

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СЕВЕРНОГО ЗАУРАЛЬЯ»**

А. В. Букин

ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ

Учебное пособие



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Государственный аграрный университет Северного Зауралья»

А. В. Букин

ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ

Учебное пособие

Текстовое (символьное) электронное издание

Редакционно-издательский отдел ГАУ Северного Зауралья

Тюмень 2022

© А. В. Букин, 2022

© ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья, 2022

ISBN 978-5-98346-100-0

УДК 631.41
ББК 40.3

Рецензенты:

доцент, ведущий научный сотрудник Научно-исследовательского института сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал ТюмНЦ СО РАН, доктор биологических наук Д. И. Еремин,
научный сотрудник ИПАИР ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья, кандидат сельскохозяйственных наук Е. А. Демин

Букин, А. В.

Экология почв : учебное пособие / А. В. Букин. – Тюмень : ГАУ Северного Зауралья, 2022. – 164 с. – URL: <https://www.tsaa.ru/documents/publications/2023/bukin-1.pdf>. – Текст : электронный.

Учебное пособие содержит теоретический и практический материал по дисциплине «Экология почв». В пособии рассмотрены проблемы, связанные с планетарными и биоценологическими функциями почвы, с взаимоотношением между почвой и биотическими компонентами геоэкосистем. Дана оценка экологического значения физических, физико-химических и химических свойств почвы. Описаны биотические функции почвы, связанные с ее физическими, физико-химическими и химическими свойствами. Показано многообразие экологических функций почв, раскрыта их сущность.

Предназначено для студентов, направлений подготовки бакалавриата 05.03.06 «Экология и природопользование» и магистратуры 20.04.02 «Природообустройство и водопользование» а также для студентов высших учебных заведений, обучающихся по эколого-биологическим специальностям. Пособие может представлять интерес для специалистов в области экологии и охраны окружающей среды.

Текстовое (символьное) электронное издание

© А. В. Букин, 2022
© ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	4
	Раздел I Теоретическая часть	
1	Значение почв в развитии человеческого общества	6
2	Экология почв или экологическое почвоведение. История науки, основные периоды в ее развития.	18
3	Основные диагностические параметры экологической оценки земель по качеству рельефа	25
4	Диагностические параметры экологической оценки земель по качеству пород и гидрологическим условиям	35
4.1	Агроэкологическая оценка гидрологических условий	39
5	Параметры оценки почв по физическому и гидрофизическому состоянию	46
5.1	Параметры физического состояния почв	46
5.2	Параметры гидрофизического состояния почв	54
6	Оценка почв по физико-химическому и биологическому состоянию	57
6.1	Параметры физико-химического состояния почв	57
6.2	Параметры биологического состояния почв	62
7	Экологическая оценка загрязненных и деградированных земель	68
7.1	Экологическая оценка почв, загрязненных тяжелыми металлами	68
7.2	Экологическая оценка почв загрязненных радионуклидами	72
8	Основные тенденции изменения почвенного покрова земли под воздействием человека	78
9	Раздел II Практическая часть	90
9.1	Нормирование загрязняющих веществ в почве	90
9.2	Определение демографической емкости района застройки	94
9.3	Исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды	99
9.4	Определение показателей валового содержания почв	103
9.5	Эколого-генетическая оценка валового состава почв	106
9.6	Оценка «суммарного эффекта» влияния токсичных ионов	117
9.7	Загрязнение почв тяжелыми металлами и здоровье человека	123
9.8	Расчет платы за загрязнение земель химическими веществами	130
9.9	Расчет выбросов загрязняющих веществ от сельскохозяйственного предприятия	140
9.10	Агроэкологическая роль биологического азота	148
9.11	Оценка безотходности производства продукции	153
	Словарь терминов	157
	Список литературы	161

ВВЕДЕНИЕ

Понятие экология (от греч. *Jokos* – дом, место, жилище; *logos* – учение) введено Э. Геккелем в 1866 году.

Вначале наука экология относилась к биологическим наукам, в настоящее время она имеет более широкое значение. Этот термин употребляется для обозначения науки, изучающей функционирование *надорганизованных* систем разных уровней: популяций, видов, биогеоценозов (агроценозов), экосистем и биосферы в целом.

Экология связана со многими науками о функционировании организмов на разных уровнях: генетикой, физиологией, биохимией, биогеографией; науками о среде обитания живых организмов – биогеоценологией, ландшафтоведением, гидрологией, гидрохимией, климатологией и почвоведением.

Почва – это своеобразная экологическая система (экосистема), то есть природный комплекс, образованный живыми организмами (биоценозом) и средой их обитания, связанными между собой обменом веществ и энергии. Термин экосистема ввел английский ботаник А. Тенсли.

Почва как продукт функционирования экосистем представляет, в свою очередь, открытую биокосную систему, связанную с биоценозами и верхними слоями литосферы (косной системой). Экология почвы формируется в процессе функционирования экосистем. Это можно видеть при рассмотрении генезиса тех или иных почв.

Почва как природное тело (по В.В. Докучаеву) формируется в результате взаимодействия климата, растительности, почвообразующих пород, рельефа местности и деятельности человека. В этом понимании почва является продуктом функционирования экосистем. Под действием перечисленных факторов протекают разнообразные природные процессы, которые можно объединить в пары, противоположные по своей сущности и направлению:

1. Синтез органических соединений → распад органических соединений.
2. Синтез минеральных соединений, в том числе вторичных минералов → распад минеральных соединений.

3. Биологическая аккумуляция органических и минеральных соединений
→ вымывание (иллювиирование) органических и минеральных соединений.

4. Поступление в почву влаги (главным образом из атмосферы) → расход влаги путем испарения, десукции, различных видов стока и т. д.

РАЗДЕЛ I ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

ТЕМА 1. ЗНАЧЕНИЕ ПОЧВ В РАЗВИТИИ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

Роль почв в биосфере, экологические функции почв. Трудно переоценить роль почв в развитии и становлении человеческого общества, в первую очередь – в их сельскохозяйственном значении. Справедливо считается, что именно переход от охотничье-промыслового к скотоводческому типу хозяйствования, и далее – к оседлому земледелию знаменовал в развитии человечества качественно новую эпоху.

Человек издавна ценил и обожествлял почвы, рассматривая их как один из важнейших объектов поклонения наряду с водой, воздухом и огнем. Представление о земле как о матери-кормилице входило в религиозную систему почти всех народов, практически во всех, из которых были свои боги земли и плодородия: у египтян – Исида, у вавилонян – Инанна, у шумеров – Ки, у греков – Деметра, у славян – Мокош. В религиозных представлениях люди создавались богами по своему образу и подобию из почвы, грязи, глины: древние наделяли таким образом почвы самым важным их свойством – плодородием.

Древнегреческий философ Ксенофан (VI – V вв. до н.э.) писал, что "все возникло из почвы и в нее все обратится в конце концов". На этом основан и обычай погребения людей в почву. Поскольку на почвах ежегодно появляются вновь растения, люди надеялись на возрождение умерших и в места их погребения помещали предметы первой необходимости.

Развитие земледелия повлекло за собой накопление знаний о почвах, потребовало от древних земледельцев умения их различать и оценивать. Таким образом, изначально интерес к почвам был в первую очередь сельскохозяйственный, а первым методом изучения почв был метод наблюдения, как наблюдение за явлениями природы.

В древний период были накоплены определенные агрономические знания о почвах, их свойствах, их пригодности для выращивания тех или иных

культур. В дальнейшем интерес к почвенным объектам проявился со стороны многих наук: химии, геологии, биологии, экономики, что, в свою очередь, способствовало дальнейшему развитию знаний о почвах. Однако, как таковой науки о почвах еще не существовало.

Возникновение почвоведения как науки связано с именем великого русского естествоиспытателя В.В. Докучаева и его последователей. Докучаев в противовес агрономическому и агрогеологическому пониманию почв впервые представил их как особые естественноисторические тела природы со своими законами развития, выделив тем самым почвоведение в самостоятельную науку со своим объектом и методами наблюдений.

Убедительно показав связь свойств почв с пятью факторами почвообразования (климатом, материнской горной породой, рельефом, живыми организмами и временем), В.В. Докучаев впервые сформировал естественно научный системный подход к изучению явлений природы. Именно этот целостный подход предопределил создание В.И. Вернадским учения о биосфере.

Связь почвоведения с другими науками привела к формированию отдельных направлений: химии почв, физики почв, биологии почв и др. Был накоплен огромный фактический материал, показавший определяющее влияние почвенного покрова на формирование и функционирование всех сопредельных компонентов биосферы.

Экологические функции почв

В настоящее время трудами ряда ведущих отечественных почвоведов (В.А. Ковдой, Р.В. Волобуевым, Г.В. Добровольским, Е.Д. Никитиным, С.В. Зонном, Л.И. Карпачевским и др.) разработано учение об экологических функциях почв, показавшее многофункциональность почв в биосфере и не сводящиеся к упрощенной трактовке почв не только как объекта хозяйственного использования.

Учение об экологических функциях почв (Никитин, 1977, 1982; Добровольский, Никитин, 1986, 1990, 2000, 2006) обобщает огромный фактический

и теоретический материал, накопленный специалистами-почвоведомы разного профиля. На основе учения о биогеоценозах экологические функции почв были разделены на *глобальные* и *биогеоценозические*, а уже на основе учения об их экологических функциях предложены научные основы сохранения и рационального использования почв.

Биогеоценозические функции почв

Биогеоценозические функции, в свою очередь, разделены на следующие группы: *физические, химические и биогеохимические, физико-механические, информационные и целостные* функции (рис. 1.1).



Рисунок. 1.1 – Биогеоценозические функции почв (по Добровольскому, Никитину, 1990).

Уже рассматривая первую функцию – *жизненное пространство*, авторами была показана исключительная важность почв для всех живых организмов суши, что было наглядно продемонстрировано на примере численности и биомассы микроорганизмов в почве. Но в почве проживают и другие, более крупные организмы. Это связано с тем, что почвы, хотя и твердые тела, имеют поры и полости различной формы и диаметра. Таким образом, созданы экологические ниши, пригодные для организмов разного размера: почвы оказываются природными телами с максимальной плотностью жизни и с наибольшим биоразнообразием.

Почвы являются *жилищем и убежищем* для многих организмов, предохраняя их от переохлаждения и перегрева, уберегая от хищников, обеспечивая их пищей, являясь местом выращивания потомства. "Почва (четвертое царство по В.В. Докучаеву) может быть сравнима с густонаселенным подземным городом, где проживают и постоянные его обитатели, и те, кто трудится в загородной зоне (добывает пищу на поверхности земли), и те, кто находится в почве лишь ограниченный срок, являясь, по существу гостем" (Добровольский, Никитин, 2006).

Благодаря *опорной функции* почв живые организмы (как животные, так и растения) могут сохранять вертикальное положение. Кроме того, механическая прочность почв влияет на устройство животными своих нор и, следовательно, определяет расселение почвенных обитателей.

Почвы обладают удивительной способностью на протяжении длительного времени (многие месяцы и годы) сохранять в жизнеспособном состоянии семена растений, с чем связано выделение еще одной функции – *депо семян и других зачатков*. При подходящих условиях такие зачатки и семена могут быстро переходить в активное состояние. Эта особая роль почвы как среды для сохранения и накопления семенных зачатков еще недостаточно хорошо изучена, хотя очевидно, что она может помочь нам в более полной мере понять функционирование наземных экосистем нашей планеты. Таким образом, оценив только четыре вышеперечисленные функции, уже можно видеть

огромное значение почв в жизни биогеоценозов суши. Почвы играют во многом определяющую роль в функционировании всех биогеоценозов суши и было бы неправильным ограничивать их роль только лишь в сельском хозяйстве.

Всем известно, что почва является *источником макро- и микроэлементов для питания растений*. Это одна из важнейших функций почв и ей уделяется огромное внимание, особенно в агрохимических исследованиях. Наибольший урожай получается при достаточном количестве в почвах элементов питания в доступной для растений форме и при благоприятном их соотношении.

В природных экосистемах в результате длительного сосуществования разных видов растений, произошла "подгонка" определенных сообществ растений и почв. Это отражается, например, в разной глубине распределения корневых систем определенных видов, изымающих элементы питания из разных почвенных горизонтов.

Необходимые растениям элементы находятся в почвах не только в доступных (растворимых) формах, но и входят в состав минералов в кристаллической форме – таким образом они составляют *депо элементов питания*, из которых при разрушении минералов формируются доступные растениям запасы элементов.

Из физико-химических свойств особое значение имеет *функция сорбции тонкодисперсного вещества*, поступающего с пылью из атмосферы, с водными потоками и с растительным опадом. Почвы обладают огромной суммарной поверхностью составляющих их частиц, при этом удельная поверхность увеличивается с уменьшением размеров почвенных частиц и для илистых частиц может достигать 180 - 300 м²/г почвы в зависимости от минерального состава (Вадюнина, Корчагина, 1986). На этой огромной активной поверхности происходит сорбция поступающих на поверхность почвы частиц.

Сорбированные элементы на поверхности почвенных частиц чаще всего находятся в обменном состоянии и доступны для питания растений. Однако способность почв поглощать поступающие в них вещества может приводить и

к отрицательным последствиям в случае загрязнения почв тяжелыми металлами, ядовитыми химикатами и другими отравляющими соединениями.

Особенно опасно загрязнение почв радиоактивными веществами. Почвы сорбируют и микроорганизмов, для которых почва является жизненным пространством, жилищем и убежищем, а также источником элементов питания. Их жизнь целиком зависит от почв.

Многие меняющиеся почвенные свойства служат *информаторами* для живых организмов: изменения температуры почвы или ее влажности определяют ход физиологических процессов, служат сигналом для развития семян, для регуляции численности микроорганизмов и других процессов. Изменение свойств почв может определять и сукцессионные процессы.

Особенно важная информация заключается в почвенных профилях так как формирование совокупности взаимодействия горизонтов является следствием определенных условий окружающей среды. Считается, что почва является памятью ландшафта (Арманд, 1975). В почвах отражаются длительно протекающие почвенные процессы. Скорость формирования определенных частей процессов различно и для них введено понятие "характерное время".

При негативных изменениях окружающей среды происходит формирование новых почвенных качеств и частичная утрата прежних, что усложняет строение почвенного профиля и затрудняет расшифровку заключенной в нем информации.

Все почвы по своему составу отличаются от почвообразующих пород иным соотношением химических элементов и накоплением новых (углерод, азот). Эти изменения являются следствием геохимической работы живых организмов. Накопление в почвах органических соединений обогащает почву свободной энергией, которая выделяется в почвах в тепловой и химической форме.

Все почвы осуществляют санитарную функцию, проявляющуюся в разложении поступающих в них органических веществ, что высвобождает заклю-

ченные в них элементы для нового использования. Кроме того, в незагрязненных почвах содержится малое количество микроорганизмов, способных привести к возникновению заболеваний человека, животных, растений.

Внесение в почвы не обезвреженных органических удобрений может привести к вспышке различных инфекционных заболеваний. Но длительность существования большинства патогенных микроорганизмов в почвах – не более одного года (за редкими исключениями, как, например, сибирская язва – более 30 лет в скотомогильниках).

Еще одна важная форма проявления санитарной функции – разрушение и последующая минерализация микроорганизмами продуктов обмена живых организмов.

Глобальные функции почв

Почвенный покров тесно связан с основными географическими оболочками: *литосферой, гидросферой, атмосферой*. Глобальные функции почв приведены на рисунке 1.2.

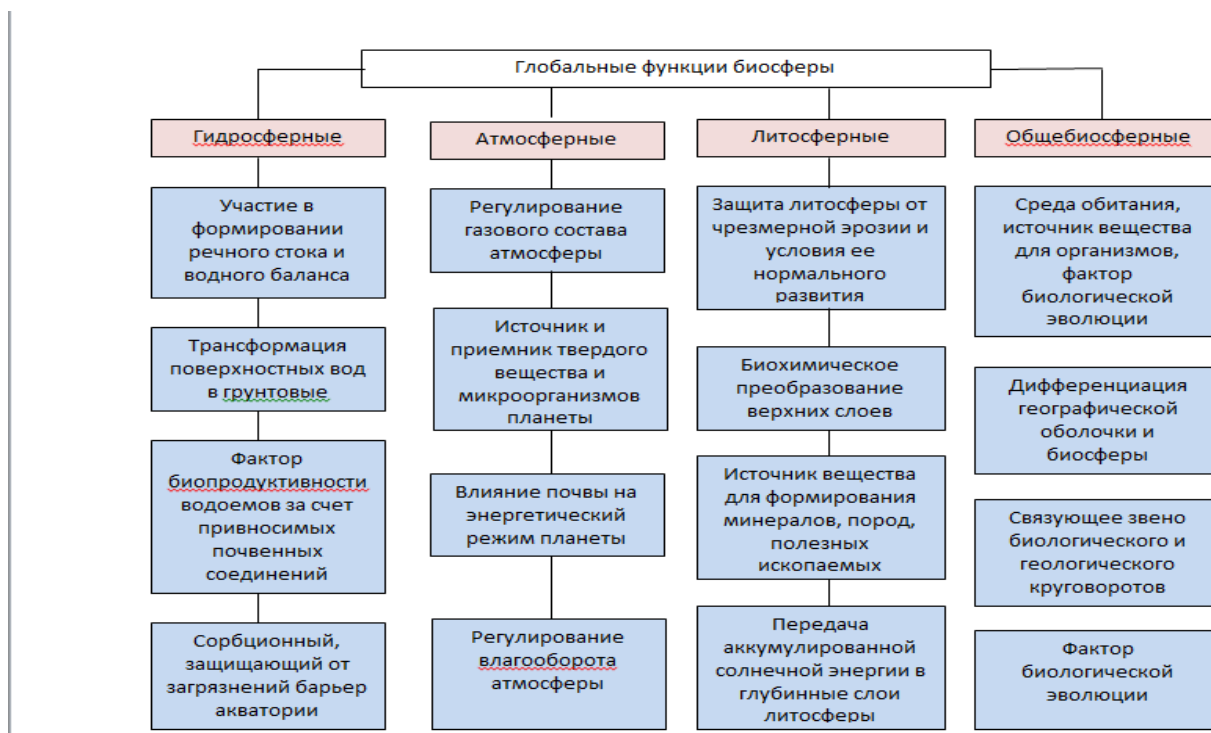


Рисунок 1.2 - Глобальные функции почв (по Добровольскому, Никитину, 1990).

Почвы выполняют важные *литосферные* функции. В них образуются специфические и неспецифические органические вещества – гумусовые кислоты и продукты жизнедеятельности живых организмов, которые оказывают растворяющее действие на основания, составляющие литосферу, делая их более подвижными. В результате важнейшие элементы питания, ранее находящиеся в связанном состоянии в кристаллических решетках, становятся доступными для растений.

Почвенное выветривание, кроме того, приводит к резкому увеличению удельной поверхности почвообразующих пород. Так, если 1 м³ плотной породы имеет удельную поверхность 6 м², то 1 м³ суглинка – уже 10 000 м² (Добровольский, Никитин, 1986), что увеличивает многократно возможность поглощения газов, паров, воды и химических элементов. В результате в почвах формируется почвенный поглощающий комплекс, имеющий важное значение в жизни растений.

Во всех процессах взаимодействия почв и литосферы происходит не только разрушение первичных минералов, но и синтез новых, вторичных. При этом в поверхностной зоне литогенеза образуется кора выветривания, обладающая новыми свойствами, более благоприятными для живых организмов. В результате выветривания при определенных условиях происходит образование различных рудных месторождений (железные, медные, марганцевые и другие руды, а также самородные металлы). Накопление органического вещества может привести к образованию месторождений торфа и угля, возможно также, что нефть и природный газ своим происхождением также обязаны почве.

Вторичные минералы характеризуются большим запасом энергии, первоначально полученной в процессе фотосинтеза. Этот запас энергии во вторичных минералах является, по мнению Н.В. Белова и В.И. Лебедева (1957), важной частью в энергетике Земли наряду с другими видами энергии (тепло радиоактивного распада). Почвы поглощают газы атмосферы и передают их

в недра Земли: CO_2 (в виде органики), Fe_2O_3 , MnO_2 , SO_4 , N и другие, выделяя их затем в геохимических процессах. По мнению многих ученых "жизнь на Земле... возможна лишь до тех пор, пока происходит обмен энергией и веществом между недрами и поверхностью" (Добровольский, Некрасов, 2006).

Почва оказывает большое влияние и на *гидросферу*, участвуя в трансформации поверхностных вод в грунтовые, в формировании речного стока, стока в озера и водохранилища, в балансе подземных вод: определяет процессы испарения с поверхности суши – таким образом, почвы принимают участие в формировании водного баланса Земли.

Почвы оказывают влияние и на биопродуктивность водоемов: атмосферные осадки, фильтруясь через почвы, изменяют свой химический состав в зависимости от свойств почв и почвообразующих пород. В дальнейшем эти растворы в форме поверхностных и грунтовых вод, попадая в реки, моря и океаны, приносят в них биофильные макро- и микроэлементы, органические соединения (в том числе гумусовые кислоты). Ежегодный ионный сток в Мировой океан при участии почвенных соединений составляет порядка $3 \cdot 10^9$ т солей.

Элементы и соединения с континентов интенсивно вовлекаются в продукционный процесс водных экосистем и в биогеохимические циклы. Часть же растворенных соединений может закрепляться в почве в силу громадной поглощательной способности почв и тем самым снижать поступление в водоемы вредных или избыточных соединений. В этом случае почва выступает в качестве защитного барьера. Это свойство почв имеет особенно большое значение при значительных антропогенных нагрузках на экосистемы.

Невозможно переоценить и *атмосферные* функции почв. Почва и атмосфера взаимосвязаны через газообразную фазу почвы (подземную атмосферу), через попадающие в атмосферу твердые вещества и микроорганизмы, через поглощение и отражение почвой солнечной радиации.

Почвы участвуют в регулировании газового режима биосферы. Огромна роль почв в консервации недоокислившейся органики в виде гумусовых веществ, горючих полезных ископаемых: торфа, угля, нефти, газа. Только таким путем стало возможно извлечение из атмосферы избыточного количества углекислого газа, и это привело к формированию кислородсодержащей атмосферы. Все процессы поглощения вещества и энергии почвами и последующая передача их вглубь планеты, а затем возврат их в атмосферу, поддерживают жизнь на Земле.

Почвы выполняют и *общебиосферные функции*. Так, почвы являются средой для обитания организмов суши. Биомасса живых организмов суши значительно превышает биомассу океана. Кроме того, почвы аккумулируют и являются источником вещества и энергии для организмов суши. Они являются связующим звеном биологического и геологического круговоротов, защитным барьером и условием нормального функционирования биосферы.

Почвы участвуют в эволюции организмов. В процессе освоения живыми организмами суши почвы оказались промежуточной средой, через которую стал возможным постепенный переход от водного образа жизни к наземному без резкого изменения организации живого. Разнообразие ландшафтов и почв оказывает влияние на этническую мозаичность антропосферы и на ее жизнь.

Подводя итог рассмотрению глобальных функций почв, необходимо отметить, что главная глобальная биосферная функция почв – обеспечение жизни на Земле (Соколов, 2004).

Антропогенные нарушения гидросферных функций почв. В настоящее время происходит существенная трансформация почвенных функций в гидросфере. Главная причина – техногенное и сельскохозяйственное загрязнение почв. Соединения (ядохимикаты, удобрения, тяжёлые металлы, вынесенные) из почвы и сельхозугодий и поступающие в водоёмы из освоенных почв, загрязняют их и часто негативно воздействуют на их биологическую продуктивность. При этом происходит эвтрофикация водоёмов. Загрязняются не только поверхностные, но и грунтовые воды. Изменение функций почв как

регулятора водного баланса обостряет существующую уже на сегодня проблему ограниченности ресурсов пресных вод.

Антропогенные изменения атмосферных функций почв. Многие глобальные изменения в атмосфере и климате последнего времени являются в первую очередь следствием деградационных изменений в почвенном покрове. Распашка земель, эрозионные процессы в почве приводят к ускоренному окислению гумуса и к потере почвами связанного углерода, который идёт на увеличение его содержания в атмосфере. По разным данным, в результате деятельности человека, почвы уже потеряли примерно 40 % связанного углерода. Увеличение количества углерода и других газов в атмосфере, в свою очередь, вызывает парниковый эффект. Кроме углерода за возникновение парникового эффекта ответственны также и твёрдые частицы, рассеянные в атмосфере. Их количество также увеличивается в связи с эрозией почв. Широкомасштабные осушительные и мелиоративные мероприятия влияют на режим влагооборота в атмосфере.

Антропогенные изменения общебиосферных функций. В настоящее время серьезные опасения вызывают следующие антропогенные и техногенные изменения общебиосферных функций почв: изменение в соотношении круговоротов вещества в сторону усиления геологического круговорота и ослабления биологического; сокращение жизненного пространства для организмов суши; изменение типов ландшафтов – исчезновение естественных и появление антропогенных (урбанизированных, аграрных и др.); ослабление вклада почвы в эволюцию видов; исчезновение многих редких видов в связи с деградацией условий мест обитания → уменьшение генофонда наземных популяций.

Итак, почвы – это незаменимый и важнейший компонент биосферы и антропосферы. Среди множества функций почвы можно выделить глобальные, определяющие облик планеты и осуществляющие поддержание гомеостазиса Земли; и биогеоценоотические, определяющие функционирование наземных экосистем. Антропогенная деятельность приводит к изменению почвенных

функций, что может привести (и уже приводит) к неоднозначным последствиям как глобального, так и регионального масштаба.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Суть учение древнегреческого философа Ксенофана о почвах.
2. Возникновение почвоведения как науки, основоположники учения.
3. Литосферные функции почвы.
4. Экологические функции почв.
5. Опорная функция почв.
6. Глобальные функции почв.
7. Влияния почвы на общебиосферные функции.
8. Антропогенные нарушения гидросферных функций почв.
9. Антропогенные изменения атмосферных функций почв.
10. Антропогенные изменения общебиосферных функций.

ТЕМА 2. ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ ИЛИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЧВОВЕДЕНИЕ. ИСТОРИЯ НАУКИ, ОСНОВНЫЕ ПЕРИОДЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ

Вначале наука экология относилась к биологическим наукам, в настоящее время она имеет более широкое значение. Этот термин употребляется для обозначения науки, изучающей функционирование надорганизованных систем разных уровней: популяций, видов, биогеоценозов (агроценозов), экосистем и биосферы в целом.

Экология связана со многими науками о функционировании организмов на разных уровнях: генетикой, физиологией, биохимией, биогеографией; науками о среде обитания живых организмов – биогеоценологией, ландшафтоведением, гидрологией, гидрохимией, климатологией и почвоведением.

Почва – это своеобразная экологическая система (экосистема), то есть природный комплекс, образованный живыми организмами (биоценозом) и средой их обитания, связанными между собой обменом веществ и энергии. Термин экосистема ввел английский ботаник А. Тенсли.

Почва как продукт функционирования экосистем представляет, в свою очередь, открытую биокосную систему, связанную с биоценозами и верхними слоями литосферы (косной системой). Экология почвы формируется в процессе функционирования экосистем. Это можно видеть при рассмотрении генезиса тех или иных почв.

Почва как природное тело (по В. В. Докучаеву) формируется в результате взаимодействия климата, растительности, почвообразующих пород, рельефа местности и деятельности человека. В этом понимании почва является продуктом функционирования экосистем. Под действием перечисленных факторов протекают разнообразные природные процессы, которые можно объединить в пары, противоположные по своей сущности и направлению.

До недавнего времени понятие экология почв в качестве самостоятельного научного раздела со своим объектом, предметом, методами, понятийным аппаратом, теоретическими положениями, законами, т. е. всеми атрибутами самостоятельной науки, не имело какого-либо распространения. Все проблемы и

вопросы, относящиеся к экологии почв, были размыты в рамках разделов почвоведения - генезиса и географии почв. Более того, до сих пор некоторые ученые считают некорректным словосочетание экология почв, поскольку экология в классическом первоначальном смысле - это наука о взаимоотношениях организма со средой их обитания, и почва, по их мнению, выступает именно в роли последней.

Экология почв как самостоятельная теоретическая наука в настоящее время находится в стадии становления, хотя истоки ее можно отнести к концу XIX - началу XX века.

Уже в работах В. В. Докучаева прослеживается постановка тех проблем и вопросов, которые имеют непосредственное отношение к экологии почв. Прежде всего, введенное В. В. Докучаевым понятие естественно исторического тела, каковым является почва, стало основным, базисным понятием широкого класса естественно-исторических наук. "Являясь элементарным (далее неразложимым без потери качества), оно стало исходным моментом, всеобщей и универсальной основой изучения биосферы и ее систем, тем зародышем, из которого развились все другие понятия биосферных наук".

В. В. Докучаев также в разное время подчеркивал, что необходимо овладеть почвой и управлять ею с целью чисто практической; что для этого надо, прежде всего, решить вопрос о закономерных соотношениях между характером и распределением почв и факторами почвообразования, причем следует иметь в виду всю единую, цельную и нераздельную природу, а не отрывочные ее части; что необходимо изучать соотношения, генетическую вековечную и закономерную связь, которая существует между мертвой и живой природой, между растениями, животными и минеральными царствами, а также человеком, причем ядром учения об этих соотношениях - между живой и мертвой природой, между человеком и остальным миром, как органическим, так и минеральным, должно быть почвоведение. Л. И. Прасолов был первым, кто ввел термин экология почв (используя его как синоним термина педоэкология) и предложил выделить экологию почв в самостоятельный раздел почвоведения

наряду с генезисом и географией почв. Он рассматривал ее как учение об отношении почв к окружающим их условиям. Основным вопросом этого учения, считал он, должно быть выяснение причинной зависимости свойств почв. Предложенное Л. И. Прасоловым понятие экология почв и обоснование необходимости выделения экологии почв в самостоятельный раздел почвоведения не имели сначала отклика у почвоведов и ученых сопредельных наук, хотя отдельные вопросы, относящиеся к экологии почв, как ее понимал Л. И. Прасолов, рассматривались. В первой половине 60-х годов появилась первая, специально посвященная этой проблеме монография В. Р. Волобуева "Экология почв" (1963), за которой затем последовали другие, развивающие разные аспекты экологии почв: "Система почв мира" (1973) и "Введение в энергетику почвообразования" (1974).

В этих работах, как и в первой своей монографии "Почвы и климат" (1953), В. Р. Волобуев обосновывал самостоятельность экологии почв как учения о закономерных соотношениях между почвой и средой ее формирования или "как отрасли почвоведения, специально посвященной выявлению и характеристике закономерных соотношений между почвой и почвообразователями - горной породой, организмами, климатом и рельефом". "Несомненно, предметом экологии почв являются и те соотношения между почвой и средой, которые возникают при разного рода воздействиях на почву производств биосферных наук. "Являясь элементарным (далее неразложимым без потери качества), оно стало исходным моментом, всеобщей и универсальной основой изучения биосферы и ее систем, тем зародышем, из которого развились все другие понятия биосферных наук".

Близки к идеям В. Р. Волобуева взгляды Э. Эвальда (1972), который считал, что экология почв должна рассматриваться как раздел, равноправный с учением о генезисе почв, основной задачей которого должна быть разработка моделей потоков вещества и энергии между современными почвами и их средой.

Однако даже вышедшие фундаментальные работы В. Р. Волобуева и большое количество работ других исследователей, освещавших разные аспекты взаимоотношений почвы с окружающей средой, не привели к признанию экологии почв в качестве самостоятельного раздела почвоведения.

И. А. Соколов (1993) рассматривает экологию почв, как раздел почвоведения, занимающийся изучением закономерностей, действующих в системе почва - факторы. Как и В. Р. Волобуев, И. А. Соколов сделал очень много для развития этого направления, рассматривая его как самостоятельный раздел теоретического генетического почвоведения. Он показал, что термин экология почв правомочен, раздел экология почв равноправен с такими разделами почвоведения, как генезис и география почв, а объект и предмет этой области знаний специфичен.

В отличие от учения о генезисе экология почв не занимается познанием механизмов формирования почвенных свойств. В отличие от географии почв она изучает распределение почв не в реальном географическом пространстве, а в абстрактном многомерном координатном пространстве, где в качестве координат может выступать любое сочетание факторов почвообразования или отдельных их характеристик.

И. А. Соколов подчеркивал, что экология почв может рассматриваться как самостоятельный раздел, как связующее звено между учениями о генезисе и географии почв и писал: "Единство этих трех разделов и составляет ядро фундаментального почвоведения, на котором базируются все прикладные его ветви". Им сформулирован ряд законов распределения почв в частном реальном экологическом пространстве (экологическом пространстве, образованном частью существующих в настоящее время факторов или их характеристиками) для зрелых автономных почв, а также закономерностей, относящихся к некоторым более частным вопросам экологии почв, среди них законы: литогенной полирефлекторности климатических условий, климатической конвергенции почвообразования, экологической полисенсорности почв к изменению условий

климата, закон сложной иерархии факторов и др. И. А. Соколовым (1993) впервые показано, что законы почвенно-экологических связей (т. е. связей среда - почва) могут быть различны (и даже противоположны) для разных педокосмов: гумидного - мира элювиальных выщелоченных, кислых ненасыщенных, ферри-сиалитных мезоморфных и гидроморфных почв и аридного мира аккумулятивных, насыщенных, нейтрально-щелочных, карбонатных и (или) засоленных ксероморфных почв. Им также впервые обращено внимание на то, что увлажненность в большей степени обуславливает качественную направленность почвообразования в то время, как термический фактор ответствен за количественную его сторону, интенсивность почвообразовательных процессов.

Таким образом, экология почв – это наиболее широкое понятие.

Как ясно из приведенного обзора, предметом "экологии почв" во всех этапных работах выступают закономерности, действующие в системе почва - факторы, или закономерности соотношений между почвой и средой ее формирования. Это дает основания для изучения почвы только как "черного ящика", а закономерности ее внутренних превращений, ее функционирования оказываются за пределами интересов этого раздела науки.

Почва, с одной стороны, является биокосным телом, или биокосной экологической системой, поскольку в ней биотические и абиотические компоненты связаны потоками вещества и энергии. В то же время почва как тело, в котором взаимодействуют организмы и абиотические компоненты, сама собой представляет в целом естественно-историческое тело природы. То есть одним из главных вопросов экологии почв должно быть изучение не только внешнего обмена веществом и энергией почвы с окружающей средой, в том числе с факторами-почвообразователями, но и внутреннего единства, внутренних причинных связей ее как системы.

Таким образом, экология почв должна изучать законы функционирования почв в биосфере.

Экология почв, как и другие науки об экосистемах, должна заниматься вещественно-энергетическим обменом внутри почвы и с окружающей ее средой, выявлять общие закономерности этого обмена и устанавливать законы функционирования почв. Однако до сих пор в рамках экологии почв занимались только выяснением элементарных проявлений взаимодействия почв со средой, установлением простейших форм воздействия факторов среды на функционирование почв. Ни объект, ни предмет экологии почв как науки о функционировании системы биосферного типа до сих пор не определялись, а те определения, которые имеются, отвечают только одной стороне функционирования почвы как системы – ее внешним связям.

С одной стороны, экологию почв рассматривают как раздел теоретического генетического почвоведения, равноправный с другими его разделами – генезисом почв и географией почв, составляющими теоретическую основу почвоведения, с другой, почва представляет собой природную экологическую систему, подчиняется общим законам функционирования природных систем любого иерархического уровня и, следовательно, экология почв должна быть разделом экологии.

Вопрос о месте экологии почв в системе научных знаний еще не решен. Возникшую на стыке двух естественно-исторических наук – почвоведения и экологии – экологию почв, тем не менее, нельзя рассматривать просто как интеграцию двух наук, а следует понимать как особую специфическую науку со своими законами, методами, принципами и правилами, которая решает широкий круг проблем, связанных с функционированием биосферы (и ноосферы). Представляется, что экология почв является одним из самостоятельных учений биосферного класса наук. Примером встречного движения наук о биосфере и формирования не интегрированной, а новой синтетической науки является ряд законов экологии почв, сформулированных И. А. Соколовым (1993) в рамках этого учения как раздела генетического почвоведения. Предложенные законы, отражая реально существующие закономерности поведения почв в природе, являются одновременно законами экологии почв и в том случае, если она выступает как раздел почвоведения, и в том, если экология почв рассматривается

как учение о функционировании почв в биосфере. Это позволяет рассматривать ее как самостоятельное учение в ряду биосферного класса наук, возникшее не в недрах одной из областей естественно-исторических наук – почвоведения или экологии, а в недрах учения о биосфере в целом.

Таким образом, практически пока не существуют методы, которые позволили бы анализировать и оценивать одновременно сверхбольшие объемы информации о свойствах почв, факторах почвообразования и наборе их характеристик, необходимых для выведения закономерностей распределения типов почвообразования и почв в полном экологическом пространстве. Совершенствование имеющихся и разработка новых методов остаются до сих пор одними из самых актуальных проблем экологии почв.

Наука экология почв находится еще в стадии становления. Она, естественно, должна быть выделена в отдельный раздел биосферного класса наук. Объектом ее должна быть почва как экологическая система, а предметом – законы ее структурно-функциональной организации, закономерности и связи с окружающей ее средой, заключающиеся в обмене веществом и энергией. В целом она должна основываться на естественноисторическом подходе В.В. Докучаева, который предсказал необходимость развития таких аспектов роли почвы в биосфере и предвосхитил ее появление.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Основные направления научных исследований В.В. Докучаева в экологии почв.
2. Основоположники учения экология почв.
3. Почва как продукт функционирования экосистем.
4. Почва как природное тело.
5. Учение В.Р. Волобуева о роли почвы.
6. Законы почвенно-экологических связей.
7. Учение В.И Соколова в развитии экологии почв.
8. Почва как экологическая система.

ТЕМА 3. ОСНОВНЫЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЗЕМЕЛЬ ПО КАЧЕСТВУ РЕЛЬЕФА

При анализе и систематизации основных диагностических параметров (ОДП) экологической оценки земель их, как правило, группируют по основным компонентам ландшафта (рельеф, породы, микроклимат, гидрологическая компонента и др.), структурно-функциональным подсистемам почв (морфогенетическая, физическая, гидрофизическая, химическая, геохимическая, биотическая и т.п.), агроэкологическим функциям земель (плодородие, технологические характеристики, фитосанитарное состояние и т.д.).

Тип рельефа образован генетически связанными между собой и закономерно сочетающимися в пространстве формами рельефа. В зависимости от размеров выделяют три группы типов рельефа: макро-, мезо- и микрорельеф

Макрорельеф – крупные формы земной поверхности, занимающие обширные площади и определяющие их общий облик (равнины, горные системы, низменности). Макрорельеф воздействует на формирование воздушных масс, определяет вертикальную поясность и климат, влияет на почвообразование и дифференциацию почвенного покрова.

Разнообразие сочетаний форм макрорельефа сводится к четырем морфолого-генетическим типам:

- горный, или структурно-тектонический (подтипы высокогорный, альпийский, среднегорный, низкогорный, сельговый); структурный, или пластовый (подтипы - плоскогорья, плато, куэсты);
- скульптурный, или эрозионный тип рельефа включает равнины, образованные линейной речной эрозией, плоскостным смывом, абразией;
- аккумулятивный, или насыпной.

По высотным уровням равнины делят на низменности (ниже 200 м) и - плато (выше 200 м).

В системе экологической оценки земель типы и подтипы макрорельефа выполняют функцию важного координирующего фактора, знание которого позволяет уточнять реальные пределы научно обоснованной экстраполяции

районированных моделей, алгоритмов и шкал оценки значимых конкретных условий параметров почв и земель.

Они активно используются в системах регионального и межрегионального экологического районирования, которые формируют каркас для научно обоснованного районирования нормативной базы экологической оценки почв и земель.

Мезорельеф – средние формы земной поверхности, с колебаниями относительных высот 1...100 м, которые выполняют важные структурно-экологические функции:

- фактора перераспределения агроклиматических ресурсов и формирования микроклимата;
- каркаса геохимического ландшафта, определяющего направленность и интенсивность геохимических процессов;
- фактора дифференциации почвенного покрова и формирования мезоструктур почвенного покрова.

К основным элементам мезорельефа, как правило, относят: водоразделы, склоны и подошвы склонов, шлейфы склонов и днища межсклоновых западин, днища оврагов и балок, террасы, уступы и склоны террас, лощины и балки.

В системе экологической оценки земель элементы мезорельефа выполняют функцию координирующего фактора, их количественные (крутизна, длина склона), полуколичественные (градации склона по длине и крутизне) и качественные (форма и экспозиция склона) характеристики относятся к основным диагностическим параметрам рельефа в системе агроэкологической оценки земель.

Наиболее значимые в конкретных условиях характеристики мезорельефа, как правило, относятся к определяющим факторам внутрихозяйственного землеустройства и проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия.

Микрорельеф – мелкие формы земной поверхности с колебаниями относительных высот до 1 м, которые перераспределяют тепло и влагу на небольших расстояниях, является основным фактором дифференциации почвенного покрова и функционирования почв на уровне микроструктур почвенного покрова.

Они в значительной мере определяют характер и выраженность внутрипольной пестроты урожайности и фитосанитарного состояния основных сельскохозяйственных культур.

Особенно сильно влияние микрорельефа проявляется в условиях слабой дренированности территории. В нечерноземной зоне широко распространено весеннее застаивание воды в замкнутых микропонижениях, что приводит к сильному запаздыванию сроков поспевания почвы, развитию сезонного оглеения, агрогенной цементации почв, вымоканию и выпреванию озимых культур.

В сухостепной зоне с микрорельефом часто бывает связана повышенная контрастность плодородия и условий обработки почв, обусловленная различным уровнем проявления осолонцевания.

В системе экологической оценки земель важную функцию координирующего фактора часто выполняет вид микрорельефа (эрозионный, просадочный, фитогенный, открытый, закрытый и т.д.).

Количественные характеристики микрорельефа (площадь распространения, средняя площадь и перепад высот отдельных элементов) и обусловленные ими контрастность, расчлененность и неоднородность структур почвенного покрова активно используются при анализе экологического качества земель в процессе проектирования и корректировки адаптивно-ландшафтных и точных (прецизионных) систем земледелия.

Мелкие формы микрорельефа, с перепадом высот менее 30 см, часто выделяются в отдельный тип нанорельефа, который в значительной мере определяет детальную пестроту урожайности и фитосанитарного состояния основных сельскохозяйственных культур. Его количественные (удельная площадь и перепады высот) и качественные характеристики (вид и фактор формирования)

также активно используются при анализе экологического качества земель, проектировании агротехнологий и мелиоративных мероприятий, оценке качества выполнения отдельных технологических операций.

На полях с выраженным нанорельефом невозможно обеспечить качественную предпосевную обработку почвы, получить дружные всходы и обеспечить одновременное развитие растений. Это приводит к неравномерному созреванию культур и снижению качества продукции.

Основными элементами водосбора, как территории, ограниченной водораздельной линией, являются водоразделы, склоны и гидрографическая сеть. Гидрографической сетью называют сеть понижений, по которым осуществляется сток поверхностных вод. Её верхняя часть обычно лишена постоянных водотоков и поэтому называется суходольной сетью.

Верхнее звено гидрографической сети состоит из ложбин, примыкающих к наиболее высоким частям водосборов. Они имеют глубину 0,5-2 м и склоны не круче 3-8°. Макроложбины представляют собой углубления с выраженным дном, глубиной более 1,5 м, в поперечном направлении трудно проходимые для сельскохозяйственной техники.

Лощина отличается от ложбины более резкими очертаниями, глубиной 2-6 м и крутизной склонов до 8-15°. Ниже по склону она переходит в более крупную форму - балку, глубиной 6-20 м и крутизной склонов до 10-15°. Характерной особенностью балки является хорошо выраженное русло временного водотока на дне. На склонах балок заметны террасы или их нечетко выраженные бровки. Балки впадают в речные долины.

Хорошо выраженная суходольная гидрографическая сеть обеспечивает хорошую дренированность ландшафта, но способствует развитию линейной и плоскостной эрозии.

К современным эрозионным формам рельефа относят размывы. Они бывают донными (идушими по тальвегу балки), вершинными (выходящими на водораздел по продолжению тальвега), склоновыми (впадающими в материнскую форму под некоторым углом).

В зависимости от стадии развития среди склоновых и вершинных разрывов выделяют водороины, промоины и овраги. Водороины – размывы почвы глубиной 0,2-0,6 м, которые заглаживаются при пахоте. Обычно они формируются по бороздам при вспашке вдоль склона, а также на слабозадернованных лугах при сбросе большого количества воды.

Промоины - размывы глубиной 0,5-3 м, шириной 5-8 м. Они непроходимы для обычной сельскохозяйственной техники. Овраг – размыв, выработавший свой собственный продольный профиль, не совпадающий с профилем склона. Их глубина может достигать 30м.

Среди донных размывов в зависимости от стадии эволюции выделяют вымоины, донные промоины и донные овраги. Сток по дну балки осуществляется в виде широкого потока (если дно балки не распахивается). В местах крушения дернины начинается размыв дна с образованием вымоин, которые являются начальной стадией размыва дна материнской формы. Донная промоина – размыв, образованный в результате слияния соседних вымоин. Донный овраг – размыв, образовавшийся в результате расширения донной промоины, занявший все днище материнской формы.

Для оценки потенциального развития линейной эрозии часто используют глубину местного базиса эрозии – уровня (дно балки, пойма или меженный уровень воды в реке), ниже которого не может идти эрозия. Местным называют базис эрозии, характерный для данного ландшафта.

В качестве координирующих факторов агроэкологической оценки земель наиболее активно используют следующие характеристики макро- и мезорельефа:

- морфогенетический тип макро- и/или мезорельефа;
- коэффициент расчлененности, средняя ширина водосбора и склона;
- вертикальная расчлененность;
- площадь овражно-балочных земель и коэффициент овражности.

Для расчета экологического качества земель конкретного участка используют следующие характеристики его мезо- и микрорельефа:

- форма и элемент мезорельефа (терраса, склон, лощина, днище и т.д.);
- позиция на склоне (нижняя, средняя, верхняя) и форма его линейного профиля (прямой, выпуклый, вогнутый, сложный);
- форма поперечного профиля склона (рассеивающий, собирающий, прямой)
- крутизна склона;
- экспозиция (теплая, холодная, нейтральная);
- длина склона (расстояние от водораздела);
- вид, удельная площадь и превышения микрорельефа.

Важнейшими экологическими характеристиками рельефа, которые во многом определяют микроклиматические, агротехнологические и геохимические особенности земель, размер бокового стока и проявление эрозии, являются крутизна, форма, экспозиция, длина и расчлененность склонов. Крутизна склонов (табл. 3.1) играет очень важную роль в формировании продуктивного влагозапаса, бокового стока, эрозии, условий обработки почв и выделения рабочих участков при землеустройстве.

Таблица 3.1 – Агроэкологическая классификация склонов по крутизне (Заславский, 1987)

Вид склона	Крутизна, °
Очень пологие	1-2°
Пологие	2-3°
Слабопокатые	3-5°
Покатые	5-8°
Сильнопокатые	8-10°
Крутые	10-15°
Очень крутые	15-30°
Чрезвычайно крутые	30-45°
Обрывистые	45-70°
Отвесные	70-90°

Крутизна склона от 1 до 3° обеспечивает наиболее благоприятные условия по характеру дренированности, но после 2° начинает проявляться лилейная эрозия и требуется ограничение доли пропашных культур в севообороте. При крутизне в 3-5° сильно развиваются эрозионные процессы, и запрещено возделывание пропашных культур. При уклонах 5-8° рекомендуются почвозащитные севообороты с включением многолетних трав (не менее 40%).

Склоны круче 8° должны не распахиваться, а использоваться как сенокосно-пастбищные угодья.

На условия увлажнения и обработки, развитие поверхностного стока и эрозии большое влияние оказывает длина и форма склона. Длина склона -расстояние от водораздела до бровки элемента гидрографической сети по линии наибольшего уклона (таблица 3.2) – во многом определяет уровень развития эрозии в его средней и нижней части.

Таблица 3.2 – Агроэкологическая классификация склонов по длине (по Заславскому, 1987).

Вид склона	Длина, м
Чрезвычайно короткие	Менее 50
Очень короткие	50-100
Короткие	100-200
Средние длины	200-500
Повышенной длины	500-1000
Длинные	1000-2000
Очень длинные	2000-4000
Чрезвычайно длинные	Более 4000

По форме продольного профиля выделяют выпуклые, прямые и вогнутые склоны. Их эрозионная опасность соотносится примерно как 1,25-1,5 : 1 : 0,5-0,75. Иногда встречаются склоны сложной формы – выпукло-вогнутые, вогнуто-выпуклые и ступенчатые. Прямые и выпуклые склоны чаще бывают, сложены легко размываемыми породами. Вогнутые - трудно размываемыми.

По форме поперечного профиля также различают склоны прямые, выпуклые и вогнутые. При выпуклой форме поперечного профиля склона сток происходит по расходящимся направлениям, и склон называют рассеивающим. Вогнутая форма склона обуславливает сток по сходящимся направлениям (собирающий склон).

Экспозиция склона оказывает значительное влияние на микроклиматические условия и развитие эрозионных процессов. В период весеннего снеготаяния основной причиной различий в смыве является неравномерность распределения снега в разных частях склонов разных экспозиций и разная скорость снеготаяния, зависящая от угла падения солнечных лучей, определяемых на данной широте экспозицией склона.

Снегозапас на склонах разных экспозиций одного водораздела может отличаться в 2 и даже 4 раза. Например, для лесостепной зоны европейской территории России, соотношение снежности на южных, юго-восточных, восточных склонах к снежности на водоразделе, на северо-восточных и на северо-западных склонах составляет: 0,5 : 1 : 1 : 2.

По среднесуточной сумме прямой солнечной радиации южные склоны отличаются от водоразделов, в среднем за вегетацию, на +4-6 % для склонов 5°; на +5-10 % для склонов 10°; на +9-23 % для склонов 20°; северные склоны - на -4-7 %, -10-16 % и -20-40 % соответственно.

Коэффициент расчлененности территории K характеризует горизонтальное расчленение рельефа:

$$K = L/S, \quad (1)$$

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

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

$$a = S/L \quad (2)$$

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

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

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

$$l = 2K = 0,5a \quad (3)$$

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 км^2 площади. По этому показателю различаются слабая (менее $0,25 \text{ км/км}^2$), средняя ($0,25-0,50$), сильная ($0,50-0,75$) и очень сильная ($> 0,75$) степени развития эрозии.

Расчлененность овражной сетью определяется также по среднему расстоянию между соседними оврагами (по средней ширине водосборного овражного бассейна): более 1000 м – слабая, $1000-500 \text{ м}$ – средняя, $500-250 \text{ м}$ – сильная, менее 250 м – очень сильная.

Коэффициенты овражности – отношение площади оврагов к общей площади территории (га/км^2). Плотность оврагов - число оврагов на 1 км^2 .

Плотность оврагов менее $0,25 \text{ шт./км}$ соответствует слабой степени развития линейной эрозии, $0,25-0,5$ – средней, $0,5-0,75$ – сильной, более $0,75$ – очень сильной.

Глубина расчленения и стадии развития процессов линейной эрозии (реликтовые и/или современные формы) характеризует тип линейного расчленения.

По глубине расчленения различают слабоврезанные ($5-10 \text{ м}$), средне-врезанные ($10-25 \text{ м}$) и глубоко-врезанные ($25-50 \text{ м}$) эрозионные системы; по составу элементов - ложбинно-лощинные, ложбинно-лощинно-балочные, ложчинно-балочные и овражно-лощинно-балочные.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Разнообразие сочетаний форм макрорельефа.
2. Структурно-экологические функции мезорельефа.
3. К основным элементам мезорельефа относят.

4. Элементы мезорельефа выполняют функцию.
5. Что собой представляет микрорельеф.
6. Функции нанорельефа.
7. Отличительные особенности водороев и промоин.
8. Координирующих факторов агроэкологической оценки земель.
9. Характеристики расчета экологического качества земель.
10. Агроэкологическая классификация склонов по длине.

ТЕМА 4. ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЗЕМЕЛЬ ПО КАЧЕСТВУ ПОРОД И ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ

При анализе экологических особенностей литологических условий исследуемых земель основное внимание обращается на их следующие характеристики:

- мощность различных литологических отложений;
- гранулометрический состав пород, их скелетность и каменистость;
- гранулометрический состав мелкозема и его преобладающие фракции;
- химические свойства пород (карбонатность, гипсоносность, засоленность);
- физические свойства пород (плотность, пористость, водопроницаемость, влагоемкость, водоудерживающая способность, водоподъемная способность);
- физико-химические свойства пород (емкость и состав их поглощающего комплекса, степень насыщенности, рН, окислительно восстановительный потенциал и выраженность оглеение).

Среди широкого разнообразия почвообразующих пород в условиях европейской части России, как правило, преобладают ледниковые (моренные), флювиогляциальные (водно-ледниковые), аллювиальные, пролювиальные и морские отложения, лессы, лессовидные и покровные суглинки. Наряду с ними, локально могут доминировать озерные отложения, элювий и делювий.

В азиатской части страны более широко представлены элювиально-делювиальные отложения, трапповые плато, крипповые, солифлюкционные и конжелифлюкционные отложения.

Ледниковые (моренные) отложения – продукты выветривания различных пород, перемещенные и отложенные ледником.

Моренные отложения несортированы, имеют неоднородный гранулометрический состав, включают валуны, обогащены песком, чаще всего являются ва-

лунными песчанистыми суглинками. Обычно залегают на возвышенных водоразделах и формируют, конечно-моренные гряды. По химическому составу выделяют карбонатные и бескарбонатные морены. Сильная каменистость пород значительно ухудшает агроэкологическое качество земель и препятствует сельскохозяйственным работам.

Флювиогляциальные (водно-ледниковые) отложения образованы деятельностью мощных потоков с тающих ледников. Характеризуются значительной сортированностью, бескарбонатностью, легким гранулометрическим составом (преимущественно песчаным или супесчаным), не содержат валунов. Формирующиеся на них почвы бедны гумусом, питательными веществами, обладают малой влагоемкостью и высокой водопроницаемостью.

Часто флювиогляциальные наносы на небольшой глубине подстилаются моренными суглинками и глинами (так называемые двучлены), что приводит к застою влаги на контакте пород и контактному оглеению, которое оказывает значительное влияние на агроэкологическое состояние земель.

Очень широко распространены **покровные суглинки** и глины, которые имеют проблематичный генезис и чаще рассматриваются как отложения мелководных приледниковых разливов талых вод. Хорошо сортированные, содержат большое количество пылеватых фракций и ила, не содержат валунов, преимущественно бескарбонатны. Во влажном состоянии сильно набухают, при подсыхании растрескиваются, отличаются плотным сложением, слабой водопроницаемостью, но высокой капиллярностью.

Агроэкологические свойства покровных суглинков, как правило, значительно лучше, чем у морены или флювиогляциальных отложений.

Лессы и лессовидные суглинки также имеют проблематичное происхождение. Для лессов характерна умеренная карбонатность, крупнопылеватосуглинистый гранулометрический состав, хорошая микроагрегированность, пористость и рыхлое сложение, хорошее сочетание водопроницаемости и влагоемкости.

По своим физическим, химическим и водно-физическим свойствам лессы наиболее благоприятны для развития растений и интенсивного сельскохозяйственного использования. Лессовидные суглинки менее карбонатны (встречаются бескарбонатные), более грубозернистые, в них слабее выражена микроагрегированность и пористость, отмечается слоистость.

Элювиальные отложения (элювий) – продукты выветривания коренных пород, оставшиеся на месте образования. Отличаются большим разнообразием по составу и мощности в зависимости от свойств исходной породы и условий выветривания (рис. 4.1).

Различают следующие виды элювия плотных пород:

- элювий карбонатных пород – известняков, доломитов, мрамора, мела, мергелей, карбонатных глинистых сланцев, карбонатных опок;
- элювий бескарбонатных пород – песчанистых и глинистых сланцев, аргиллитов, песчаников, опок, конгломератов и т.п.;
- элювий кристаллических магматических и метаморфических пород (кислых и основных) – гранитов, сиенитов, диабазов и т.д.

Делювиальные отложения (делювий) – отложения дождевых и талых вод. Откладываются в виде пологого шлейфа с наибольшей мощностью у основания склона. Для делювия характерны сортированность и слоистость. Состав и агроэкологическое качество делювия обусловлены составом смываемых с вышележащих склонов пород.

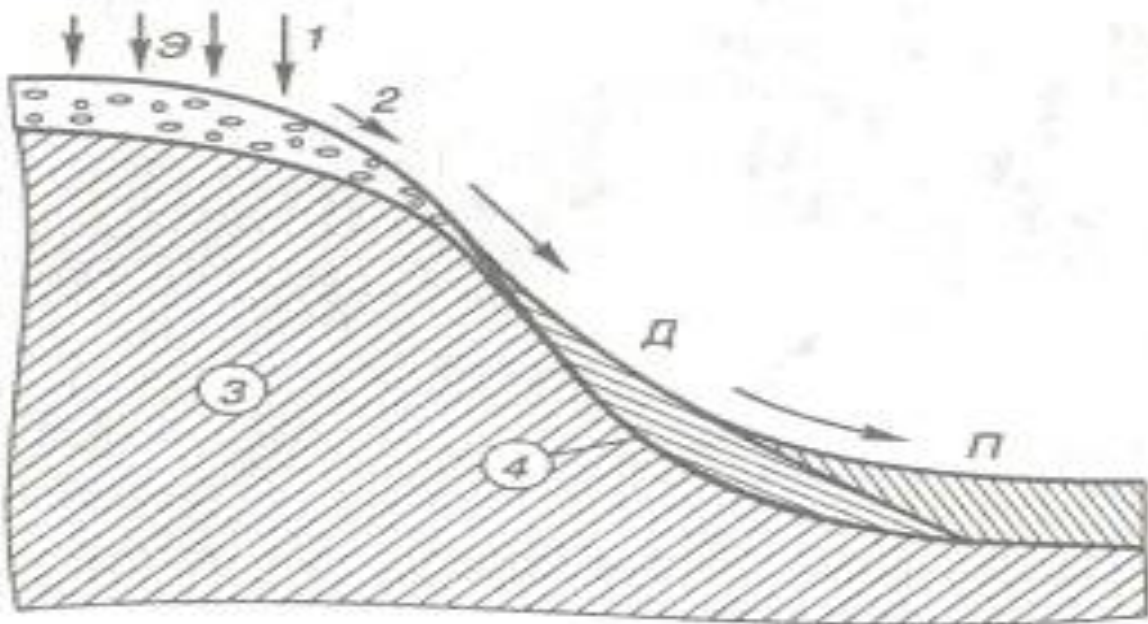
Элювиально-делювиальные отложения выделяются при тесном соприкосновении и трудном разграничении вышеописанных отложений, что часто наблюдается в условиях пересеченного рельефа.

Пролювиальные отложения (пролювий) – отложения конусов выноса временных водных и селевых потоков значительной мощности. Часто плохо сортирован и включает крупнообломочный материал.

Аллювий – отложения постоянных водных потоков. Различают:

- русловой аллювий (донные отложения рек), сложенный преимущественно песками и галькой;

- пойменный аллювий (отложения разливов), преимущественно суглинистый и глинистый;
- старичный аллювий, обогащенный органическим веществом и илом.



- Э – элювий
- Д – делювий
- П – пролювий
- 1 – атмосферные осадки
- 2 – плоскостной смыв
- 3 – коренные породы
- 4 – первоначальная поверхность склона

Рисунок 4.1 – Схема образования наносов на склоне рельефа

Аллювиальные отложения характеризуются горизонтальной или косой слоистостью, хорошей окатанностью минеральных зерен, включением значительного количества органических остатков. Пойменные аллювиальные отложения суглинистого и глинистого состава имеют хорошие агроэкологические свойства и, в свое время, стали основой развития древних цивилизаций.

Озерные отложения заполняют понижения древнего рельефа, отличаются глинистым составом и слоистостью, часто содержат органические про-

слойки. Они могут содержать известь, в сухих областях – гипс и легкорастворимые соли. При достаточном и избыточном увлажнении тяжелый гранулометрический состав обуславливает застой поверхностных вод.

В зоне недостаточного увлажнения озерные отложения часто бывают засолены, пересыхающие соленые озера образуют соровые солончаки – которые представляют серьезную агроэкологическую проблему для сельскохозяйственного освоения территории.

Морские отложения отличаются ясной горизонтальной слоистостью и хорошей послойной сортированностью осадков. Гранулометрический состав может быть довольно разнообразным. Морские отложения тяжелого гранулометрического состава, как правило, отличаются сильным засолением, что очень осложняет условия их интенсивного сельскохозяйственного использования.

4.1. Агроэкологическая оценка гидрологических условий

Ключевым показателем гидрологических условий является уровень (глубина залегания) грунтовых вод (УГВ), который оказывает определяющее влияние на почвообразование, водный режим и влагообеспеченность почв:

- более 6м – автоморфные условия,
- 3-6 м – полугидроморфные условия,
- менее 3м – гидроморфные условия,
- менее 1,5 м – сильногидроморфные условия.

При этом, залегание пресных грунтовых вод выше 80 см неблагоприятно для всех полевых культур и большинства трав, на уровне 80-100 см – благоприятно для большинства трав, некоторых плодовых кустарников (смородины, малины), овса, гороха, льна, но исключает возделывание плодовых культур; 100-120 см – оптимальна для большинства полевых культур, но неблагоприятна для плодовых насаждений; 120-140 см – оптимальна для косточковых плодовых культур, винограда; 140-200 см – оптимальна для семечковых плодовых, теплолюбивых косточковых (абрикоса, персика).

Глубина залегания минерализованных грунтовых вод оценивается исходя из относительного снижения урожайности многолетних насаждений (табл. 4.1).

Таблица 4.1. Оценка глубины залегания минерализованных грунтовых вод (по Валькову, 1986).

УГВ, м	Состояние культур
>3,5	Нормальное
3,5-2,75	Очень слабое угнетение семечковых, абрикоса, черешни (снижение урожайности до 10 %)
2,75-2,25	Среднее угнетение семечковых, абрикоса, черешни (снижение урожайности на 10–30 %); слабое угнетение сливы, вишни (снижение до 10 %), очень слабое угнетение виноградной лозы
2,25-2,00	Сильное угнетение семечковых, абрикоса, черешни (снижение урожайности на 30...50 %); среднее угнетение сливы, вишни (снижение урожайности на 10–20 %); слабое угнетение виноградной лозы (снижение урожайности до 10 %)
2,00-1,40	Очень сильное угнетение семечковых, абрикоса, черешни (снижение урожайности на 50–85 %); сильное угнетение сливы, вишни (снижение урожайности на 20–50 %); среднее угнетение виноградной лозы (снижение на 10–25 %)
1,40-1,00	Крайне сильное угнетение семечковых, абрикоса, черешни (снижение урожайности более 85 %); очень сильное угнетение сливы, вишни (снижение урожайности на 50–90 %); среднее угнетение виноградной лозы (снижение на 25–30 %)
1,00-0,50	Полная гибель семечковых, абрикоса, черешни, сливы, вишни; очень сильное угнетение виноградной лозы (снижение урожайности на 50–90 %)
< 0,5	Полная гибель всех плодовых культур

При высоком уровне грунтовых вод необходим учет их динамики в течение вегетационного периода (отмечается период, в течение которого грунтовые воды хотя бы частично перекрывают корнеобитаемый слой, и глубина УГВ в этот период).

Проточность грунтовых вод оказывает благоприятное действие на растения, т. к. в этих условиях они не испытывают экологического переувлажнения при расположении корней в зоне капиллярной каймы благодаря достаточной

обеспеченности кислородом и отсутствию условий накопления токсичных продуктов анаэробного разложения в почве.

В застойных грунтовых водах происходит накопление токсичных продуктов анаэробного разложения, что особенно неблагоприятно для многолетних насаждений.

К наиболее важным агроэкологическим характеристикам грунтовых вод относятся: pH, содержание Fe^{2+} ; общее содержание легкорастворимых солей, соды, Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , CO_3^{2-} и HCO_3^- (табл. 4.2).

Оценка воздействия Na^+ оросительных вод на почву проводится по величине коэффициента относительной потенциальной адсорбции SAR (Sodium adsorption ratio) (концентрация катионов выражается в мг-экв/л):

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{Ca^{2+} + Mg^{2+}/2}}$$

Поемность оценивается по периодичности затопления, срокам и длительности затопления, температуре поемных вод (сумма температур полой воды).

Таблица 4.2 – Оценка качества оросительных вод по величине SAR

Содержание натрия в воде	Общая минерализация воды, г/л	
	<0,1	0,1-0,5
Низкое	<10	<6
Среднее	10-18	6-10
Высокое	18-26	10-18
Очень высокое	>26	>18

Для оценки поемности В.И. Шрагом (1966) предложена следующая градация:

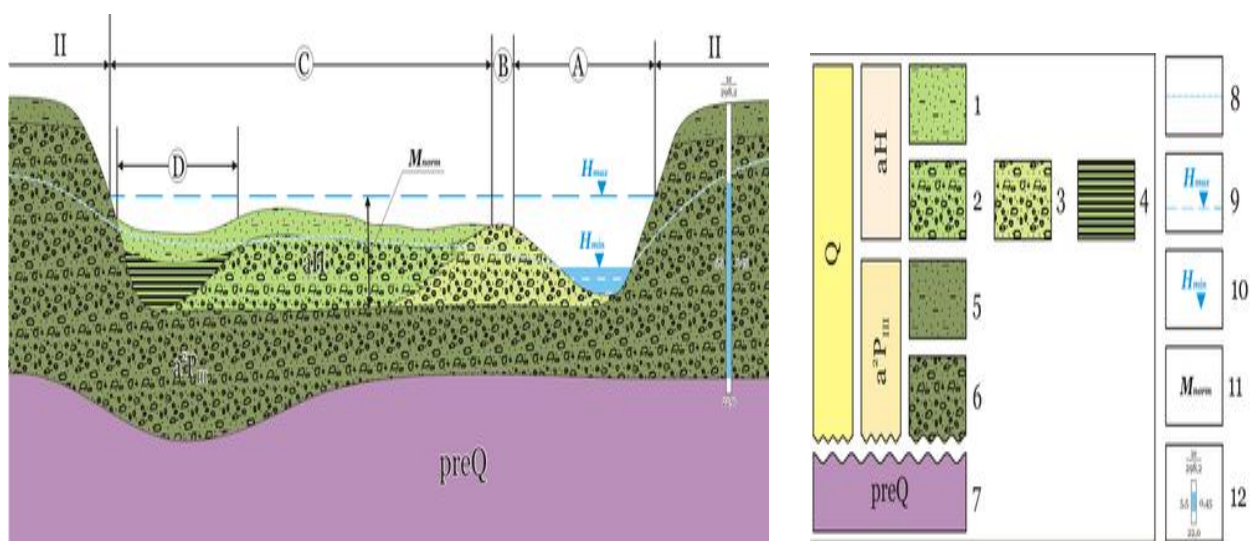
- короткая поемность – срок стояния полых вод до 7 дней – позволяет возделывать большинство культур, принятых для данной зоны;

- средняя поемность – срок стояния полых вод 7-15 дней – исключает возделывание озимых культур, благоприятна для естественных и сеяных трав и большинства плодовых насаждений;

- продолжительная поемность – 15-30 дней – исключает полевые культуры и плодовые, благоприятна не для всех трав;

- очень продолжительная поемность со стоянием полых вод более 30 дней способствует заболачиванию территории и развитию болотных травянистых группировок.

Выживание растений в условиях затопления сильно зависит от температуры воды. Если в весенний период допустимая продолжительность затопления некоторых видов трав достигает 20-25 суток, то в летний период она не должна быть более 20-26 часов.



1- пойменный аллювий; 2- русловой аллювий поймы; 3- аллювий прируслового вала; 4- старичный аллювий; 5- пойменный аллювий 2-й террасы; 6- русловой аллювий 2-й террасы; 7- коренные породы; 8- зеркало грунтовых вод; 9- уровень максимального подъема воды (половодье); 10- уровень минимального снижения воды (межень); 11- нормальная мощность аллювия; 12- водозаборная гидрологическая скважина; A- русло; B- прирусловой вал; C- пойма; D- старица; II- вторая надпойменная терраса.

Рисунок 4.2- Структура поймы и надпойменной террасы

В зависимости от длительности промерзания почвы и ее среднегодовой температуры выделяются (Добровольский, Урусевская, 2004) четыре типа температурного режима почв:

- мерзлотный характерен для районов вечной мерзлоты (среднегодовая температура почвы отрицательная);

- длительно сезонно промерзающий с длительностью промерзания не менее 5 месяцев (среднегодовая температура почвы положительная, глубина проникновения отрицательных температур более 2 м);

- сезонно промерзающий с длительностью промерзания от нескольких дней до 5 месяцев (глубина проникновения отрицательных температур не более 2 м);

- непромерзающий (отрицательные температуры почвы отсутствуют или держатся от одного до нескольких дней).

Распределение температуры почвы в пределах одного хозяйства зависит от гранулометрического состава, содержания гумуса, местоположения по рельефу. Различия в средней месячной температуре песчаной и глинистой почв достигают 3-4°C, осушенной и неосушенной торфяной почв - свыше 5°C.

Перезимовка растений зависит от состояния их осенью, температурных условий и высоты снежного покрова зимой. На состоянии озимых зерновых неблагоприятно сказываются резкие колебания температуры, частые продолжительные оттепели и гололед.

Влиянию низких температур на почву зимой противостоит снежный покров, который оказывает решающее влияние на глубину промерзания. При высоте снежного покрова до 20 см зимы относят к малоснежным, 20-30 см – среднеснежным, выше 30 см – многоснежным.

На глубину промерзания сильно влияет влажность почвы. Чем она выше, тем меньше глубина промерзания. Глубина промерзания уменьшается и с увеличением содержания в почве глинистых частиц. В суровые зимы она различается между песчаными и суглинистыми почвами в среднем на 50 см, между песчаными и глинистыми – на 80 см.

Для оценки влагообеспеченности чаще всего используют коэффициент увлажнения, рассчитываемый по Высоцкому-Иванову (КУ):

$$КУ = P/E \quad (4)$$

где P – осадки за год, мм;

Е – потенциальная эвапотранспирация (испаряемость) за год (определяемая по испарению с поверхности водоемов), мм;

В соответствии с этим коэффициентом выделяются (Добровольский, Урусевская, 2004) зоны увлажнения:

- избыточно влажная (КУ более 1,33) – зона распространения тундрового, болотного, глееподзолистого почвообразования; осадки превышают испаряемость и за год, и за теплый период;

- влажная (КУ 1,33-1,00) – зона охватывает тайгу и лиственные леса на подзолистых и бурых лесных почвах; годовая сумма осадков превышает испаряемость, но в основной период вегетации испаряемость выше осадков;

- полувлажная (КУ 1,00-0,77) – лесостепная зона на серых лесных почвах и лесостепных черноземах; КУ 1,00 свидетельствует о сбалансированности годовых осадков и испаряемости;

- полузасушливая (КУ 0,77-0,55) – зона охватывает типичную степь на обыкновенных черноземах;

- засушливая (КУ 0,55-0,44) – засушливую степь на южных черноземах;

- очень засушливая (КУ 0,44-0,33) – сухую степь на темно-каштановых и каштановых почвах;

- полусухая (КУ 0,33-0,22) – полупустыня на светло-каштановых почвах;

- сухая (КУ 0,22-0,12) – полупустыня на бурых почвах;

- очень сухая (КУ менее 0,12) – полупустыня на серо-бурых почвах.

Влагообеспеченность конкретных местообитаний связана с неодинаковым расходом влаги на испарение на склонах разной крутизны и экспозиции, перераспределением зимних и летних осадков. Зимой снега накапливается больше на пониженных элементах рельефа. Наветренные склоны удерживают меньше снега, чем подветренные. На наветренных склонах мощность снега убывает от подножия к вершине, а на подветренных большие массы снега скапливаются в верхней части склона. На южных склонах снеготаяние проходит более интенсивно, в результате чего увеличивается сток.

Влажность почв вогнутых склонов книзу возрастает, а выпуклых, наоборот, снижается. На отдельных крутых отрезках любых склонов влажность почв уменьшается. Относительное количество осадков весной и осенью в зонах избыточного и достаточного увлажнения составляет у подножия склонов 1,00; на южных склонах 0,25-0,30; на северных склонах 0,3-0,4; в слабозасушливых условиях соответственно: 1,00; 0,15-0,25 и 0,25-0,30. В сравнимых условиях ряд экспозиций по увлажнению выглядит следующим образом: С > СВ > ЮВ > В > З > ЮВ > ЮЗ > Ю.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Макрорельеф и как он учитывается при оценке земель.
2. Микрорельеф и как он учитывается при оценке земель.
3. Формы рельефа, являющиеся результатом развития современной эрозии.
4. Характеристики рельефа используемые для агроэкологической оценки земель.
5. Расчёт коэффициента расчлененности территории.
6. Характеристики пород рассматриваемые при их агроэкологической оценке.
7. Отличие моренных отложений и флювиогляциала.
8. Отличие покровных и лессовидных суглинков.
9. Отличительные особенности элювия, делювия и пролювия.
10. Агроэкологические особенности аллювия и озерных отложений.
11. Оценка уровня грунтовых вод.
12. Параметры, учитываемые при агроэкологической оценке микроклиматических условий.

ТЕМА 5. ПАРАМЕТРЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПОЧВ

Почва, представленная твердыми, жидкими и газообразными веществами, характеризуется как термодинамическая система. В ней постоянно происходят процессы выветривания почвообразующих пород, разложения органических веществ, образования глинистых вторичных минералов, гумусовых веществ и органо-минеральных соединений. Водная эрозия, гравитация, диффузия, фильтрация, адсорбция воды также изменяют состав почвы. Постоянно происходящие в почве процессы обмена веществ и энергии с внешней средой характеризуют ее как открытую систему, которой свойственно динамическое равновесие.

Термодинамические свойства почв делятся на *интенсивные* и *экстенсивные*. К интенсивным относятся свойства, не зависящие от воды (температура, атмосферное давление, химический потенциал). Экстенсивные (энтропия, объем и масса) зависят от количества воды.

Оценка экологического качества почв обычно начинается с анализа морфогенетического строения почвенного профиля. При его оценке принимаются во внимание мощность мелкоземистой толщи, гумусово-аккумулятивной части профиля, пахотных и нижележащих горизонтов; расположение и свойства литологических слоев и границ, наличие проблемных агроэкологических ситуаций - с переуплотненными, переувлажненными, оглееными, солонцеватыми, засоленными, каменистыми горизонтами и т.д..

5.1 Параметры физического состояния почв

Базовым параметром физического состояния почв является их гранулометрический состав. Классификация почв России по гранулометрическому составу основана на соотношении фракций физического песка и физической глины с поправкой на свойства почв различного генезиса (табл. 5).

Таблица 5.1 – Классификационная шкала почв по гранулометрическому составу

Содержание физ. глины, %	Названия разновидности почв		Число разновидностей
	Основное	Дополнительное	
0-5	Рыхлопесчаная	Песчаные, крупнопылеватые	2
5-10	Связнопесчаная		2
10-20	Супесчаная		2
20-30	Легкосуглинистая	Песчаные, крупнопылеватые, пылеватые, иловатые	4
30-40	Среднесуглинистая		4
40-50	Тяжелосуглинистая		4
50-65	Легкоглинистая		4
65-80	Среднеглинистая		4
80-100	Тяжелоглинистая	Пылеватые, иловатые	2

Экологическая оценка гранулометрического состава почв зависит от их генетических особенностей (табл. 5.2).

Почва – полидисперсная система. Она состоит из трех фаз: твердой, жидкой и газовой. Твердая фаза почв, в свою очередь, состоит из частиц различной величины, которые называются *механическими элементами*. Близкие по размерам и свойствам частицы группируются во фракции. Группировка частиц по размерам по фракции называется *классификацией механических элементов*. Относительное содержание в почве механических элементов называется *гранулометрическим составом*.

В России принята классификация Н.А. Качинского (1958), по которой механические элементы почвы по размеру группируются в такие фракции:

- камни – >3 мм;
- гравий – 3-1 мм;
- песок: крупный – 1,0-0,5 мм; средний – 0,50-0,25 мм; мелкий – 0,25-0,05 мм;
- пыль: крупная – 0,05-0,01 мм; средняя – 0,01-0,005 мм; мелкая – 0,005-0,001 мм;

- ил: грубый – 0,001-0,0005 мм; тонкий – 0,0005-0,0001 мм;
- коллоиды – < 0,0001 мм;
- физическая глина: включает частицы размером – < 0,01 мм;
- физический песок: состоит из частиц – > 0,01 мм.

Таблица 5.2 – Экологическая оценка гранулометрического состава почв для зерновых культур

Почвы	Оценка по гранулометрическому составу почв, баллы						
	Глини- стые	Тяжело- сугл	Средне- сугл	Легко- сугл	Супес- чаные	Песчаные	
						связ- ные	рых- лые
Глееподзолистые	4	6	8	10	8	5	3
Подзолистые	5	6	8	10	8	5	3
Дерново-подзолистые	6	7	10	8	6	4	2
Серые лесные	8	10	9	7	6	4	2
Черноземы типичные	10	9	8	6	4	3	1
Черноземы южные	9	10	8	7	5	3	1
Темно-каштановые	8	10	9	7	6	3	1
Каштановые	7	9	10	8	6	3	1
Бурые	7	8	10	7	5	2	1
Сероземы	8	10	9	7	5	3	2
Красноземы и желто- земы	10	9	7	6	4	-	-
Желтоземно-подзоли- стые	8	9	10	9	6	4	2

Песчаная фракция (1,0-0,05 мм) состоит из обломков горной породы (кварца, полевых шпатов), обладает высокой водопроницаемостью, но низкой влагоемкостью (3-10%) и водоудерживающей способностью, не пластична и не набухает. И все же природные мелкозернистые пески с влагоемкостью 5-10 % способны обеспечить рост и развитие травянистых растений, а с влагоемкостью 3-5 % пригодны для лесных культур.

Крупная пыль (0,05-0,01 мм) мало отличается от песка мелкого. Она обладает невысокой влагоемкостью и низкой водоудерживающей способностью, не пластична, слабо набухает.

Средняя пыль (0,01-0,005 мм) отличается повышенным содержанием слюды, которая придает средней пыли повышенную пластичность и связность. Эта фракция лучше удерживает воду, но обладает слабой водопроницаемостью, не способна к коагуляции, не участвует в структурообразовании и физико-химических процессах. Поэтому почвы, обогащенные средней пылью, легко распыляются, склонны к заплыванию и уплотнению, отличаются слабой водопроницаемостью.

Тонкая пыль (0,005-0,001 мм) характеризуется относительно высокой дисперсностью. Она состоит из первичных и вторичных минералов, способна к коагуляции и структурообразованию, обладает поглотительной способностью. Однако при высоком содержании тонкой пыли почва обладает и неблагоприятными свойствами: низкой водопроницаемостью, большим содержанием недоступной влаги, высокой способностью к набуханию и усадке, липкостью и плотным сложением. Ил состоит преимущественно из высокодисперсных вторичных минералов. Имеет самое большое значение в создании плодородия и благоприятной экологии почв. Илу принадлежит главная роль в физико-химических процессах, так как он обладает высокой поглотительной способностью, в аккумулятивном горизонте почвы содержит максимальное количество гумуса, азота и зольных элементов.

Илистая фракция – это совокупность почвенных частиц размером < 1 мкм по шкале Качинского, принятой в нашей стране, и < 2 мкм по шкале Аттерберга, принятой в большинстве зарубежных стран. Она состоит из глинистых минералов, органического вещества и органо-минеральных соединений. Благодаря высокой дисперсности, химической активности и сорбционной способности глинистой фракции почва активно взаимодействует со всеми веществами.

Скелетность определяется механическими элементами крупнее 1 мм: гравием (1-3 мм) и камнями (более 3 мм). Скелетность оказывает существенное влияние на свойства почв и условия их использования. Наряду с негативным ее влиянием (помехи обработки почвы, абразивное воздействие на рабочие органы орудий и др.) скелетность способствует ускоренному прогреванию почв в северных районах.

По характеру скелетной части устанавливают тип каменности почв: валунные, галечниковые, щебнистые.

По содержанию хряща выделяют следующие группы почв:

- мелкоземистые с количеством скелета менее 10 %;
- слабохрящеватые (10-30 %);
- среднехрящеватые (30-50 %);
- сильнохрящеватые (более 50 % скелетных частиц).

По каменности выделяются группы почв:

- некаменистые с содержанием камней менее 0,5 %;
- слабокаменистые (0,5-5 %);
- среднекаменистые (5-10 %);
- сильнокаменистые (более 10 % камней).

Основным количественным динамическим показателем физического состояния почв является плотность - определяемая характером упаковки физических частиц почв и определяющая их пористость и условия водного и воздушного режима.

Наилучшие водно-воздушные свойства почв степной зоны складываются при размере агрегатов 0,25-3 мм, дерново-подзолистых 0,5-5 мм. При оценке противодефляционной устойчивости почв учитывают содержание агрегатов более 1 мм в слое 0-5 см.

Важнейшими условиями агрономической ценности структуры являются ее водопрочность и пористость (табл. 5.3). Верхним пределом оптимального содержания водопрочных агрегатов ориентировочно можно считать 75(80) %, поскольку при более высоком содержании водопрочных агрегатов значительно

возрастает пористость аэрации и непроизводительный расход влаги на физическое испарение.

Таблица 5.3 – Экологическая оценка структуры и сложения пахотного горизонта почв (по Кузнецовой, 1979).

Содержание водопрочных агрегатов более 0,25 мм, %	Оценка		Равновесная плотность сложения, г/см ³	Оценка плотности сложения
	Водопрочности структуры	Устойчивости сложения		
<10	Неводопрочная	Неустойчивое	>1,5	Очень плотное
10-20	Неудовлетворительная		1,5-1,4	
20-30	Недостаточно удовлетворительная	Недостаточно устойчивое	1,4-1,3	Плотное
30-40	Удовлетворительная	Устойчивое	1,3-1,2	Уплотненное
40-60	Хорошая		1,2-1,1	
60-75	Отличная	Высокоустойчивое	1,1-1,0	Оптимальное для большинства культур
>75	Избыточно высокая		<1,0	

Поскольку при расчете пористости используется плотность твердой фазы почвы, величина которой слабо изменяется для минеральных почв (от 2,50-2,60 в гумусовых горизонтах до 2,65-2,75 в переходных горизонтах), то оценку физического состояния почв возможно проводить по одному из показателей - плотности или общей пористости.

Важная характеристика сложения почвы - содержание в ней воздуха. При оптимальном сложении почвы пористость аэрации (некапиллярная) минеральных почв должна быть не ниже 15 %, торфяных - 30-40 %. При меньшем содержании воздуха условия роста культурных растений ухудшаются. Самые благоприятные условия увлажнения и воздухообеспеченности складываются в

почве при соотношении капиллярной и некапиллярной пористости 1:1, т.е. если пористость аэрации составляет половину общей (табл. 5.4).

Таблица 5.4 – Экологическая оценка плотности и пористости суглинистых и глинистых почв в вегетационный период (по Н.А. Качинскому, 1965).

Плотность, г/см	Общая пористость, %	Оценка плотности	Оценка пористости
<1,0	>70	Почва вспушена или богата органическим веществом	Избыточно пористая почва вспушена
1,0-1,1	65-55	Типичные величины для культурной или свежевспаханной почвы	Отличная – культурный пахотный горизонт
1,1-1,2	55-50	Пашня слабо уплотнена	Хорошая – в окультуренных почвах
1,2-1,3	50-45	Пашня уплотнена	Удовлетворительная – в освоенных почв
1,3-1,4	45-40	Пашня сильно уплотнена	Неудовлетворительная – в пахотном горизонте
1,4-1,6	40-35	Типичные величины для подпахотных горизонтов (кроме черноземов)	Чрезмерно низкая – в уплотненных подпахотных и иллювиальных горизонтах
1,6-1,8		Сильно уплотненные иллювиальные горизонты	

К физико-механическим свойствам почв относятся пластичность, липкость, набухание, усадка, связность, твердость и сопротивление при обработке. Помимо стабильных во времени гранулометрического и минералогического состава, содержания гумуса, состава обменных оснований, эти свойства сильно зависят от очень динамичной характеристики – влажности (Шеин, 2004).

Пластичность оценивается по числу пластичности – разнице между нижним и верхним пределами пластичности (пределом текучести и пределом раскатывания).

Глинистые почвы имеют число пластичности более 17, суглинистые – 7-17, супеси – менее 7, пески непластичны (число пластичности приближается к 0). Пластичность сильно возрастает с повышением содержания набухающих

минералов в почвах, особенно солонцовых. Наибольшей пластичностью отличаются глинистые солонцы, содержащие 25-30 % и более обменного натрия от емкости поглощения. Пластичность уменьшается при высоком содержании гумуса.

Липкость проявляется при влажности почвы, близкой к верхнему пределу пластичности. Увеличение степени насыщенности почв кальцием снижает липкость, натрием – резко увеличивает. Наименьшей липкостью обладают песчаные почвы, наибольшей – глинистые. Высокогумусированные почвы даже при высоком увлажнении (30-40 %) не проявляют липкости. По липкости почвы подразделяются на предельно вязкие (более 15 г/см²), сильно-вязкие (5-15 г/см²), средние по вязкости (2-5 г/см²), слабовязкие (менее 2 г/см²). Состояние влажности, при котором почва утрачивает липкость, отвечает физической спелости почв - наилучшим условиям для их обработки.

Физическая спелость почв – состояние увлажнения почвы, обеспечивающее наилучшие условия для обработки, при минимальном удельном сопротивлении и хорошей делимости, без распыления.

Способность к **набуханию и усадке** различных почв изменяются пропорционально содержанию глинистых и особенно коллоидных частиц, минералов монтмориллонитовой группы, органических коллоидов, и сильно возрастает с повышением содержания обменного натрия. Сильное набухание при высокой влажности вызывает разрушение почвенной структуры. Усадка при высыхании приводит к трещиноватости почв, разрыву корней растений, усилению физического испарения.

Важнейшие технологические показатели затрат на обработку почвы обусловлены ее связностью и твердостью. Наибольшей связностью характеризуются сухие глинистые бесструктурные почвы с небольшим содержанием гумуса и большой долей натрия в ППК, наименьшей – песчаные.

Удельное сопротивление почв в зависимости от механического состава, физико-химических свойств, влажности, плотности и структурного состояния изменяется в пределах 0,2-1,2 кг/см².

Наименьшим удельным сопротивлением характеризуются почвы легкого гранулометрического состава, наибольшим - тяжелосуглинистые и глинистые почвы, особенно солонцы, содержащие более 20 % обменного натрия от емкости поглощения.

Максимальное удельное сопротивление обработке наблюдается при влажности, близкой к влажности устойчивого завядания, минимальное – при влажности почвы, соответствующей физической спелости. Удельное сопротивление почв под пропашными культурами значительно меньше, чем под зерновыми и многолетними травами, на целинных и залежных почвах оно выше на 45-50 %, чем на старопахотных.

5.2. Параметры гидрофизического состояния почв

К основным водно-физическим свойствам относятся влагоемкость и водопроницаемость почв. Влагоемкость почв оценивается с учетом их гранулометрического состава (табл. 5.5).

Таблица 5.5 – Экологическая оценка предельной полевой влагоемкости (по Н.А. Качинскому, 1965).

Влагоемкость, % сухой массы почвы	Оценка
Тяжелые почвы	
40-50	Наилучшая
30-40	Хорошая
25-30	Удовлетворительная
<25	Неудовлетворительная
Легкие почвы	
20-25	Отличная для песчаных почв
10-25	Удовлетворительная для полевых культур
3-10	Удовлетворительная для лесных культур
<3	Неудовлетворительная для любых культур

Оценка влагообеспеченности проводится по запасам продуктивной влаги в слое 0-20 и 0-100 см весной и перед посевом озимых (таблица 5.6).

Таблица 5.6 - Экологическая оценка запасов продуктивной влаги (по Вадюниной, Корчагиной, 1976).

Мощность слоя почвы, см	Запасы воды, мм	Качественная оценка запасов воды
0-20	>40	Хорошие
	40-20	Удовлетворительная
	<20	Неудовлетворительная
0-100	>160	Очень хорошие
	160-130	Хорошие
	130-90	Удовлетворительные
	90-60	Плохие
	<60	Очень плохие

Оценка водопроницаемости почвы проводится с учетом природных и производственных условий.

Орошаемые почвы по скорости впитывания воды за первый час фильтрации подразделяются на три группы:

- значительной водопроницаемости (более 150 мм);
- средней водопроницаемости (150-50 мм);
- слабой водопроницаемости (менее 50 мм).

Более подробная агроэкологическая оценка водопроницаемости суглинистых и глинистых почв (по просачиванию воды в первый час фильтрации при напоре 5 см и температуре 10°С) была предложена Н.А. Качинским (1965) и включает шесть рангов оценки:

- провальная (более 1000 мм);
- излишне высокая (1000-500 мм);
- наилучшая (500-100 мм);
- хорошая (100-70 мм);
- удовлетворительная (70-30 мм);
- неудовлетворительная (менее 30 мм).

Оценка водопроницаемости в условиях впитывания дождевых вод имеет большое значение для прогнозирования эрозии (таблица 5.7).

Таблица 5.7 - Экологическая оценка дождей и водопроницаемости почвы

Интенсивность дождя (Коэффициент впитывания воды), мм/мин	Оценка	
	дождей	водопроницаемости
>2,0	Сильные ливни	Очень высокая
2,0-0,5	Ливни	Высокая
0,5-0,1	Сильные дожди	Повышенная
0,1-0,02	Умеренные дожди	Средняя
0,02-0,005	Легкие дожди	Пониженная
0,005-0,001	Моросящие дожди	Низкая
<0,001	Моросящие дожди	Очень гизкая

При оценке переувлажненных почв большое значение имеет высота капиллярного поднятия, характеризующая водоподъемную способность почв. Высота капиллярного подъема воды в песках составляет 0,2-1,0 м, в супесях она возрастает до 1,0-1,5 м, в суглинках-до 3-4 м.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Скелетность почв и ее свойства.
2. Термодинамические свойства почв.
3. Основные динамические показатели физического состояния почв.
4. Параметры почв, определяющие физико-механические свойства.
5. Оценка пластичности почвы.
6. Что определяет повышенную липкость почв.
7. Физическая спелость почвы.
8. Удельное сопротивление почвы.
9. Оценка водопроницаемости почвы.
10. Фракции гранулометрического состава.

ТЕМА 6. ОЦЕНКА ПОЧВ ПО ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОМУ И БИОЛОГИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ

6.1. Параметры физико-химического состояния почв

Химический состав почв определяется химическим составом почвообразующих пород, почвообразовательными процессами и антропогенными факторами. Агрономические значимые особенности химического состава проявляются не только в валовом содержании элементов, но и в их формах. Наиболее важные особенности химического состава: карбонатность, засоленность, содержание элементов минерального питания и загрязнителей.

В карбонатных почвах содержится повышенное количество Ca^{2+} и HCO_3^- в почвенном растворе, что определяет их слабощелочную реакцию. В этих почвах быстрее осуществляется минерализация органического вещества и высвобождается азот в минеральных формах.

Фосфаты, железо, марганец, тяжелые металлы менее доступны, чем в кислых почвах. Присутствие в почвенных растворах большого количества кальция вследствие антагонизма катионов может затруднить усвоение некоторых элементов питания, создавая их недостаток для растений. Недостаток усвояемого железа в карбонатных почвах может вызвать хлороз растений.

Засоленность почв оценивается по глубине, химизму и степени. По глубине залегания верхней границы солевого горизонта засоленные почвы разделяются на солончаковые (соли в слое 0-30 см), солончаковатые (30-80 см), глубокосолончаковатые (80-150 см), глубокозасоленные (глубже 150 см).

Химизм и степень засоления определяются согласно принятым методикам по соотношению анионов (табл. 6.1).

Оценка степени засоления проводится на основе обобщения данных урожайности среднесолеустойчивых сельскохозяйственных культур при различном содержании солей (табл. 6.2).

Таблица 6.1 – Классификация почв по типу и степени засоления

Химизм засоления (по соотношению %-го содержания анионов)	Степень засоления (по сумме солей, %)				
	Нет	Слабая	Средняя	Сильная	Очень сильная
Хлоридный: $Cl^- \geq 2,5 SO_4^{2-}$	< 0,03	0,03-0,10	0,10-0,30	0,30-0,60	> 0,6
Сульфатно-хлоридный: $Cl^- = (2,5-1,0) SO_4^{2-}$	< 0,05	0,05-0,12	0,12-0,35	0,35-0,70	> 0,7
Хлоридно-сульфатный: $Cl^- = (1,0...0,3) SO_4^{2-}$	<0,10	0,10-0,25	0,25-0,50	0,50-0,90	> 0,9
Сульфатный: $Cl^- \leq 0,3 SO_4^{2-}$	<0,15	0,15-0,30	0,30-0,60	0,60-1,40	> 1,4
Содово-хлоридный, хлоридно-содовый: $HCO_3^- > Ca + Mg$ (экв), $Cl^- > SO_4^{2-}$	<0,10	0,10-0,15	0,15-0,30	0,30-0,50	> 0,5
Содово-сульфатный, сульфатно-содовый: $HCO_3^- > Ca + Mg$ (экв), $Cl^- \leq SO_4^{2-}$	<0,15	0,15-0,25	0,25-0,35	0,35-0,60	> 0,6

Таблица 6.2 – Агроэкологическая оценка почв по степени засоления (по Базилевич, Панковой, 1968).

Степень засоления почв	Состояние растений	Урожай, %
Незасоленные	Хорошее	100
Слабозасоленные	Слабоугнетенное	80
Среднезасоленные	Среднеугнетенное	50
Сильнозасоленные	Сильноугнетенное	30
Очень сильно засоленные	Очень сильно угнетенное или полная гибель	0-10

Физико-химические свойства почв - емкость катионного обмена, состав обменных катионов, рН водной и солевой вытяжек, гидролитическая кислотность, степень насыщенности почвы основаниями, доля обменного натрия от ЕКО – оцениваются и сопоставляются с требованиями культур для определения потребности в химических мелиорациях и доз мелиорантов, буферности, устойчивости к антропогенным воздействиям.

В оценке состава обменных катионов наибольшее значение имеют ионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{+} , H^{+} , Al^{3+} . Первые три относят к обменным основаниям. Водород и алюминий обуславливают гидролитическую кислотность, поглощенный натрий и повышенное количество магния – солонцеватость почв.

Состав обменных катионов во многом определяет и физические свойства почв. С емкостью катионного обмена связывается устойчивость почв к антропогенным воздействиям, в частности, к химическому загрязнению. По возрастающей степени устойчивости к антропогенному воздействию почвы разделяются на пять групп: 1) с ЕКО менее 10 мг-экв/100 г почвы; 2) 10-20; 3) 21-30; 4) 31-40; 5) более 41 мг-экв/100 г почвы.

Кислотно-основное состояние обуславливает многие особенности поведения элементов в почве, с ней связаны режимы органического вещества и элементов минерального питания, подвижность соединений (в том числе токсичных для растений). Реакция почвенного раствора оказывает и прямое действие на культуры.

Негативное влияние повышенной кислотности на растения проявляется через недостаток кальция, повышенную концентрацию токсичных для растений ионов Al^{3+} , Mn^{2+} , H^{+} , изменение доступности для растений элементов питания, ухудшение физических свойств почвы, снижение ее биологической активности. В кислых почвах повышается растворимость соединений Fe, Mn, Al, B, Cu, Zn, избыток которых снижает продуктивность растений.

Высокая кислотность снижает доступность молибдена. Усвояемость фосфора максимальна при pH 6,5, в более кислой и более щелочной среде она снижается. Кислая среда ухудшает азотный режим почвы, угнетая процессы аммонификации, нитрификации, азотфиксации. Для этих процессов оптимум pH лежит в интервале 6,5-8,0. Особо негативную роль в кислых почвах играет алюминий. При pH 4 содержание растворенного алюминия достигает токсич-

ных концентраций для большинства растений, в то время как питательные растворы с рН 4 не имеют такого действия. Близкие эффекты при низком рН оказывает марганец.

На щелочных почвах также ухудшается фосфатный режим, возникает дефицит некоторых микроэлементов (Fe, Mn, Cu, Zn). При высокой щелочности ухудшаются физические свойства почв. Сильнощелочная реакция неблагоприятна для большинства растений.

Реакция почвенного раствора определяется потенциометрически в водной или солевой вытяжке. Различают почвы: очень сильнокислые (рН_{сол} менее 4,0); сильнокислые (4,1-4,5); среднекислые (4,6-5,0); слабокислые (5,1-5,5); нейтральные (5,6-7,4); слабощелочные (рН_{вод} 7,5-8,5); сильнощелочные (8,6-10,0); резкощелочные (10,1-12,0).

Оптимальные значения рН для разных культур зависят от содержания гумуса, гранулометрического состава, обеспеченности растений элементами минерального питания. Потенциальная кислотность обусловлена ионами водорода и алюминия, находящимися в обменно-поглощенном состоянии в ППК. В зависимости от способа определения подразделяется на обменную (вытеснение Н⁺ и А1³⁺ нейтральными солями) и гидролитическую кислотность (вытеснение гидролитически щелочными солями).

Значение гидролитической кислотности используется при расчете доз мелиорантов:

$$C = 0,05 * Nг * dv * h * Km \text{ (т/га)}, \quad (5)$$

где: Nг – гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г почвы;

dv – плотность мелиорируемого слоя, г/см³;

h – мощность мелиорируемого слоя, см;

Km – поправочный коэффициент на долю СаСО₃ в мелиоранте.

$Km = 100/См$, где

См – процент СаСО₃ в мелиоранте.

Степень насыщенности почвы основаниями (процент обменных катионов от ЕКО) используется при оценке потребности в известковании.

Актуальная щелочность обусловлена наличием в почвенном растворе гидролитически щелочных солей (иона OH^-). В зависимости от источника OH^- различают щелочность от нормальных карбонатов, от бикарбонатов и общую (суммарную), которые различаются по граничным значениям pH, определяются титрованием в присутствии соответствующих индикаторов и выражаются в мг-экв/100 г почвы. Потенциальная щелочность обнаруживается у почв, содержащих обменно-поглощенный натрий, который, переходя в почвенный раствор и взаимодействуя с угольной кислотой, образует соду.

По содержанию обменного натрия (% от ЕКО) определяется степень солонцеватости почв (табл. 6.3).

Таблица 6.3 – Экологическая оценка почв по относительному содержанию в ППК обменного натрия (% от ЕКО).

Почвы	Виды по относительному содержанию Na^+			
	Несолонцеватые	Слабосолонцеватые	Среднесолонцеватые	Сильносолонцеватые
Высокогумусные: черноземы, лугово-черноземные, черноземно-луговые, др.	<5	5-10	10-15	15-20
Малогумусные: бурые, каштановые, южные черноземы	<3	3-5	5-10	10-15
Солонцы	Остаточные	Малонатриевые	Средненатриевые	Многонатриевые
	<10	10-20	20-40	>40

Окислительно-восстановительный режим оценивается на основе величин и динамики ОВП и гН^2 . Диапазон приемлемых для жизнедеятельности растений Eh находится в пределах 550-750 мВ для дерново-подзолистых почв, 400-600 для черноземов, 350-400 мВ для сероземов (табл. 6.4).

Диапазон восстановительных условий делят на интенсивно-восстановительные (ОВП менее 200 мВ), умеренно-восстановительные (200-300 мВ), слабо-восстановительные (300-400 мВ).

Показатель gH^2 (отрицательный логарифм давления молекулярного водорода) характеризует напряженность ОВ процессов в почвах с разным рН: при gH^2 более 27 наблюдается преобладание окислительных процессов, менее 27 – преобладание восстановительных процессов, при gH^2 менее 20 – интенсивные восстановительные процессы.

Таблица 6.4 – Экологическая оценка окислительно-восстановительных условий

Параметры	Оценка		
	благоприятная	неблагоприятная	очень неблагоприятная
Возможное падение Eh ранней весной, мВ	до 450	350-200	<200
Время развития весеннего анаэробнозиса (Eh < 320 мВ), дни	не более 5	5-10	>10
Возможное падение Eh в течение 5 дней при орошении, мВ	до 450	350-200	<200

Система оценки ОВ условий должна включать определение типа ОВ режима; минимальные показатели Eh и gH^2 в корнеобитаемом слое почвы; глубина проявления восстановительных условий; время и длительность периода проявления восстановительных условий; характеристику процессов образования восстановленных форм элементов.

6.2. Параметры биологического состояния почв

Биологическое состояние почв оцениваются по их биогенности и биологической активности, которые характеризуют общую деятельность всей микрофлоры, микро- и мезофауны, независимо от ее таксономического положения

и экологических функций. Они играют ключевую роль в процессах почвообразования, круговорота веществ и самоочищении почвы.

Биогенность почвы определяется путем прямого подсчета численности микроорганизмов, микроводорослей, микро- и мезофауны. Различные физиологические и таксономические группы бактерий, грибов и актиномицетов учитываются путем посева почвенных образцов на селективные питательные среды. Для определения биомассы микроорганизмов в почве широко используют фумигационный, физиологический (субстрат-индуцированный) и регидратационный методы.

Оценка биологической активности проводится по интегральным показателям, среди которых наибольшее распространение получили методы определения «дыхания почвы» по интенсивности выделения CO_2 , нитрификационной способности, азотфиксирующей, целлюлозолитической активности.

Для характеристики биохимических процессов трансформации органического вещества определяют активность ферментов в почве (табл. 6.5). Они включают, главным образом, оксидоредуктазы (дегидрогеназа, полифенолоксидаза, пероксидаза, каталаза, нитратредуктаза) и гидролазы (инвертаза, амилаза, целлюлаза, уреаза, протеаза, фосфатаза).

Таблица 6.5 – Экологическая оценка ферментативного состояния почв (по Звягинцеву, 1978).

Показатель	Очень бедная	Бедная	Средняя	Богатая	Очень богатая
Каталаза, O_2 , $\text{cm}^3/\text{г} / 1 \text{ мин}$	< 1	1-3	3-10	10-30	> 30
Дегидрогеназа, мг ТФФ на 10 г / 24 ч	< 1	1-3	3-10	10-30	> 30
Инвертаза, мг глюкозы на 1 г / 24 ч	< 5	5-15	15-50	50-150	> 150
Уреаза, мг NH_3 на 10 г / 24 ч	< 3	3-10	10-30	30-100	> 100
Фосфатаза, мг P_2O_5 , на 10г/ч	< 0,5	0,5-1,5	1,5-5	5-15	> 15

Важно отметить, что биологические показатели почв крайне вариabельны и существенно изменяются в течение вегетационного периода в зависимости от поступления в почву органических веществ, количества и качества питательных веществ, температуры, водно-воздушного режима, растительного покрова, удобрений, химических мелиорантов, пестицидов и т.д.

Под окультуриванием почвы следует понимать преобразование их свойств в соответствии с агроэкологическими требованиями конкретной культуры или группы культур. Окультуривание связано с созданием качественно нового типа биологического круговорота веществ с более высокой емкостью и интенсивностью.

По степени окультуренности почвы делятся на три категории: освоенные, окультуренные и культурные.

К освоенным относятся почвы, вовлеченные в активный сельскохозяйственный оборот и используемые при низком уровне агротехники, малых дозах органических и минеральных удобрений, недостаточном известковании или без него. Подпахотные горизонты сохраняют свойства целинных почв.

Окультуренные почвы формируются в условиях высокой агротехники (соблюдение севооборотов, регулярное внесение органических и минеральных удобрений, известкование, хотя и не всегда достаточное). Довольно отчетливо сохраняются признаки зонального типа почвообразования, при доминировании современных гумусово-аккумулятивных процессов.

Культурные почвы формируются в условиях длительного и интенсивного окультуривания, при регулярном внесении больших количеств навоза и систематическом известковании почвы.

Для количественной оценки уровня окультуренности используют интегральные по смыслу показатели мощности гумусово-аккумулятивных горизонтов, содержания, запасов и качества гумуса, содержания и водопрочности агрономически ценных агрегатов, значения рН и запасы доступных форм элементов питания – со шкалами оценки, адаптированными к условиям конкретного региона.

О потенциальной обеспеченности растений азотом судят по содержанию его легкогидролизуемых форм (табл. 6.6), нитрификационной способности почвы. Фактическую обеспеченность устанавливают по запасам в почве нитратного, нитритного и аммонийного азота. На их основе, а также сведений о накоплении азота за счет текущей минерализации и поступления с удобрениями рассчитывается обеспеченность посевов азотом.

Таблица 6.6 – Экологическая оценка обеспеченности почв легкогидролизуемым азотом (в мг/100 г почвы).

Оценка обеспеченности	рН менее 5			рН 5-6			рН более 6		
	З*	К	О	З	К	О	З	К	О
Очень низкая	< 4	< 5	< 6	< 3	< 4	< 5	< 3	< 4	< 5
Низкая	4-5	5-7	6-10	3-4	4-6	5-8	3-4	4-5	5-7
Средняя	5-7	7-10	10-14	4-6	6-8	8-12	4-5	5-7	7-10
Высокая	> 7	> 10	> 14	> 6	> 8	> 12	> 5	> 7	> 10

* З - зерновые, К – картофель и кормовые корнеплоды, О – овощные

Оценки фосфатного питания растений дополняются оценками фактора интенсивности (по Скофилду, Карпинскому и Замятиной), для чего применяется вытяжка 0,01 М СаС1², имитирующая почвенные растворы (табл. 6.7).

Таблица 6.7 – Экологическая оценка обеспеченности почв подвижными фосфатами (в мг/100 г почвы).

Оценка обеспеченности	Культуры		
	Зерновые и зернобобовые	Кормовые корнеплоды, картофель	Овощные, технические
В ы т я ж к а К и р с а н о в а			
Очень низкая	< 3	< 8	< 15
Низкая	3-8	8-15	15-20
Средняя	8-15	15-20	20-30
Высокая	>15	>20	>30
В ы т я ж к а Ч и р и к о в а			
Очень низкая	< 2	< 5	< 10
Низкая	2-5	5-10	10-15

Средняя	5-10	10-15	15-20
Высокая	>10	>15	>20
В ы т я ж к а Т р у о г а			
Очень низкая	< 3	< 7	< 12
Низкая	3-7	7-12	12-18
Средняя	7-12	12-18	18-25
Высокая	>12	>18	>25
В ы т я ж к и А р р е н и у с а и О н и а н и			
Очень низкая	< 8	< 15	< 30
Низкая	8-15	15-30	30-45
Средняя	15-30	30-45	45-60
Высокая	>30	>45	>60
В ы т я ж к а М а ч и г и н а			
Очень низкая	< 1	< 1,5	< 3,0
Низкая	1-1,5	1,5-3,0	3,0-4,5
Средняя	1,5-3	3,0-4,5	4,5-6,0
Высокая	>3	>4,5	>6,0

Валовое содержание калия в почвах может составлять 2 % и более. Доля обменного калия чаще менее 5 % от валового, а в почвенном растворе находится только 1 % обменного калия (табл. 6.8).

Таблица 6.8 – Экологическая оценка обеспеченности почв обменным калием (в мг/100 г почвы).

Оценка обеспеченности	По Кирсанову	По Масловой	По Чирикову	По Эгнеру–Риму	По Ониани	По Мачигину
Очень низкая	< 4	< 5	< 2	-	< 20	< 5
Низкая	4-8	5-10	2-4	< 7	20-30	5-10
Средняя	8-12	10-15	4-8	7-14	30-40	10-20
Повышенная	12-17	15-20	8-12	>14	-	20-30
Высокая	17-20	20-30	12-18	-	>40	30-40
Очень высокая	>20	>30	>18	-	-	>40

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что включает в себя химический состав почв.
2. Оценка засоленности почв.
3. Физико-химические свойства почвы.
4. В чем проявляется негативное влияние повышенной кислотности на растения.
5. В чем проявляется негативное влияние щелочной реакции среды.
6. Как определяется реакция почвенного раствора.
7. Как оценивается окислительно-восстановительный режим почв.
8. Как оценивается биологическое состояние почв.
9. Что такое окультуривание почв.
10. Как оценивается уровень окультуривания почв.
11. Как оценивается обеспеченности почв легкогидролизуемым азотом

ТЕМА 7. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕННЫХ И ДЕГРАДИРОВАННЫХ ЗЕМЕЛЬ

В зависимости от пути миграции химических веществ из почвы в со-
предельные среды, различают четыре разновидности ПДК: (а) транслокацион-
ный показатель, характеризующий переход вещества через корневую систему
растений в зеленую массу и плоды; (б) миграционный воздушный показатель,
характеризующий переход в атмосферу; (в) миграционный водный
показатель, характеризующий переход вещества в водную среду; (г) обще-
санитарный показатель, характеризующий влияние вещества на самоочищаю-
щую способность почвы и микробоценоз.

7.1 Экологическая оценка почв, загрязненных тяжелыми металлами

ПДК_п - это концентрация химического вещества в пахотном слое почвы
(мг/кг почвы), которая не должна оказывать прямого или косвенного - отрица-
тельного влияния на соприкасающиеся с почвой среды, здоровье человека и на
самоочищающуюся способность почвы.



Рисунок 7.1 - Разновидности ПДК

В зависимости от пути миграции химических веществ из почвы в сопре-
дельные среды, различают четыре разновидности ПДК:

(а) транслокационный показатель, характеризующий переход вещества через корневую систему растений в зеленую массу и плоды;

(б) миграционный воздушный показатель, характеризующий переход в атмосферу;

(в) миграционный водный показатель, характеризующий переход вещества в водную среду;

(г) общесанитарный показатель, характеризующий влияние вещества на самоочищающую способность почвы и микробоценоз.

Оценка экологической опасности, возникающей вследствие устойчивых техногенных нагрузок, рассчитывают 3 способами.

1. Коэффициент техногенной концентрации основана на коэффициенте концентрации K_c

$$K_c = C/C_f \quad (6)$$

где C – концентрация вещества в загрязненной пробе,

C_f – фоновое содержание элемента в почве.

Коэффициент концентрации отражает интенсивность загрязнения: минимальный (K_c 1-2), слабый (2-4), средний (4-8), сильный (8-16), очень сильный (16-32), максимальный (K_c более 32).

2. Коэффициент химического загрязнения K_o

$$K_o = C/ПДК \text{ (ОДК)} \quad (7)$$

где C – концентрация вещества в загрязненной пробе,

ПДК (ОДК) – предельная (ориентировочная) допустимая концентрация.

3. Для оценки полиэлементных аномалий используют суммарный показатель загрязнения Z , который отражает совокупную техногенную нагрузку на ландшафт, обусловленную влиянием всех элементов с аномально высокими концентрациями:

$$Z = \sum K_c - (n-1) \quad (8)$$

где K_c – коэффициент концентрации веществ > 1 ;

n – число химических элементов с $K_c > 1$.

Уровни загрязнения почв по величинам суммарного показателя: минимальный (менее 8), слабый (8-16), средний (16-32), сильный (32-64), очень сильный (64-128), максимальный (более 128).

Экологическая оценка почв, загрязненных тяжелыми металлами, проводится, исходя из суммарного загрязнения, класса опасности токсикантов (табл. 7.1), их ПДК (таблица 7.2) и фактического содержания в почве (табл. 7.3)

Таблица 7.1 – Показатели классов опасности химических веществ (по ГОСТ 17.4.1.02-83) и вещества соответствующих классов опасности.

Показатели	Нормы для классов опасности		
	I	II	III
Токсичность, ЛД ₅₀ *, мг/кг	<200	200-1000	>1000
Персистентность в почве, мес.	>12	6-12	<6
ПДК в почве, мг/кг	<0,2	0,2-0,5	>0,5
Миграционная способность	Есть	Слабая	Нет
Персистентность** в растениях, мес	>3	1-3	<1
Влияние на пищевую ценность сельхозпродукции	Сильное	Умеренное	Нет
Вещества	As, Cd, Hg, Se, Pb, F, бензопирен	B, Co, Ni, Mo, Sb, Cr	Ba, V, W, Mn, Sr, ацетофенол

* ЛД₅₀ – летальная доза вещества, вызывающая при введении в организм гибель 50 % животных;

** персистентность – продолжительность сохранения биологической активности, обусловленная устойчивостью к разложению.

Таблица 7.2 – ПДК веществ в почвах и допустимые уровни их содержания по показателям вредности, мг/кг почвы с учетом фона.

Элемент	ПДК	Показатели вредности		
		транслакционный	водный	общесанитарный
П о д в и ж н ы е ф о р м ы				
Cu	3,0	3,5	72,0	3,0
Ni	4,0	6,7	14,0	4,0
Zn	23,0	23,0	200,0	37,0
Co	5,0	25,0	1000	5,0

F	2,8	2,8	-	-
Cr	6,0	-	-	6,0
Pb	6,0	-	-	-
Валовое содержание				
Sb	4,5	4,5	4,5	50
Mn	1500	3500	1500	1500
V	150	170	350	150
Pb	30	35	260	30
As	2	2	15	10
Hg	2,1	2,1	33,3	5
Pb+Hg	20+1	20+1	30+2	30+2
Cu	55	-	-	-
Ni	85	-	-	-
Zn	100	-	-	-

Таблица 7.3 – Схема оценки почв сельхозугодий по степени загрязнений химическими веществами

Категория	Z	Загрязненность относительно ПДК	Изменение показателей здоровья	Возможное использование почв	Необходимые мероприятия
Допустимая	<16	Выше фонового, но ниже ПДК	Низкий уровень заболеваемости детей и частота функциональных отклонений	Под любые культуры	Снижение уровня воздействия источников загрязнения почв и доступности токсикантов для растений
Умеренно опасная	16,1-32,0	Выше ПДК при лимитирующих общесанитарном и водном показателях, ниже транслокационного ПДК	Увеличение общей заболеваемости	Под любые культуры при контроле качества продукции растениеводства	Аналогично I категории. Контроль за содержанием веществ с лимитирующим водным миграционным показателем

Высоко опасная	32,1-128,0	Превышает ПДК при лимитирующем транслокационном показателе вредности	Увеличение общей заболеваемости, хронически болеющих детей, нарушений сердечно-сосудистой системы	Под технические культуры без получения продуктов питания и кормов	Аналогично I категории. Обязательный контроль за содержанием токсикантов в растениях. Ограничение использования зеленой массы на корм.
Чрезвычайно опасная	>128	Превышает ПДК по всем показателям	Увеличение заболеваемости детей, нарушение репродуктивной функции женщин	Исключение из сельскохозяйственного использования	Снижение уровней загрязнения и связывания токсикантов в почвах. Контроль за содержанием токсикантов во всех средах

7.2. Экологическая оценка почв загрязненных радионуклидами

Радиоактивное загрязнение сельскохозяйственных земель РФ, главным обусловлено долгоживущими радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr , которые поступили в окружающую среду в результате крупных радиационных аварий на химкомбинате "Маяк" (Южный Урал) и на Чернобыльской АЭС, а также испытаний ядерного оружия. Являясь химическими аналогами К и Са, они характеризуются высокой миграционной подвижностью, в значительных количествах накапливаются в сельскохозяйственной продукции и, как следствие, в организме человека.

Экологическая оценка сельскохозяйственных земель, загрязненных радионуклидами, включает два аспекта:

- оценку влияния ландшафтных и биогеохимических характеристик сельскохозяйственных угодий на перераспределение и концентрирование радионуклидов в компонентах агроэкосистем, что в значительной степени определяет степень опасности загрязнения;

- оценку загрязненных сельскохозяйственных угодий с точки зрения возможности получения продукции, соответствующей санитарно-гигиеническим нормативам.

Таким образом, при оценке последствий радиоактивного загрязнения должны учитываться два методологических подхода - санитарно-гигиенический и экологический.

В рамках санитарно-гигиенического подхода к экологической оценке сельскохозяйственных угодий, загрязненных радионуклидами, решается задача возможности использования данных земель для получения продукции, соответствующей установленным нормативам. В основе санитарно-гигиенического подхода лежит соблюдение нормативов и принципов радиационной безопасности населения, проживающего на загрязненных радионуклидами территориях.

На базе количественных показателей миграции радионуклидов в агроэкосистемах разрабатывается радиационно-гигиеническое обоснование пределов загрязнения почв сельскохозяйственных угодий с учетом ландшафтных и биогеохимических характеристик территории и особенностей ведения сельского хозяйства.

Действие радиоактивных веществ на агроэкосистемы зависит от характера загрязнения, концентрации загрязнителей, длительности воздействия, относительной восприимчивости или устойчивости агроценозов или их отдельных компонентов к загрязнению. Существует система показателей, которые характеризуют миграционную подвижность радионуклидов в агроэкосистемах:

- показатели биологической подвижности радионуклидов в почвах (формы; коэффициенты распределения между твердой и жидкой фазами почв; показатели селективной сорбции);
- показатели подвижности радионуклидов в системе почва - растение (коэффициенты накопления или коэффициенты перехода);

- параметры переноса радионуклидов по животноводческим цепочкам (коэффициенты перехода, всасывания, выведения).

Для оценки и предотвращения негативного воздействия радиоактивно загрязненных продуктов питания на человека, а кормов - на сельскохозяйственных животных на основании СанПиН 2.3.2.1078-01 используются такие критерии как временно-допустимые уровни (ВДУ), допустимые уровни (ДУ) и максимально допустимые уровни (МДУ) содержания радионуклидов в сельскохозяйственной продукции.

С учетом показателей миграционной подвижности радионуклидов определяются пределы загрязнения почв радионуклидами, обеспечивающие получение нормативной продукции, которые являются контрольными уровнями содержания радионуклидов в почвах сельскохозяйственных угодий.

Контрольные уровни загрязнения почв определяются на основании коэффициентов перехода радионуклидов из почв различных типов в основные культуры и далее в сельскохозяйственную продукцию, т. е. при определении контрольных уровней учитывается как тип почвы, так и вид агроценоза.

Экологическая оценка сельскохозяйственных угодий, загрязненных радионуклидами, включает:

- определение содержания радионуклидов в почвах;
- оценку количественных параметров перехода радионуклидов по сельскохозяйственным цепочкам;
- биогеохимическую оценку миграции и концентрации радионуклидов в компонентах агроэкосистем и переноса по трофическим цепочкам;
- определение уровней загрязнения производимой сельскохозяйственной продукции и ее радиационно-гигиеническая оценка;
- обоснование пределов загрязнения почв радионуклидами (контрольных уровней), обеспечивающих получение нормативной продукции.

При проведении обследования почв сельскохозяйственных угодий на содержание радионуклидов руководствуются «Методическими указаниями по

обследованию почв сельскохозяйственных угодий, продукции растениеводства на содержание тяжелых металлов, остаточных количеств пестицидов и радионуклидов» (2018).

Плотность загрязнения почв радионуклидами - запас радионуклидов в слое почвы на единицу площади, определяется по формуле:

$$\sigma = C \times h \times S \times d \quad (9)$$

где: σ - плотность загрязнения, кБк/м;

C - концентрация радионуклида, Бк/кг;

h - глубина отбора, см;

S = 1 м² - площадь, на которую рассчитывается плотность загрязнения;

d - удельная масса почвы, г/см;

Градации почв по содержанию ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr включает 5 групп (табл. 7.4).

Таблица 7.4 – Группировка почв для эколого-токсикологической оценки радиоактивного загрязнения.

Группа	Гамма-фон		Плотность загрязнения, кБк/м ²	
	Мощность экспозиционной дозы, мкР/ч	Интенсивность потока гамма-излучения, с ⁻¹	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
1	<30	<225	<37	<3,7
2	31-50	226-375	37-185	3,7-11,1
3	51-100	376-750	186-555	11,2-37
4	101-180	751-1350	556-1480	38-111
5	>180	>1350	>1480	>111

Для оценки перехода радионуклидов из почвы в растения используют:

- коэффициент накопления (КН) как отношение концентрации радионуклидов в растениях (Бк/кг) к концентрации радионуклидов в почве (Бк/кг);
- коэффициент перехода (или коэффициент пропорциональности (КП))
- отношение концентрации радионуклидов в растениях (Бк/кг) к плотности загрязнения почвы на единицу площади (кБк/м),

Коэффициент перехода используют в качестве интегрального показателя при классификации экосистем по миграционной подвижности радионуклидов (табл. 7.5).

В качестве критерия для группировки минеральных почв по коэффициентам перехода был выбран гранулометрический состав как интегральный показатель, связанный с минералогическим составом почв, содержанием органического вещества и емкостью катионного обмена:

I – песчаные (песчаные и супесчаные и легкосуглинистые почвы);

II – суглинистые (среднесуглинистые почвы);

III – глинистые (тяжелосуглинистые и глинистые почвы).

Органические почвы – выделяются в отдельную группу, так как характеризуются повышенной миграционной подвижностью радионуклидов.

Таблица 7.5 – Классификация агроэкосистем по миграционной подвижности радионуклидов.

Культура	Группа почв	Коэффициент перехода, (Бк/кг)/(кБк/м ²)					
		⁹⁰ Sr			¹³⁷ Cs		
		Ср.	Мин.	Макс.	Ср.	Мин.	Макс.
Многолетние травы (злаковые)	Песчаные	2,5	2,3	2,7	2,3	1,8	2,6
	Суглинистые	1,6	0,9	2,7	0,8	0,3	1,8
	Глинистые	0,6	0,3	1,1	0,2	0,1	0,4
	Органические	3,78	1,07	10,0	3,2	1,8	3,8
Многолетние травы (бобовые)	Песчаные	4,3	2,8	5,5	3,5	1,6	5,0
	Суглинистые	2,6	1,3	4,1	0,8	0,3	1,3
	Глинистые	0,6	0,4	0,8	0,4	0,2	0,6
Зерновые	Песчаные	0,9	0,7	1,1	0,3	0,2	0,4
	Суглинистые	0,3	0,07	0,6	0,12	0,06	0,22
	Глинистые	0,13	0,07	0,33	0,06	0,023	0,14
	Органические	1,7	0,5	4,1	0,61	0,17	1,2
Картофель и корнеплоды	Песчаные	0,6	0,33	0,76	0,24	0,18	0,29
	Суглинистые	0,24	0,06	0,49	0,10	0,03	0,24
	Глинистые	0,055	0,05	0,07	0,014	0,008	0,03
	Органические	1,2	0,5	3,4	0,45	0,03	3,4

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Экологическая опасность, возникающую в следствии техногенных нагрузок.
2. Коэффициент концентрации загрязняющих веществ.
3. Коэффициент химического загрязнения.
4. Основные пути миграции химических веществ из почвы.
5. Чем обусловлено основное радиоактивное загрязнение сельскохозяйственных земель
6. Показатели характеризующие миграционную подвижность радионуклидов в экосистемах.
7. Критерии оценки радиоактивного загрязнения.
8. Допустимые пределы загрязнения почв радионуклидами.
9. Экологическая оценка сельскохозяйственных угодий, загрязненных радионуклидами, включает.
10. Показатели классов опасности химических веществ.

ТЕМА 8. ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ЗЕМЛИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЧЕЛОВЕКА

Обеспечение жизни на Земле характеризуется понятием «плодородие», это главное богатство любого государства, материальная основа существования человечества.

Плодородие почвы обеспечивает жизнь человечества, поскольку дает ему почти всю массу продуктов питания и значительную часть органического сырья для многих отраслей промышленности. С падением плодородия земель государства попадают в экономическую зависимость от более развитых стран, снижается продовольственная безопасность, а некоторые страны в прошлом просто исчезли с карты мира. Как отметил американский эколог Небел: «...на истощенных землях живут нищие, или они совсем безлюдны».

Но активное вмешательство человека в природные процессы привело к появлению ряда проблем, основными из которых являются:

1. Абсолютное уменьшение продуктивных земельных ресурсов планеты;
2. Физическая деградация почв;
3. Дегумификация почв;
4. Аридизация и антропогенное опустынивание;
5. Эрозия и дефляция почв;
6. Изменение почв на орошаемых землях, увеличение площади затопленных и подтопленных земель;
7. Радиоактивное загрязнение почв;
8. Химическое загрязнение почв;

По усредненным оценкам площадь пахотно-пригодных угодий земель мира составляет 3 млрд. га. В настоящее время распахана примерно половина всех этих земель. Полностью распаханы все лучшие высокопроизводительные земли, остались малопродуктивные, требующие больших капиталовложений. В расчете на душу населения за вторую половину XX века площадь земель под зерновыми культурами сократилась с 0,23 до 0,12 га (по прогнозу к 2050 г.

– 0,07 га). Ежегодно из сельскохозяйственного производства выбывают 15 млн. га плодородных земель (табл. 8.1).

Таблица 8.1 – Потери продуктивных почв (по Г.В. Добровольскому и Е.Д. Никитину)

Показатель	За 10 тыс. лет	За последние 300 лет	За последние 50 лет
Площадь потерь, млн га	2000	700	300
Среднегодовой темп потерь, млн га	0,2	2,3	6

Основными причинами уменьшения площади сельскохозяйственных угодий являются проявления эрозии почв, недостаточно продуманный отвод земель для несельскохозяйственных нужд (дорог, промышленных предприятий, строительства), затопление, заболачивание, зарастание лесом и кустарниками.

Основной формой физической деградации почв является переуплотнение корнеобитаемого слоя на интенсивно используемых полях и пастбищах. Оптимальная плотность для пахотного горизонта составляет 1,0-1,3 г/см³. При переуплотнении продуктивного слоя почвы ходовыми системами сельскохозяйственных машин плотность возрастает до 1,5-1,8 г/см³, что снижает урожайность зерновых в среднем на 20%, уменьшает эффективность удобрений на 40%, повышает суммарный расход горючего на 18%. Усадка и уплотнение под воздействием тяжелой техники вызывают изменение физических свойств почв до глубины 70-80 см.

Уплотнение почвы ухудшает ее водно-воздушный режим, повышает сопротивление деформациям и последующим механическим обработкам, создает помехи для прорастания семян, роста корней, формирования клубней. Снижается скорость фильтрации воды через почву, уменьшается общая пористость, и в первую очередь пористость аэрации, происходит снижение агрономической ценности структуры, появляется крупная, тяжело устранимая глыби-

стость пашни. Ухудшается температурный режим, уплотненные почвы заметно холоднее, чем нормальные. Усиливается поверхностный сток воды и смыв мелкозема, снижается видовой и количественный составы почвенной фауны. Последствия переуплотнения могут сохраняться в почве в течение нескольких лет. В России 40% почв уплотнено в сильной степени и 50% – в средней.

Для улучшения водно-физических свойств почв необходимо строгое соблюдение севооборотов с многолетними травами, способствующими восстановлению структуры верхних горизонтов почв. Необходимо снизить количество проходов техники по полям, облегчить ее вес, вносить высокие дозы органических удобрений для саморазуплотнения почв.

При уничтожении естественной растительности и распахивании земель происходит дегумификация почвы (потеря гумуса). Обычно в течение первых нескольких лет распашки запас гумуса в почве уменьшается на 25-50% от исходного на целине. Снижение гумусированности связано с невозможным выносом питательных веществ путем отчуждения с урожаем. Следствием этого является повышение концентрации CO₂ в атмосфере, сопровождаемой «парниковым эффектом», способствующим ускорению процесса дегумификации. Это не цикл, а расширяющаяся спираль, с непредсказуемыми экологическими последствиями. Ежегодные потери гумуса составляют в среднем 0,62 т/га (табл. 8.2).

Таблица 8.2 – Дегумификация почв (по Г.В. Добровольскому и Е.Д. Никитину)

Показатель	За 10 тыс. лет	За последние 300 лет	За последние 50 лет
Количество потерянного углерода, млрд т	313	90	38
Среднегодовая потеря углерода, млрд т	31,3	300	760

Аридизация и антропогенное опустынивание наступают при нерациональном использовании природных ресурсов аридных и семиаридных территорий (вырубка лесов, неразумное использование пастбищ, нарушение растительного покрова). Аридизация почвы – это сложный и разнообразный комплекс процессов снижения увлажненности обширных территорий, и вызванного этим сокращения биологической продуктивности экологических систем – почва – растения.

При антропогенном опустынивании необратимо (в рамках человеческого масштаба времени) уменьшается способность геосистемы обеспечивать растительность и другие организмы продуктивным запасом воды.

1. Гибель растительности, снижение транспирации влаги и эмиссии кислорода.
2. Уменьшение численности и биомассы животных.
3. Разрушение почвенного покрова.
4. Нарушение структуры биосферы и ее экологических систем.

Общий запас воды при этом может и не уменьшаться, возрастает лишь ее минерализация. Угодья, окаймлявшие пустыни, не выдерживают нагрузки и сами превращаются в пустыни, что приводит к ежегодной потере тысяч гектаров пригодных для сельского хозяйства земель. Процесс усугубляют и примитивное земледелие, нерациональное использование пастбищ и других угодий, хищническая эксплуатация огромных территорий, которые возделываются без всякого севооборота или ухода за почвой. В засушливых районах на юго-востоке европейской части России, где на месте некогда продуктивных пастбищ и земель теперь все большую площадь занимают барханные пески. В Калмыкии наблюдается 40-50 тыс. га ежегодного прироста опустыненных земель. В Африке Ливийская пустыня продвигается к Нилу со скоростью 13 км/год.

Изменения почв на орошаемых и подтопленных землях. Процессы прогрессирующего засоления почв в результате повышения уровня сильно минерализованных грунтовых вод при орошении резко ограничивают продуктив-

ность био- и агроценозов, снижают биоразнообразие видового состава организмов и экосистем, выступают мощным фактором опустынивания территорий. За счет забрасывания испорченных орошаемых земель растет солончаковая пустыня.

В связи со строительством водохранилищ на реках площадь затопленных земель в России превысила 30 млн. га. Все больше становятся площади подтопленных земель (в Ставропольском крае, например, за последние десять лет они увеличились с 0,3 до 1,2 млн. га.) В результате подъема вод Каспийского моря затоплено и подтоплено 560 тыс. га сельскохозяйственных угодий. Переувлажненные почвы выпадают из полеводства, поскольку их обработка крайне затруднена. Существующие в них анаэробные условия способствуют образованию сероводорода, метана и других токсинов, ухудшению биологических свойств почв, резкому снижению плодородия.

Источники химического загрязнения почв. Главными источниками химического загрязнения почв служат:

- отходы сельскохозяйственного производства;
- отходы переработки сельскохозяйственной продукции и животноводства;
- минеральные удобрения;
- химические вещества, используемые в сельском хозяйстве (пестициды, ядохимикаты, стимуляторы роста);
- нефтедобывающие и нефтеперерабатывающие предприятия;
- атмосферные выпадения в радиусе действия промышленных предприятий (особенно химических и металлургических) и добычи полезных ископаемых;
- автотранспорт;
- тепловые и атомные электростанции;
- бытовые отходы.

Формирующиеся в результате этих воздействий техногенные аномалии подразделяются на 3 типа (по А.И. Перельману):

- 1) глобальные, охватывающие весь земной шар;
- 2) региональные, охватывающие часть материка, страны, области;
- 3) локальные, радиусом до нескольких десятков километров, связанные с определенным источником загрязнения.

Загрязнение происходит в форме атмосферных пылевых, твердых и жидких выпадений, газопоступления и в растворенной форме из ирригационных, поверхностных, стоковых, паводковых и грунтовых вод, а также путем непосредственного внесения химических веществ в сельском и лесном хозяйстве, за счет поступления веществ из свалок, мест складирования продукции и отходов, за счет разливов нефти.

Поскольку почва является более устойчивой системой, чем вода и воздух, она способна сопротивляться загрязнению. Но когда внешнее воздействие преодолевает это сопротивление, почва неизмеримо дольше, чем другие среды, остается в загрязненном состоянии и тем самым представляет собой источник отрицательного влияния на здоровье людей и биосферу в целом.

Для оценки состояния в почве загрязняющих веществ (ЗВ) необходимо знать:

- 1) химические свойства ЗВ;
- 2) формы нахождения ЗВ в промышленных и коммунальных выбросах;
- 3) механизмы трансформации в почве поступивших извне ЗВ;
- 4) формы соединений ЗВ в почвах;
- 5) влияние химических свойств почв на состояние ЗВ в почве и влияние ЗВ на химические свойства почвы;
- 6) влияние физических свойств почв на состояние ЗВ в почве и влияние ЗВ на физические свойства почвы;
- 7) направление и темпы аккумуляции ЗВ в почве и ландшафте;
- 8) влияние климатических факторов на почвенно-химические процессы;
- 9) зависимость почвенно-химических процессов от конкретных геоморфологических условий.

Проявляются четкие географические закономерности распределения в почвах загрязняющих веществ. В северо-таежных условиях при избыточном увлажнении, кислой реакции и низких значениях окислительно-восстановительных потенциалов легкорастворимые соли выносятся за пределы ландшафта и поступают в гидросферу, тяжелые металлы перераспределяются в ландшафтах, частично закрепляясь на геохимических барьерах, в подчиненных ландшафтах.

В южно-таежной зоне период господства восстановительных условий менее продолжителен, реакция почв менее кислая, миграция металлов несколько снижается, она осуществляется преимущественно в форме органоминеральных соединений и коллоидных растворов.

В степных условиях при недостатке влаги, окислительных условиях, нейтральной реакции, устойчивости гумуса подвижность металлов ограничена, они накапливаются в верхних горизонтах почв. В зонах карбонатной аккумуляции формируются осадки, содержащие стронций и барий. Подвижные соединения В, F, Mo, V, As, мигрируют в форме истинных растворов. Они перераспределяются по почвенному профилю и в пределах ландшафта.

В почвах пустынной и полупустынной зон миграция всех элементов низка. В засоленных почвах при испарении могут накапливаться Ag, Hg, В, Мо. В засоленных почвах при щелочной реакции, в отсутствие соды, повышенной подвижности гумуса возрастает подвижность Mn, Fe, Cu, V, миграция идет в форме комплексных соединений с органическими и минеральными комплексообразователями, в коллоидном состоянии и в форме простых солей. Токсические вещества из загрязненных почв последних зон переходят в растительность (плоды, зерно, корма), мясо и молоко животных.

Устойчивость и проточность почв.

Почва в биосфере действует как накопитель ЗВ, защищая от загрязнения гидросферу и атмосферу. В то же время почва является источником питания растений, и при увеличении в ней содержания ЗВ растет опасность токсиче-

ского действия на все организмы. В связи с усилением антропогенного воздействия на почву перед человечеством встают задачи прогнозирования и оценки изменяющейся ситуации. Необходимо определение степени устойчивости почв к тем или иным формам вмешательства человека в почвообразование, поскольку способность почв к самоочищению и сохранению нормального функционирования не беспредельна.

Под устойчивостью почв к техногенезу (воздействию промышленности на геохимию ландшафта) понимается их способность к самоочищению от продуктов техногенеза, которая зависит от скорости химических превращений и интенсивности выноса последних из почвы. Выделяются различные типы устойчивости:

- геохимическая устойчивость – способность к самоочищению от продуктов загрязнения;
- биологическая устойчивость – оценка восстановительных и защитных свойств растительности;
- физическая устойчивость литогенной основы (противоэрозионная устойчивость).

Проточность почв – это механизм выноса чужеродных веществ в ходе нормального функционирования. Проточностью обладают все почвы гумидных ландшафтов. Она снижается биологическим поглощением элементов в экосистеме, уменьшая ее устойчивость к загрязнению. При прогнозе способности почвы к самоочищению необходимо учитывать те процессы и свойства, которые увеличивают ее проточность, т.е. особенности водного и теплового режимов, сорбционные свойства, биохимическую активность гумусового горизонта.

Самоочищение почв следует понимать как исключение ЗВ из биологического круговорота. Снижение общего содержания ЗВ может происходить в почве при разложении их до нетоксических соединений и при переходе их из почвы в сопредельные среды в результате испарения, выноса с водными потоками, выноса растениями.

Почва может быть очищена от биологически разлагающихся пестицидов, избавиться ее от стойких пестицидов практически невозможно. Само-очищение почв от тяжелых металлов также практически невозможно.

Механические приемы: а) удаление верхнего, наиболее загрязненного слоя почвы и его захоронение, б) нанесение на загрязненную почву слоя чистой плодородной земли мощностью до 10 см. Данные приемы эффективны в зоне промывного водного режима.

Химические способы инактивации почв основаны на переводе ЗВ в малоподвижные соединения и исключении их из биологического круговорота. Известкование почв ведет к ограничению подвижности и, следовательно, снижению токсичного действия избытка Cd, Ni, Cu, Mn, Co, Pb, Zn, As на растения. Внесение органического вещества снижает подвижность Cd, Ni, Co. Добавление серы связывает ртуть.

На всех загрязненных почвах полезно проведение агротехнических мероприятий. Внесение минеральных удобрений ведет к созданию оптимального состояния растений и снижению токсического действия на них ЗВ. Необходимо выбирать устойчивые к загрязнению металлами сельскохозяйственные культуры. На загрязненных почвах рекомендуется высевать культуры, у которых в пищу употребляются плоды, так как в репродуктивных органах растений концентрация ЗВ повышается позже, чем в вегетативных.

Особое внимание привлекает проблема подкисления почв, в частности в связи с выпадением «кислых» дождей. Выпадение дождей или других атмосферных осадков с высокой кислотностью – это обычный результат выброса в атмосферу продуктов сжигания топлива и выбросов металлургических и химических заводов. В составе таких выбросов много диоксида серы и/или оксидов азота, которые при взаимодействии с водяными парами атмосферы образуют серную и азотную кислоты. Особенно высокая кислотность вод возникает весной при таянии снега.

Действие кислых дождей на почвы неоднозначное. В северных, таежных зонах с почвами, содержащими низкоактивные глины и малое количество гумуса, они увеличивают вредную кислотность почв, способствуют повышению содержания в почвах растворимых соединений токсичных элементов – свинца, алюминия. При этом усиливается и разложение почвенных минералов. Реальный путь борьбы с подкислением таежных почв – установка на заводских трубах фильтров, перехватывающих оксиды серы и азота. Для борьбы с подкислением почв можно использовать также известкование.

Данные Британского института экологии земли свидетельствуют о 10% снижении урожайности ряда сельскохозяйственных культур из-за антропогенного закисления. В результате ущерб сельскохозяйственному производству в странах Центральной Европы оценивается в 500 млн долларов. В тропиках подкисление связано с уничтожением лесов и интенсивной полевой культурой, а повсеместно с внесением аммонийных удобрений (при нитрификации NH^{+4} переходит в NO^{-3}).

Изменение кислотно-основного равновесия в почве влияет на мембранный потенциал корней и снижает поглощение катионов из раствора, кроме того, доступность важных биологических элементов – кальция, магния, калия – падает в результате их выщелачивания из ризосферы в более глубокие горизонты. Повышается подвижность алюминия, обладающего фитотоксичными свойствами, что ведет к снижению общей биомассы корней.

Повышается подвижность марганца, цинка, кобальта, кадмия и др., что ведет к возникновению хлороза растений, обусловленного железистой недостаточностью. Происходит снижение устойчивости растений к вредителям и болезням, ослабляется морозо- и засухоустойчивость. Изменяется функционирование корневой системы деревьев, нарушаются симбиотические связи растений и микроорганизмов. Наиболее чувствительны к подкислению хвойные породы и лишайники, отмечаются массовые заболевания лесов (в Германии больны 62% лесов, в Швейцарии – 34%).

Подкисление нейтральных почв вызывает уменьшение общей численности бактерий и актиномицетов при одновременном увеличении доли споровых грибов, наиболее сильно угнетаются нитрофицирующие и аммонифицирующие формы. Снижается общая биологическая активность, и происходят изменения в биохимических процессах. Снижается скорость и уровень минерализации органического вещества. Попадая в грунтовые воды, кислые осадки и продукты их действия проникают затем в водоемы и водопроводную сеть, где способствуют высвобождению из труб алюминия и других вредных веществ, ухудшая качество питьевой воды.

Степень проявления негативных процессов определяется характером и емкостью систем буферности почвы к кислотным осадкам. Буферность почв – способность противостоять понижению значений рН при воздействии кислот, которая определяется гранулометрическим составом, остаточной карбонатностью почвообразующей породы, содержанием органического вещества и проявлением признаков гидроморфизма. Устойчивость почв – способность при повышении значений рН противостоять до определенных пределов разрушению почвенного поглощающего комплекса.

Кислые маломощные почвы с низкой буферностью не способны полностью нейтрализовать действие кислотных осадков и способствуют формированию кислого внутрипочвенного стока, обогащенного токсичными компонентами, что ведет к закислению рек и озер. Хорошо гумусированные тяжелые почвы, подстилаемые карбонатными породами, обеспечивают полную нейтрализацию кислотного стока.

Однако кислотные дожди в ряде случаев могут быть и полезны. В частности, они обогащают почвы азотом и серой, которых на очень больших территориях явно недостаточно для получения высоких урожаев. В районах распространения карбонатных, а тем более щелочных почв, то они снижают щелочность, увеличивая подвижность элементов питания, их доступность расте-

ниям. Поэтому полезность или вредность каких-либо выпадений нельзя оценивать по упрощенным однозначным критериям, а необходимо рассматривать конкретно по типам почв.

В том случае, когда подкисление вызывается нетоксичными компонентами, неблагоприятные процессы могут быть предотвращены или исправлены известкованием.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему происходит уменьшение продуктивных земельных ресурсов?
2. Что такое физическая деградация почв?
3. Что такое дегумификация почв?
4. Как проявляются процессы аридизации и антропогенного опустынивания?
5. В чем суть процессов эрозии и дефляции почв?
6. Как изменяются почвы на орошаемых и подтопленных землях?
7. В чем причины радиоактивного загрязнения почв?
8. Каковы источники химического загрязнения почв?
9. На чем основывается оценка состояния в почве загрязняющих веществ?
10. Что такое устойчивость и проточность почв?
11. Какие приемы используют для очищения почв?
12. Почему происходит подкисления почв?

РАЗДЕЛ II ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

9.1 Практическая работа 1

Нормирование загрязняющих веществ в почве

Определить массу и объем осадка, образовавшегося после очистки бытовых сточных вод, который допустимо использовать в качестве удобрения для сельскохозяйственного объекта.

Расчет количества осадка, который возможно использовать в качестве удобрения, проводится по следующей методике:

1. Составляется уравнение материального баланса, исходя из условия равномерного смешивания осадка с плодородным слоем почвы

$$C_{\text{ф}} \cdot M + C_{\text{ос}} \cdot m = C_{\text{см}} (M + m) ,$$

где $C_{\text{ф}}$ – фоновая концентрация i -го вещества в почве, мг/кг почвы; M – масса плодородного слоя почвы, кг; $C_{\text{ос}}$ – концентрация i -го вещества в осадке, мг/кг осадка; m – масса осадка, кг; $C_{\text{см}}$ – концентрация i -го вещества в почве после смешивания ее с осадком, мг/кг почвы.

Для того чтобы осадок можно было использовать в качестве удобрения, необходимо соблюдение следующего основного условия для каждого вещества:

$$C_{\text{см}} \leq \text{ПДК},$$

где ПДК – предельно-допустимая концентрация i -го вещества в почве, мг/кг почвы.

2. Определяется объем W и масса M плодородного слоя почвы на участке по формулам:

$$W = H \cdot S , \quad M = W \cdot \rho_{\text{п}} ,$$

где H – мощность почвенного слоя, м; S – площадь с/х объекта (участка), м², $\rho_{\text{п}}$ – плотность почвы, т/м³.

3. Масса осадка m , подлежащего размещению на участке, определяется по вышеприведенной формуле материального баланса:

$$m = \frac{M \cdot (C_{см} - C_{ф})}{C_{ос} - C_{см}}$$

4. Максимальный объем осадка V , предназначенного для размещения на участке, составит:

$$V = \frac{m}{\rho_{ос}}, \text{ где } \rho_{ос} - \text{плотность осадка, т/м}^3.$$

$$\text{Высота осадка будет равна: } h = \frac{V}{S}$$

Пример.

Осадок, образовавшийся при очистке бытовых сточных вод, содержит медь в концентрации $C(\text{Cu})=14\text{г/м}^3$, и нитраты в концентрации $C(\text{NO}_3^-)=450\text{г/м}^3$. Плотность осадка $\rho_{ос} = 1,30\text{т/м}^3$. Плодородный слой участка представлен серыми лесными почвами суглинистого механического состава мощностью $H=0,3\text{м}$ и плотностью $\rho_{п} = 1,55\text{т/м}^3$. Фоновая концентрация меди в почве по данным санитарно-эпидемиологической службы равна $C_{ф}(\text{Cu})=0,3\text{мг/кг}$ почвы, нитратов – $C_{ф}(\text{NO}_3^-)=40\text{мг/кг}$. Требуется определить массу m , объем V и высоту h осадка, который допустимо использовать в качестве удобрения для с/х объекта на площади $S=0,5\text{га}$.

Решение:

Объем и масса плодородного слоя почвы на участке площадью $S=0,5\text{га}$ составят:

$$W = 0,3\text{м} \cdot 5000\text{м}^2 = 1500\text{м}^3, M = 1500\text{м}^3 \cdot 1,55\text{т/м}^3 = 2325\text{т}.$$

Для определения массы осадка по уравнению материального баланса сначала необходимо найти концентрацию меди и нитратов из расчета на кг осадка:

$$C_{ос}(\text{Cu}) = \frac{C(\text{Cu})}{\rho_{ос}} = \frac{14 \times 10^{-3} \text{ мг/м}^3}{1,3 \times 10^{-3} \text{ кг/м}^3} = 10,8 \text{ мг/кг}$$

$$C_{ос}(\text{NO}_3) = \frac{C(\text{NO}_3)}{\rho_{ос}} = \frac{450 \times 10^{-3} \text{ мг/м}^3}{1,3 \times 10^{-3} \text{ кг/м}^3} = 346,2 \text{ мг/кг}$$

Для определения максимально допустимой массы осадка для меди и нитратов, принимаем концентрацию каждого из них после смешивания равной ПДК.

$$m(\text{Cu}) = \frac{M \times (C_{\text{см}} - C_{\text{ф}})}{C_{\text{ос}} - C_{\text{см}}} = \frac{2325 \times (3 - 0,3)}{10,8 - 3} = 804,8 \text{ т}$$

$$m(\text{NO}_3) = \frac{M \times (C_{\text{см}} - C_{\text{ф}})}{C_{\text{ос}} - C_{\text{см}}} = \frac{2325 \times (130 - 40)}{346,2 - 130} = 804,8 \text{ т}$$

Расчеты показывают, что для меди и нитратов максимально допустимая масса осадка различна, поэтому для размещения осадка следует выбирать минимальное значение размещаемой массы осадка, т.е.

$$m_{\text{ос}} = \min \{ m(\text{Cu}), m(\text{NO}_3^-) \} = 804,8 \text{ т.}$$

При выборе массы осадка, рассчитанной для меди и равной 804,8 т, концентрация нитратов в осадке после смешивания составит: $C_{\text{ос}}(\text{Cu}) =$

$$\frac{C_{\text{ос}}(\text{Cu}) \cdot m_{\text{ос}} + C_{\text{ф}}(\text{Cu}) \cdot M}{m_{\text{ос}} + M} = \frac{346,2 \text{ мг / кг} \cdot 804,8 \cdot 10^3 \text{ кг} + 40 \text{ мг / кг} \cdot 2325 \cdot 10^3 \text{ кг}}{804,8 \cdot 10^3 \text{ кг} + 2325 \cdot 10^3 \text{ кг}} = 92 \text{ мг / кг,}$$

т.е. меньше ПДК.

Максимальный объем V и высота h осадка, предназначенного для размещения на участке, составят:

$$\frac{1,}{3} \quad V = \frac{m_{\text{ос}}}{\rho_{\text{ос}}} = \frac{804,8}{1,3} = 619,1 \text{ м}^3 \quad h = \frac{V}{S} = \frac{619,1}{5000} = 0,124 \text{ м} = 12,4 \text{ см}$$

Задание. Определить массу m , объем V и высоту h осадка, а также концентрацию всех компонентов в осадке, который допустимо использовать в качестве удобрения для с/х объекта на площади S согласно данным варианта, выбранного по последней цифре в номере списка группы.

Таблица 1 - Варианты для выполнения задания

Данные для расчета		№ варианта									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Площадь участка S, га		0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
Мощность почвенного слоя Н,м		0,2	0,25	0,3	0,25	0,3	0,2	0,25	0,3	0,2	0,3
Плотность почвенного слоя рп, т/м ³		1,50	1,51	1,52	1,53	1,54	1,55	1,56	1,57	1,58	1,59
Фоновое содержание в почвенном слое С _ф (х), мг/кг	Cu	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,20	0,30	0,40
	Mn	200	220	240	260	280	300	350	400	450	500
	V	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
	NO ₃ ⁻	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
Содержание в осадке С(х), г/м ³	Cu	14	15	16	17	18	19	20	22	24	26
	Mn	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500
	V	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
	NO ₃ ⁻	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
Плотность осадка р _{ос} , т/м ³		1,35	1,30	1,25	1,40	1,20	1,30	1,22	1,26	1,28	1,32

Данные для расчета		№ варианта									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Площадь участка S, га		1,5	1,0	0,9	0,8	0,75	0,85	0,95	1,05	1,15	1,25
Мощность почвенного слоя Н,м		0,25	0,2	0,2	0,25	0,3	0,2	0,3	0,25	0,2	0,3
Плотность почвенного слоя рп, т/м ³		1,60	1,61	1,62	1,63	1,50	1,52	1,54	1,56	1,58	1,60
Фоновое содержание в почвенном слое С _ф (х), мг/кг	Cu	0,50	0,60	0,70	0,80	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,30
	Mn	230	250	270	290	500	270	470	290	320	360
	V	50	60	80	90	100	120	140	100	80	90
	NO ₃ ⁻	80	85	90	55	50	35	30	40	45	80
Содержание в осадке С(х), г/м ³	Cu	28	30	21	23	15	20	25	17	30	30
	Mn	2600	2700	2800	2900	2000	2200	2600	2400	1800	1600
	V	1500	1600	600	800	1000	900	700	800	400	600
	NO ₃ ⁻	1300	1400	1500	400	600	800	300	500	800	900
Плотность осадка р _{ос} , т/м ³		1,34	1,36	1,4	1,38	1,25	1,30	1,40	1,27	1,32	1,36

Таблица 2 - Предельно допустимые концентрации веществ в почве

Наименование вещества	Медь	Марганец	Ванадий	Нитраты
ПДК, мг/кг почвы	3,0	1000	150	130

9.2 Практическая работа 2.

Определение демографической емкости района застройки

Для сохранения экологического равновесия в районе застройки определить его демографическую емкость. Итоговые результаты расчета изобразить в виде гистограммы, сделать их анализ и дать рекомендации.

Общие положения

Для прогнозирования экологической ситуации в районе застройки проводят определение его демографической емкости. Демографическая емкость – это максимальное число жителей района, которое может быть в его границах при условии обеспечения наиболее важных повседневных потребностей населения за счет ресурсов рассматриваемой территории с учетом необходимости сохранения экологического равновесия. Под последним понимают такое состояние природной среды района, при котором может быть обеспечена саморегуляция и воспроизводство основных ее компонентов, т.е. атмосферного воздуха, водных ресурсов, почвенного покрова, растительности и животного мира. При нарушении экологического равновесия на территории возможно возникновение экологического кризиса и даже экологического бедствия.

Методика расчетов

Методика состоит в определении и сопоставлении между собой шести частных демографических емкостей рассматриваемого района в следующем порядке.

1. Демографическая емкость, чел., по наличию территорий, пригодных для промышленного и гражданского строительства, определяется как:

$$D_1 = T_p \times K_1 \times 1000 / H_1 ,$$

где T_p – территория района, га; K_1 – коэффициент, показывающий долю

территории, получившей наивысшую оценку по пригодности для промышленного и гражданского строительства (принимается в пределах 0,03...0,06); H_1 – ориентировочная потребность в территории 1000 жителей в зависимости от характера производственной базы района (берется 20...30 га). Этот показатель чаще всего бывает наибольшим. Однако в горных районах он может оказаться лимитирующим и обусловить демографическую емкость района застройки. В небольших по территории, но плотно заселенных районах целесообразно определять этот показатель дифференцированно для промышленности и населения.

2. Емкость территории, чел., по поверхностным водам определяется как

$$D_2 = E \times K_2 \times 1000 / P ,$$

где E – сумма расходов в водотоках при входе в район, $m^3/сут$; K_2 – коэффициент, учитывающий необходимость разбавления сточных вод (принимают на реках южного стока $K_2 = 0,25$, а северного стока $K_2 = 0,10$; P – нормативная водообеспеченность 1000 жителей (принимают от 1000 до $2000m^3/сут.$).

3. Емкость территории, чел., по подземным водам определяется как

$$D_3 = \mathcal{E} \times T_p \times 1000 / P_c ,$$

где \mathcal{E} – эксплуатационный модуль подземного стока, $m^3 (сут.га)$; P_c – специальный норматив водоснабжения 1000 жителей (принимают $40 m^3/сут.$).

4. Емкость территории, чел., по условиям организации отдыха в лесу определяется как

$$D_4 = T_p \times L \times 0,5 \times 10 / (H_2 \times M_1) ,$$

где L – лесистость района, %; 0,5 – коэффициент, учитывающий необходимость зеленых зон городов средней полосы России (для других районов он может существенно меняться); H_2 – ориентировочный норматив потребности 1000 жителей в рекреационных территориях (принимают 200га); M_1 – коэффициент, учитывающий распределение отдыхающих в

лесу и у воды (принимают для районов с умеренным климатом $M_1 = 0,3$, а с жарким климатом ($M_1 = 0,1$)).

5. Емкость территории, чел., по условиям организации отдыха у воды определяется как

$$D_5 = 2B \times C \times 1000 / (0,5 \times M_2) ,$$

где B – длина водотоков, пригодных для купания, км; C – коэффициент, учитывающий возможность организации пляжей (принимают для районов лесной и лесостепной зон $C = 0,5$, а степной зоны $C = 0,3$); $0,5$ – ориентировочный норматив потребности 1000 жителей в пляжах, км; M_2 – коэффициент, учитывающий распределение отдыхающих в лесу и у воды (принимают для районов с умеренным климатом $M_2 = 0,1 \dots 0,15$, а с жарким климатом $M_2 = 0,3 \dots 0,4$).

6. Емкость территории, чел., по условиям организации пригородной сельскохозяйственной базы определяется как

$$D_6 = T_p \times K_3 \times K_4 \times 1000 / П ,$$

где K_3 – коэффициент, учитывающий долю территории района, включенную по результатам комплексной оценки в категории "благоприятные" и "ограниченно благоприятные" для сельского хозяйства; K_4 – коэффициент, учитывающий возможность использования сельскохозяйственных земель под пригородную базу (принимают для районов средней полосы России $K_4 = 0,2 \dots 0,3$); $П$ – ориентировочный показатель, отражающий потребности 1000 жителей района в землях пригородной сельскохозяйственной базы (принимают в зависимости от агроэкономических характеристик территории $П = 500 \dots 2000$ га). Полученные расчетные значения величин $D_1 \dots D_6$ необходимо представить в виде гистограммы, сопоставить между собой и в качестве окончательного показателя демографической емкости района застройки принять наименьшее значение.

Таблица 1 - Варианты для выполнения задания

№ варианта	Тр, га	К ₁	Э, м ³ /сут. га	Е, м ³ /сут	Л, %	В, км	К ₃	К ₄
1	305086	0,05	0,10	4 300 000	78	24	0,30	0,25
2	283948	0,04	0,08	3 600 000	40	22	0,50	0,25
3	180375	0,06	0,09	4 100 000	66	20	0,31	0,25
4	250917	0,05	0,09	3 200 000	67	28	0,30	0,25
5	204725	0,04	0,10	4 200 000	57	28	0,41	0,25
6	344314	0,03	0,08	4 000 000	67	27	0,29	0,30
7	195674	0,05	0,09	3 000 000	72	20	0,25	0,30
8	281577	0,04	0,07	3 500 000	84	21	0,26	0,30
9	216650	0,06	0,07	3 600 000	42	24	0,55	0,30
10	437836	0,03	0,07	4 400 000	50	28	0,47	0,30
11	178590	0,05	0,10	4 000 000	43	27	0,50	0,25
12	187082	0,05	0,10	3 800 000	30	26	0,58	0,25
13	97011	0,05	0,09	3 000 000	37	23	0,60	0,20
14	255724	0,03	0,08	3 100 000	48	22	0,40	0,20
15	203278	0,04	0,07	3 100 000	42	21	0,56	0,20
16	149562	0,05	0,07	2 900 000	31	20	0,66	0,20
17	187434	0,04	0,08	2 800 000	74	25	0,25	0,30
18	163299	0,04	0,09	2 800 000	74	23	0,26	0,30
19	187136	0,04	0,10	2 700 000	51	24	0,46	0,20
20	265937	0,05	0,10	2 700 000	62	20	0,36	0,20
21	118010	0,05	0,10	2 900 000	32	21	0,65	0,20
22	261184	0,03	0,09	3 000 000	82	22	0,46	0,30
23	267502	0,03	0,08	3 000 000	59	22	0,39	0,25
24	321610	0,03	0,09	4 300 000	71	28	0,28	0,25
25	238507	0,03	0,09	4 200 000	82	28	0,37	0,30

Методические указания по выполнению задания

1. Изучите методику расчетов.
2. Определите по формулам (1) – (6) частные коэффициенты Д₁ ... Д₆, принимая наибольшие и наименьшие значения величин входящих в ту или иную формулу.
3. Постройте гистограмму (по оси ординат принять равномерную

сетку, например, 20, 40, 60, 80, 100 тыс. чел. и выше) демографической емкости района застройки, указав минимальные (сплошной линией) и максимальные (пунктирной линией) значения Д1 Д6 (их значения надо округлять до целого числа).

4. На гистограмме выделить зеленым цветом окончательный показатель емкости, т.е. наименьшее значение из коэффициентов Д1 ... Д6, вычисленных им для территории района своего варианта задания.

5. Проанализируйте графический материал с целью выявления основных лимитирующих условий, которые ограничивают хозяйственное развитие района застройки, включая увеличение численности его населения.

6. Сделайте вывод о целесообразности освоения данного района застройки под промышленное и гражданское строительство, эксплуатации поверхностных и подземных вод, использовании лесов и водоемов для рекреационных целей, организации пригодной сельскохозяйственной базы.

7. Проанализируйте лимитирующие условия и предложите рекомендации, внедрение которых позволит увеличить численность населения в районе застройки. Эти рекомендации должны способствовать увеличению (К1, Е, Э, Л, В, С, К3, К4) и уменьшению (Н1, Р, Н2, М1, М2 и П) параметров, входящих в формулы (1) – (6).

8. Сравните возросшие частные демографические емкости рассматриваемой территории и сделайте вывод о максимально возможной численности населения.

9.3 Практическая работа 3.

Исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды

Исчисление в стоимостной форме размера вреда в результате загрязнения почв, возникшего при поступлении в почву загрязняющих веществ, приводящему к несоблюдению нормативов качества окружающей среды для почв, включая нормативы предельно (ориентировочно) допустимых концентраций загрязняющих веществ в почвах осуществляется по формуле:

$$УЩ_{загр} = СЗ \times S \times K_r \times K_{исх} \times T_x,$$

где:

УЩ_{загр} – размер вреда (руб.);

СЗ – степень загрязнения,

S – площадь загрязненного участка (кв.м);

K_r – показатель, учитывающий глубину загрязнения, порчи почв при перекрытии ее поверхности искусственными покрытиями и (или) объектами (в том числе линейными),

K_{исп} – показатель, учитывающий категорию земель и вид разрешенного использования земельного участка

T_x – такса для исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды.

Степень загрязнения зависит от соотношения фактического содержания i-го загрязняющего вещества в почве к нормативу качества окружающей среды для почв.

Соотношение (С) фактического содержания i-го загрязняющего вещества в почве к нормативу качества окружающей среды для почв определяется по формуле (2):

$$C = \sum_{i=1}^n X_i / X_n$$

где:

X_i – фактическое содержание i -го загрязняющего вещества в почве (мг/кг);

X_n – норматив качества окружающей среды для почв (мг/кг).

При отсутствии установленного норматива качества окружающей среды для почв (для конкретного загрязняющего вещества) в качестве значения X_n применяется значение концентрации этого загрязняющего вещества на сопредельной территории аналогичного целевого назначения и вида использования, не испытывающей негативного воздействия от данного вида нарушения.

В случае если отношение X_i/X_n для конкретного загрязняющего вещества менее или равно 1, то данное отношение не включается в формулу расчета соотношения (С) фактического содержания i -го загрязняющего вещества в почве к нормативу качества окружающей среды для почв вследствие отсутствия превышения норматива качества окружающей среды для почв по данному загрязняющему веществу.

При значении (С) менее 5 СЗ принимается равным 1,5; при значении (С) в интервале от 5 до 10 СЗ принимается равным 2,0; при значении (С) в интервале от более 10 до 20 СЗ принимается равным 3,0; при значении (С) в интервале от более 20 до 30 СЗ принимается равным 4,0; при значении (С) в интервале от более 30 до 50 СЗ принимается равным 5,0; при значении (С) более 50 СЗ принимается равным 6,0.

Величина показателя, учитывающего глубину загрязнения почв (K_r), определяется в соответствии с максимальной фактической глубиной загрязнения почв, которая не может превышать значения мощности почв в зависимости от приуроченности земельного участка к лесорастительным зонам и земельным участкам, расположенным севернее зоны притундровых лесов и редкостойной тайги, установленные в приложении 3 к настоящей Методике.

При глубине загрязнения почв до 20 см (K_r) принимается равным 1; до 50 см (K_r) принимается равным 1,3; до 100 см (K_r) принимается равным 1,5;

до 150 см (Kr) принимается равным 1,7; до 200 см (Kr) принимается равным 2,0; более 200 см (Kr) принимается равным 2,5.

Величина показателя, учитывающего категорию земель и вид разрешенного использования земельного участка (Кисп), равна:

- для земель особо охраняемых природных территорий, земель природоохранного назначения, особо ценных земель, в пределах которых имеются природные объекты и объекты культурного наследия, представляющие особую научную, историко-культурную ценность – 2;

- для сельскохозяйственных угодий в районах Крайнего Севера, представляющих собой мохово-лишайниковые оленьи пастбища, в составе земель сельскохозяйственного назначения – 1,9;

- для водоохраных зон в составе земель всех категорий – 1,8;

- для иных сельскохозяйственных угодий в составе земель сельскохозяйственного назначения – 1,6;

- для земель лесного фонда и земель иных категорий, на которых располагаются леса – 1,5;

- для земель населенных пунктов за исключением земельных участков, отнесенных в соответствии с градостроительными регламентами к производственным зонам, зонам инженерных и транспортных инфраструктур, зонам специального назначения, зонам военных объектов – 1,3;

- для земель остальных категорий и видов разрешенного использования – 1,0.

Если вред почвам причинен на землях нескольких категорий и видов разрешенного использования, которые расположены в пределах одной территории, то в расчетах используется величина показателя, учитывающего категорию земель и вид разрешенного использования земельного участка (Кисп), с максимальным значением.

Используя данные таблицы 1 рассчитайте ущерб нанесенный почвам если известно что площадь загрязнения составила 150 м², категория земель - земли особо охраняемых территорий. Сделайте вывод.

Таблица 1 – Содержание контролируемых показателей на земельном участке, на котором установлено превышение фоновых показателей.

Наименование компонента	Ед. изм.	Проба 1	Проб а 2	Проб а 3	Проб а 4	Проб а 5	Фоновая проба 1	Фоновая проба 2
Азот аммонийный	мг/кг	2,07	2,0	2,3	6,2	14,2	21,3	4,6
Бикарбонаты	ммоль/100г	0,64	0,64	0,38	0,34	0,52	0,28	0,23
Железо валовое	мг/кг	10172	56469	14462	8416	12774	12108	9100
Кадмий валовое	мг/кг	0,16	0,81	0,24	0,14	0,17	0,24	0,17
Калий валовое	мг/кг	1710	2320	1531	1208	1602	2737	1937
Кальций валовое	мг/кг	2046	6002	2918	2887	2785	4820	3336
Магний валовое	мг/кг	1211	1677	1179	815	941	2059	1466
Нефтепродукты	Млн ⁻¹	14,8	17,1	22,0	13,3	14,0	22,6	16,5
Натрий валовое	мг/кг	10172	4234	1058	287	2030	221	146
Фосфат-ион	мг/кг	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25
Хлорид-ион	мг/кг	511,9	4948	924,1	79	2724	32,4	16,1

Задание: Рассчитать размер ущерба нанесённый окружающей среде (почве) в результате загрязнения почвы следующими компонентами (представлены в табл. 1).

9.4 Практическая работа 4.

Определение показателей валового содержания почв

1. Рассчитайте массовую долю (%) CaO и MgO в почве, если известно, что сумма Ca и Mg в 100 г почвы составляет 35,43 миллимолей эквивалентов, а на титрование кальция в аликвоте 50,0 мл было затрачено 2,1 мл 0,01 М раствора комплексона III. Общий объем фильтрата – 250 мл был получен после разложения навески почвы массой 1,1135 г.

2. Установлено, что в подзолистой почве содержится 4600 мг/кг CaO. На титрование суммы кальция и магния во всем объеме раствора после разложения навески почвы массой 0,1321 г было затрачено 1,56 мл 0,0120М раствора комплексона III. Рассчитайте массовую долю (%) MgO в сухой почве.

3. Известно, что в почве содержится 0,48 % MgO. Рассчитайте массовую долю (%) Ca в почве, если после разложения 1,0123 г сухой почвы объем раствора составил 250 мл, а на титрование суммы Ca^{2+} и Mg^{2+} по эриохрому черному в аликвоте 50,0 мл пошло 4,2 мл 0,0100М раствора комплексона III.

4. В растворе после разложения 0,1252 г сухой почвы определяли содержание железа комплексонометрическим методом. Сколько миллимолей Fe содержится в 1 кг почвы и какова массовая доля (%) Fe_2O_3 , если на титрование всего объема раствора затратили 1,65 мл 0,0203М раствора комплексона III?

5. После сплавления 1,0500 г воздушно-сухой почвы и отделения кремниевой кислоты общий объем фильтрата составил 250 мл. На титрование железа в аликвоте 25,0 мл было затрачено 1,39 мл 0,0286 М раствора комплексона III. Сколько миллимолей железа содержится в 5,0 г сухой почвы и какова массовая доля (%) Fe_2O_3 ?

6. Найдите массовую долю (%) Al_2O_3 в сухой почве, если для его определения из общего объема фильтрата после отделения кремниевой кислоты (250 мл)

была взята аликвота 25,0 мл, в которой оттитровали железо. Затем туда добавили 30,0 мл 0,0106М раствора комплексона III. На титрование избытка комплексона, не прореагировавшего с алюминием, пошло 0,4 миллимоля эквивалентов $ZnCl_2$. Масса навески воздушно-сухой почвы составляет 1,2004 г, $W = 2,16 \%$.

7. Установите массовую долю (%) Al и Al_2O_3 в сухой почве, если известно, что количество алюминия в навеске воздушно-сухой почвы массой 0,8134 г эквивалентно 0,93 миллимолям комплексона III. Гигроскопическая влага равна 4,71 %.

8. Рассчитайте массовую долю (%) MnO в почве, если для анализа была взята навеска сухой почвы массой 1,2471г, общий объем фильтрата после разложения почвы составил 250 мл, концентрация марганца в нем – 0,006 мг/мл.

9. Для определения общего содержания марганца в навеске сухой почвы массой 1,0151 г после отделения кремниевой кислоты из мерной колбы вместимостью 250 мл была взята аликвота 25,0 мл и разбавлена в 2 раза. Из этого раствора для фотометрического определения марганца взяли аликвоту 10,0 мл и перенесли мерную колбу вместимостью 100 мл. Содержание в ней Mn составляет 0,52 мг/100 мл. Рассчитайте массовую долю (%) MnO в почве.

10. Установите массовую долю (%) P_2O_5 в сухой почве, если после разложения навески массой 1,2315 г почвы объем раствора составляет 250 мл, а содержание фосфора (P) в 20,0 мл этого раствора было 0,07 мг.

11. Рассчитайте массовую долю (%) кремния (Si и SiO_2) на прокаленную почву, если для сплавления была взята навеска воздушно-сухой почвы массой 1,3650 г, масса осадка SiO_2 составила 0,9632 г. Содержание гигроскопической влаги - 4,35%; потеря при прокаливании - 10,40 %.

12. Установите массовую долю (%) Fe_2O_3 в прокаленной почве, если в 50,0 г воздушно-сухой почвы содержание Fe составляет 28,7 миллимолей. $W = 5,10 \%$, потеря при прокаливании – 9,76 %.

13. Рассчитайте массовую долю (%) гигроскопической влаги в почве,

если масса воздушно-сухой почвы составляет 4,52 г, а масса сухой почвы - 4,395 г.

14. Установлено, что в карбонатном горизонте содержится 5,68 % CaCO_3 , а массовая доля Fe_2O_3 составляет 5,14 %. Рассчитайте массовую долю (%) Fe_2O_3 в бескарбонатной почве.

15. Из навески карбонатных новообразований массой 2,0000 г было получено 0,0684 г MgO и 0,1350 г CaO . Рассчитайте массовую долю (%) CaCO_3 и MgCO_3 в новообразованиях.

16. Рассчитайте запас CaO в т/га в горизонте мощностью 20 см, если на титрование кальция в аликвоте 50,0 мл пошло 1,2 мл 0,0100М раствора комплексона III. Общий объем фильтрата – 250 мл, навеска почвы – 1,1200 г, плотность почвы – 1,3 г/см³.

9.5 Практическая работа 5.

Эколого-генетическая оценка валового состава почв

В целом химический состав наследуется от материнской породы, которая в процессе почвообразования преобразуется, обогащается химическими элементами органического вещества (С, О, Н, N, Р и др.), а также минеральными элементами- биофилами, поэтому особой спецификой состава отличаются верхние гумусовые горизонты.

В ходе почвообразовательного процесса соотношение элементов либо остается постоянным, либо закономерно изменяется. Анализ соотношения концентраций пар элементов позволяет получить новую информацию о свойствах почв и протекающих в них процессах.

В процессе почвообразования происходят весьма существенные преобразования химического состава исходных почвообразующих пород, связанные с целой серией почвенных процессов и антропогенного воздействия:

- переход химических элементов из одних соединений в другие в связи с трансформацией первичных минералов во вторичные;
- вынос химических элементов с почвенными растворами за пределы профиля почвы и коры выветривания при постоянном промывании почвы атмосферными осадками;
- перераспределение химических элементов между генетическими горизонтами в процессах элювиально-иллювиальной дифференциации почвенного профиля;
- накопление химических элементов за счет притока их с грунтовыми водами при образовании засоленных почв;
- антропогенное загрязнение почв при поступлении элементов из атмосферы с осадками и импальверризацией;
- антропогенное загрязнение почв при использовании ядохимикатов и минеральных удобрений.

Эколого-генетическая оценка валового состава почв проводится по следующим показателям.

Мольные отношения элементов. В почвоведении используют вычисление отношений пар: C:N, C:H, C:O, SiO₂:Al₂O₃, SiO₂:Fe₂O₃. По отношению C:H можно сделать заключение о типе строения органических веществ; отношение C:N характеризует обогащенность гумуса азотом и позволяет судить об особенностях гумусообразования. Величина SiO₂:Al₂O₃ характерна для различных типов глинистых минералов и может быть использована как дополнительный диагностический признак при определении минералогического состава. Отношения SiO₂:Al₂O₃ или SiO₂:Fe₂O₃ используют для определения коры выветривания и почв на типы по их химическому составу. Эти отношения вычисляют как мольные (молекулярные) величины: содержание элементов в % разделить на их атомные массы.

Оценка типа выветривания (преобразование химического состава почвы и коры выветривания) проводится по результатам анализа содержания основных компонентов почвенной массы: SiO₂, Al₂O₃ и Fe₂O₃. Сумму Al₂O₃ + Fe₂O₃ называют полуторными окислами и обозначают R₂O₃. При вычислении отношения SiO₂:R₂O₃ сначала находят сумму молей Al₂O₃ + Fe₂O₃, которая равна: Al₂O₃ / 102 + Fe₂O₃ / 160. Затем на эту сумму делят число молей SiO₂.

Почвы и коры выветривания по соотношению содержания SiO₂ и R₂O₃ классифицируются по С.В. Зонну как:

аллитные (Al-lito) (SiO:R₂O₃ < 2,5) с подразделением на собственно аллитные (Al₂O₃ резко преобладает над Fe₂O₃), ферраллитные (Al₂O₃ преобладает над Fe₂O₃) и ферритные (Fe₂O₃ преобладает над SiO₂, и Al₂O₃ во всей массе коры);

сиаллитные (SiO₂:R₂O₃ > 2,5) с подразделением на сиаллитные и феррсиаллитные, для которых характерно суженное отношение SiO₂:Fe₂O₃.

Анализ мольных отношений показывает, какие элементы накапливаются в породе в результате выветривания.

Аллитные (ферраллитные) почвы типичны для влажных тропиков и субтропиков, где наблюдается в процессах выветривания и почвообразования интенсивное разрушение первичных и вторичных силикатов и алюмосиликатов

со столь же интенсивным выносом SiO_2 и накоплением Al_2O_3 и Fe_2O_3 в почвенной массе. Сиаалитные почвы характерны для умеренных широт, где в значительной степени может преобладать миграция соединений алюминия и железа при относительной стабильности SiO_2 .

Для оценки потери и накопления щелочных и щелочно-земельных элементов в продуктах выветривания вычисляют мольные отношения:

$(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}):\text{Al}_2\text{O}_3$; $(\text{CaO}+\text{MgO}):\text{Al}_2\text{O}_3$ или $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO}+\text{MgO}):\text{Al}_2\text{O}_3$.

Способ вычисления аналогичен изложенному выше.

При использовании элементного состава как дополнительного признака для идентификации глинистых минералов также необходимо вычисление мольных соотношений элементов или их оксидов. Каолинит характеризуется мольным соотношением $\text{Si} : \text{Al} = 1:1$, или $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 = 2$; такое же соотношение $\text{Si} : \text{Al}$ в мусковите. В минералах группы монтмориллонита соотношение $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3$ повышено до 4.

Дифференциация профиля почвы по валовому составу. Профиль почвы дифференцируется на генетические горизонты в процессе развития (приложение 3). Генетические горизонты конкретной почвы, несмотря на уровень различия в свойствах, составляют единое целое, взаимосвязаны и взаимообусловлены.

Для оценки уровня дифференциации почвенного профиля применяются соотношения $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{SiO}_2 : \text{Fe}_2\text{O}_3$, $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3$. Эти соотношения позволяют судить о контрастности валового состава почвенного профиля и о перемещении соединений Al и Fe в генетических горизонтах. Расчеты ведутся относительно кремнезема, как устойчивого к миграции оксида и имеющего тенденцию в связи с этим слабого количественного изменения в сравнении с материнской породой. За 1,00 принимаются молярные соотношения в горизонте С, а в генетических горизонтах рассчитывается величина EAR для какого-либо элемента R (или его оксида) по формуле:

$$\text{EAR} = (\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3 \text{ породы}) / (\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3 \text{ горизонта}), \text{ или}$$

$$\text{EAR} = \text{R}_1\text{S}_0 / \text{R}_0\text{S}_1, \text{ где}$$

R_1 – содержание элемента (его оксида) в изучаемом горизонте;

R_0 – содержание элемента (его оксида) в неизменной почвообразующей породе;

S_1 – содержание стабильного элемента (его оксида) не мигрирующего по почвен- ному профилю в изучаемом горизонте;

S_0 – содержание стабильного элемента (его оксида) не мигрирующего по почвен- ному профилю в почвообразующей породе.

Содержание элемента (оксида) можно выразить в любой удобной форме, так как пересчетные коэффициенты оксида на элемент, процента на моли и т.п. входят и в числитель, и в знаменатель, не влияя на величину коэф- фициента EAR. Обобщенные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициент элювиально-иллювиальной миграции Al_2O_3 и Fe_2O_3 (R_2O_3) в генетических горизонтах почв в сравнении с материнской по- родой (отношение $SiO_2: R_2O_3$ в породе к $SiO_2: R_2O_3$ в горизонте)
(Вальков В.Ф., 2004)

Коэффициент миграции	Оценка элювиально-иллювиальной дифференциации
1,0	Материнская порода
0,90-1,10	Отсутствие выноса, слабая убыль или накопление компонента в ге- нетическом горизон-те по отношению к материнской породе. Эти ве- личины характерны для горизонтов черноземов и иллювиально-мета- морфических горизонтов лесных почв
Элювиирование полуторных окислов	
0,75-0,90	Средняя степень убыли, характеризующая переходные горизонты лесных почв и перегнойно-аккумулятивные горизонты сухостепных несолонцеватых почв
0,50-0,75	0,50-0,75 - интенсивный вынос R_2O_3 , наблюдаемый в типично элюви- альных горизонтах различных почв
Иллювиирование полуторных окислов	
1,10-1,25	Типичное накопление полуторных окислов в иллювиальных гори- зонтах лесных и солоицеветоосолоделых почв
более 1,25	Сильное иллювиирование соединений полуторных окислов, харак- терное для подзолов солонцов и солодей

Коэффициенты дифференциации генетических горизонтов почвенного профиля. При интерпретации данных валового состава следует различать относительное увеличение или уменьшение и абсолютное увеличение или уменьшение массы веществ в объеме горизонтов в сравнении с таким же объемом материнской породы. Часто употребляемые термины «накопление» «вынос» не всегда правильно отражают сущность явлений. Они приемлемы для почв с элювиальными и иллювиальными процессами, но не могут быть применены к почвам, не дифференцированным по валовому составу.

Увеличение массы вещества или ее уменьшение в горизонте в этих случаях обуславливается изменениями физического состояния почвенной массы (плотность, порозность, структурность).

Относительные величины определяются валовым составом, выраженным в процентах по отношению к весу почвы. Здесь валовой состав отражает процентное отношение компонентов безотносительно к увеличению или уменьшению общей массы в горизонтах почвенного профиля.

Абсолютное увеличение или уменьшение по отношению к исходной материнской породе может быть выражено количеством компонента в единице объема почвы. Для этого используются пересчеты весовых процентов валового состава в количество компонента в $\text{кг}/\text{м}^2$, $\text{г}/\text{дм}^3$ в объеме генетических горизонтов и др. Очень часто абсолютные и относительные величины не совпадают.

Например, в элювиальных горизонтах лесных почв происходит относительное накопление SiO_2 при абсолютном его выносе, а в горизонтах В относительное накопление Al_2O_3 и Fe_2O_3 при абсолютном его элювиировании. Следовательно, одностороннее рассмотрение валового состава может ввести исследователя в заблуждение в отношении действительного характера явлений.

Для суждения о степени контрастности почвенного профиля по данным содержания компонента в процентах и в единице объема рассчитывают коэффициенты дифференциации (Методика Почвенного института им. В.В. Докучаева):

$S = K \text{ в гор. В} / K \text{ в гор. А}$, где S – коэффициент дифференциации;

$K \text{ в гор. В}$ – количество компонентов в горизонте В, % или г/дм³;

$K \text{ в гор. А}$ – количество компонента в наиболее элювиальном горизонте, % или г/дм³.

Коэффициенты дифференциации позволяют количественно оценивать контрастность горизонтов почвенного профиля, возникшую вследствие элювиально-иллювиальных явлений, текстурного оглинивания, дернового процесса и др.

Относительное сравнение содержания веществ или элементов в генетических горизонтах почвы по сравнению с материнской породой стало типичным для исследований не только валового состава, но и других компонентов почвы.

Балансовые расчеты. Для установления абсолютных величин уменьшения или увеличения массы отдельных компонентов валового состава, а также ила по генетическим горизонтам и в полном профиле используются балансовые расчеты. Метод основывается на принципах, разработанных Кундлером. Предполагается, что подпочва является исходной материнской породой, которая претерпевает изменения в процессе почвообразования. Генетические горизонты почвенного профиля сравниваются по абсолютному содержанию веществ со слоем почвообразующей породы такой же мощности:

$B = (10 \cdot h \cdot d \cdot K_r) - (10 \cdot h \cdot d_0 \cdot K_0)$, где

B – уменьшение или увеличение массы компонента в горизонте, г/м²;

h – мощность горизонта, дм;

d – плотность горизонта;

d_0 – плотность почвообразующей породы;

K_r – содержание компонента в горизонте, % от веса;

K_0 – содержание компонента в почвообразующей породе, % от веса.

Уменьшение массы веществ может происходить за счет оструктурирования горизонтов в процессе почвообразования, что типично для черноземов, каштановых и других почв и связано с развитием дернового процесса. Уменьшается масса также в результате явлений элювиирования. Увеличение же массы происходит вследствие слитогенеза или иллювиирования. Возможно и совокупное действие этих явлений.

Балансовые расчеты позволяют оценивать увеличение или уменьшение массы в генетических горизонтах и профиле как отдельных компонентов, так и суммы веществ в целом:

$$V_m = \Sigma \text{SiO}_2, \text{R}_2\text{O}_3, \text{CaO}, \text{MgO} / hd, \text{ где}$$

V_m – изменение массы горизонта, % от массы материнской породы;

$\Sigma \text{SiO}_2, \text{R}_2\text{O}_3, \text{CaO}, \text{MgO}$ – сумма уменьшения или увеличения массы отдельных компонентов, кг/м²;

h – мощность горизонта, дм;

d – объемный вес материнской породы.

Изучение различных типов профилей показывает резкое несходство уменьшения и увеличения массы горизонтов одной и той же почвы. Верхние перегнойно- аккумулятивные структурные и элювиальные горизонты всегда в процессе почвообразования уменьшают массу. Уменьшение массы может быть:

слабое – до 10 % от массы материнской породы;

сильное – на 20-30 %;

очень сильное уменьшение массы – более чем на 30 % – может наблюдаться в элювиальных горизонтах подзолов, псевдоподзолов, солонцов и солодей, образовавшихся на тяжелых плотных глинах.

Иллювиальные, текстурные и переходные горизонты В различных почв характеризуются или уменьшением или увеличением массы. Уменьшение массы всегда выражено значительно слабее, чем в верхних горизонтах.

Степень же увеличения массы никогда не является обратно пропорциональной ее уменьшению, а значительно отстает от этого уменьшения.

Тип профиля по распределению вещества в почвенном профиле (Розанов Б.Г., 2004).

Аккумулятивный тип характеризует профили с максимальным накоплением веществ (например, гумуса) с поверхности при постепенном падении их содержания с глубиной (рис. 1). Генетически такая аккумуляция может быть как за счет поверхностного поступления вещества (гумуса), так и за счет их приноса грунтовыми водами (соли); морфологически же такие профили будут однотипными. В пределах этого типа можно выделить три подтипа:

1а – регрессивно-аккумулятивный (резкое падение содержания вещества с глубиной, как, например, гумуса в лесных почвах);

1б – прогрессивно-аккумулятивный (выпуклый характер кривой распределения);

1в – равномерно-аккумулятивный (постепенное равномерное снижение содержания с глубиной).

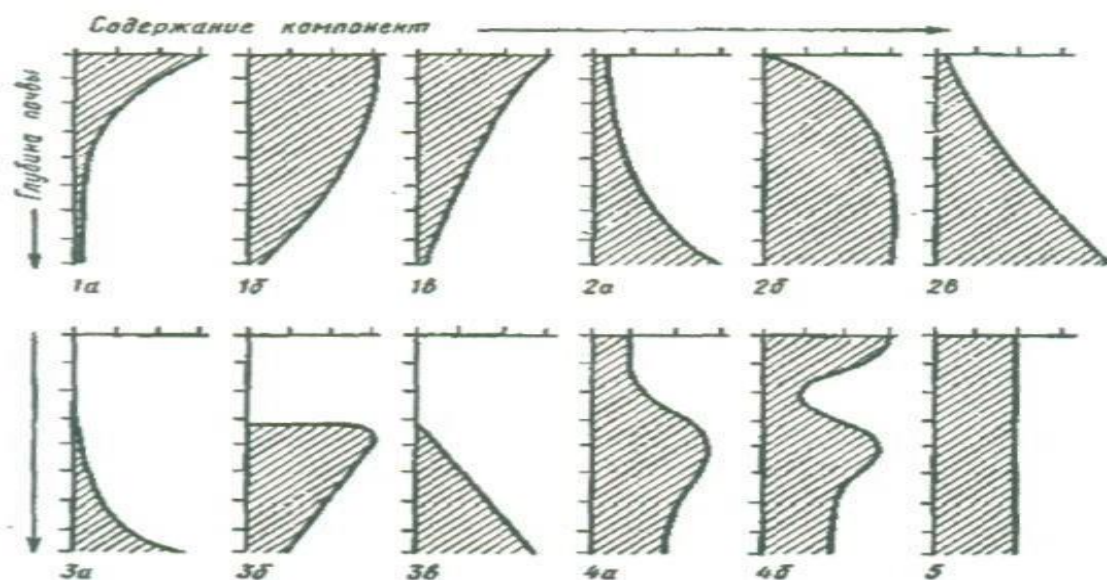


Рис. 1. Типы распределения веществ в почвенном профиле:

1а – регрессивно-аккумулятивный; 1б – прогрессивно-аккумулятивный; 1в – равномерно-аккумулятивный; 2а – регрессивно-элювиальный; 2б – прогрес-

сивно-элювиальный; 2в – равномерно-элювиальный; 3а – регрессивно-грунтово-аккумулятивный; 3б – прогрессивно-грунтово-аккумулятивный; 3в – равномерно-грунтово-аккумулятивный; 4а – элювиально-иллювиальный; 4б – аккумулятивно-элювиально-иллювиальный; 5 – недифференцированный.

Элювиальный тип характеризует профили, где большое значение имеет процесс разрушения и выноса веществ за пределы профиля. Такие профили сравнительно редки, но они существуют в природе. По характеру кривой распределения также можно выделить три подтипа: 2а – регрессивно-элювиальный (вогнутая кривая), 2б – прогрессивно-элювиальный (выпуклая кривая); 2в – равномерно-элювиальный. Такие профили особенно часто образуются в отношении карбонатов или водно-растворимых солей.

Грунтово-аккумулятивный тип характеризует гидроморфные или палеогидроморфные почвы (Ковда В.А., 1973). В зависимости от стадии процесса и интенсивности накопления веществ, например, вторичного засоления орошаемых почв, выделяются три подтипа также по характеру кривых распределения: 3а – регрессивно-грунтово-аккумулятивный (вогнутая кривая); 3б – прогрессивно-грунтово-аккумулятивный (выпуклая кривая); 3в – равномерно-грунтово-аккумулятивный. Генетически такой тип профиля всегда связан с грунтовыми водами и перемещением веществ вверх по профилю.

Практически этот тип профильного распределения не всегда легко отличить от элювиального (за исключением, может быть, четко выделяемого подтипа 3б). Требуется специальное генетическое исследование с привлечением комплекса подходов и методов, чтобы сказать однозначно, к какому типу относится тот или иной профиль. Если в отношении водно-растворимых солей это более или менее легко можно сделать, имея солевой профиль почвы, то в отношении карбонатов, гипса, полуторных окислов имеются значительные трудности в интерпретации.

Элювиально-иллювиальный тип встречается наиболее часто в почвах, характеризующихся наличием выноса веществ с поверхности вниз. При этом

вещества, выносимые сверху, осаждаются в пределах почвенного профиля, образуя иллювиальный горизонт. Характерным примером может служить профиль подзолистых почв. В некоторых случаях может иметь место усложнение такого профиля поверхностной аккумуляцией веществ и тогда образуется аккумулятивно-элювиально-иллювиальный профиль подтипа 4б. Примером такого профиля может служить бурозем, сформировавшийся из подзолистой почвы при смене хвойного леса широколиственным.

Недифференцированный тип характеризует равномерное распределение веществ во всем почвенном профиле (например, R_2O_3 в профиле типичного чернозема).

Описанные 12 типов распределения веществ в почвенном профиле достаточно полно отражают все встречающиеся в природе случаи, важные для детального генетического анализа почв и почвенного покрова. Часто в одной и той же почве могут сочетаться разные типы профилей распределения. Например, в дерново-подзолистой почве имеет место сочетание аккумулятивного профиля гумуса, элювиально-иллювиального профиля глины и полуторных окислов и элювиального профиля натрия и калия. Все эти сочетания дают разнообразие генетических типов профилей почв.

Сочетание различных типов строения профилей (по соотношению генетических горизонтов) и типов распределения веществ в профиле дает группу генетических типов почвенных профилей, включающую все разнообразие типов почв. Группа генетических типов профилей включает следующие представители, характеризующие главные особенности строения почвенного профиля:

а) недифференцированный (примитивный) профиль характеризует первые стадии почвообразования, когда возраст почвы еще слишком небольшой для формирования полностью дифференцированного на генетические горизонты профиля, либо почвы на крайне бедных выветриваемыми минералами

породах (на кварцевых песках, например). Обычно такой профиль имеет строение (А) С или АС, либо имеет зачатки иных почвенных горизонтов, лишь с трудом отличающиеся от почво-образующей породы;

б) изогумусовый профиль – профиль почв, имеющих сильно выраженную дифференциацию по гумусу (и, возможно, по легкорастворимым солям, гипсу, карбонатам), но не имеющих дифференциации по более стабильным компонентам (глина, R_2O_3 , первичные минералы); содержание гумуса максимальное с поверхности и постепенно уменьшается с глубиной;

в) метаморфический профиль – профиль почв, слабо или сильно дифференцированных по глине и характеризующихся процессом оглинения *in situ* во всем профиле или в какой-то его части без перемещения продуктов выветривания (SiO_2 , R_2O_3 , глина) по профилю.

г) элювиально-иллювиально-дифференцированный профиль – профиль почв с четко выраженными элювиальным и соответствующим ему иллювиальным горизонтами.

д) гидрогенно-дифференцированный профиль – профиль почв, сформировавшихся в условиях современного или древнего гидроморфизма (палеогидроморфные почвы) и характеризующихся гидрогенной аккумуляцией веществ в какой-то части.

е) криогенно-дифференцированный профиль – профиль почв, фактором дифференциации которых служит присутствующая на небольшой глубине постоянная льдистая мерзлота.

Данные валового состава в различной интерпретации позволяют определить характер и направление дифференциации почвенных профилей, их изменение в сравнении с материнской породой по преобладающим компонентам состава почв, по SiO_2 , R_2O_3 и др.

9.6 Практическая работа 6.

Оценка «суммарного эффекта» влияния токсичных ионов

Известен еще один подход к определению степени засоления, основанный на оценке «суммарного эффекта» влияния токсичных ионов. Для этого токсичные ионы принято выражать в эквивалентах хлора. Не учитывается тип засоления почвы, а используются данные только по содержанию токсичных ионов:

$$1Cl^- = 0,1CO_3^{2-} = (2,5-3)HCO_3^- \approx (5-6)SO_4^{2-}.$$

Таким образом, 1 мг-экв Cl^- в 10 раз менее токсичен для растения, чем 1 мг-экв CO_3^{2-} и 2,5-3 раза более токсичен HCO_3^- и в 5-6 раз токсичнее, чем SO_4^{2-} . При определении степени засоления почвы по этому методу пользуются данными таблицы 1. При определении почв без участия гипса пользуются низшими показателями «суммарного эффекта», а в отсутствии гипса – высшими.

Таблица 1 - Классификация почв по степени засоления с учетом «суммарного эффекта» токсичных ионов (Базелевич Н.И., 1972)

Степень засоления	«Суммарный эффект» токсичных ионов, мг-экв Cl^-
Незасоленные	< 0,3
Слабозасоленные	0,31 – 1,0 (1,5)
Среднезасоленные	1,1 (1,6) – 3,0 (3,5)
Сильнозасоленные	3,1 (3,6) – 7,0 (7,5)
Очень сильнозасоленные	> 7,0 (7,5)

Полученные данные по степени засоленности почв, химизма засоления, по содержанию токсичных солей являются диагностическими показателями для определения рода в классификации засоленных почв. Кроме того, на роды подразделяют в зависимости от глубины залегания первого солевого максимума.

Задачи

1. Для определения карбонатов навеску сухой почвы массой 2,0 г обрабатывали 20 мл 0,102 М раствора HCl. Какова массовая доля (%) в почве CaCO₃, если на титрование оставшегося после реакции избытка HCl было затрачено 25,0 мл 0,0202 М NaOH?

2. Найдите содержание гипса (CaSO₄•2H₂O) в ммоль(экв)/100 г почвы и в %, если его извлекали 0,2 М раствором HCl из навески почвы, равной 2,0 г. В полученном растворе осаждали сульфат-ионы хлоридом бария. Осадок прокаливали и взвешивали. Масса прокаленного осадка 0,3115 г. Известно, что содержание SO₄²⁻, полученное методом водной вытяжки (1:5), равно 10,5 ммоль(экв)/100г почвы.

3. Определите массовую долю (%) плотного остатка. Для анализа брали 50,0 мл водной вытяжки, приготовленной при отношении почва:вода, равном 1:5 (50г почвы: 250 мл воды). Масса высушенной пустой чашки была равна 20,0340 г, а масса чашки с сухим остатком после выпаривания и высушивания аликвоты вытяжки - 20,2150 г.

4. Какова общая щелочность почвы (в ммоль(-)/100 г почвы), если на титрование 25,0 мл вытяжки (приготовленной стандартным методом – 50 г почвы:250 мл воды) по индикатору фенолфталеину затратили 1,5 мл 0,02н раствора H₂SO₄, а на последующее титрование этой же аликвоты по метиловому оранжевому - 5,0 мл той же H₂SO₄?

5. Определите содержание CO₃²⁻ и HCO₃-ионов (в ммоль(-)/100 г почвы), если известно, что содержание CO₃²⁻ составляет 0,012 %, а при определении общей щелочности на титрование 50,0 вытяжки с индикатором метиловым оранжевым было затрачено 12,1 мл 0,02н раствора H₂SO₄. Водную вытяжку готовили по стандартному методу.

6. Известно, что на титрование 15 мл раствора, полученного разбавлением 10 мл водной вытяжки до 200 мл, затрачено 5 мл 0,02н раствора AgNO₃.

Рассчитайте, сколько граммов хлорид-ионов содержится в 1 грамме почвы. Водную вытяжку готовили стандартным методом.

7. Найдите содержание в почве хлорид-ионов (в ммоль(-)/100 г почвы и в процентах), если на титрование 50 мл раствора, полученного разбавлением 10,0 мл водной вытяжки до 100 мл, затратили 6,0 мл 0,02н раствора AgNO_3 . Водную вытяжку готовили стандартным методом.

8. Рассчитайте, достаточно ли 10,0 мл 0,02 М раствора BaCl_2 для осаждения сульфат-иона в 50 мл водной вытяжки, полученной стандартным методом, если известно, что содержание сульфат-иона не превышает

По табличным данным (табл. 2) провести оценку химического состояния засоленных почв по предлагаемой схеме.

1. Сделайте пересчет данных анализа в мг-экв/100г почвы и в %.
2. Определите степень засоления по сухому остатку.
3. Определите тип и химизм засоления по катионному и анионному составу.
4. Рассчитайте содержание токсичных и нетоксичных солей в % к массе почвы.
5. Определите степень засоления почв по сумме токсичных солей, по «суммарному эффекту» токсичных ионов, определённых расчетным способом и по эмпирической формуле:

$$\text{Сумма токсичных солей, \%} = (\text{Na}^+ + \text{Mg}^{+2}) / 15 .$$

6. Оцените солевой режим почв.
7. Постройте солевой профиль почвы и дайте классификацию почвы по глубине залегания солевого максимума.
8. Сделайте общие выводы о засолении почвы.
9. Работа оформляют и сдают преподавателю на проверку.
10. Индивидуальные задания по вещественному составу почв

Таблица 2 -Вещественный состав почв

Гори- зонт	Глубина, см	Сухой остаток, %	В мг – экв на 100 г почвы							
			Щёлочность		Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺
			CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻						
Вариант № 1 Чернозём обыкновенный										
Апах	0-10	0,066	Нет	0,44	0,07	0,06	0,35	0,12	0,05	0,05
Апах	10-23	0,041	-«-	0,38	0,06	0,06	0,37	0,12	0,05	0,04
А ₁	23-30	0,037	- «-	0,56	0,07	0,10	0,38	0,11	0,08	0,02
АВ	30-50	0,077	- «-	0,78	0,06	0,06	0,56	0,14	0,09	0,02
В _{1са}	50-80	0,095	- «-	0,80	0,04	0,04	0,62	0,16	0,11	0,02
В _{2са}	80-116	0,076	- «-	0,78	0,05	0,06	0,55	0,18	0,12	0,02
ВСса	116-135	0,079	- «-	0,73	0,04	0,08	0,57	0,19	0,12	0,01
Сса	135-160	0,080	- «-	0,78	0,06	0,15	0,53	0,22	0,14	0,02
Вариант № 2 Чернозём луговой глубокий										
Апах	0-20	0,126	нет	0,32	0,10	0,27	0,10	0,08	0,33	0,03
В ₁	20-34	0,186	-«-	0,68	0,08	0,35	0,19	0,28	0,78	0,04
В _{2са}	34-50	0,261	-«-	0,84	0,14	0,63	0,19	0,28	1,05	0,05
В _{3са}	50-70	0,203	-«-	1,92	0,12	0,10	0,17	0,22	1,96	0,01
ВСса	70-90	0,197	-«-	1,76	0,14	0,06	0,10	0,23	1,91	0,01
С _{1 са}	90-110	0,144	-«-	1,36	0,14	0,21	0,14	0,16	1,60	0,01
С _{2са}	110-170	0,115	-«-	1,20	0,12	0,25	0,14	0,20	1,29	0,01
Д _{1 са}	170-190	0,081	-«-	1,08	0,14	0,19	0,17	0,28	0,89	0,02
Д _{2 са}	190-230	0,084	-«-	0,92	0,10	0,06	0,09	0,28	0,62	0,02
Вариант № 3 Лугово-чернозёмная										
Апах	0-10	0,001	Нет	0,32	0,06	0,04	0,26	0,11	0,07	0,03
Апах	10-22	0,001	-«-	0,26	0,05	0,04	0,27	0,12	0,06	0,04
АВ	22-35	0,003	-«-	0,30	0,05	0,04	0,35	0,10	0,09	0,02
В ₁	35-56	0,075	-«-	0,71	0,06	0,06	0,47	0,16	0,15	0,01
В _{2 са}	56-80	0,080	- «-	0,80	0,06	0,04	0,48	0,16	0,22	0,02
В _{3са}	80-104	0,091	- «-	0,88	0,05	0,04	0,31	0,21	0,52	0,02
ВСса	104-136	0,092	-«-	1,03	0,07	0,04	0,18	0,26	0,83	0,02
Сса	136-150	0,120	-«-	1,14	0,07	0,15	0,08	0,29	1,16	0,02
Вариант № 4 техногенное засоление										
	0-20	14,45		0,003	28,7	0,77	0,98	0,20	27,3	
	20-40	11,66		0,005	27,01	0,58	1,98	1,90	23,8	
	40-60	9,93		0,031	25,2	1,46	3,76	0,60	22,3	
	60-80	6,83		0,006	20,3	3,77	2,15	0,50	21,4	
	80-100	2,10		0,006	19,6	3,99	0,74	0,20	22,6	
Вариант № 5 техногенное засоление										
	0-20	15,59		0,006	28,1	0,63	4,34	2,90	21,5	
	20-40	13,87		0,005	27,4	2,82	4,02	2,10	24,1	
	40-60	10,51		0,007	25,8	1,55	3,28	1,11	22,9	
	60-80	4,32		0,006	23,2	5,79	2,19	0,34	26,4	
Вариант № 6 техногенное засоление										
	0-20	18,97		0,013	31,4	3,80	5,03	2,50	27,6	
	20-40	14,83		0,026	38,0	3,16	4,24	1,14	28,5	
	40-60	15,89		0,020	27,8	5,59	3,12	0,87	29,4	
	60-80	11,97		0,006	24,7	5,68	1,15	0,56	28,6	

	80-100	5,41		0,35	23,3	9,98	1,01	0,63	31,6	
Вариант № 7 Каштановая слабосолонцеватая										
	0-10	0,088		0,66	НЕТ	0,29	0,5	0,41		
	30-40	0,096		0,79	0,09	0,19	0,55	0,41		
	70-80	0,40		0,75	4,42	1,06	0,7	1,48		
	110-120	0,760		0,64	5,72	4,67	1,05	2,46		
	150-160	1,962		0,36	5,24	22,15	12,5	6,48		
	190-200	1,520		0,43	3,69	17,31	8,65	4,84		
	240-260	0,941		0,59	2,28	10,4	4,3	2,95		
	350-370	0,230		1,49	1,04	0,85	0,2	0,25		

Вопросы

1. Какие необходимо знать показатели, чтобы оценить химическое состояние засоленных почв?
2. В чем сущность методов определения карбонатов в почве?
3. В чем сущность методов определения гипса в почве?
4. Какие соли принято относить к легкорастворимым?
5. Какие методы используют для извлечения легкорастворимых солей из засоленных почв, каковы достоинства и недостатки этих методов?
6. Какую информацию о свойствах засоленных почв получают, проводя анализ почв методом водной вытяжки?
7. Каково значение почвенного раствора в почвообразовании, плодородии почв и питании растений?
8. Что понимают под суммой солей и под суммой токсичных солей?
9. Почему водную вытяжку (1:5) нельзя отождествлять с почвенным раствором?
10. Какие процессы, сопутствующие растворению легкорастворимых солей, протекают при получении водных вытяжек? Как эти процессы влияют на результаты определения легкорастворимых солей в почвах?
11. Назовите показатели, которые используют для характеристики засоления почв.
12. Как оценивают химизм засоления почв?
13. К каким солям относится гипс? К хорошо- (легко), средне- или труднорастворимым? Какова растворимость гипса?

14. Каковы приемы оценки степени засоления почв?
15. Что означает термин «сухой или плотный остаток»? Какие свойства засоленных почв он позволяет оценить?
16. За счет какого минерала могут быть завышены результаты определения легкорастворимых солей, полученные методом водной вытяжки?
17. В каких единицах обычно выражают результаты анализа водных вытяжек?
18. С помощью какого приема проверяется правильность результатов анализа водных вытяжек?

9.7 Практическая работа 7.

Загрязнение почв тяжелыми металлами и здоровье человека

Цель работы: закрепление знаний по вопросам влияния тяжелых металлов на здоровье человека, полученных в лекционном курсе и в результате самостоятельной работы над учебной литературой; установление категории загрязнения почв тяжелыми металлами и соответствующих мелиоративных мероприятий.

Теоретические сведения

Месторождения полезных ископаемых концентрируются в зонах, где существовали наиболее благоприятные факторы для их возникновения, образуя металлогенические провинции и пояса. Так, практически весь Дальний Восток лежит в пределах Тихоокеанского рудного пояса, главными металлами которого являются золото и олово. Дальний Восток России можно смело называть оловянной провинцией страны, ибо здесь сосредоточены практически все разведанные запасы олова и ведется его добыча. Дальнегорский район на севере Приморского края представляет собой свинцово-цинковую металлогеническую провинцию. На территории ДВЭР сосредоточено также и 88 % запасов сурьмы России.

Почвенные условия Дальневосточного региона весьма специфичны. Необходимо отметить, что кларки для большинства тяжелых металлов в почвах Приморья и Приамурья значительно выше, чем в среднем по России. Исключение составляют молибден, хром и медь.

Примерно 90 % тяжелых металлов, поступающих в окружающую среду, аккумулируется почвами. Затем они мигрируют в природные воды, поглощаются растениями и поступают в пищевые цепи. Поступление тяжелых металлов (ТМ) в организм человека происходит по цепи: почва – растение – животное – человек. Продукция растениеводства, выращенная даже на слабозагрязненных почвах, способна вызвать кумулятивный эффект, обуславливая постепенное увеличение содержания ТМ в организме теплокровных (человек, животные).

Тяжелые металлы, поступающие на поверхность почвы, накапливаются в почвенной толще, особенно в верхних гумусовых горизонтах и медленно удаляются при выщелачивании, поглощении растениями, эрозии. Период полураспада значительно варьирует для различных элементов и составляет для Zn – 70-310, Cu – 310-1500, Cd – 13-110, Pb – 740-5900 лет.

Токсичность ТМ для живых организмов определяется свойствами и уровнем концентрации самих элементов, их миграционной способностью, степенью накопления в органах и тканях.

У позвоночных животных свыше 90 % всосавшегося свинца фиксируется в костях, а также во внутренних органах. У человека происходят изменения в нервной системе, проявляющиеся в головной боли, головокружениях, повышенной утомляемости, раздражительности, нарушениях сна и памяти. Поражение периферической нервной системы выражается в так называемых свинцовых параличах, приводящих к параличу мышц рук и ног). Основным диагностическим показателем воздействия свинца на здоровье человека является уровень его содержания в крови (концентрация Pb не должна превышать 15 мкг/100 мл у взрослых и 7 мкг/100 мл у детей). При содержании 50-60 мкг/100 мл в поведении человека проявляются признаки депрессии и агрессивности. Установленное экспертами ФАО/ВОЗ максимально допустимое поступление свинца для взрослого человека составляет 3 мг в неделю, т.е. допустимая суточная доза (ДСД) составляет около 0,007 мг/кг массы тела.

К поражению *кадмием* наиболее предрасположены почки и печень, нарушается обоняние, появляются головные боли, боли в суставах и костях. Установленное ВОЗ допустимое поступление кадмия для взрослого человека – 500 мкг в неделю, т.е. допустимое суточное потребление (ДСП) – 70 мкг/сут, а ДСД – 1 мкг/кг массы тела.

По степени токсичности различают: *металлическую ртуть, неорганические и органические соединения ртути*. Отравление парами металлической ртути выражается общей слабостью, повышенной температурой, головной бо-

лью, катаральными явлениями со стороны дыхательных путей. Неорганические соединения ртути малолетучи, поэтому опасность возникает при поступлении внутрь организма с пищей и водой. Наиболее опасны органические соединения, так как их токсическое действие проявляется спустя несколько недель. При этом характерны эмоциональные и психические расстройства. Допустимое недельное поступление ртути не должно превышать 0,3 мг на человека, в том числе метилртути не более 0,2 мг, что эквивалентно 0,005 мг/кг и 0,0033 мг/кг массы тела за неделю.

Медь – один из первых металлов, который человечество начало использовать в чистом виде. Потребление в пищу большого количества солей меди вызывает токсические эффекты у людей и животных. Они, как правило, обратимы. При высоких уровнях содержания ионы меди блокируют SH-группы белков, в особенности ферменты. Суточная потребность взрослого человека в меди – 2-2,5 мг, т.е. 35-40 мкг/кг массы тела, детей – 80 мкг/кг. Однако при нормальном содержании в пище молибдена и цинка – физиологических антагонистов меди, по оценке экспертов ФАО, суточное потребление меди может составлять не более 0,5 мг/кг массы тела (до 30 мг в рационе).

Цинк участвует в ряде важных биологических процессов, особенно ферментативных. Однако избыток цинка оказывает токсическое действие на организм, действуя на желудочно-кишечный тракт (тошнота, рвота, боли в желудке, колики и диарея). Избыточное поступление цинка в организм животных и человека сопровождается падением содержания кальция в крови и костях, а также нарушением усвоения фосфора, что приводит к развитию остеопороза. Дневная норма поступления его в организм – 10-15 мг.

Высокая концентрация *олова* в пище может привести к острому отравлению (тошнота, рвота и т.д.). Токсичная доза олова для человека составляет 5-7 мг/кг массы тела.

По механизму токсического действия и клинической картине отравления *сурьма* аналогична мышьяку: воспаление слизистой оболочки рта, затруд-

няющим приём пищи, слюнотечением, а также увеличением шейных лимфатических узлов, желудочно-кишечными расстройствами, бессонницей, головокружением, общей слабостью. Токсичная доза для взрослых – 100мг/сут, летальная – 500-1000 мг/сут.

Возможное использование почв, загрязненных тяжелыми металлами и примерные мелиоративные мероприятия на них приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Загрязненные почвы и мелиоративные мероприятия на них

Степень загрязнения почв	Характеристика загрязнения почв	Возможное использование	Мелиоративные и организационные мероприятия
Допустимая	Содержание химических веществ в почве превышает фоновое, но меньше ПДК	Под все сельскохозяйственные культуры	Известкование, внесение удобрений
Низкая	Содержание химических веществ в почве больше ПДК при лимитирующем общесанитарном и миграционном водном показателях вредности, но ниже ПДК по транслокационному показателю	Ограничиваются культуры, высокочувствительные к накоплению ТМ. Потребление продукции растениеводства не ограничивается, за исключением использования для производства детского и диетического питания	Известкование, внесение удобрений и сорбентов
Средняя	Содержание химических веществ в почве превышает ПДК при лимитирующем общесанитарном, миграционном водном и миграционном воздушном показателях вредности, но ниже ПДК по транслокационному показателю	Возможно выращивание корнеклубнеплодов, кроме свёклы. Исключается производство столовой зелени (салата, лука, шпината, укропа, петрушки), овощей и ягодных культур. Вводятся ограничения на сбор грибов	Глубокая (30-40 см) вспашка. Известкование, внесение удобрений и сорбентов. Контроль культур на содержание ТМ.
Высокая	Содержание химических веществ в почве превышает ПДК при лимитирующем транслокационном показателе вредности	Под кормовые и технические культуры, устойчивые к ТМ. Ограничиваются для продовольственных целей культуры, слабочувствительные к ТМ.	Удаление верхнего (0-2 см) загрязненного слоя, известкование, внесение удобрений и сорбентов, ведение семеноводства. Контроль культур на содержание ТМ.

Очень высокая	Содержание химических веществ в почве выше ПДК по всем показателям	Изъятие земель из сельскохозяйственного оборота	Консервация земель. Мониторинг токсикантов
---------------	--	---	--

Примечание: удобрения – органические и минеральные. Сорбенты: торф, мхи, глинистые минералы. Известковая мука по ГОСТ 50261-92.

Лимитирующий показатель вредности – это наименьшее из обоснованных уровней содержания веществ, принимаемое за ПДК и отражающее наиболее уязвимый путь воздействия токсиканта.

При загрязнении почвы несколькими элементами оценка опасности загрязнения Z_z производится по формуле:

$$Z_z = \sum K_c - (n-1),$$

где K_c – коэффициент концентрации элемента, определяемый отношением его содержания в загрязненной почве к фоновому;

n – число химических элементов-загрязнителей.

Показатель Z_z не учитывает токсичность (класс опасности) тяжелых металлов, их возможный антагонизм и синергизм в почвенной и растительной среде. Поэтому по величине показателя Z_z можно провести 43 лишь примерную оценку степени загрязнения почвы и состояния здоровья населения (таблица 2)

Таблица 2 – Ориентировочная шкала опасности загрязнения почв

Категория загрязнения почв	Z_z	Показатели здоровья населения в очагах загрязнения	Коэффициент степени загрязнения почв S_z
Допустимая	<2	Низкий уровень заболеваемости детей	0,0
Низкая	2,1-8	Низкий уровень заболеваемости взрослых	0,3
Средняя	8,1-32	Увеличение общего уровня заболеваемости	0,6
Высокая	32,1-64	Увеличение числа болеющих детей с хроническими заболеваниями, нарушение функционирования сердечно-сосудистой системы	1,5
Очень высокая	>64	Увеличение случаев токсикоза беременности, преждевременных родов, мертворождаемости	2,0

Задание: требуется установить категорию загрязнения лугово-бурой почвы тяжелыми металлами и показатели здоровья людей.

Исходные данные: валовое содержание тяжелых металлов в лугово-бурой почве следующее (мг/кг): Cu – 72, Co – 35, Zn – 362, Pb – 192. Фоновое содержание этих металлов в лугово-бурой почве приведено в таблице 3. После произведенного расчета (с использованием формулы 1) установить уровень загрязнения почвы, влияние на здоровье человека, необходимые мелиоративные и организационные мероприятия (с использованием таблиц 1-3).

Таблица 3 – Фоновое содержание валовых форм ТМ в пахотном слое почвы Приморского края, мг/кг

Почвы	Zn	Cu	B	Co	Ni	Pb
Бурые лесные	73	22	63	24	65	22
Буро-подзолистые	63	22	83	26	59	44
Лугово-бурые	74	18	62	16	40	28
Луговые глеевые	53	26	48	14	44	25
Пойменные	66	18	58	20	36	31

Контрольные вопросы:

1. Используя литературные источники, расскажите о распространении, токсичности, формах нахождения в почвах тяжелых металлов.
2. Каковы механизмы поглощения, трансформации и метаболизма тяжелых металлов в органах и тканях растений?
3. Распределение тяжелых металлов в растениях.
4. Перечислите приемы по снижению загрязнения почв тяжелыми металлами.
5. Назовите меры по снижению негативного влияния тяжелых металлов на здоровье человека.

Рекомендуемая литература:

1. Герасименко В.П. Практикум по агроэкологии: учебное пособие / В.П. Герасименко. – СПб.: Изд-во Лань, 2009. – 432с.
2. Баранников В.Д. Экологическая безопасность сельскохозяйственной продукции / В.Д. Баранников. Н.К. Кириллов. – М.: КолосС, 2005. – 352с.

3. Каплин В.Г. Основы экотоксикологии / В.Г. Каплин. – М.: КолосС, 2006. – 232с.

4. Агрэкология / В.А. Черников, Р.М. Алексахин, А.В. Голубев и др.; под ред. В.А. Черникова, А.И. Чекереса. – М.: Колос, 2000. – 536 с: ил. - 1 (Учебники и учебные пособия для студентов вузов).

9.8 Практическая работа 8.

Расчет платы за загрязнение земель химическими веществами

Цель работы: освоить методику расчета платы за загрязнение земель химическими веществами и ущерба от загрязнения земель несанкционированными свалками отходов.

Теоретические сведения: охрана окружающей среды и рациональное использование её ресурсов является одной из актуальнейших проблем современности. Отношение к природной среде является мерой социальных и технических достижений человеческого общества, характеристикой уровня цивилизации. Ни о каких улучшениях жизненного уровня населения невозможно говорить без обеспечения его здоровой благоприятной окружающей средой.

Платежи за загрязнение окружающей среды представляют собой особый вид налогообложения, при котором облагаемой величиной является масса загрязнений, попадающая в окружающую среду, независимо от других результатов хозяйственной деятельности предприятия.

Важным элементом системы экономического механизма природопользования являются платежи за негативное воздействие на окружающую среду. Россия является одной из первых стран в мире, применившей эти платежи на практике. Начиная с 1991 года, платежи за загрязнение введены в качестве обязательного инструмента хозяйственного механизма.

В Российской Федерации плата за негативное воздействие на окружающую среду осуществляется предприятиями на основании Постановления Правительства РФ № 344 от 12.06.2003 г. «О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, размещения отходов производства и потребления», а также Постановления Правительства РФ № 410 от 01.07.2005 г. «О внесении изменений в Приложение к Постановлению Правительства РФ № 344 от 12.06.2003 г.».

Платежи за загрязнение призваны компенсировать экономический ущерб (экстерналии), наносимый предприятиями природной среде в процессе своей деятельности. В соответствии с этим платежи стимулируют предприятия сокращать выбросы вредных веществ, а также являются источником последующего аккумулирования денежных средств, предназначенных для ликвидации негативных экологических последствий производства.

Министерством природных ресурсов Российской Федерации определен расчет ущерба от загрязнения земель химическими веществами по следующей формуле:

$$\Pi = \sum (H_c \cdot S(i) \cdot K_v \cdot K_z(i) \cdot K_r), (1)$$

где Π – размер платы за ущерб от загрязнения земель одним или несколькими химическими веществами (тыс. руб.);

H_c – норматив стоимости сельскохозяйственных земель (тыс. руб./га), определяемый по таблицам. Устанавливается органами исполнительной власти;

K_v – коэффициент пересчета в зависимости от периода времени по восстановлению загрязненных сельскохозяйственных земель (таблица 1);

$S(i)$ – площадь земель загрязненных химическими веществами (га);

$K_z(i)$ – коэффициенты пересчета в зависимости от степени загрязнения земель химическим веществом (таблица 2);

$K_z(i)$ – коэффициент экологической ситуации региона (таблица 3);

K_r – коэффициент пересчета в зависимости от глубины загрязнения (таблица 4).

Таблица 1 – Коэффициенты пересчета в зависимости от периода времени по восстановлению загрязненных сельскохозяйственных земель

Продолжительность периода восстановления	Коэффициент пересчета	Продолжительность периода восстановления	Коэффициент пересчета
1 год	0,9	8-10 лет	5,6

2 года	1,7	11-15 лет	7,0
3 года	2,5	16-20 лет	8,2
4 года	3,2	21-25 лет	8,9
5 лет	3,8	26-30 лет	9,3
6-7 лет	4,6	31 и более лет	10,0

Таблица 2– Коэффициенты пересчета в зависимости от степени загрязнения земель химическим веществом

Уровень загрязнения	Степень загрязнения земель	Кз
1	Допустимая	0
2	Слабая	0,3
3	Средняя	0,6
4	Сильная	1,5
5	Очень сильная	2,0

Таблица 3– Коэффициент экологической ситуации региона

Регион России	Кэ	Регион России	Кэ
Северный	1,4	Поволжский	1,9
Северо-Западный	1,3	Северо-Кавказский	1,9
Центральный	1,6	Уральский	1,7
Волго-Вятский	1,5	Западно-Сибирский	1,2
ЦЧО	2,0	Восточно-Сибирский	1,1
Калининградский	1,2	Дальневосточный	1,1

Таблица 4 – Коэффициент пересчета в зависимости от глубины загрязнения

Глубина загрязнения, см	Кэ	Регион России	Кэ
0-20	1,0	0-150	1,7
0-50	1,3	более 150	2,0
0-100	1,5		

Норматив стоимости земельных угодий можно определить по формуле:

$$H_c = S \cdot Y \cdot M \cdot K / E, (2)$$

где M – созданный в общественном производстве продукт с 1 га в год в денежной единице. Берется стоимость урожая с 1 га, или с площади определенного земельного участка;

S – площадь земельного участка, если речь идет о конкретной земельной площади, га;

У – коэффициент, характеризующий вклад земли как фактора производства в величину выращенного урожая. Данный коэффициент имеет три значения: 0,10; 0,15 и 0,20. Иными словами, вклад земли как фактора производства составляет от 10 до 20 %;

Е – норматив учета фактора времени: 1: число лет использования. Число лет использования должно быть не менее 300;

К – коэффициент качества сельскохозяйственных угодий, рассчитанный на основании отношения средневзвешенного балла качества земельного участка к средневзвешенному баллу почв данного региона или страны. Подобные расчеты делаются студентами при курсовом проектировании по земледелию.

Данная формула расчета стоимости земельных угодий предложена институтом экономических проблем природопользования и предпочтительней региональных нормативов стоимости из-за инфляции.

Показатели уровня загрязнения почвы в зависимости от химических веществ приведены в таблице 6.

Если в таблице нет химических веществ, которые загрязнили почву, то необходимо сделать химический анализ загрязняющего вещества и отнести его значение к значению фонового содержания вещества в различных почвах (таблица 5).

Отношение фактического и фонового содержания дает значение коэффициента Кз. Фон для органических загрязнителей приравнивается к 0,1 ПДК, если их уровень загрязнения неизвестен.

Пример расчета: Пахотный слой поля площадью 300 га загрязнен остаточными количествами хлорсодержащих пестицидов. Превышение ПДК в 3 раза. Почва лугово-черноземовидная. Рассчитать размер платы за загрязнение земель.

Размер платы за ущерб от загрязнения земель определяется по формуле 1.

По таблицам находим значения коэффициентов.

Дано: S= 300 га

$K_v = 3,8$ (продолжительность периода восстановления 5 лет)

$K_z = 1,1$ (Дальневосточный регион)

$K_3 = 0,3$ (уровень загрязнения по таблице 7 – низкий, поэтому степень загрязнения слабая)

$K_r = 1,0$ (глубина загрязнения 20 см)

Таблица 5 – Фоновое содержание валовых форм тяжелых металлов в почвах, мг/кг (норматив Минприроды России)

Почвы	Zn	Cd	Pb	Hg	Cu	Co	Ni	As
Дерновоподзолистые, песчаные и супесчаные	28	0,05	6	0,05	8	3	6	1,5
Дерновоподзолистые, суглинистые и глинистые	45	0,12	15	0,10	15	10	30	2,2
Серые лесные	60	0,20	16	0,15	18	12	35	2,6
Черноземы	68	0,24	20	0,20	25	15	45	5,6
Каштановые	54	0,16	16	0,15	20	12	35	5,2

Норматив стоимости земельных угодий определяем по формуле 2.

$$H_c = S \cdot Y \cdot M \cdot K / E$$

где S = 300 га;

$Y=0,15$ – вклад земли как фактора производства 0,15 %

M – рассчитываем по сое, урожайность которой в в среднем по хозяйствам в 2014 году составила 1,44 т/га, стоимость 1т сои – 18 тыс. руб./т.

$M= 1,44 \text{ т/га} \cdot 18000 \text{ руб./т} = 25920 \text{ руб./га}$

$E= 300$ лет

$K= 72:100= 0,72$ (бонитет лугово-черноземовидных почв), тогда

$$H_c = 300 \cdot 0,15 \cdot 25920 \cdot 0,72 / 300 = 2799,36 \text{ руб.}$$

Зная все величины, вычисляем размер платы за загрязнение почвы:

$$П = 2,799 \text{ тыс.руб./га} \cdot 300 \text{ га} \cdot 3,8 \cdot 0,3 \cdot 1,1 \cdot 1,0 = 1053,98 \text{ тыс. руб.}$$

Задание: пахотный слой поля площадью 420 га загрязнен свинцом. Превышение ПДК в 4 раза. Почва лугово-черноземовидная. Рассчитать размер платы за загрязнение земель.

Таблица 6 – Показатели уровня загрязнения земель химическими веществами

Химический элемент	Содержание химических веществ, соответствующие уровню загрязнения, мг/кг				
	1 уровень допустимый	2 уровень низкий	3 уровень средний	4 уровень высокий	5 уровень очень высокий
Кадмий	до ПДК	от ПДК до 3	3-5	5-20	>20
Свинец	до ПДК	от ПДК до 125	125-250	250-600	>600
Ртуть	до ПДК	от ПДК до 3	3-5	5-10	>10
Мышьяк	до ПДК	от ПДК до 20	20-30	30-50	>50
Цинк	до ПДК	от ПДК до 500	500-1500	1500-3000	>3000
Медь	до ПДК	от ПДК до 200	200-300	300-500	>500
Кобальт	до ПДК	от ПДК до 50	50-150	150-300	>300
Никель	до ПДК	от ПДК до 150	150-300	300-500	>500
Молибден	до ПДК	от ПДК до 40	40-100	100-200	>200
Олово	до ПДК	от ПДК до 20	20-50	50-300	>300
Барий	до ПДК	от ПДК до 200	200-400	400-2000	>2000
Хром	до ПДК	от ПДК до 250	250-500	500-800	>800
Ванадий	до ПДК	от ПДК до 225	225-300	300-350	>350
Фтор	до ПДК	от ПДК до 15	15-25	25-50	>50
Хлорсодержащие пестициды	до ПДК	от ПДК до 5	5-25	25-50	>50
Хлорфенолы	до ПДК	от ПДК до 1	1-5	5-10	>10
Фенолы	до ПДК	от ПДК до 1	1-5	5-10	>10
Полихлорбифенилы	до ПДК	от ПДК до 2	2-5	5-10	>10
Нефтепродукты	до ПДК	от ПДК до 1000	1000-2000	2000-3000	>3000
Бензапирен	до ПДК	от ПДК до 0,1	0,1-0,25	0,25-0,5	>0,5
Сернистые соединения	до ПДК	от ПДК до 180	180-250	250-380	>380

Размеры ущерба от загрязнения земель несанкционированными свалками определяются по формуле:

$$П = Нп \cdot М \cdot Кэ \cdot 25 \cdot Кв \cdot Кинд,$$

где $Нп$ – норматив платы за захламление земель 1т ($м^3$) отходов i -го вида в руб (таблица 7).

$М$ – масса, объем отходов i -го вида (т, $м^3$)

Кэ – коэффициент экологической значимости почв (таблица 3)

Кв – коэффициент пересчета времени по восстановлению земель от загрязнения (таблица 1)

25 – повышающий коэффициент за загрязнение земель отходами не санкционированных свалок;

Кинд – коэффициент индексации, определяется исходя из уровня инфляции, установленного Правительством РФ: 2013 г.–2,20; 2014 г.–2,33; 2015 г.–2,45.

Таблица 7 – Нормативы платы за размещение отходов производства и потребления

Название загрязняющих веществ/отходов	Ставка платы в рублях за 1 тонну загрязняющих веществ/отходов в 2022 году
За размещение отходов производства и потребления по классу их опасности	
Отходы I класса опасности (чрезвычайно опасные)	5433,1
Отходы II класса опасности (высокоопасные)	2328,5
Отходы III класса опасности (умеренно опасные)	1552,6
Отходы IV класса опасности, за исключением твердых коммунальных отходов IV класса опасности (умеренно опасные)	775,9
Отходы IV класса опасности, твердые коммунальные отходы IV класса опасности (умеренно опасные)	111,2
Отходы V класса опасности (практически неопасные), от добывающей промышленности	1,3
Отходы V класса опасности (практически неопасные), от перерабатывающей промышленности	46,9
Отходы V класса опасности (практически неопасные), прочие	20,2

Таблица 8 – Предельно допустимые концентрации химических элементов в почвах, мг/кг

Химические элементы	Величина ПДК
Валовые формы	
Ванадий	150
Марганец	1500
Марганец+ ванадий	1000+10
Мышьяк	2,0
Олово	4,5
Ртуть	2,1
Свинец	32
Сурьма	4,5
Хром (3-х валентный)	90
Сера (сернистые соединения)	160
Сероводород	0,4
Нитраты	130
Подвижные формы	
Свинец	6
Никель	4
Хром	6
Медь	3
Цинк	23
Кобальт	5
Марганец: для черноземов для дерново-подзолистых почв	700
При pH=4,0	300
При pH=5,1-6,0	400
При pH=6,0	500

Задание: определить размер ущерба от загрязнения земель при вывозе бытовых отходов на несанкционированную свалку. Объем отходов 1000 м³. Размер ущерба рассчитывается по формуле:

$$П = N_{п} \cdot M \cdot K_{э} \cdot 25 \cdot K_{в} \cdot K_{инд}$$

$$K_{в} = 5,6 \text{ (продолжительность восстановления 10 лет)}$$

$$K_{инд} = 2,45 \text{ (коэффициент индексации за 2015 год)}$$

По данным Управления Росприроднадзора по УФО за 2019 год в регионе образовалось 41136,648 тыс. тонн отходов, в т.ч. 40407,592 тыс. тонн – V класса опасности (98,2 %) – практически не опасных. Таким образом, основная

масса отходов в Уральском регионе представлена практически неопасными вскрышными и вмещающими породами, золошлаковыми отходами, «хвостами», шламами и прочими малоопасными (IV-V класса опасности) отходами переработки добытых рудных и нерудных полезных ископаемых. Ежегодный объем образования твердых бытовых отходов в УФО составляет свыше 1 млн тонн.

На территориях большинства муниципальных образований УФО утилизация бытовых отходов обеспечивается только вывозом отходов от населения на свалки, не имеющие природоохранных сооружений и зачастую расположенные на земельных участках, не отведенных в соответствии с действующим законодательством под складирование отходов. Инфраструктура по переработке отходов на территории региона практически не развивается. Расходы на реализацию государственной программы «Охрана окружающей среды УФО» в 2019 году составили 180287,70 тыс. рублей, в том числе 45540,18 тыс. рублей – по подпрограмме «Обращение с твердыми бытовыми и промышленными отходами в УФО».

Контрольные вопросы:

1. В чём заключается экономический смысл платности природных ресурсов?
2. Какие эколого-экономические проблемы вызывают отходы?
3. В каком случае при расчете размера платы за размещение отходов используется коэффициент 0,3?
4. Назовите способы снижения уровня загрязнения ОПС.

Рекомендуемая литература:

1. Основы природопользования: экологические, экономические и правовые аспекты: учебное пособие / А.Е. Воробьев, В.В. Дьяченко, О.В. Вильчинская и др. – 2-е изд., доп. и перераб. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 542с.

2. Кожухар В.М. Практикум по экономике природопользования: учебное пособие / В.М. Кожухар. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2005. – 208с.

3. Сельскохозяйственная экология / Н.А. Уразаев, А.А. Вакулин, В.И. Марымов и др. – М.: Колос, 2000. – 368с.

4. Харина С.Г. Сельскохозяйственная экология: учебное пособие / С.Г. Харина. – Благовещенск: Издательство ДальГАУ, 2002. – 101с

9.9 Практическая работа 9

Расчет выбросов загрязняющих веществ от сельскохозяйственного предприятия

Цель работы: освоить методику расчета выбросов загрязняющих веществ от организованных и неорганизованных источников свиноводческого комплекса.

Теоретические сведения

Ферменный биогеоценоз (по Н. А. Уразаеву) – это природотехническая система, состоящая из сельскохозяйственных животных и среды их обитания в форме скотного двора, животноводческой фермы или промышленного комплекса. Жизнедеятельность и продуктивность животных во многом определяется абиотическими факторами ферменного биогеоценоза.

Атмосферный воздух участвует в процессах дыхания животных. Так, за сутки лошадь пропускает через легкие 86 тыс. л воздуха, баран весом 100 кг – 20 тыс. л. Животные выделяют тепло, водяной пар, углекислый газ (CO_2), аммиак (NH_3), сероводород (H_2S), пыль.

В вентилируемом свинарнике концентрация углекислого газа (он бесцветный и не имеет запаха) – 0,6-1,8%; без вентиляции достигает 4%. Концентрация CO_2 , равная примерно 10 %, вызывает удушье, а смерть наступает при 25% и более. Допустимые концентрации CO_2 : 0,15% или 2700 мг/м³ (телята до 60 дней, цыплята, утки); 0,2% или 3600 мг/м³ (свиньи, куры несушки); 0,25% или 4500 мг/м³ (КРС); 0,3% или 5500 мг/м³ (овцы).

В вентилируемом свинарнике концентрация аммиака (бесцветного газа с едким запахом) обычно составляет $3,5 \cdot 10^{-3}$ %, без вентиляции – до $1,76 \cdot 10^{-2}$ %. Концентрация аммиака 0,5% вызывает у свиней удушье. Допустимые концентрации NH_3 (мг/м³): 10 (куры, утки, кролики); 15 (телята до 60 дней, свиноматки с поросятами); 20 (КРС, свиньи); 30 (овцы).

Сероводород – токсичный газ. В вентилируемых помещениях концентрация сероводорода (он имеет запах тухлых яиц) составляет 10^{-6} %. Без вентиляции, в течение 6 часов, может возрасти до $28 \cdot 10^{-6}$ %. При концентрации

0,08-0,1% у человека наступает потеря сознания. Постоянное пребывание животных в помещении с концентрацией сероводорода до 0,002 % вызывает, например, у свиней боязнь света, потерю аппетита, нервозность, а свыше 0,002 % – рвоту и понос. Допустимые концентрации H_2S (mg/m^3): не более 5 (телята до 20 дней); 5 (птица); 10 (КРС и свиньи); до 20 (овцы).

Допустимая концентрация пыли 1 мг/л или 180 пылинок в 1 cm^3 воздуха. Накопление вредных веществ сверх допустимого предела отрицательно сказывается на состоянии животных, их аппетите и продуктивности.

Токсичность газов для животных можно представить в виде ряда: $HCN > H_2S > Cl_2 > SO_2 > NH_3$. В животноводческом помещении на одно животное должно приходиться воздуха: корова – 20-25 m^3 ; молодняк КРС – 15-20 m^3 ; свиноматка – 20-25 m^3 ; откормочная свинья – 10-15 m^3 ; овца – 5-8 m^3 .

Нормами технологического проектирования предусмотрены оптимальные параметры микроклимата (таблица 1).

От животноводческих ферм неприятные запахи и микроорганизмы могут распространяться на большие расстояния. Неприятные запахи особенно ощутимы в случае анаэробного сбраживания навоза, при котором образуются сероводород, аммиак, жирные кислоты, амины и меркаптаны.

Газообразные продукты разложения бесподстилочного навоза способны проникать в высокие слои атмосферы вследствие турбулентного перемешивания воздуха. В атмосферном воздухе под воздействием различных факторов у микроорганизмов могут изменяться видовые признаки и свойства (морфологические, биохимические, серологические), в результате возникают атипичные формы микробов, которые вызывают латентные, трудно распознаваемые инфекции. Поэтому в зоне промышленного животноводства должны быть предусмотрены мероприятия по предотвращению загрязнения окружающей среды. Прежде всего, это обеспечение безопасности навоза в эпидемиологическом и эпизоотологическом отношении, уменьшение возможности загрязнения воздуха и распространения загрязняющих веществ аэрогенным путем.

Таблица 1 – Параметры микроклимата в животноводческих помещениях

Тип помещения, вид и возраст животного (сутки)	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Световой коэффициент (отношение площади окон к площади пола)
Коровники для привязного содержания	8-10	70	1/10-1/15
Коровники для беспривязного содержания	6-8	80-85	1/12-1/15
Родильное отделение и телятник-профилакторий Телята:	18-20		
1-20	16-20	70	1/10
20-60	15-17		
60-120	12-15		
Телятники	10-12	70	1/10-1/15
Свинарники для маток	10-12	70-75	1/10
Свинарники для поросят:	16-18		
1-26	24-30		
30	23	70-75	1/15
45	22		
60	21		
Овчарни	3-5	75-80	1/20
Ягнята 1-10	10-17		
Крольчата 1-20	14-16	-	-
Птичники для клеточного содержания кур	16-18		
Цыплята:		70-75	1/10
1-5	33-35		
6-12	28-33		
13-21	25-28		
Индюшата:			
1-5	35-37		
6-12	32-35	70-75	1/10
13-21	29-32		
Гусята 1-20	28-32		
Утята:			
1- 10	24-28		
11- 21	20		
Конюшни	6-8	70-75	1/10-1/15

Основными загрязняющими веществами являются: микроорганизмы, аммиак, меркаптаны, сероводород, пыль меховая (шерстяная, пуховая). Специфика предприятий по выращиванию, откорму и содержанию животных определяется:

а) преобладающим влиянием неорганизованных выбросов (пруды-отстойники, навозохранилища, очистные сооружения) – до 99,5% от общего объема выбросов;

б) нерегулярным характером процессов выделения и образования загрязняющих веществ, определяющих выбросы, как от самих животных, так и от продуктов их жизнедеятельности, связанной с деятельностью микроорганизмов – деструкторов, которая зависит от абиотических и биотических факторов.

Общие выбросы i -го загрязняющего вещества $M_{жi}$ (т/год) складываются из организованных M_{oi} (т/год) и неорганизованных $M_{ни}$ (т/год) выбросов (Методика расчета выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферу, 1997):

$$M_{жi} = M_{oi} + M_{ни} \quad (1)$$

Организованные выбросы загрязняющих веществ рассчитываются отдельно для теплого (выше $+5^{\circ}\text{C}$), переходного (от $+5^{\circ}\text{C}$ до -5°C) и холодного (ниже -5°C) периодов года по формуле:

$$M_{oi} = k \cdot m_{oi} \cdot n_{ж} \cdot g, \quad (2)$$

где $k = 31,5$ – коэффициент размерности;

m_{oi} – удельные выбросы i -го загрязняющего вещества для животных определенного вида, участвующих в одном технологическом процессе; устанавливаются с учетом времени года, численности животных и периодичности удаления навоза из помещения фермы;

$n_{ж}$ – количество животных одного технологического процесса, голов;

g – средняя масса одного животного (ц).

Неорганизованные выбросы загрязняющих веществ рассчитываются для свиноводческого комплекса отдельно для каждого периода года по формуле:

$$M_{Hi} = 0,0864 \cdot T_n \cdot m_{Hi} \cdot p_{ж} \text{ г}, (3)$$

где T_n – количество суток в расчетном периоде года (теплом, переходном, холодном);

m_{Hi} – удельные выбросы i -го загрязняющего вещества для неорганизованных выбросов свиноводческого комплекса;

$p_{ж}$ - количество животных, содержащихся в свиноводческом комплексе;

g – средняя масса животного (ц).

Расчет выбросов загрязняющих веществ от свиноводческих комплексов. Для свиноводческих комплексов выбросы загрязняющих веществ определяются для организованных и неорганизованных источников. От организованных источников выброс i -го загрязняющего вещества устанавливается по формуле (2) с использованием данных, приведенных в таблице 3.

От неорганизованных источников выброс i -го загрязняющего вещества находится по формуле (3) с использованием данных таблицы.2

Пример: требуется рассчитать организованные и неорганизованные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от откормочного отделения свиноводческого комплекса.

Таблица 2 - Удельные выбросы загрязняющих веществ (*0,000001 г/ц*1ц живой массы, кроме микроорганизмов) для свиноводческих комплексов с поголовьем: А) 12; Б) 24 и В) 36 тыс. свиней в год при ежедневном удалении навоза.

Загрязняющее вещество	Период	Супоросные матки (маточник); голов/общий вес, ц			Подсосные матки с поросятами; голов/общий вес, ц			Ремонтный молодняк; голов/общий вес, ц			Дорашивание отъемышей; голов/общий вес, ц			Откорм; голов/общий вес, ц			Логово с пунктом искусств. осеменения; голов/общий вес, ц		
		А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В
		390	780	1170	100	200	300	230	460	690	2800	5600	8400	4000	8000	12000	280	560	840
		780	1560	2340	210	420	630	9	18	28	602	1204	1806	3067	6133	9200	560	1120	1680
Микроорган. (клеток/с на 1ц.жив. массы)	Т	160	170	180	155	165	175	160	165	162	100	110	120	175	190	195	205	215	225
	П	120	140	150	110	125	135	105	135	119	80	90	100	140	155	160	170	180	190
	Х	150	155	170	140	145	150	140	160	146	120	125	135	155	175	180	185	200	210
Аммиак	Т	74	77	74	-	-	50	-	-	37	50	51	52	39	41	43	65	65	67
	П	80	83	80	-	-	54	-	-	40	54	55	56	42	44	46	70	70	72
	Х	86	89	86	-	-	58	-	-	43	58	59	60	45	47	49	75	75	77
Меркаптаны по метилмеркаптану	Т	14	13	13	-	-	7,5	-	-	4,7	12	13	14	4,7	4,7	6,7	5,6	7,5	6,6
	П	15	14	14	-	-	8	-	-	5	13	14	15	5	5	7	6	8	7
	Х	16	15	15	-	-	8,5	-	-	5,3	14	15	16	5,3	5,3	7,4	6,4	8,5	7,4
Сероводород	Т	14	11	10	-	-	6,2	-	-	2,3	9	10	11	4,1	4,2	4,3	4,5	4,6	4,7
	П	15	12	11	-	-	6,6	-	-	2,4	10	11	12	4,4	4,5	4,6	4,8	4,9	5
	Х	16	13	12	-	-	7	-	-	2,5	11	12	13	4,7	4,8	4,9	5,1	5,2	5,3
Пыль меховая (шерстяная, пуховая)	Т										46	56	70	40	46	55	55	65	75
	П	190	195	195			110	135	140	145	40	42	56	30	38	50	50	55	60
	Х										45	35	49	45	44	45	50	45	50

Таблица 3 - Удельные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу (*0,000001г/с*1 ц живой массы, кроме микроорганизмов) для различных этапов хранения и биологической очистки свиного навоза с поголовьем А) 12, Б) 24, В) 36, и Г) 54 тыс. свиней в год при ежедневном поступлении навоза

Загрязняющее вещество	Период	Навозоако-питель			Пруд-осветлитель			Цех разделения навоза на фракции	Первичные отстойники жидкой фракции	Сооружения биочистки 1,11 и 111 ступени (в сумме)	Минерализаторы избыточного ила и осадка	Площадка компостирования твёрдой фракции навозных стоков	Другие источники выбросов загрязняющих веществ	Всего по комплексу неорганизованных выбросов загрязняющих веществ на 1 ц живой массы			
		А	Б	В	А	Б	В							Г	Г	Г	Г
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Микроорганизмы (клеток/с на 1 ц живой массы)	Т	300	1600	4100	-	5400	2400	27	5	247	41	120	10000	6750	7000	6500	10440
	П							14	4	146	24	76	6000				6264
	Х							1	2,6	44	6,3	32	1954				2040
Аммиак	Т	1700	840	860	-	2240	1190	0,4	3,7	139,9	54	15	5757	2565	3080	2050	5970
	П							0,2	1,8	72	27	10	3000				3111
	Х							0,1	0,1	3,8	0,3	5,7	270				280
Сероводород	Т	500	370	440	-	640	580	0,5	6,2	107	84	17,3	1870	1060	1100	1020	2085
	П							0,3	3,5	57	43	11,2	1000				1115
	Х							0,1	0,7	7	1,5	5,7	130				
Меркаптаны (по метилмеркаптану)	Т	1020	690	430	-	1720	1100							1970	2410	1530	
	П																
	Х																

Исходные данные: в свиноводческом комплексе с поголовьем 12 000 свиней в год на «откорме» содержится 4000 свиней общим весом 3067 ц (средний вес одной свиньи 76 кг 675 г). Удаление навоза из откормочного отделения производится ежедневно. Продолжительность периодов года: теплого – 150 дней; холодного – 120 дней; переходного – 95 дней.

По полученным расчетным данным сделать *вывод о воздействии свиноводческого комплекса* на атмосферу по микробному и общему загрязнению.

Контрольные вопросы:

1. Дать определение ферменного биогеоценоза.
2. Перечислите вредные вещества, присутствующие на территории животноводческого комплекса.
3. Какое влияние эти загрязняющие вещества оказывают на сельскохозяйственных животных и человека?
4. Что значит организованные и неорганизованные источники выбросов?

Рекомендуемая литература:

1. Герасименко В.П. Практикум по агроэкологии: учебное пособие / В.П. Герасименко. – СПб.: Изд-во Лань, 2009. – 432с

9.10 Практическая работа 10

Агроэкологическая роль биологического азота

Цель работы: закрепление и углубление знаний по вопросам биологического земледелия, полученных в лекционном курсе и вследствие самостоятельной работы над учебной литературой, а также приобретение практических навыков конструирования севооборотов, обеспечивающих наибольшую биологическую азотфиксацию.

Теоретические сведения

Биологизация земледелия – одно из приоритетных направлений развития сельскохозяйственного производства, где биологическому азоту отводится особая роль.

Интерес к биологической азотфиксации связан с возможностью сокращения объемов применения минерального азота в технологиях выращивания полевых культур при одновременном снижении энергетических затрат на производство растениеводческой продукции.

Азот, фиксируемый микроорганизмами, называется биологическим, а микроорганизмы, связывающие молекулярный азот, – азотфиксаторами или диазотрофами. К азотфиксаторам относят клубеньковые бактерии рода *Rhizobium*, которые по специфичности в отношении бобового растения-хозяина разделены на следующие виды: *Rh. leguminosarum* – вирулентные для гороха, чины, чечевицы, кормовых бобов, вики; *Rh. Phaseoli* – для фасоли; *Rh. japonicum* – для сои; *Rh. lupini* – для люпина; *Rh. meliloti* – для люцерны, донника, тригонеллы; *Rh. simplex* – для эспарцета. Одна и та же раса может иметь активные, малоактивные и неактивные штаммы клубеньковых бактерий.

Активные клубеньковые бактерии интенсивнее фиксируют азот воздуха и больше накапливают его в растении, формируют более крупные клубеньки на главном и скелетных корнях, отличаются наличием розового пятнышка внутри, обусловленного наличием пигмента леггемоглобина, близкого по со-

ставу к гемоглобину. Неактивные клубеньки – мелкие, но многочисленны, располагаются на тонких корешках, белые, не содержат леггемоглобина и фиксируют мало азота воздуха.

Установлены четыре пути поступления биологического азота в почву за счет фиксации его из атмосферы (Базилинская М. В., 1989):

1) симбиотическими микроорганизмами (известно примерно 200 растений-симбионтов);

2) свободноживущими почвенными микроорганизмами (бактерии рода *Azotobacter*, *Pseudomonas*, *Clostridium* и др.);

3) ризосферными (ассоциативными) бактериями (семейств *Spirillaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Bacillaceae* и др.), обитающими на поверхности корней растений и в прилегающей к корням почве;

4) папоротником азоллой в симбиозе с водорослью анабеной.

Симбиотические азотфиксаторы (клубеньковые бактерии) живут в тканях растений, стимулируя образование особых разрастаний на корнях или листьях в форме клубеньков или узелков, в которых осуществляется фиксация азота атмосферы. Эти разрастания называются бактериоидами и фактически являются азотфиксирующими органеллами клеток бобового растения – хозяина. Симбиотическая азотфиксация, протекающая при участии клубеньковых бактерий, дает 60-300 кг/га азота.

Годовое количество азота, продуцируемое свободноживущими азотфиксирующими микроорганизмами, составляет (кг/га): 38-192 (дерново-подзолистые почвы); 48-216 (серые лесные); 90-312 (черноземы и черноземнолуговые); 135-330 (каштановые); 215-516 (сероземы) и 69-540 (солончаки и солонцы). Ассоциативная азотфиксация осуществляется микроорганизмами, живущими в ассоциации с растениями и в большей степени зависят от легкодоступного органического вещества и энергии. Вклад несимбиотической азотфиксации в общий баланс почвенного азота в среднем составляет 15 кг/га.

Суммарная годовая продукция азотфиксации в наземных экосистемах составляет 175-190 млн. т, из которых 90-110 млн. т приходится на почвы агроэкосистем. При этом доля биологического азота в урожае достигает 60- 90%.

Наибольшей потенциальной способностью азотфиксации обладает люцерна. В южных районах России при орошении она фиксирует на 1 га свыше 500 кг азота атмосферы при урожайности сена 30 т/га; в Нечерноземной зоне, при благоприятных условиях и урожаях 10-14 т/га, люцерна фиксирует 220-290 кг/га азота, а при средних урожаях сена (4-5 т/га) – 80-110 кг/га азота.

Второе место по потенциальной фиксирующей способности занимает клевер луговой: при благоприятных условиях его возделывания при сборе 12,9 т сена с 1 га клевер фиксирует 250 кг азота из воздуха, в менее благоприятных условиях при урожайности 5-6 т/га сена – 70-90 кг/га, а при урожайности 2,5-3 т/га только 30-40 кг/га. Клеверу луговому близки по азотфиксирующей способности клевер ползучий, козлятник восточный, лядвенец рогатый и люпин многолетний. При урожайности зеленой массы 48-80 т/га они фиксируют до 200-400 кг/га азота, а при урожайности 10-15 т/га - всего 30-35 кг/га.

Зернобобовые культуры усваивают меньше азота атмосферы, чем многолетние бобовые травы, поскольку у них интенсивная фиксация продолжается в течение 1,5-2 месяцев, а у многолетних трав – 3-4 месяца (Вавилов П. П. и др., 1983).

Среди однолетних культур наибольшей азотфиксирующей способностью обладает люпин белый, соя, кормовые бобы.

Горох при урожайности 1,5-1,7 т/га усваивает 50-60 кг/га азота, при 3,5 т/га – 140, а при 5 т/га – до 180 кг/га. Люпин желтый фиксирует примерно 80 кг/га азота, люпин синий около 110 кг/га.

Эффективность азотфиксации зависит от экологических условий агроценоза: содержания в почве органического вещества, обеспеченности растений элементами питания, влажности, температуры, реакции среды, присутствию в почве спонтанных активных штаммов клубеньковых бактерий либо инокуляции растений вирулентным штаммом специфичных рас клубеньковых

бактерий. Оптимальными для азотфиксации являются: рН почвенного раствора 6,5-7,5; малое содержание в почве минерального азота, температура воздуха в пределах 20-25°C.

Несмотря на повсеместное присутствие азотфиксирующих микроорганизмов в почве, искусственное заражение растений селективными штаммами гораздо эффективнее, чем местными. Поэтому в сельскохозяйственной практике применяется прием инокуляции бобовых и небобовых культур. По мнению ученых, эффективность инокуляции очевидна, она позволяет повысить продуктивность посевов во всех регионах Российской Федерации.

Наибольшая азотфиксация отмечается на черноземах выщелоченных с рН 6-6,5, типичных (рН 6,2-6,8), обыкновенных (рН 6,5-6,8), оподзоленных (рН 6-6,5), темно-серых лесных почвах (рН 6-6,5). Снижение азотфиксации наблюдается на светло-серых (рН 5-5,5), серых лесных (рН 5,5-6) почвах, выщелоченном (рН 5,5-6), оподзоленном (рН 5,5-6) и южном (рН 7) и черноземах. Кроме того, на серых лесных почвах наблюдается средняя обеспеченность калием, что обуславливает более низкую азотфиксацию по сравнению с черноземами, в которых обеспеченность калием высокая.

Считается, что вклад биологического азота в азот урожая составляет 20%, а его доля в закрепленный почвой азот – 40%. При фиксации растениями атмосферного азота исключается загрязнение почв, водоемов и атмосферы, которое имеет место при внесении химического азота. Биологическая азотфиксация позволяет снизить нормы азотных удобрений, уменьшить опасность загрязнения почвы и растений избыточным количеством нитратов, то есть снизить антропогенную нагрузку на агроэкосистему.

Изучение механизмов азотфиксации и взаимодействия микроорганизмов и растений показало необходимость разработки и использования генной инженерии для создания биопрепаратов, улучшающих фиксацию атмосферного азота. Использование, например, ризоторфина под бобовые растения позволяет уменьшить объемы применения азотных туков и увеличить урожайность бобовых на 10-30%, а также повысить сбор белка на 0,2-0,5 т/га.

Для успешного возделывания сельскохозяйственных культур в новых осваиваемых районах необходимо использовать биологические препараты, содержащие штаммы специфичных для данной культуры бактерий.

В настоящее время создан ряд биопрепаратов для использования под бобовые культуры: агрофил *Agrobacterium radiobacter*, применяется при возделывании овощных культур; группа биопрепаратов комплексного действия «Экстрасол», способствует лучшему использованию элементов минерального питания растений, снижает поражение растений фитопатогенами и пр.

Задание. Требуется установить, какой из севооборотов (четырёх-, пяти- или семипольный) обеспечивает наибольшую биологическую азотфиксацию?

Исходные данные. Величины симбиотической фиксации атмосферного азота на черноземных почвах составляют: вика яровая – 90 кг/га в год, горох – 72 кг/га, люцерна – 280 кг/га, эспарцет – 140 кг/га. При этом в почве остается в среднем под зернобобовыми 15 кг/га, а под многолетними травами 90 кг/га азота.

Определите:

1. Какие эквивалентные нормы азотных минеральных удобрений (кг/га) обеспечивает биологическая азотфиксация под зернобобовыми культурами и многолетними травами, если 1 кг/га накапливаемого в почве азота соответствует 2,3 кг/га и 1,8 кг/га азотных удобрений?

2. Сколько процентов может восполнить биологическая азотфиксация в четырехпольном севообороте: 1-2 – люцерна; 3 – озимая рожь; 4 – овес + вика, при ежегодном внесении 70 кг азотных удобрений на 1 га севооборотной площади?

3. Сколько процентов может восполнить биологическая азотфиксация в пятипольном севообороте: 1-3 – эспарцет; 4 – озимая рожь; 5 – овес + вика, при ежегодном внесении 70 кг азотных удобрений на 1 га площади севооборота?

4. Сколько процентов может восполнить биологическая азотфиксация в семипольном севообороте: 1 – эспарцет; 2 – озимые; 3 – сахарная свекла; 4 –

горох; 5 – озимые; 6 – сахарная свекла; 7 – просо, при ежегодном внесении 70 кг азотных удобрений на 1 га площади севооборота?

Контрольные вопросы:

1. Перечислите бактерии-азотфиксаторы.
2. Пути поступления биологического азота в почву
3. Какие сельскохозяйственные культуры обладают наибольшей азот-фиксирующей способностью?
4. От каких факторов зависит эффективность азотфиксации?
5. Используя литературные источники, расскажите о современных био-препаратах, улучшающих фиксацию атмосферного азота.

Рекомендуемая литература:

1. Герасименко В.П. Практикум по агроэкологии: учебное пособие / В.П. Герасименко. – СПб.: Изд-во Лань, 2009. – 432с.
2. Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия /В.И. Кирюшин. – М.: Колос, 1996. – 367с.

9.11 Практическая работа 11

Оценка безотходности производства продукции

Цель работы: ознакомиться с методикой расчета показателя полноты использования материально-сырьевых ресурсов, коэффициента экологичности производства и интегрального коэффициента безотходности производственного процесса (на примере производства муки).

Теоретические сведения

Современное сельскохозяйственное производство характеризуется все увеличивающимся воздействием человека на окружающую среду. В связи с высокой техногенной нагрузкой на территории вопросы внедрения экологически безопасных, малоотходных и безотходных технологий весьма актуальны.

Безотходная технология – это такой метод производства продукции, при котором все сырье и энергия используются наиболее рационально и комплексно в цикле сырьевые ресурсы – производство – потребление – вторичные материальные ресурсы и любые воздействия на окружающую среду не нарушают ее нормального функционирования. Создание безотходного производства – сложный и длительный процесс. Поэтому промежуточный его этап – малоотходное производство, при котором вредное воздействие на окружающую среду не превышает уровня, допустимого санитарно-гигиеническими нормами.

В нашей стране разработан ряд малоотходных и безотходных технологий производства продукции. Например, *фермерское хозяйство с замкнутым циклом экологически безопасного производства* (Клинский центр экологических технологий). Деятельность фермерского хозяйства – производство многоцелевой сельскохозяйственной культуры – топинамбура и переработка его на пищевые продукты, в частности, на фруктозный сироп. Для утилизации отходов и побочной продукции топинамбура предусмотрены дополнительные производства: свиноферма на 300 животных для скармливания жомы, получаемого в производстве фруктозного сиропа, производство биогумуса с помощью вермикультуры (500 т в год) на основе переработки свиного навоза, а также биокорма (1000 т в год) на основе переработки зеленой массы топинамбура с помощью гриба вешенки. Кормовая ценность биокорма эквивалентна кормовой ценности фуражного зерна.

Другой пример, *замкнутая гидропонная система для совместного выращивания карпа, томатов и огурцов* (МСХА им. К.А. Тимирязева). Рыба потребляет корм из автокормушки, а растения очищают циркулирующую воду, проходящую через их корневую систему. При этом уровень авторегуляции загрязнения и очистки воды настолько совершенен, что в воде обнаруживаются только следы нитратов. Для утилизации продуктов выделения рыбы массой 1 кг необходимо выращивать 19 кг растительной массы.

В настоящее время нет типовой методики, по которой можно было бы оценивать с учетом всех отходов экологическое совершенство технологии. Вместе с тем в ряде отраслей народного хозяйства такие оценки проводятся по конкретным видам производства. Для того чтобы понять научно-практические подходы к решению этой проблемы, приведем некоторые критерии экологичности технологических процессов.

Уровень безотходности производства продукции может определяться (Комаров В. И., Мануйлова Т. А., 1997):

- показателем полноты использования материально-сырьевых ресурсов ($K_{пр}$), характеризующим степень замкнутости технологического процесса по отношению к окружающей среде;

- показателем экологичности ($K_{эп}$), характеризующим интенсивность воздействия производственного процесса на окружающую среду. Показатель $K_{пр}$ рассчитывается по формуле:

Показатель $K_{пр}$ рассчитывается по формуле:

$$K_{пр} = \frac{\sum Q_i (V_n - V_0)}{\sum V_n \cdot Q_i}, (1)$$

где Q_i – фактический расход ресурсов (сырья, материалов, энергии, топлива) на единицу произведенной продукции или переработанного сырья в т или м³;

V_n – объем производства продукции или переработки сырья в т или м³;

V_0 – объем неиспользованных отходов в т или м³.

Коэффициент экологичности находится по формуле:

$$K_{эп} = 1 - \frac{\sum V_0 \cdot I_{oi}}{\sum Q_i \cdot V_u}, (2)$$

где I_{oi} – показатель относительной опасности отходов i -го вида;

V_u – объем использованных отходов i -го вида в т или м³.

Интегральный коэффициент безотходности производственного процесса $K_{бп}$ рассчитывается по выражению:

$$K_{бп} = K_{пр} \cdot K_{эп} \quad (3)$$

при $K_{бп} = 0,9-1$ – производство условно безотходное ($0 < C_{зв} < ПДК$), где $C_{зв}$ – концентрация загрязняющих веществ в мг/кг.

если $K_{бп} = 0,7-0,9$, то производство малоотходное ($C_{зв} = ПДК$ или $C_{зв} = V_p ПДК$), здесь V_p – временное.

$K_{бп} < 0,7$ – стандартные технологии производства ($C_{зв} > ПДК$).

Задание: используя формулы 1-3, установить степень безотходности технологического процесса переработки зерна пшеницы.

Исходные данные. Мукомольный комбинат. Объем размола зерна пшеницы на вальцевых станках $Q_i = 92\ 100$ т/год; выход крупы № 1 и 2 – 7368 т/год, крупы № 3 и 4 – 39 603 т/год, крупы «Артек» — 11 052 т/год; мучки кормовой – 27 630 т/год; отходы I и II категории – 4881,3 т/год; отходы III категории и механические потери – 644,7 т/год. Усушка – 921 т/год. Итого крупы $V_n = 58\ 023$ т/год, объем использованных отходов $V_{II} = 32\ 511,3$ т/год; объем неиспользованных отходов $V_0 = 1565,7$ т/год. Концентрация мучной пыли в воздухе максимально разовая $C_{мп} = 0,4$ мг/м³ (ПДК = 0,5 мг/м³).

Сделайте вывод о степени безотходности технологического процесса.

Контрольные вопросы:

1. Дать понятие безотходной технологии
2. Используя литературные источники, ресурсы Интернет привести примеры малоотходных и безотходных технологий в аграрной сфере.
3. Приведите критерии экологичности технологических процессов.

Рекомендуемая литература:

1. Герасименко В.П. Практикум по агроэкологии: учебное пособие / В.П. Герасименко. – СПб.: Изд-во Лань, 2009. – 432с.
2. Баранников В.Д. Экологическая безопасность сельскохозяйственной продукции / В.Д. Баранников, Н.К. Кириллов. – М.: КолосС, 2005. – 352с.

Словарь терминов

Автоморфные почвы – Почвы автономных ландшафтов, существующие в условиях хорошей аэрации. Это почвы атмосферного увлажнения на хорошо дренированных формах рельефа, глубина грунтовых вод – более 6 м.

Агроландшафт – Техногенная ландшафтно-геохимическая система, основу которой составляют земледельческие площади и искусственно созданные биотические сообщества. Агроландшафты представляют особый отряд техногенных ландшафтов, важнейшей геохимической характеристикой которого, как и в большинстве природных ландшафтов, служит биологический круговорот атомов, отличающийся от исходных биогенных ландшафтов: запасы и структура фитомассы полностью трансформируются, сильно трансформируется круговорот азота и других биогенных элементов. Главное назначение агроландшафта – производить максимум сельскохозяйственной продукции – вступает в противоречие с загрязнением среды, возникающим в результате химизации и других видов агротехногенеза. Так, основным источником поступления тяжёлых металлов в агроландшафты являются нестандартизованные удобрения, отличающиеся высоким уровнем содержания комплекса металлов. ТМ включаются в местные миграционные циклы и частично выносятся за пределы агроландшафтов. Данные указывают на селективную концентрацию в растениях приоритетных токсикантов (Hg, Cd, Pb). В то же время растения обладают защитным механизмом против высоких концентраций ТМ. Поэтому при экологических оценках агроландшафтов необходимо учитывать видовую биогеохимическую специализацию сельскохозяйственных культур.

Агротехнические методы рекультивации загрязнённых почв – Мероприятия, включающие внесение минеральных удобрений, что ведёт к обеспечению оптимального состояния растений и снижению токсического действия на них загрязняющих веществ. Необходимо выбирать устойчивые к за-

грязнению металлами сельскохозяйственные культуры, у которых в пищу используются плоды, так как в репродуктивных органах растений концентрация загрязняющих веществ повышается позже, чем в вегетативных.

Активный ил – масса микроорганизмов, образующихся при аэрировании сточных вод. Он состоит из бактерий, простейших, иногда микроскопических грибов или водорослей, способных эффективно сорбировать, окислять и разрушать органические вещества сточных вод до более простых соединений, используемых клетками для интенсивного размножения.

Антропогенная нагрузка – степень антропогенно-техногенного воздействия на отдельные компоненты природной среды или в целом на ландшафт.

Антропогенная растительность – растительные сообщества (фитоценозы), возникшие под влиянием деятельности человека.

Антропогенная эрозия – разрушение горных пород и почвы поверхностными водами и ветром в связи с неправильным ведением хозяйства (неправильная обработка полей приводит к мощным пыльным бурям и т.д.).

Антропогенное воздействие на природу – прямое и опосредованное (косвенное) влияние хозяйственной деятельности человека на окружающую среду.

Антропогенные факторы – факторы, включающие различные формы воздействия человека на отдельные компоненты и природные комплексы. А.ф. могут быть прямыми (истребление, акклиматизация, охрана) и косвенными (вырубка леса, вспашка земель, осушение болот и др.).

Антропогенный рельеф – рельеф земной поверхности, измененный или созданный человеческой деятельностью. Различают стихийно возникший и сознательно созданный А.р. Первый образуется в результате неправильного ведения сельского и лесного хозяйства, горных вырубок, строительства, прокладки дорог и др. Сознательное преобразование рельефа производится при мелиорации (террасирование и обвалование, постройка дренажной и оросительной сети), строительстве (насыпи, выемки, каналы) и др.

Бактериальные удобрения – культура микроорганизмов (бактерий и др.), переводящих органические и трудноусвояемые минеральные вещества в легкоусвояемую растениями форму; искусственное внесение бактерий и др. микроорганизмов повышает плодородие почвы.

Биогенная миграция химических элементов – Определяется двумя противоположными, но взаимосвязанными процессами: 1) образованием живого вещества из элементов окружающей среды; 2) разложением органических веществ. В совокупности эти процессы образуют единый биологический круговорот атомов. Выделяют следующие стадии биогенной миграции: 1) разложение горных пород под влиянием биогенных факторов с образованием растворимых соединений; 2) извлечение из воздуха и водных растворов биогенных элементов и накопление их в организме; 3) накопление, разложение и минерализация отмерших органических остатков. В результате многократного повторения биогенных циклов накопление элементов в верхних горизонтах почв может быть весьма существенным.

Биологическое загрязнение – проникновение в экосистемы или технологические устройства чуждых для них животных и растений. При загрязнении микроорганизмов говорят о бактериологическом загрязнении.

Горные выработки – полости в земной коре, искусственно образовавшиеся при проведении горных разработок в толще полезного ископаемого или пустых пород. Делятся на открытые, проводимые непосредственно на земной поверхности (расчистки, канавы, шурфы и др.), и закрытые, проводимые под поверхностью Земли (штольни, штреки и др.).

Мелиорация (от лат. *melioratio* – улучшение, совершенствование) **ландшафтов** – система мероприятий, направленных на улучшение условий выполнения ландшафтом социально–экономических функций. Различают следующие виды М.: орошение, обводнение, осушение почв, борьба с эрозией, оползнями, укрепление сыпучих песков и т.д.

Мониторинг (англ. *monitoring*, от лат. *monitor* – напоминающий, надзирающий) – постоянное длительное наблюдение, оценка и прогноз состояния

природной окружающей среды в связи с хозяйственной деятельностью человека. Различают три вида М.: локальный биоэкологический, или санитарно-гигиенический, региональный геосистемный, или природно-хозяйственный, и глобальный биосферный.

Нарушенные земли – территории, утратившие свою хозяйственную ценность или являющиеся источником негативного воздействия на окружающую среду в связи с изменением рельефа, почвенного покрова, гидрологического режима в результате антропогенной деятельности, а также те территории, которые могут перейти в категорию нарушенных, в результате современного использования, если не проводить мелиорацию.

Радиоактивное загрязнение – форма естественного или искусственного загрязнения, выраженного в превышении естественного радиационного фона и уровня содержания в среде радиационных элементов и веществ.

Радиоактивные отходы – радиоактивные продукты, образовавшиеся в процессе производства или использования ядерного топлива, или любой материал, ставший радиоактивным под действием облучения в результате производства или использования ядерного топлива.

Размещение отходов – складирование отходов на поверхности земли, захоронение их на установленной глубине от поверхности земли.

Регулирование ландшафтов – мероприятия по поддержанию функционирования ландшафтов в заданном человеком или природой режиме.

Самоочищение среды – естественное разрушение или нейтрализация загрязняющих веществ окружающей среды в результате физических, химических и биологических процессов.

Химизация сельского хозяйства – комплекс мероприятий по увеличению урожая растений путем применения химических удобрений, повышения продуктивности животноводства с помощью химических добавок к кормам, а также защиты полезных организмов от вредителей и болезней с помощью пестицидов.

Список литературы

1. Баранников В.Д. Экологическая безопасность сельскохозяйственной продукции / В.Д. Баранников, Н.К. Кириллов. – М.: КолосС, 2005. – 352с.
2. Воробьев А.Е. Основы природопользования: экологические, экономические и правовые аспекты: учебное пособие / А.Е. Воробьев, В.В. Дьяченко, О.В. Вильчинская и др. – 2-е изд., доп. и перераб.– Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 542с.
3. Герасименко В.П. Практикум по агроэкологии: учебное пособие / В.П. Герасименко. – СПб.: Изд-во Лань, 2009. – 432с.
4. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экология почв. Издательство: МГУ, 2012. ISBN 9785211062115. УДК: 504.3.06; [Электронный ресурс]. - http://www.pochva.com/?book_id=0853&content=3
5. Звягинцев Д.Г. Биология почв/ Д.Г Звягинцев, И.П. Бабьева, Г.М. Зенова: Учебник. - 3-е изд., испр. и доп. - М.: Изд-во МГУ, 2005. - 445 с, илл. - (Классический университетский учебник). ISBN 5-211-04983-7; [Электронный ресурс]. - http://www.pochva.com/?content=3&book_id=0036
6. Околелова, А.А. Экологическое почвоведение: учебное пособие / А.А. Околелова, В.Ф. Желтобрюхов, Г.С. Егорова. - Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2014. - 276 с.; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=238357>
7. Орлов Д.С. Химия почв. Издательство: МГУ, 1985. 376 стр. УДК: 631. [Электронный ресурс]. – http://www.pochva.com/?book_id=0030&content=3
8. Синявский В.А. Экологическое почвоведение и экология почв: учеб. пособие/ В.А. Синявский. Челябинск: Изд-во Челяб. Гос. Ун-та, 2008. 226 с.
9. Уразаев Н.А. Сельскохозяйственная экология / Н.А. Уразаев, А.А. Вакулин, В.И. Марымов и др. – М.: Колос, 2000. – 368с.
10. Учебники электронной библиотеки факультета почвоведения МГУ им. М. В. Ломоносова. URL: <http://soil.msu.ru> Представлены учебники в области почвоведения.

11. Учебники электронной библиотеки факультета почвоведения МГУ им. М. В. Ломоносова. www.pochva.com. Представлены учебники по главным разделам почвоведения.

12. Харина С.Г. Сельскохозяйственная экология: учебное пособие / С.Г. Харина. – Благовещенск: Издательство ДальГАУ, 2002. – 101с

13. Шеин Е.В. Курс физики почв. Издательство: МГУ, 2005 г. ISBN: 5211050215. УДК: 631. 432 стр. [Электронный ресурс]. – http://www.pochva.com/?book_id=0150&content=3

14. Моторин, А. С. Пойменные почвы лесостепной зоны Северного Зауралья / А. С. Моторин, А. В. Букин; ГНУ НИИСХ Северного Зауралья Россельхозакадемии. – Новосибирск: Издательство ИИЦ ГНУ СибНСХБ Россельхозакадемии, 2014. – 228 с. – ISBN 978-5-906143-40-2.

15. Моторин, А. С. Водно-физические свойства осушаемых торфяных почв лесостепной зоны Северного Зауралья / А. С. Моторин, А. В. Букин // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2017. – Т. 47. – № 5(258). – С. 5-12. – DOI 10.26898/0370-8799-2017-5-1.

16. Система адаптивно-ландшафтного земледелия в природно-климатических зонах Тюменской области / Н. В. Абрамов, Ю. А. Акимова, Л. Г. Бакшеев [и др.]. – Тюмень : Тюменский издательский дом, 2019. – 472 с. – ISBN 978-5-9288-0369-8.

17. Абрамов, Н. В. Морфогенетические особенности черноземных почв Восточной окраины зауральской лесостепи / Н. В. Абрамов, Д. И. Еремин // Аграрный вестник Урала. – 2008. – № 2(44). – С. 62-64.

18. Ренев, Е. П. Внутрипольная и временная вариабельность нитратного азота на полях Западной Сибири / Е. П. Ренев, Д. И. Еремин // Вестник КрасГАУ. – 2021. – № 12(177). – С. 116-124. – DOI 10.36718/1819-4036-2021-12-116-124.

19. Природа биостанции Тюменского государственного университета "Озеро Кучак" / Н. А. Алексеева, О. А. Алешина, С. П. Арефьев [и др.] ; Тюменский государственный университет. – Тюмень : Тюменский государственный университет, 2005. – 112 с. – ISBN 5-88081-468-8.

20. Агрохимия : Учебник / В. Г. Минеев, В. Г. Сычев, Г. П. Гамзиков [и др.]. – Москва : Издательство Всероссийского научно-исследовательского института агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 2017. – 854 с. – ISBN 978-5-9238-0236-8.

21. Проблемы сельскохозяйственной экологии / А. Г. Незавитин, В. Л. Петухов, А. Н. Власенко [и др.]. – Новосибирск : Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. – 255 с. – ISBN 5-02-031333-5.

Размещается в сети Internet на сайте ГАУ Северного Зауралья
<https://www.tsaa.ru/documents/publications/2023/bukin-1.pdf>,
в научной электронной библиотеке eLIBRARY, РГБ, доступ свободный

Издательство электронного ресурса
Редакционно-издательский отдел ФГБОУ ВО «ГАУ Северного Зауралья».
Заказ №1123 от 20.12.2022; авторская редакция
Почтовый адрес: 625003, Тюменская область, г. Тюмень, ул. Республики, 7.
Тел.: 8 (3452) 290-111, e-mail: rio2121@bk.ru

ISBN 978-5-98346-100-0



9 785983 461000