойчивого завядания растений	Влажность замедления роста растений	Диапазон активной влаги
		полная	наименьшая				
A _п 0-20	25,7	43,5	26,4	7,73		18,48	
A _п 20-30	25,8	38,5	26,4	7,73		18,48	
B ₁ 30-55	25,7	32,3	22,8	6,74		15,61	
B ₁ 55-80	22,1	26,0	18,8	—		13,16	
B ₂ 80-120	19,6	25,6	19,8	6,98		13,86	
C120-170	20,1	27,2	19,6	8,81		13,72	

Вариант 3.

Таблица 1. Гранулометрический и микроагрегатный состав

Горизонт	Размеры частиц в мм								
	>0,25	0,25-0,05	>0,05	0,05-0,01	>0,01	<0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001
A _п 0-20	0,2	2,3		63,6			11,3	11,7	10,9
A _п 20-30	0,3	3,2		63,8			13,3	5	13,8
B ₁ 30-55	0,3	0,3		56,4			9,6	8,3	25,1
B ₁ 55-80	0,1	1,4		43,3			10,4	11,5	33,3
B ₂ 80-120	0,2	1		41,6			12,2	16,6	28,4

Таблица 2. Агрохимические свойства

Глубина взятия образца, в см	Гумус, в %	Сумма поглощенных оснований. в ммоль/100г почвы	pH	Гидролитическая кислотность, ммоль/100г
			водный	
A _п 0-20	3,52	14,5	5,5	3,7
A _п 20-30	1,61	12,7	4,6	4,4
B ₁ 30-55	0,51	12,1	4,6	4,5
B ₁ 55-80	0,42	10,1	5,5	3,8
B ₂ 80-120	0,11	10	5,4	3,6

Таблица 3. Структурно-агрегатный состав почв

Горизонт	Размер структурных отдельностей, мм									
	>10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25	>0,25
A _п 0-20	18,18	7,14	6,51	9,45/ -	8,03/ 0,40	9,48/ 2,10	15,75/ 10,04	10,07/ 36,86	20,40/ 56,60	
A _п 20-30	6,48	10,18	11,26	17,26/ 0,34	11,78/ 0,20	10,32/ 4,50	11,49/ 25,54	6,09/ 23,80	15,08/ 45,72	
B ₁ 30-55	29,81	12,21	9,72	12,92/ -	8,26/ -	7,14/ 0,38	7,30/ 0,82	3,80/ 29,66	8,81/ 63,14	
B ₁ 55-80	75,04	6,11	4,78	4,17/ -	2,20/ 0,60	1,94/ 4,28	2,08/ 25,30	1,38/ 25,16	2,36/ 44,66	
B ₂ 80-120	36,84	12,64	11,14	11,93/ -	6,11/ 0,04	4,56/ 0,56	5,19/ 2,20	3,34/ 9,50	8,21/ 87,70	

Таблица 4. Физические свойства

Горизонт, глубина взятия образца, в см	Плотность ТФ, г/см ³	Плотность почвы, г/см ³	Скважность в %					
			Объем пор от почвы					
			Общая	Занимаемых водой				
				прочно- связанной	рыхло- связанной	капил- лярной	всего	P _{аэр}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
A _п 0-20	2,58	1,25		12,8	5,2	24,2		
A _п 20-30	2,57	1,04		10,2	4,1	23,9		
B ₁ 30-55	2,70	1,34		12,5	5,1	16,5		
B ₁ 55-80	2,68	1,35		9,5	3,8	14,3		
B ₂ 80-120	2,68	1,18		8,8	3,6	19,8		
C 120-156	2,68	1,51		13,4	5,6	9,5		

Таблица 5. Водные свойства

Глубина взятия образца, в см	Полевая влажность в %	Влагоемкость в %		Максималь- ная гигроско- пичность	Влаж- ность устойчи- вого завядания растений	Влаж- ность замед- ления роста расте- ний	Диапа- зон актив- ной влаги
		полная	наимень- шая				
1	2	3	4	5	6	7	8
A _п 0-20	29,4	47,2	32	15,37		22,4	
A _п 20-30	25,1	57,5	34,2	14,7		23,94	
B ₁ 30-55	24,3	36,6	24,7	13,93		-	
B ₁ 55-80	15,2	31,9	19,8	10,53		-	
B ₂ 80-120	18,4	30,1	20,2	8,88		-	
C 120-156	20,1	29,6	19,7	13,67		-	

5. Оценка устойчивости черноземов в условиях усиления антропогенной нагрузки

В результате почвообразовательного процесса почвенный покров приобретает устойчивость к антропогенному воздействию, как компонент агроэкосистемы находится в постоянной динамике основных почвенных показателей и нуждается в постоянном наблюдении, контроле и прогнозировании выполнении основных экологических функций.

Для определения всех видов антропогенной нагрузки и комплексной интегральной оценки предлагается следующая система в баллах:

- показатели для оценки устойчивости почв по выраженности рельефа:

1. Очень сильноволнистая территория с уклонами более 10° - 0
2. Сильноволнистая территория с уклонами 8,1-10° - 1
3. Средневолнистая территория с уклонами 5,1-8° - 2

4. Волнистая территория с уклонами 3,1-5° - 3
5. Слабоволнистая и выровненная территория с уклонами, не превышающими 1,1-3° - 4
6. Выровненная территория с уклонами 1° и менее - 5

- показатели для оценки устойчивости почв по запасам гумуса в 20 см слое, т/га:

1. Менее 10 – 0
2. 10-20 – 1
3. 20-40 – 2
4. 40-60 – 3
5. 60-80 – 4
6. Более 80 – 5

- показатели для оценки устойчивости почв по их кислотности:

1. Очень сильнокислые почвы, $pH_{KCl} < 4,0$ – 0
2. Сильнокислые почвы, $pH_{KCl} 4,1-4,5$ – 1
3. Среднекислые почвы $pH_{KCl} 4,6-5,0$ – 2
3. Слабокислые почвы, $pH_{KCl} 5,1-5,5$ – 3
4. Почвы близкие к нейтральным $pH_{KCl} 5,6-6,0$ – 4
5. Почвы нейтральные, $pH_{KCl} 6,1-7,0$ – 5

- показатели для оценки устойчивости почв по степени насыщенности основаниями, %:

1. Менее 20 – 0
2. 21-35 – 1
3. 36-50 – 2
4. 51-65 – 3
5. 66-80 – 4
6. 80-100 – 5

- показатели для оценки устойчивости почв по биологической продуктивности (неотчуждаемая биомасса, т/га сухого вещества):

1. Менее 4,0 – 0
2. 4,0-6,0 – 1
3. 6,1-8,0 – 2
4. 8,1-10,0 – 3
5. 10,1-12,0 – 4
6. Более 12,0 – 5

- показатели для оценки устойчивости почв по степени их освоенности:

1. Неокультуренные почвы, с очень низкой насыщенностью органическими (менее 5 т/га) и минеральными удобрениями (менее 60 кг/га д.в. NPK), при слабой агротехнике – (-3)

2. Слабокультуренные, с низкой насыщенностью органическими (6-8 т/га) и минеральными удобрениями (60-90 кг/га д.в. NPK) при средней агротехнике – (-2)

3. Среднекультуренные, со средним уровнем насыщенности органическими (9-11 т/га) и минеральными удобрениями (91-120 кг/га д.в. NPK) на фоне оптимальной агротехнике – (-1)

4. Окультуренные почвы, с выше средним уровнем насыщенности органическими (12-14 т/га) и минеральными удобрениями (121-150 кг/га д.в. NPK) при высокой агротехнике – 0

5. Повышеннокультуренные почвы с высоким уровнем насыщенности органическими (15-17 т/га) и минеральными удобрениями (151-170 кг/га д.в. NPK) при высокой агротехнике – (+1)

6. Высококультуренные, с очень высоким уровнем применения органических (более 18 т/га) и минеральных (181-200 кг/га д.в. NPK) при высокой агротехнике – (+2)

- показатели для оценки устойчивости почвообразующим породам:

1. Моренные, флювиогляционные и древнеаллювиальные пески – 0

2. Моренные и флювиогляционные отложения на выровненных территориях и депрессиях; маломощные пески и супеси, подстилаемые тяжелосуглинистой моренной (двучлены); аллювиальные слоистые отложения, торфа – 1

3. Легкие суглинки, подстилаемые тяжелосуглинистой моренной (двучлены) элювиальные отложения – 2

4. Моренные суглинки и глины, делювиальные отложения – 3

5. Покровные суглинки и глины, карбонатные отложения (глины и суглинки) – 4

6. Лессы и лессовидные суглинки – 5

- оценка почв степени их интегральной устойчивости:

1. Крайне устойчивая – 0-4

2. Неустойчивая – 5-9

3. Малоустойчивая – 10-14

4. Относительно устойчивая – 15-19

5. Устойчивая – 20-24

6. Высокоустойчивая – 25-27

Задание.

Определить по данным лабораторных анализов, почвенным картам хозяйств, материалам почвенного обследования основные таксоны почв и провести оценку устойчивости основных почвенных показателей.

Вариант 1

Таблица 1. Гранулометрический и микроагрегатный состав

Гор.,	Размеры частиц в мм								
	>0,25	0,25-0,05	>0,05	0,05-0,01	>0,01	<0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001
A _п 0-20	0,48/ 5,98	19,72/ 21,52		42,90/ 60,0			3,70/ 7,95	14,15/ 4,20	19,05/ 6,35
A _п 20-30	0,08/ - 11,76	24,07/ 25,84		42,50/ 57,45			6,25/ 7,80	7,55/ 6,65	19,55/ 0,50
B ₁ 30-55	0,58/ 5,84	20,82/ 23,16		40,60/ 54,50			11,60/ 8,85	4,70/ 5,60	21,70/ 2,70
B ₁ 55-80	0,14/ 9,22	19,26/ 21,26		40,35/ 53,20			7,05/ 9,75	6,80/ 5,45	26,40/ 1,17
B ₂ 80-120	0,20	28,90		28,55			7,00	7,10	28,25
C120-170	0,06	17,28		30,95			6,45	7,65	26,75

Таблица 2. Агрохимические свойства

Глубина взятия образца. в см	Гумус, в %	Сумма поглощённых оснований, ммоль/100г	рН		Гидролитическая кислотность, ммоль/100г
			солевой	водный	
A _п 0-20	6,07	34,75	5,44	6,36	3,70
A _п 20-30	4,09	29,08	5,52	6,54	2,55
B ₁ 30-55	2,12	18,89	4,90	6,44	2,25
B ₁ 55-80	0,52	16,97	4,0	5,65	3,80
B ₂ 80-120	0,32	20,52	4,64	7,42	2,27
C120-170	-	-	7,10	7,62	-

Таблица 3. Структурно-агрегатный состав почв

Горизонт	Размер структурных отдельностей, мм									
	>10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25	>0,25
A _п 0-20	18,18	7,14	6,51	9,45/ -	8,03/ 0,40	9,48/ 2,10	15,75/ 10,04	10,07/ 36,86	20,40/ 56,60	
A _п 20-30	6,48	10,18	11,26	17,26/ 0,34	11,78/ 0,20	10,32/ 4,50	11,49/ 25,54	6,09/ 23,80	15,08/ 45,72	
B ₁ 30-55	29,81	12,21	9,72	12,92/ -	8,26/ -	7,14/ 0,38	7,30/ 0,82	3,80/ 29,66	8,81/ 63,14	
B ₁ 55-80	75,04	6,11	4,78	4,17/ -	2,20/ 0,60	1,94/ 4,28	2,08/ 25,30	1,38/ 25,16	2,36/ 44,66	
B ₂ 80-120	36,84	12,64	11,14	11,93/ -	6,11/ 0,04	4,56/ 0,56	5,19/ 2,20	3,34/ 9,50	8,21/ 87,70	

Таблица 4. Физические свойства

Горизонт, глубина взятия образца, в см	Плотность ТФ	Плотность почвы г/см ³	Скважность в %					
			Объём пор от почвы					
			общая	занимаемых водой				Р _{аэр}
				прочно- связанной	рыхло- связанной	капиллярной	всего	
A _п 0-20	2,41	1,08		5,5	2,2	26,6		
A _п 20-30	-	1,13		5,8	2,4	26,7		
B ₁ 30-55	2,41	1,27		5,7	2,3	25,5		
B ₁ 55-80	-	1,40		—	—	—		
B ₂ 80-120	2,52	1,49		6,9	2,8	20,0		
C120-170	2,33	1,38		8,1	3,0	15,6		

Таблица 5. Водные свойства

Глубина взятия образца, в см	Полевая влажность, в %	Влагоёмкость, в %		Максимальная гигроскопичность	Влажность устойчивого за- вядания растений	Влажность замедления ро- ста рас- тений	Диапазон активной влаги
		полная	наименьшая				
A _п 0-20	25,7	43,5	26,4	7,73		18,48	
A _п 20-30	25,8	38,5	26,4	7,73		18,48	
B ₁ 30-55	25,7	32,3	22,8	6,74		15,61	
B ₁ 55-80	22,1	26,0	18,8	—		13,16	
B ₂ 80-120	19,6	25,6	19,8	6,98		13,86	
C120-170	20,1	27,2	19,6	8,81		13,72	

Вариант 2

Таблица 1. Гранулометрический и микроагрегатный состав

Горизонт	Размеры частиц в мм								
	>0,25	0,25- 0,05	>0,05	0,05- 0,01	>0,01	<0,01	0,01- 0,005	0,005- 0,001	<0,001
A _п 0-18	8,00/ 21,80	7,0/ 25,70		25,00/ 35,90			10,10/ 9,15	14,05/ 5,40	35,85/ 1,45
A ₁ 18-36	7,90/ 37,44	3,70/ 21,81		29,25			5,55/ 5,35	13,90/ 4,15	39,70/ 3,15
B ₁ 36-56	7,30/ 31,44	4,30/ 21,96		30,45/ 38,50			2,15/ 7,00	15,45/ 6,90	40,35/ 4,30
B ₂ 56-75	7,70	5,00		32,55			6,75	10,60	37,60
C75-150	4,38	2,97		28,85			6,95	10,10	33,95

Таблица 2 - Агрохимические свойства

Глубина взятия об- разца, в см	Гумус, в %	Сумма по- глощённых оснований, ммоль/100г	рН		Гидролитическая кислотность, ммоль/100г
			солевой	водный	
A _п 0-18	10,95	57,06	5,80	6,80	3,50
A ₁ 18-36	10,62	59,14	5,70	6,70	3,60
B ₁ 36-56	5,55	53,66	5,80	7,00	2,80
B ₂ 56-75	2,20	47,35	5,53	6,90	1,83
C 75-150	-	-	5,66	7,10	-

Таблица 3 - Структурно-агрегатный состав почв

Горизонт	Размер структурных отдельностей, мм									
	>10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25	>0,25
A _п 0-18	35,50	8,18	7,34	9,44/ 0,65	7,22/ 0,55	7,92/ 1,95	11,48/ 10,53	6,94/ 33,88	5,93/ 52,44	
A ₁ 18-36	4,35	1,80	3,23	18,80/ 2,50	21,02/ 6,84	17,09/ 11,14	15,94/ 31,66	8,42/ 9,90	9,26/ 37,86	
B ₁ 36-56	0,62	1,99	10,06	29,38/ 1,20	21,51/ 4,34	11,57/ 15,22	12,85/ 32,74	6,23/ 10,54	5,76/ 35,86	
B ₂ 56-75	19,77	9,90	12,47	1/8,83/ 1,10	11,42/ 3,93	9,04/ 12,78	9,35/ 34,60	5,16/ 14,68	4,02/ 32,86	
C 75-150	38,04	10,19	10,90	15,21/ 1,20	8,16/ 6,44	6,12/ 15,40	5,49/ 25,90	2,82/ 15,80	3,04/ 35,25	

Таблица 4 - Физические свойства

Горизонт, глубина взятия образца, в см	Плотность ТФ	Плотность почвы г/см ³	Скважность в %					
			Объём пор от почвы					
			общая	занимаемых водой				P _{аэр}
				прочно- связанной	рыхло- связанной	капилляр- ной	всего	
A _п 0-18	2,41	0,96		7,4	3,0	23,3		
A ₁ 18-36	2,43	0,96		7,4	3,0	24,4		
B ₁ 36-56	2,48	1,14		9,0	3,7	29,0		
B ₂ 56-75	2,48	1,18		9,3	3,8	22,8		
C 75-150	2,48	1,16		9,1	3,8	19,4		

Таблица 5 - Водные свойства

Глубина взятия образца, в см	Полевая влажность, в %	Влагоёмкость, в %		Макси- мальная гигро- скопич- ность	Влаж- ность устойчи- вого завядания растений	Влаж- ность замедле- ния ро- ста рас- тений	Диапа- зон актив- ной влаги
		полная	наимень- шая				
A _п 0-18	26,2	56,7	26,7	11,54		18,69	
A ₁ 18-36	22,7	54,9	26,8	11,54		18,76	
B ₁ 36-56	21,7	48,0	27,1	11,82		18,97	
B ₂ 56-75	21,8	42,8	24,4	11,77		17,08	
C 75-150	21,7	42,2	24,1	11,77		16,87	

Вариант 3

Таблица 1. Гранулометрический и микроагрегатный состав

Горизонт	Размеры частиц в мм								
	>0,25	0,25- 0,05	>0,05	0,05- 0,01	>0,01	<0,01	0,01- 0,005	0,005- 0,001	<0,001
A _п 0-10	1,08/ 21,26	7,22/ 40,99		31,70/ 32,66			8,50/ 3,68	8,23/ 0,21	43,27/ 1,80
A _п 10-29	1,17/ 37,90	7,54/ 34,63		25,67/ 22,54			9,23/ 2,18	9,39/ 0,15	47,10/ 2,60
AB 29-40	0,80/ 24,67	7,48/ 35,87		29,50/ 34,74			6,10/ 1,97	9,12/ 0,08	47,00/ 2,87
B ₁ 40-60	0,99/ 38,28	9,02/ 34,16		27,20/ 19,96			7,99/ 3,43	7,93/ 0,08	40,75/ 4,69
B ₂ 60-105	0,55	5,52		30,32			7,69	7,99	38,16
C 105-140	0,48	17,66		21,46			6,94	5,59	39,53

Таблица 2. Агрохимические свойства

Глубина взятия образца, в см	Гумус, в %	Сумма поглощённых оснований, ммоль/100г	pH		Гидролитическая кислотность, ммоль/100г
			солевой	водный	
A _п 0-10	8,77	40,12	6,9	7,9	0,76
A _п 10-29	8,58	43,96	7,0	7,9	0,74
AB 29-40	6,97	-	7,11	7,9	-
B ₁ 40-60	5,02	-	7,25	8,1	-
B ₂ 60-105	4,68	-	7,30	8,2	-

Таблица 3. Структурно-агрегатный состав почв

Горизонт	Размер структурных отдельностей, мм									
	>10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25	>0,25
A _п 0-10	13,70	6,99	9,53	13,47/ 0,74	9,22/ 3,62	9,72/ 3,62	14,37/ 16,08	11,09/ 33,88	11,87/ 44,88	
A _п 10-29	17,44	9,27	12,03	8,93/ 0,16	9,52/ 1,20	9,41/ 4,76	11,73/ 16,00	8,65/ 33,15	11,98/ 44,73	
AB 29-40	9,79	12,35	16,05	21,82/ 1,26	13,52/ 11,12	10,62/ 22,20	8,78/ 28,26	3,32/ 14,52	3,70/ 22,64	
B ₁ 40-60	30,28	17,78	13,83	15,89/ 1,30	7,20/ 5,48	4,99/ 24,58	4,38/ 31,20	2,56/ 13,98	3,05/ 23,46	
B ₂ 60-105	31,69	16,72	13,52	15,49/ 2,16	7,89/ 6,00	5,47/ 25,30	4,88/ 31,54	2,32/ 11,90	1,98/ 23,10	
C105-140	57,64	10,07	7,90	7,49/ -	3,54/ 1,34	3,08/ 5,36	3,38/ 13,30	2,79/ 17,90	4,06/ 62,10	

Таблица 4. Физические свойства

Горизонт, глубина взятия образца, в см	Плотность ТФ	Плотность почвы, г/см ³	Скважность в %					
			Объём пор от почвы					
			об- щая	занимаемых водой				Р _{аэр}
				прочно- связанной	рыхло- связанной	капил- лярной	всего	
A _п 0-10	2,54	0,97		9,4	3,8	28,3		
A _п 10-29	2,52	1,16		11,2	4,5	26,1		
AB 29-40	2,66	1,10		11,1	4,6	25,5		
B ₁ 40-60	2,66	1,14		11,1	4,5	21,5		
B ₂ 60-105	2,64	1,32		12,2	5,0	16,4		
C105-140	2,69	1,38		12,0	4,9	15,5		

Таблица 5. Водные свойства

Глубина взятия образца, в см	Полевая влаж- ность, в %	Влагоёмкость, в %		Максималь- ная гигро- скопичность	Влаж- ность устойчи- вого завя- дания растений	Влаж- ность замедле- ния роста рас- тений	Диапа- зон ак- тивной влаги
		полная	наименьшая				
A _п 0-10	46,7	58,4	39,0	14,63		27,30	
A _п 10-29	35,4	44,0	33,6	14,59		23,52	
AB 29-40	36,2	46,9	34,9	15,20		24,43	
B ₁ 40-60	34,4	42,9	30,7	14,54		21,49	
B ₂ 60-105	24,5	36,7	24,8	13,87		-	
C105-140	22,5	33,8	23,0	13,05		-	

Вариант 4

Таблица 1. Гранулометрический и микроагрегатный состав

Горизонт	Размеры частиц в мм								
	>0,25	0,25-0,05	>0,05	0,05-0,01	>0,01	<0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001
A _п 0-23	10,08/ 48,74	16,13/ 24,21		13,34/ 18,15			5,70/ 3,65	16,30/ 3,10	38,40/ 2,15
A ₁ 23-47	7,00/ 44,54	13,66/ 19,41		20,50/ 18,15			3,54/ 7,95	16,10/ 6,35	39,20/ 3,60
AB 47-57	5,64/ 41,76	5,83/ 24,24		23,80/ 16,45			3,60/ 5,00	15,25/ 8,35	37,00/ 4,20
B ₁ 57-76	5,24/ 42,54	11,57/ 23,56		22,08/ 15,25			4,00/ 7,00	13,70/ 7,20	30,15/ 4,45
BC76-97	7,16	15,89		16,30			4,72	10,65	25,25
C97-176	10,26	9,79		15,10			12,39	13,70	19,80

Таблица 2. Агрохимические свойства

Глубина взятия образца, в см	Гу- мус, в %	Сумма поглощённых оснований, ммоль/100г	рН		Гидролитическая кислотность, ммоль/100г
			солевой	водный	
A _п 0-23	8,39	57,88	-	8,40	
A ₁ 23-47	7,91	49,50	-	8,40	
AB 47-57	5,17	45,23	-	8,55	
B ₁ 57-76	2,89	40,61	-	8,80	
BC76-97	-	-	-	8,80	
C97-176	-	-	-	8,80	

Таблица 3. Структурно-агрегатный состав почв

Горизонт	Размер структурных отдельностей, мм									
	>10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25	>0,25
A _п 0-23	8,36	5,58	5,36	9,31/ 0,33	9,03/ 1,14	12,21/ 3,83	19,93/ 15,96	14,51/ 38,61	15,66/ 40,13	
A ₁ 23-47	3,95	3,24	4,76	19,96/ 3,24	18,13/ 10,80	15,14/ 19,44	15,92/ 20,10	9,66/ 14,22	9,19/ 32,20	
AB 47-57	3,66	7,15	16,22	32,38/ 10,74	17,70/ 26,76	9,88/ 21,70	6,68/ 17,50	2,91/ 7,46	3,38/ 15,84	
B ₁ 57-76	3,43	3,50	7,17	19,85/ 11,10	16,54/ 16,04	12,59/ 17,56	14,77/ 17,64	10,88/ 12,14	11,23/ 25,52	
BC76-97	3,49	3,11	6,05	13,97/ 6,80	14,21/ 7,22	10,66/ 12,48	18,10/ 16,56	16,78/ 17,04	13,58/ 40,18	
C97-176	29,16	14,69	14,17	16,84/ 17,92	8,16/ 2,04	6,41/ 2,66	4,98/ 3,86	2,58/ 7,84	2,98/ 65,88	

Таблица 4 - Физические свойства

Горизонт, глубина взятия образца, в см	Плотность ТФ г/см ³	Плотность почв, г/см ³	Скважность в %					
			Объём пор от почвы					
			общая	занимаемых водой				Р _{аэр}
				прочно- связанной	пыхло- связанной	капил- лярной	всего	
A _п 0-23	2,54	1,23		12,6	5,1	23,2		
A ₁ 23-47	2,55	1,15		12,0	4,9	21,7		
AB 47-57	2,56	1,08		11,5	4,6	16,6		
B ₁ 57-76	2,60	1,47		15,3	6,2	13,7		
BC76-97	2,65	1,42		14,3	5,8	13,3		
C97-176	2,70	1,36		11,9	4,9	17,5		

Таблица 5. Водные свойства

Глубина взятия образца, в см	Полевая влаж- ность в %	Влагоёмкость, в %		Макси- мальная гигроско- пичность	Влажность устойчи- вого завядания растений	Влаж- ность замедле- ния роста растений	Диапазон активной влаги
		полная	наименьшая				
A _п 0-23	23,3	48,5	31,6	15,35		22,12	
A ₁ 23-47	29,9	52,1	31,9	15,67		22,33	
AB 47-57	26,8	48,9	29,4	15,97		-	
B ₁ 57-76	20,4	35,8	24,2	15,59		-	
BC76-97	21,2	36,0	23,8	15,16		-	
C97-176	20,1	35,9	24,4	13,11		-	

Вариант 4

Таблица 1. Гранулометрический и микроагрегатный состав

Горизонт	Размеры частиц в мм								
	>0,25	0,25-0,05	>0,05	0,05-0,01	>0,01	<0,01	0,01-0,005	0,005- 0,001	<0,00 1
A _п 0-18	8,00/ 21,80	7,0/ 25,70		25,00/ 35,90			10,10/ 9,15	14,05/ 5,40	35,85 / 1,45
A ₁ 18-36	7,90/ 37,44	3,70/ 21,81		29,25			5,55/ 5,35	13,90/ 4,15	39,70 / 3,15
B ₁ 36-56	7,30/ 31,44	4,30/ 21,96		30,45/ 38,50			2,15/ 7,00	15,45/ 6,90	40,35 / 4,30
B ₂ 56-75	7,70	5,00		32,55			6,75	10,60	37,60
C75-150	4,38	2,97		28,85			6,95	10,10	33,95

Таблица 2. Агрохимические свойства

Глубина взятия об- разца, в см	Гумус, в %	Сумма поглощённых оснований, ммоль/100г	рН		Гидролитическая кислотность, ммоль/100г
			солевой	водный	
A _п 0-18	10,95	57,06	5,80	6,80	3,50
A ₁ 18-36	10,62	59,14	5,70	6,70	3,60
B ₁ 36-56	5,55	53,66	5,80	7,00	2,80
B ₂ 56-75	2,20	47,35	5,53	6,90	1,83
C75-150	-	-	5,66	7,10	-

Таблица 3. Структурно-агрегатный состав почв

Горизонт	Размер структурных отдельностей, мм									
	>10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25	>0,25
A _п 0-18	35,50	8,18	7,34	9,44/ 0,65	7,22/ 0,55	7,92/ 1,95	11,48/ 10,53	6,94/ 33,88	5,93/ 52,44	
A ₁ 18-36	4,35	1,80	3,23	18,80/ 2,50	21,02/ 6,84	17,09/ 11,14	15,94/ 31,66	8,42/ 9,90	9,26/ 37,86	
B ₁ 36-56	0,62	1,99	10,06	29,38/ 1,20	21,51/ 4,34	11,57/ 15,22	12,85/ 32,74	6,23/ 10,54	5,76/ 35,86	
B ₂ 56-75	19,77	9,90	12,47	1/8,83/ 1,10	11,42/ 3,93	9,04/ 12,78	9,35/ 34,60	5,16/ 14,68	4,02/ 32,86	
C75-150	38,04	10,19	10,90	15,21/ 1,20	8,16/ 6,44	6,12/ 15,40	5,49/ 25,90	2,82/ 15,80	3,04/ 35,25	

Таблица 4. Физические свойства

Горизонт, глубина взятия образца, в см	Плот- ность ТФ	Плот- ность почвы г/см ³	Скважность в %					
			Объём пор от почвы					
			общая	занимаемых водой				Р _{аэр}
				прочно- связанной	рыхло- связанной	капилляр- ной	всего	
A _п 0-18	2,41	0,96		7,4	3,0	23,3		
A ₁ 18-36	2,43	0,96		7,4	3,0	24,4		
B ₁ 36-56	2,48	1,14		9,0	3,7	29,0		
B ₂ 56-75	2,48	1,18		9,3	3,8	22,8		
C75-150	2,48	1,16		9,1	3,8	19,4		

Таблица 5. Водные свойства

Глубина взятия образца, в см	Полевая влажность, в %	Влагоёмкость, в %		Максимальная гигроскопич- ность	Влаж- ность устойчи- вого за- вядания растений	Влаж- ность замедле- ния ро- ста рас- тений	Диа- пазон актив- тив- ной влаги
		полная	наимень- шая				
A _п 0-18	26,2	56,7	26,7	11,54		18,69	
A ₁ 18-36	22,7	54,9	26,8	11,54		18,76	
B ₁ 36-56	21,7	48,0	27,1	11,82		18,97	
B ₂ 56-75	21,8	42,8	24,4	11,77		17,08	
C75-150	21,7	42,2	24,1	11,77		16,87	

Вариант 6.

Таблица 1. Гранулометрический и микроагрегатный состав

Горизонт	Размеры частиц в мм								
	>0,25	0,25- 0,05	>0,05	0,05- 0,01	>0,01	<0,01	0,01- 0,005	0,005- 0,001	<0,001
A _п 0-10	1,08/ 21,26	7,22/ 40,99		31,70/ 32,66			8,50/ 3,68	8,23/ 0,21	43,27/ 1,80
A _п 10-29	1,17/ 37,90	7,54/ 34,63		25,67/ 22,54			9,23/ 2,18	9,39/ 0,15	47,10/ 2,60
AB 29-40	0,80/ 24,67	7,48/ 35,87		29,50/ 34,74			6,10/ 1,97	9,12/ 0,08	47,00/ 2,87
B ₁ 40-60	0,99/ 38,28	9,02/ 34,16		27,20/ 19,96			7,99/ 3,43	7,93/ 0,08	40,75/ 4,69
B ₂ 60-105	0,55	5,52		30,32			7,69	7,99	38,16
C105-140	0,48	17,66		21,46			6,94	5,59	39,53

Таблица 2. Агрохимические свойства

Глубина взятия образца, в см	Гумус, в %	Сумма по- глощённых оснований ммоль/100г	pH		Гидролитическая кислотность, ммоль/100г
			солевой	водный	
A _п 0-10	8,77	40,12	6,9	7,9	0,76
A _п 10-29	8,58	43,96	7,0	7,9	0,74
AB 29-40	6,97	-	7,11	7,9	-
B ₁ 40-60	5,02	-	7,25	8,1	-
B ₂ 60-105	4,68	-	7,30	8,2	-

Таблица 3. Структурно-агрегатный состав почв

Горизонт	Размер структурных отдельностей, мм									
	>10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25	>0,25
A _п 0-10	13,70	6,99	9,53	13,47/ 0,74	9,22/ 3,62	9,72/ 3,62	14,37/ 16,08	11,09/ 33,88	11,87/ 44,88	
A _п 10-29	17,44	9,27	12,03	8,93/ 0,16	9,52/ 1,20	9,41/ 4,76	11,73/ 16,00	8,65/ 33,15	11,98/ 44,73	
AB 29-40	9,79	12,35	16,05	21,82/ 1,26	13,52/ 11,12	10,62/ 22,20	8,78/ 28,26	3,32/ 14,52	3,70/ 22,64	
B ₁ 40-60	30,28	17,78	13,83	15,89/ 1,30	7,20/ 5,48	4,99/ 24,58	4,38/ 31,20	2,56/ 13,98	3,05/ 23,46	
B ₂ 60-105	31,69	16,72	13,52	15,49/ 2,16	7,89/ 6,00	5,47/ 25,30	4,88/ 31,54	2,32/ 11,90	1,98/ 23,10	
C105-140	57,64	10,07	7,90	7,49/ -	3,54/ 1,34	3,08/ 5,36	3,38/ 13,30	2,79/ 17,90	4,06/ 62,10	

Таблица 4. Физические свойства

Горизонт, глубина взятия образца, в см	Плотность ТФ	Плотность почвы г/см ³	Скважность в %					
			Объём пор от почвы					
			общая	занимаемых водой				Р _{аэр}
				прочно- связанной	рыхло- связанной	капил- лярной	всего	
A _п 0-10	2,54	0,97		9,4	3,8	28,3		
A _п 10-29	2,52	1,16		11,2	4,5	26,1		
AB 29-40	2,66	1,10		11,1	4,6	25,5		
B ₁ 40-60	2,66	1,14		11,1	4,5	21,5		
B ₂ 60-105	2,64	1,32		12,2	5,0	16,4		
C105-140	2,69	1,38		12,0	4,9	15,5		

Таблица 5. Водные свойства

Глубина взятия образца, в см	Полевая влаж- ность, в %	Влагоёмкость, в %		Максималь- ная гигроско- пичность	Влаж- ность устойчи- вого за- вядания расте- ний	Влаж- ность замедле- ния ро- ста рас- тений	Диапазон активной влаги
		полная	наимень- шая				
A _п 0-10	46,7	58,4	39,0	14,63		27,30	
A _п 10-29	35,4	44,0	33,6	14,59		23,52	
AB 29-40	36,2	46,9	34,9	15,20		24,43	
B ₁ 40-60	34,4	42,9	30,7	14,54		21,49	
B ₂ 60-105	24,5	36,7	24,8	13,87		-	

Тестовые вопросы для самопроверки

1. Биологический вид устойчивости отличается способностью ...

1. к восстановительным и защитным свойствам растительности
2. к увеличению микробиологического пула
3. к повышению видового разнообразия

2. Большой вклад в разработку теории устойчивости природных систем был внесен (назвать неправильный ответ):

1. М.А. Глазовской
2. Н.Б. Хитров
3. И.П. Прасолов

3. В комплексе методов оценки устойчивости почв можно выделить два направления (отметить неправильный ответ):

1. оценка свойств почв
2. оценка устойчивости почв к антропогенному воздействию
3. оценка степени загрязнения почв

4. Воздействия на почвы извне может иметь следующую амплитуду (отметить неправильный ответ):

1. постепенное
2. умеренное
3. слабое

5. Воздействия на почвы извне может иметь следующую периодичность (отметить неправильный ответ):

1. кратковременное
2. постепенное
3. долговременное

6. Воздействия на почвы извне может иметь следующую природу их происхождения (отметить неправильный ответ):

1. естественное
2. искусственное
3. антропогенное.

7. В основе устойчивости агроэкосистемы лежат ... (отметить неправильный ответ):

1. функции
2. режимы
3. процессы

8. В реальных условиях потенциальная устойчивость почвы всегда проявляется через ее фактическую устойчивость, которая зависит от трех основных факторов (отметить неправильный ответ):

1. функциональной устойчивости
2. состояния почвы в данный отрезок времени и в конкретных условиях
3. характера и интенсивности воздействий на почву

9. В соответствии с основными типами воздействий предложено выделение несколько типов устойчивости почв, назвать один из них:

1. к механическим воздействиям
2. к погодным воздействиям
3. к солнечным воздействиям

10. Геохимический вид устойчивости отличается способностью ...

1. к миграции подвижных элементов
2. к самоочищению от продуктов загрязнения и снижению их токсичности
3. к аккумуляции продуктов почвообразования

11. Два аспекта устойчивости (отметить неправильный ответ):

1. резистентную
2. регенерационную
3. потенциальную

12. Для обеспечения высокого уровня продуктивности агробиогеноценозов и стабильности их существования имеют следующие принципы (отметить неправильный ответ):

1. разнообразие микробиологического пула
2. принцип агробиогенотического баланса;
3. принцип экологического соответствия уровня энергетических субсидий природным условиям

13. Для обеспечения высокого уровня продуктивности агробиогеноценозов и стабильности их существования имеют следующие принципы (отметить неправильный ответ):

1. разнообразие микробиологического пула
2. принцип агробиогенотического баланса;
3. принцип экологического соответствия уровня энергетических субсидий природным условиям

14. Какую агроэкосистему следует считать стабильной?

1. плотность почвы остается постоянной длительное время
2. ежегодная продуктивность не опускается ниже заданного уровня

3. количество влаги достаточно для получения урожая

15. К этапам оценки устойчивости почв к антропогенному воздействию относятся:

1. составление перечня параметров
2. дифференцированная оценка параметров
3. произведение баллов по отдельным показателям

15. Между различными компонентами устойчивости какие зависимости существуют?

1. комплексные
2. функциональные
3. компонентные

16. Может ли устойчивость почв состоять из простой суммы устойчивости отдельных её компонентов?

1. может
2. не может
3. может частично

17. Отрицательное техногенное воздействие включает (отметить неправильный ответ):

1. загрязнение
2. закисление
3. гумификация

18. Отрицательное техногенное воздействие включает (отметить неправильный ответ):

1. загрязнение
2. закисление
3. гумификация

19. От чего зависит физическая устойчивость почв?

1. плотности почв
2. литогенной основы
3. упругости почв

20. От чего зависит физическая устойчивость почв?

1. плотности почв
2. литогенной основы
3. упругости почв

21. О чем сформулирован закон убывающей отдачи Тюрго-Мальтуса?

1. о вложении энергии в экосистему
2. об увеличении продуктивности экосистемы от независимых факторов
3. о том, что внесенные удобрения не всегда приносят пользу

22. Положительное техногенное воздействие включает (отметить неправильный ответ):

1. внесение минеральных и органических удобрений
2. подщелачивание
3. известкование

23. Последовательность иерархических уровней строения почвенных тел (найти правильную последовательность от простого к сложному).

1. агрегатов, горизонтов, почвенных индивидуумов, почвенных комбинаций, компонентов
2. компонентов, агрегатов, горизонтов, почвенных индивидуумов, почвенных комбинаций
3. агрегатов, компонентов, горизонтов, почвенных индивидуумов, почвенных комбинаций

24. Постоянство основных групп твердых компонентов (минеральных, органических и органо-минеральных), а также видового состава микробоценоза и зооценоза при небольших колебаниях внешних воздействий.

1. относительная стабильность
2. стойкость
3. прочность

25. Потенциальная устойчивость почвы к природно-антропогенным воздействиям определяется ...

1. запасом гумуса
2. от положения почвы в рельефе
3. климатическими условиями

26. Потенциальная устойчивость почвы к природно-антропогенным воздействиям определяется ...

1. запасом гумуса
2. от положения почвы в рельефе
3. климатическими условиями

27. Разделение внешних воздействий на почвы проводится по их географическим масштабам (отметить неправильный ответ):

1. локальные
2. республиканские

3. глобальные

28. Современные методики оценки устойчивости почв к антропогенному воздействию основаны (отметить неправильный ответ):

1. на использовании данных экспериментальных исследований
2. построении математических моделей
3. проведении модельных опытов

29. Способность почв сохранять структуру и характер функционирования сообщества.

1. относительная стабильность
2. стойкость
3. живучесть ценоза почвенных организмов

30. Способность почвы не взаимодействовать с поступающими извне химическими агентами.

1. инертность
2. стойкость
3. прочность

31. Способность почвы сопротивляться внешним механическим воздействиям, не разрушаясь.

1. инертность
2. стойкость
3. прочность

32. Способность почвы сопротивляться внешним механическим воздействиям, не разрушаясь.

1. инертность
2. стойкость
3. прочность

33. Способность системы возвращаться в прежнюю область устойчивого равновесия после временного воздействия природного или антропогенного фактора.

1. устойчивость
2. стабильность
3. постоянство

34. Универсальная оценка устойчивости почвы без указания характера, интенсивности и длительности воздействия на почву...

1. возможна
2. невозможна

3. возможна частично

35. Устойчивость почвенного покрова является интегральным показателем, являющимся функцией ряда факторов, определяющих течение почвообразовательного процесса:

1. климатических условий
2. почвообразующих пород
3. гумуса

36. Устойчивость почвенного покрова является интегральным показателем, являющимся функцией ряда факторов, определяющих течение почвообразовательного процесса:

1. климатических условий
2. почвообразующих пород
3. гумуса

37. Устойчивость почв – это способность почвы длительное время (указать неправильный ответ) ...

1. сохранять состав
2. пространственное положение
3. плотность почв

Заключение

Проблема устойчивости почв к антропогенному воздействию приобрела особую актуальность в наши дни и является составной частью проблемы устойчивости биосферы. Научно-технический прогресс способствует нарастанию антропогенной нагрузки на экосистемы, что проявляется в техногенной, химической и антропогенной нагрузке.

Почва, как основное звено экосистемы, во многом определяет устойчивость биосферы. В агроландшафтах степень нарушения экологического состояния почвы велика и человеческий фактор занимает главенствующее место, так как он может изменить, сгладить воздействие природного фактора, что предопределяет актуальность проблемы оценки устойчивости почв агроландшафтов, особенно агрогенных почв в интенсивном земледелии.

В интенсивном земледелии применение минеральных удобрений в экологически сбалансированных дозах является основой сохранения устойчивости серой лесной почвы к антропогенному воздействию, возрастания ее биологической активности и достижения высокой продуктивности севооборота.

Длительное применение в севообороте очень высоких доз минеральных удобрений снижает биологическую и микробиологическую активность почвы, уменьшается при этом количество аммонификаторов и нитрифицирующих бактерий, актиномицетов, увеличивается количество грибов и денитрифицирующих бактерий.

Очень высокие дозы минеральных удобрений в севообороте агрономически и экономически нецелесообразны, так как не обеспечивают очень высокую продуктивность севооборота, а следовательно, и экономическую эффективность производства зерна.

Ферментативная активность является наиболее простым и информативным показателем биологической активности почвы, позволяющим диагностировать устойчивость ее к антропогенному воздействию в интенсивном земледелии.

Изучение кислотно-основных свойств серой лесной почвы севооборота с удобрениями показало, что умеренные дозы минеральных удобрений не оказывают сильное отрицательное действие на показатели почвенно-поглощающего комплекса. Максимальное снижение содержания поглощенных оснований, емкости поглощения и степени насыщенности почвы основаниями установлено в варианте опыта с высокими дозами азота и калия ($N_{180}P_{60}K_{200}$).

Высокие дозы минеральных удобрений способствовали увеличению всех форм кислотности почвы: гидролитической на 0,5-1,5, обменной на 0,05 мг-экв. и снижению pH солевой вытяжки на 0,7 единицы..

Изменение показателей биологической активности почвы и кислотно-основных свойств при удобрении в интенсивных полевых севооборотах хорошо коррелирует с продуктивностью культур севооборота, поэтому могут служить дополнительным диагностирующим показателем устойчивости почв в интенсивном земледелии.. Среди изученных показателей плодородия почв ферментативная активность является наиболее простым и информативным показателем биологической активности почвы, позволяющим диагностировать устойчивость ее к антропогенному воздействию в интенсивном земледелии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроэкология. Под ред. В.А. Черникова и др.-М.: Колос, 2000.-536с.
2. Давлятшин И.Д., Гилязов М.Ю., Лукманов А.А. и др. Справочник агрохимика. Под. ред. И.Д. Давлятина – Казань: ИД МеДДоК, 2013. – 300 с.
3. Завьялова Н.Е. Биологические показатели плодородия дерново-подзолистой почвы при длительном применении удобрений. / Н.Е. Завьялова, А.И. Косолапова, В.Р. Ямалтдинова // Материалы Всеросс. научно-метод. конфер. Географической сети опытов с удобрениями. Москва, 2006. – с. 116-121.
4. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы. / Д.Г. Звягинцев // - М.: Издательство Московского университета, 1987. – 256с.
5. Измайлов С.Ф. Азотный обмен в растениях. / С.Ф. Измайлов // М.: Наука. – 1986. – 320с.
6. Кирюшин В.И. Агрономическое почвоведение. – СПб, КВАДРО, 2013.- 680с.
7. Ковда В.А. Почвоведение / В.А. Ковда; под ред. Б.Г. Розанова // Почва и почвообразование. – М.: Высшая школа, 1988а.– Ч.1. –400с.
8. Кудеяров В.П. Цикл азота в почве. / В.П. Кудеяров // М.: Наука, 1979. 248с.
9. Методическое руководство по агроэкологической оценке земель, проектированию адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий Под редакцией академика РАСХН В.И. Кирюшина, академика РАСХН А.Л. Иванова Москва, 2005- 763 с.
10. Минеев В.Г. Химизация земледелия и природная среда. / В.Г. Минеев // - М.: Колос, 1990. – 286с.
11. Минеев В.Г. Агрохимия, биология и экология почвы / В.Г. Минеев, Е.Х. Ремпе. - М.: Росагропромиздат, 1990. - 206 с.
12. Муртазина С.Г., Гаффарова Л.Г и др./Оценка антропогенной устойчивости агросерой лесной почвы в интенсивном земледелии по изменению показателей ее биологической активности // В сборнике: Сельское хозяйство и продовольственная безопасность: технологии, инновации, рынки, кадры. Научные труды международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию аграрной науки, образования и просвещения в Среднем Поволжье. 2019. С. 168-175.
13. Муртазина С.Г., Гаффарова Л.Г. / Оптимизация калийного состояния серых лесных почв Предкамья Республики Татарстан при интенсивном применении удобрений // В сборнике: Плодородие почв России: состояние, тенденции и прогноз. Материалы международной конференции (К 100-летию со дня рождения академика ВАСХНИЛ Тамары Никандровны Кулаковской). Под редакцией В.Г. Сычева. 2019. С. 214-218.
14. Муртазина С.Г. Практикум по почвоведению/ С.Г. Муртазина, И.А.Гайсин, М.Г. Муртазин // - Казань, 2006. – 225с.
15. Муха В.Д. Агропочвоведение. / В.Д. Муха, Н.И. Картамышев, Д.В. Муха // М.: Колос, 2004. – 528с.

16. Нуриев С.Ш. Состояние плодородия почв Республики Татарстан и проблемы повышения их плодородия. / С.Ш. Нуриев, А.А. Лукманов, К.М. Хуснутдинов, И.Н. Салимзянова // Казань, 2009. – 160с.
17. Руссель С. Микроорганизмы и жизнь почвы. / С. Руссель. М.: Колос. – 1977. – 223с.
18. Федоров А.С. Устойчивость почв к антропогенному воздействию. СПб Издательство Санкт-Петербургского университета, 2008 – 204с.
19. Хазиев Ф.Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. / Ф.Х. Хазиев // Издательство «Наука». М., 1992. – 202с.
20. Чекмарев П.А. Справочник агрохимика Республики Татарстан / П.А. Чекмарев, А.А. Лукманов, И.Д. Давлятшин [и др.]; под ред. акад. РАСХН П.А. Чекмарева. – Казань: [б. и.]. – 2015. – 324 с.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	3
1	Проблема устойчивости в естествознании и почвоведении	4
1.1	Типы устойчивости почвы	6
2.	Факторы механизма устойчивости	7
2.1	Критерии устойчивости почв	8
2.2	Агрофизические критерии оценок почв	8
2.3	Микроморфологические критерии устойчивости почв	9
2.3.1	Изменение минералогического состава почв как показатель их устойчивости к антропогенным воздействиям	9
2.3.2	Устойчивость структурного состояния почв к антропогенным воздействиям	10
3	Устойчивость различных по генезису почв к антропогенным воздействиям	11
3.1	Устойчивость структур почвенного покрова	11
4.	Деградация почвенного покрова	14
4.1	Параметры оценки деградации почв	15
4.2	Этапы деградации	16
4.3	Устойчивость почв к деградации	17
4.4	Обратимость деградационных изменений почв	19
5	Изменение показателей кислотно-основных свойств почвы под влиянием длительного применения удобрений	20
5.1	Почвенная кислотность и факторы ее формирования	23
5.2	Влияние факторов почвообразования на кислотность почв	24
5.3	Динамика содержания поглощенных оснований.	26
5.4	Динамика показателей кислотности	28
6.	Роль минеральных удобрений в системе агротехника-почва- растение.	31
6.1.	Роль известкования в системе почва-растение-животное	33
7.	Изменение показателей биологической активности под влиянием антропогенного фактора	34
7.1.	Биологическая активность почвы и эффективность удобрений	39
7.2	Регуляция функционирования микробиоценоза	41
	Практические работы	45
1.	Агрооценка ландшафтно-экологических условий	45
2.	Оценка загрязнений вредными веществами агроландшафтов и почв	48
2.1	Методические основы оценки миграционной подвижности тяжелых металлов в аграрных экосистемах	49
2.2	Эколого-токсикологическая оценка содержания тяжелых металлов в системе почва – растение	51
3.	Оценка деградации физических, физико-химических и	52

	биологических свойств почв	
4.	Оценка устойчивости серой лесной почвы в интенсивном земледелии	60
5.	Оценка устойчивости черноземов в условиях усиления антропогенной нагрузки.	67
	Тестовые вопросы для самопроверки	82
	Заключение	87
	Список литературы	89

