

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

ФГБОУ ВО Пензенская ГСХА

Кафедра почвоведения и агрохимии

Н.П. Чекаев, А.Ю. Кузнецов

**АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ
ОЦЕНКА ЗЕМЕЛЬ**

Учебное пособие
для бакалавров, обучающихся по направлению
35.03.03 – Агрохимия и агропочвоведение

Пенза 2015

УДК:
ББК

Рецензент – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
кафедры растениеводства и лесного хозяйства
ФГБОУ ВО Пензенская ГСХА Е.В. Жеряков

Печатается по решению методической комиссии агрономи-
ческого факультета от г., протокол № .

Агроэкологическая оценка земель: учебное пособие /
Н.П. Чекаев, А.Ю. Кузнецов – Пенза: РИО ПГСХА, 2015. – 207
с.

Учебное пособие составлено в соответствии с учебно-методическим комплексом дисциплины «Агроэкологическая оценка земель» для бакалавров, обучающихся по направлению 35.03.03 – Агрехимия и агропочвоведение. В учебном пособии описываются основные агроэкологические проблемы современного земледелия и землепользования России, приводится методика проведения агроэкологической оценки земель по основным параметрам почвенного плодородия и показателям деградации.

© ФГБОУ ВО Пензенская ГСХА, 2015
© Н.П. Чекаев,
А.Ю. Кузнецов, 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Введение.....	
1	АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ РОССИИ.....	
1.1	Проблемные агроэкологические ситуации сельскохозяйствен- ного землепользования.....	
1.2	Основные направления развития земледелия и сельскохозяй- ственного землепользования в России.....	
2	АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЧВ И КАЧЕСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ.....	
2.1	Основные виды антропогенной динамики почв и земель....	
2.2	Понятия качества почв и сельскохозяйственных земель....	
2.3	Основные методы определения и оценки качества земель.....	
2.4	Антропогенные изменения экологических функций почв сель- скохозяйственных земель.....	
2.5	Задачи агроэкологического мониторинга качества почв и зе- мель.....	
3	ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЗЕМЕЛЬ.....	
3.1	Агроэкологические функции почв и земель.....	
3.2	Задачи агроэкологической оценки почв и земель.....	
3.3	Федеральный уровень информационно-методического обеспе- чения агроэкологической оценки земель.....	
3.4	Региональный уровень информационно-методического обес- печения агроэкологической оценки земель.....	
3.5	Локальный уровень информационно-методического обеспе- чения агроэкологической оценки земель.....	
3.6	Задачи агроэкологической оценки земель в системах прецизи- онного земледелия.....	
3.7	Комплексная оценка агроэкологического качества почв и земель.....	
4	ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ АГРОЭКОЛОГИ- ЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЗЕМЕЛЬ.....	
4.1	Агрохимические параметры агроэкологического состояния почв.....	
4.2	Агрофизические параметры агроэкологического качества почв.....	

4.3	Водно-физические параметры агроэкологического состояния почв.....
4.4	Оценка деградации почв и земель связанные мелиоративными проблемами.....
4.5	Оценка фитосанитарно-экологического состояния земель...
4.6	Агроэкологическая оценка климатических и микроклиматических условий.....
4.7	Агроэкологическая оценка рельефа и почвообразующих пород.....
5	АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ.....
5.1	Агроэкологическая оценка почв, загрязненных тяжелыми металлами.....
5.2	Агроэкологическая оценка загрязнения сельскохозяйственной продукции нитратами.....
5.3	Агроэкологическая оценка загрязнения земель и сельскохозяйственной продукции пестицидами.....
5.4	Агроэкологическая оценка земель, загрязненных нефтепродуктами
5.5	Агроэкологическая оценка земель, загрязненных радионуклидами.....
	Словарь терминов и понятий.....
	Приложения.....
	Литература.....

Введение

Мощный антропогенный пресс XX в. значительно ускорил негативные трансформации пахотных земель основных сельскохозяйственных регионов России. Серьезный удар по экологическому состоянию земель нанесли последние организационно-экономические преобразования сельского хозяйства. С разорением большинства хозяйств были нарушены традиционные и зональные системы земледелия, стали преобладать экстенсивные агротехнологии с крайне низкими дозами удобрений, резким сокращением числа обработок почвы и объемов применения мелиорантов, массовым нарушением севооборотов и выжиганием стерни, стихийным переходом части пашни в сильно засоренную залежь, низкой рентабельностью и повышенной неустойчивостью растениеводства.

В этих условиях значительное развитие получили деградиационные процессы эрозии и выпахивания, дегумификации и подкисления, ощелачивания и засоления. Резко сократились объемы проведения почвозащитных и противоэрозионных мероприятий. Традиционные рекомендации по почвозащитным севооборотам и агротехнике в новых экономических условиях оказались практически недоступными для большинства хозяйств, необходимым условием выживания которых является быстрая окупаемость финансовых вложений.

Развитие сельскохозяйственного производства в сложившихся эколого-экономических условиях, с возросшей нестабильностью экономической обстановки и зависимостью результатов работы от агроэкологических особенностей каждого земельного участка, обуславливает необходимость перехода к адаптивно-ландшафтным системам земледелия, которые являются следующим этапом ландшафтно-экологической детализации и хозяйственно-экономической адаптации ранее разрабатываемых зональных систем.

Как показывает опыт развития отечественных и зарубежных многолетних научных стационаров и передовых опытных хозяйств, на них нередко эффективно реализуются агроэкологически обоснованные рекомендации по формированию устойчиво рентабельных и экологически безопасных систем земледелия и землепользования. Знание основных закономерностей организации и

функционирования почвенного покрова, процессов почвообразования и разновременной динамики почв, лимитирующих факторов плодородия и агроэкологического состояния земель позволяет расширять географические рамки применения этих рекомендаций, улучшать достоверность получаемых с их помощью прогнозов и повышать эффективность реализации проектов.

Для расширения подобной практики в России особую актуальность приобретает дальнейшее развитие исследований по развитию методологии дифференцированной и комплексной оценки агроэкологического качества почв и земель с учетом их провинциально-генетического разнообразия, местных особенностей ландшафта и землепользования.

В результате освоения дисциплины «Агроэкологическая оценка земель» бакалавр приобретает знания, умения и навыки, соответствующие целям основной образовательной программы «Агрехимия и агропочвоведение».

Цель дисциплины: формирование у студентов навыков проведения оценки экологического состояния почв, связанных с высокой распаханностью, процессами эрозии, химическим и радиоактивным загрязнением, переуплотнением, влияющими на устойчивость и продуктивность агроландшафтов.

Задачи дисциплины:

- разработка и освоение адаптивно-ландшафтных систем земледелия;
- определение агрономически значимых параметров различающихся участков земель (в соответствии с агроэкологическими требованиями сельскохозяйственных культур и агротехнологий);
- сохранение и повышение плодородия почв при внедрении научно-обоснованных зональных систем земледелия, позволяющих устранить или смягчить неблагоприятные природные и антропогенные факторы;
- обоснование мероприятий по рациональному использованию земель в хозяйствах, предупреждению развития процессов деградации почв и повышения их плодородия.

В результате освоения дисциплины бакалавр должен знать:

- принципы построения агроэкологической оценки земель, биологические требования сельскохозяйственных культур к условиям произрастания и их влияние на почвы, агрохимические характеристики почв, агроэкологическую типизацию земель.

Уметь:

– оценивать состояние агроландшафтов; проводить элементарный экологический мониторинг, определять степень деградации почвенного покрова; оценивать экологическую эффективность природоохранных мероприятий.

Владеть:

– методами проведения комплексной оценки экологического состояния агроландшафтов, методами организации территорий на эколого-ландшафтной основе, методами проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– умения использовать нормативные правовые документы в своей деятельности;

– способности распознать основные типы и разновидности почв, оценить уровень их плодородия, обосновать направления использования почв в земледелии;

– готовности проводить физический, физико-химический, химический и микробиологический анализ почв, химический анализ растений, удобрений и мелиорантов в соответствии с современными методиками;

– готовности участвовать в проведении почвенных, агрохимических и агроэкологических обследований земель сельскохозяйственного назначения;

– способности проводить оценку и группировку земель по их пригодности для сельскохозяйственных культур;

– способности обосновать методы подготовки удобрений и разработать системы их рационального применения, технологические проекты воспроизводства плодородия почв различных агроландшафтов (немелиорируемых, осушаемых и орошаемых, загрязненных тяжелыми металлами и радионуклидами);

– способности определять экономическую эффективность применения удобрений, химических средств мелиорации и технологических приемов возделывания сельскохозяйственных культур;

– способности к проведению почвенных, агрохимических и агроэкологических научных исследований согласно утвержденным методикам;

– способности к лабораторному анализу образцов почв, удобрений и растений.

При составлении учебного пособия авторы использовали материалы, изложенные в учебниках, учебных пособиях и практикумах следующих авторов: Кирюшин В.И., Иванов А.Л. (2005); Гогмачадзе Г.Д. (2010, 2011); Черногоров Л.А. и др. (2012); Муха В.Д. (1995, 2001, 2003); Васенёв И.И. и др. (1996, 1998, 2001, 2002, 2010); Добровольский Г.В. и др. (1986, 1990, 2000, 2004); и др.

1 АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ РОССИИ

1.1 Проблемные агроэкологические ситуации сельскохозяйственного землепользования

Характерное для любых стадий исторического развития современной цивилизации пристальное внимание общества к земле и почве объясняется прежде всего чрезвычайной важностью для нее сохранения стабильного выполнения почвой ее основных агроэкологических и социально значимых функций [Агроэкологическая оценка..., 2005; Васенев, 2008; Гогмачадзе, 2010; и др.].

Недостаток знаний, желания или времени для предварительного прогнозирования экологических последствий планируемых антропогенных воздействий на почвы не раз приводили к серьезным эколого-экономическим потерям. Достаточно вспомнить черные бури на Среднем Западе США 30-х годов и кавалерийское освоение целинных земель в Сибири и Казахстане 60-х, сильнейшую деградацию черноземов на рисовых чеках и быстрое выгорание пересушенных торфяников полесий, сильное переуплотнение почв в результате многолетнего увеличения веса почвообрабатывающей техники и подтопление пойменных земель при строительстве равнинных водохранилищ.

Сильно возросший за последнее столетие антропогенный пресс на почвенный покров, агроландшафт и биосферу в целом в значительной мере подорвал нормальные условия для их устойчивого функционирования. Он спровоцировал ряд региональных и глобальных кризисов природопользования. Одними из наиболее опасных являются региональные агроэкологические проблемы массовой деградации земель, качественного ухудшения их экологического состояния и функциональных возможностей. В ряде случаев они уже достигли уровня антропогенного опустынивания или резкого сужения почвенно-агроландшафтной базы для устойчивого функционирования и развития местных сообществ и целых сельскохозяйственных регионов [Козловский, 2003].

Гораздо чаще антропогенные (агрогенные, техногенные) изменения почв приводят к частичному ограничению их функционального качества и агроэкологического состояния [Агроэкология, 2004; Кирюшин, 2009; Васенев и др., 2010]. Эти проблемы, как

правило, привлекают гораздо меньше внимания со стороны населения, административных и законодательных органов власти. Однако с учетом масштаба своего распространения и временных темпов развития они несут не меньшую опасность для общества, чем уже свершившиеся случаи регионального и локального опустынивания.

Важно подчеркнуть, что подобные проблемные ситуации, как правило, еще поддаются рациональному регулированию и разрешению. Это обуславливает особую актуальность развития соответствующей методической, информационной и технологической базы для их анализа, диагностики, оценки опасности, прогнозирования и нормативного обеспечения управленческих решений и мер функционально-целевого регулирования.

Для сельскохозяйственного использования земель наиболее важное значение имеют следующие агроэкологические функции:

- потенциальное (устойчивое, самовоспроизводимое) и реальное (эффективное, актуальное) плодородие почв [Киришин, 1996; Булгаков, 2002];

- несущая способность почв для работы на них сельскохозяйственных машин с разной плотностью нагрузки на поверхность;

- санитарно-экологические функции почв и земель – их способность «связывать-дезактивировать» загрязнителей, болезней и вредителей разной природы [Методическое пособие..., 2001]. Основная часть антропогенных изменений морфогенетического профиля почв, почвенных режимов и процессов имеет негативный характер, в результате чего значительно снижается эффективность выполнения почвой основных агроэкологических функций и, следовательно, рентабельность сельскохозяйственного производства.

Многолетний некомпенсированный вынос питательных веществ обуславливает большие агрогенные потери запасов гумуса и доступных форм питательных элементов; в результате резко снижается потенциал ресурсно-агрохимических функций большинства пахотных почв [Гогмачадзе, 2010]. Широко распространена агрогенная деградация почвенного поглощающего комплекса. В результате снижается устойчивость почвенного функционирования, возрастают затраты на мелиоративные мероприятия, падает экономическая эффективность растениеводства.

Сильное обесструктурирование и переуплотнение верхних горизонтов пахотных почв нарушает их гидрофизические функции,

способность запасать и экономно расходовать значительные объемы продуктивной влаги для растений. Возрастает поверхностный сток и смыв [Герасименко, 2006]. Результатом являются ускоренная эрозия и агрогенное иссушение пахотных почв [Эрозия почв, 2007; Васенев, 2008].

Одновременно качественно ухудшаются основные агрофизические и технологические функции почв, возрастает сопротивление при обработке, затрудняется работа уборочной техники, увеличиваются удельные затраты топлива и износ машин.

Резко сужено биоразнообразие почвенной микро- и мезобиоты, снижена биохимическая активность большинства пахотных почв. Это приводит к значительному снижению потенциала санитарно-экологических функций почв, их способности к самоочищению от привносимых с сельскохозяйственными культурами вредителей и болезней, биохимических средств аллелопатического утомления, гербицидов и пестицидов [Агроэкология, 2000, 2004]. Ускоренная агрогенная эрозия, вторичное засоление, слитизация, формирование оврагов, оползней и мочаров нередко приводят к выводу из активного землепользования больших земельных массивов в связи с резкими нарушениями агроэкологического функционирования их почвенного покрова [Гогмачадзе, 2010].

Сильная техногенная деградация, загрязнение или заражение земель сопровождаются разносторонней и глубокой деформацией их основных агроэкологических функций, качеств и характеристик, резко ухудшают геохимическое, биологическое и биохимическое функционирование [Агроэкология, 2000; Васенев и др., 2001]. Нередко они приводят к экологически или экономически обусловленной невозможности сохранения традиционного землепользования, как, например, при сильном загрязнении земель нефтепродуктами, тяжелыми металлами, радиоактивными изотопами и отходами производства [Васенев, 2002; и др.].

Техногенные деградации поглощающего комплекса почв (подкисление, ощелачивание, осолонцевание), сильное засоление, подтопление или иссушение также способны резко ухудшить агроэкологические функции почв на больших территориях зон влияния промышленности, транспортных магистралей, искусственных водохранилищ и горных разработок.

Объективно наблюдаемое в большинстве стран антропогенное сокращение удельной площади земель, пригодных для актив-

ного сельскохозяйственного использования, заставляет современное общество и отдельных землепользователей с большим вниманием относиться к вопросам агроэкологической оценки почв и земель, повышения эффективности их использования и минимизации негативного воздействия на них [Оценка экологического состояния..., 2000; Васенев и др., 2010].

Анализ разновременных материалов по площади эродированных сельскохозяйственных земель отражает продолжающееся в течение всего столетия поступательное развитие овражной эрозии и обострившуюся с начала 50-х гг. XX в. активизацию процессов плоскостной эрозии. Примерно третья часть общей площади пашни эродирована. Ущерб от эрозии с каждым годом растет, а объемы и темпы современной противозерозионной мелиорации снижаются [Васенев, 2002, 2008].

Характерное для последних десятилетий резкое снижение экологической культуры земледелия сопровождалось развитием утомления и засоренности, чему способствовали постоянные нарушения севооборотов и рост продолжительности выращивания монокультур. Чрезвычайно широкое распространение приобрело комплексное по своей природе, но целостное по сути явление «выпахивания», которое еще требует своего осмысления и диагностики.

Разноплановое обострение агроэкологических проблем обуславливает необходимость серьезного анализа и внесения корректив в приоритетные задачи современного земледелия и почвоведения. К приоритетным направлениям их теоретического развития относится совершенствование количественного анализа элементарных почвообразовательных и ландшафтных процессов (ЭПП и ЭЛП). Количественное описание ЭПП составляет методологическую основу процессно-экологической оценки современного состояния старопахотных почв, оптимизации и экологизации применяемых на них земледельческих и мелиоративных технологий. Агроэкологическая интерпретация современной эволюции почв позволяет давать вероятностную оценку эколого-экономической устойчивости и сбалансированности агроландшафтов.

1.2 Основные направления развития земледелия и сельскохозяйственного землепользования в России

Сельское хозяйство России сейчас находится в сложном экономическом положении, обремененном социальными, технологическими и агроэкологическими проблемами. Тем не менее открытые условия рынка, повышенная нестабильность цен на нем, преобладание крупных землепользователей, нарушенные традиции сельскохозяйственного производства и назревшие проблемы материально-технического переоснащения создают предпосылки для получения долгосрочного экономического эффекта от внедрения в земледелие современных агротехнологий и информационных технологий.

Земледелие сегодня связано с широким распространением альтернативных систем земледелия и агротехнологий, с быстрым обновлением номенклатуры и затрат материально-технического обеспечения, с повышенной динамикой рыночных цен на готовую продукцию сельского хозяйства, с наличием жестких социально-экономических и агроэкологических ограничений на производство. Эффективное решение повседневных задач по выявлению и анализу наиболее критичных и отзывчивых на воздействие условий, факторов и участков (хозяйств) сельскохозяйственного производства упрощается при наличии адаптированных к ним информационно-справочных систем по оптимизации землепользования и земледелия на уровне области и района.

Развитие адаптивно-ландшафтных систем земледелия подразумевает агроэкологический анализ больших массивов разноплановой информации [Агроэкологическая оценка..., 2005; Васенев и др., 2010] и стимулирует разработку и адаптацию специализированных моделей и программ для районированных экспертных систем по оптимизации земледелия – с поливариантными решениями задач адаптивного использования агроландшафтов и гибкого управления производственным процессом.

Необходимым элементом информационного обеспечения задач по принятию оптимальных управленческих решений при проектировании, корректировке и внедрении адаптивно-ландшафтных систем земледелия являются районированные автоматизированные системы комплексной агроэкологической и эколого-экономической оценки земель. Они нацелены на количественный

анализ приоритетных агроэкологических проблем и оптимальной экономической эффективности землепользования посредством поливариантного компьютерного моделирования различных сценариев использования земель конкретного поля и технологий их улучшения с учетом основных затрат.

Анализ существующих тенденций развития земледелия показывает бурное развитие высоких информационных технологий и компьютерного обеспечения в приложении к оптимизации землепользования и земледелия. Ведущую роль на мировом рынке продовольствия играют страны, где в современную практику земледелия активно внедряются динамические и оптимизационные модели, информационно-справочные и геоинформационные системы, позволяющие свести к минимуму экономические и экологические риски интенсивного землепользования, связанные с неопределенностью природно-климатических, ценовых и агроэкологических проблемных ситуаций. Вслед за Западной Европой и Северной Америкой на путь активной информатизации земледелия вышли многие развивающиеся страны Латинской Америки, Центральной Европы, Юго-Восточной Азии, Индия и Китай.

Разработка, адаптация и районирование автоматизированных информационно-справочных (советующих, экспертных) систем для информационного обеспечения оперативного управления (выбора, корректировки) земледельческими агротехнологиями на уровне конкретного хозяйства и/или поля и проектирования-корректировки базовых элементов системы земледелия является одним из важнейших направлений информатизации сельского хозяйства России. Подобные системы призваны решать задачи по выбору оптимальных для условий конкретного поля набора культур (сортов) и агротехнологических приемов (различные варианты обработки, применения удобрений и средств защиты растений) в масштабе реального времени, с учетом особенностей поля, существующей или прогнозируемой системы цен.

В идеале это требует проведения комплексного анализа условий конкретного поля и реальной динамики погодных условий и развития растений, их текущих и прогнозируемых потребностей в элементах питания и защиты в соответствии с требованиями конкретной культуры (сорта) и агроэкологическими особенностями конкретного рабочего участка. Базовой информационно-методической основой такого анализа являются: 1) районированные

динамические модели производственного процесса основных сельскохозяйственных культур и сортов; 2) оптимизационные модели анализа проблемных производственных ситуаций – с учетом меняющихся почвенно-экологических, хозяйственнотехнологических и социально-экономических факторов и параметров.

Следующим этапом развития и пространственно-временной детализации и дифференциации базовых элементов адаптивно-ландшафтного земледелия является прецизионное, или точное земледелие. Первоочередным условием его успешного распространения в России является разработка специализированного информационно-справочного обеспечения, адаптированного к условиям основных сельскохозяйственных регионов.

Прецизионное земледелие, или дифференцированное управление локальными земельными ресурсами, относится к наиболее динамично развивающимся направлениям сельскохозяйственной науки [Schnug et al., 1993; Thompson et al., 1994; Васенёва и др., 2000]. Оно основано на использовании спутниковой связи, детальном автоматизированном учете урожайности и лимитирующих факторов его формирования, компьютерных технологиях формирования и применения детально дифференцированных по площади поля агротехнологических карт, автоматизированном регулировании дифференцированных (в пределах поля) норм высева, доз применения агрохимикатов, варьирующих параметров других технологических операций. Достигнутое в высокоразвитых странах практическое применение современных технологий прецизионного земледелия позволяет экономить минеральные удобрения, средства защиты растений и мелиорации земель, повышать эффективность использования сельскохозяйственной техники и уровень экологической безопасности земледелия [Информационно-справочные системы, 2002].

Концепция прецизионного земледелия сформировалась на стыке различных научных направлений и успешно сочетает в себе их последние достижения: глобальной системы точного определения координат (позиционирования), локальных геоинформационных систем, технологий формирования и обработки электронных карт, дистанционного зондирования и компьютерного имитационного моделирования.

Одним из основных элементов технологии прецизионного земледелия является внесение обоснованно дифференцированных

доз удобрений и средств защиты растений в соответствии с внутривидовой пестротой почвенного плодородия, текущим состоянием посевов и лимитирующих факторов плодородия земель. Наблюдаемое в результате снижение непроизводительных затрат в растениеводстве повышает его рентабельность. Дифференцированная дозировка удобрений, гербицидов и пестицидов способствует значительному оздоровлению окружающей среды, улучшению экологического состояния земель и водоемов. Повышение рентабельности растениеводства позволяет улучшить социально-экономическое состояние сельских районов.

В странах Северной Америки и Западной Европы уже налажено массовое производство зерноуборочных комбайнов с автоматизированным учетом урожая и составлением электронных карт урожайности на убираемое поле, разработаны специализированные пакеты программных продуктов для компьютерного анализа лимитирующих факторов урожайности и формирования электронных карт дифференцированного применения агротехнологий. Широко используется техника для дифференцированного применения удобрений и средств защиты растений.

Россия в технологических вопросах прецизионного земледелия значительно отстала от экономически развитых стран, несмотря на свою богатую историю детальных исследований структур почвенного покрова (СПП) и варьирования плодородия. Открытые условия современного агротехнологического рынка, преобладание крупных сельскохозяйственных производителей и необходимость массового обновления машинного парка АПК РФ создают хорошие предпосылки для ускоренного развития и внедрения этих перспективных технологий и у нас в стране.

Своевременное и эффективное решение с помощью современных информационных технологий оптимизационных задач земледелия по выбору оптимальных для условий конкретного поля набора культур (сортов), базовых элементов системы земледелия и агротехнологических приемов (с учетом особенностей поля, агроклиматических условий и существующей системы цен) позволит исключить или минимизировать значительное число экономических и экологических рисков сельскохозяйственного производства [Handbook..., 2000; Информационно-справочные системы..., 2002; Агроэкологическая оценка, 2005].

В идеале это требует проведения комплексного анализа до-

стоверных данных по реальной динамике погодных условий и развития растений, их текущих и прогнозируемых потребностей в элементах питания и защиты – в соответствии с особенностями конкретного участка. Одним из основных источников такой информации является базовый агроэкологический мониторинг [Козловский, 2003; Гогмачадзе, 2010] с геостатистически обоснованной системой пространственно-временной экстраполяции получаемых данных [Васенев и др., 2010].

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите основные проблемы сельскохозяйственного землепользования. 2. Агроэкологические функции земель сельскохозяйственного назначения. 3. Назовите основные направления развития земледелия в России. 4. Что является основой технологии прецизионного земледелия? 5. Что собой представляют адаптивно-ландшафтные системы земледелия?

2 АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЧВ И КАЧЕСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

2.1 Основные виды антропогенной динамики почв и земель

В современной динамике почвенного покрова часто преобладает антропогенная составляющая. В XX в. деятельность человека превратилась в наиболее мощный геоэкологический фактор развития почв и ландшафтов. Вследствие сильных антропогенных изменений локальной структуры ландшафта, региональных соотношений земельных угодий, состава и состояния атмосферы наблюдаются серьезные климатические и микроклиматические изменения. Значительная часть естественных биоценозов заменена агроценозами или испытывает мощный негативный пресс влияния современной урбанизации и техногенеза. В этих условиях антропогенные изменения почвенных свойств распространены практически повсеместно.

Интенсивная распашка сопровождается нарушением строения верхней части почвенного профиля, сложения, структуры и состава верхних почвенных горизонтов [Васенев, 2008; и др.]. Пахотные нарушения профиля почвы и замена природного биоценоза монокультурой или севооборотным агроценозом сильно изменяют почвенные режимы и вносят в их функционирование новые, ротационные и/или сезонные циклические составляющие [Агрочвоведение, 1994; Васенев, 2002; и др.].

Вынос с урожаем питательных веществ редко полностью компенсируется регулярным внесением минеральных и органических удобрений [Сычев, 2000; Гогмачадзе, 2010; и др.]. Резкое сужение набора выращиваемых растений способствует быстрому росту почвоутомления и фитосанитарного загрязнения земель. С возрастом пашни постепенно развивается комплексное явление выпаживания почв [Агрочвоведение, 1994; Васенёв, 2008], которое включает в себя сложные сочетания деграционных процессов разной природы:

- агрофизическую деграцию – ухудшение водно-воздушного режима вследствие утраты почвой структуры и уплотнения [Шейн, Гончаров, 2005; и др.];
- агротехническую деграцию – ухудшение систем обработки вследствие ухудшения физико-механических свойств пахотного

слоя [Васенев, 2002; и др.];

– агрохимическое истощение – нарушение баланса питательных элементов вследствие превышения их выноса над возвратом [Минеев, 2004; Сычев, 2000; Гогмачадзе, 2010; и др.];

– биологическое обеднение – утрату или угнетение полезной почвенной микробиоты [Щербаков и др., 2000];

– фитопатогенное почвоутомление – нарушение санитарного состояния почвы, загрязнение ее микроорганизмами и вредителями.

Нерациональное использование земель (сплошная распашка склонов, перевыпас скота, нарушения технологий обработки) часто сопровождается интенсивным развитием эрозии [Кузнецов, Глазун, 2004; Эрозия почв, 2007]. Она удаляет верхнюю, наиболее плодородную часть почвы, выступая в роли своеобразной почвенной «гильотины». Сносимый вниз по склону эродированный материал погребает нижележащие почвы, забивает овраги и загрязняет водоемы [Агроэкология, 2004; и др.].

В Центральном Черноземье плоскостной эрозией охвачена третья часть всех сельскохозяйственных земель [Добровольский; Рожков, Урусевская, 2004]. Удаление верхней части профиля резко меняет условия почвообразования в нижних, сохраняющихся горизонтах. В условиях пашни они не только выходят на поверхность, но и вовлекаются в очень активный круговорот использования веществ. Нередко вышедшие на поверхность почвенные горизонты еще менее устойчивы к эрозии, и тогда она развивается по спирали.

Наряду с плоскостной эрозией интенсивная распашка почв часто сопровождается ускоренным развитием линейной эрозии, формированием новых овражно-балочных систем, распространением мочаров и оползневых явлений [Васенев, 2008; и др.]. При особо неблагоприятных условиях распашки некоторые хозяйства за 20–40 лет интенсивного землепользования могут терять до 30% своей пашни [Васенев, 2008; и др.].

Большие изменения почвенных свойств вызывает оросительная мелиорация. В условиях орошения механические нарушения почвенного профиля и смена биоценоза дополняются резкими импактными нарушениями водного режима почв. Это в свою очередь вызывает сильные трансформации их теплового, кислотно-щелочного, окислительно-восстановительного, кальциевого, ка-

лийного, нитратного режимов и т.д. [Васенев, 2006; Гогмачадзе, 2010].

Нерационально применяемое орошение (с нарушением экологически обоснованных поливных норм и режимов полива) ускоряет выпахивание почв, деградацию их структуры, переуплотнение, выщелачивание карбонатов, подкисление или, наоборот, вторичное засоление и ощелачивание почвенного профиля [Козловский, 1991; Приходько, 1996; Щеглов, 1999; Гогмачадзе, 2010; и мн. др.]. Оно не раз являлось причиной забрасывания некогда плодородных земель.

В последние десятилетия все более широкое распространение получают техногенные нарушения почвенного покрова городских, рекреационных земель, промышленных и гидротехнических объектов [Джувеликян, 1999; Андроханов и др., 2000; Васенев, 2008; и мн. др.]. В этих условиях глубина механического нарушения (усечение, турбации, переуплотнение, погребение и др.) может колебаться от нескольких сантиметров до 1–2 метров и более.

Механические нарушения часто сопровождаются примешиванием искусственных материалов (кирпичей, цемента, щебня, асфальта и др.), экранированием почвенных горизонтов труднопроницаемыми слоями из этих материалов, привнесением в почву больших количеств химически очень активных веществ (солей, кислот, щелочей). Нередко наблюдается подтопление земель как результат нарушения природной дренажной системы и/или искусственного поднятия уровня грунтовых вод. Большое влияние на почву оказывает смена биоценозов, загрязнение токсикантами, формирование техногенных структур ландшафта, техногенные изменения микроклимата.

Антропогенные изменения почвенных свойств охватывают практически все известные характеристики и качества почв, начиная от уровня содержания доступных форм питательных элементов до морфогенетического строения почвенного профиля, их гидрологического и геохимического режимов. Они могут иметь самую различную направленность, интенсивность, пространственно-временные рамки и предельный потенциал своего развития, которые определяются как характером антропогенных воздействий, так и провинциально-генетическими особенностями почв.

В последние годы повышенное внимание уделяется вопросам их диагностики [Почвенно-экологический мониторинг, 1994; Коз-

ловский, 2003;], систематизации [Классификация и диагностика..., 2004; Гогмачадзе, 2010; и др.], оценки [Карманов, Булгаков, 1997; Васенев и др.. 2004, 2010; и др.] и прогноза [Васенев, 2006; и др.]. Это отражает общую тенденцию к экологизации и актуализации почвенных исследований, что продиктовано обострением системного экологического кризиса в природопользовании и объективным возрастанием роли почвенного покрова как естественного регулятора современного функционирования природно-хозяйственных экосистем.

2.2 Понятия качества почв и сельскохозяйственных земель

Определение и оценка качества почв и земель всегда привлекали самое пристальное внимание исследователей и практиков почвоведения и землепользования самого широко плана. Периодически возникающий в обществе (под влиянием насущных экономических и экологических проблем) повышенный интерес к земельно-оценочным работам всегда сопровождался качественным развитием базовой парадигмы почвоведения [Боул и др., 1977]. Современная концепция генетического почвоведения была сформирована во многом благодаря очередной активизации земельно-оценочных работ при реформировании землепользования в России и США конца XIX – начала XX в. [Handbook..., 2000].

Последние десятилетия XX в. характеризовались последовательным усилением экологической составляющей почвенных исследований и активным внедрением в них информационно-компьютерных технологий [Добровольский, Никитин, 1990, 2000; Handbook..., 2000].

Обострение агроэкологических проблем природопользования и качества окружающей среды вызвало значительное расширение традиционных задач почвоведения. Быстрое развитие компьютерной техники и приборно-аналитической базы стало причиной настоящей информационно-технологической революции в науках о Земле. Новые возможности и задачи земледелия и почвоведения актуализировали новый виток обсуждения методологических вопросов определения и оценки качества почв и земель, их соответствия современным и перспективным запросам общества, уровню развития аналитического обеспечения науки и технологических возможностей практики [Козловский, 1991; Агроэкологическая

оценка..., 2005; Васенев и др., 2010; и др.].

В последние годы в России активизировались работы по созданию и внедрению в практику сельского хозяйства современных адаптивных систем земледелия на ландшафтной основе. Они нацелены на повышение устойчивости и рентабельности земледелия и разрабатываются с учетом местных особенностей почвенного покрова, агроэкологического качества земель, агроклиматических и социально-экономических условий [Методическое пособие..., 2001; и др.].

Их развитие потребовало разработки новых теоретических основ, эколого-экономических критериев и методических подходов для оценки качества почвенно-экологических ресурсов и совершенствования их использования в земледелии [Агроэкологическая оценка..., 2005; Васенев и др., 2010; и др.].

Напряженная ситуация с экологическим состоянием городских земель, промышленных зон и рекреационных участков способствовала активизации исследования качества городских и техногенно нарушенных почв [Глазовская, 1997], решению методических вопросов почвенно-экологической экспертизы различных вариантов землепользования, разработке рациональных технологий восстановления приемлемого экологического состояния сильно загрязненных и деградированных земель [Агроэкология..., 2004].

В условиях резкого обострения экологической обстановки в обществе и аппаратах управления разного уровня растет понимание особой актуальности проведения региональных и локальных экологических исследований, направленных на снижение экологического риска и повышение экономической эффективности использования природных ресурсов, в том числе и земель различного функционального назначения [Гогмачадзе, 2010; и др.].

В условиях быстрого нарастания информатизации и глобализации общества ясно выражена общая мировая тенденция к повышению уровня методологической универсализации, технологической унификации и функциональной детализации создаваемого информационно-аналитического обеспечения – в том числе и для широкого класса почвенно-аналитических и земельно-оценочных задач.

В условиях высокого пространственно-временного варьирования почвенного покрова и задач землепользования она способствовала формированию современных концепций оценки почв и

земель рамочного типа: с последовательной детализацией алгоритмов, нормативной базы и технологии оценки при конкретизации ее задач и объектов [Handbook..., 2000; Васенев, Бузылев, 2010].

Безусловно, почва является базовым структурно-функциональным компонентом общего понятия земли и землепользования [Структурно-функциональная роль..., 1999], поэтому рамочные определения «качества почв» и «качества земель» очень близки друг другу. Обычно под ними понимается «комплексная характеристика земли (почвы), которая определенным образом влияет на возможность (и уровень) выполнения ею (землей, почвой) конкретной функции ее (земли, почвы) использования.

Перечень даже наиболее часто рассматриваемых почвенных агроэкологических функций довольно велик и включает в себя функции различной степени детализации. С одной стороны, в него входят наиболее комплексные функции общего агроэкологического качества земель, их плодородия-продуктивности [Методика и технология..., 1990]. С другой стороны – очень широкий спектр отдельных агрофизических (спелость для обработки, условия проходимости), гидрофизических (влагопроводимость, формирование верховодки) и санитарно-экологических функций (связывания или разложения конкретного загрязнителя) [Теории и методы физики почв, 2007; и др.]. При их анализе используются различные методический инструментарий и в различной мере, специализированные тематические и/или районированные стандарты данных (частных почвенных или земельных характеристик и их оценок).

По мере детализации оцениваемых функций все большее значение приобретают провинциально-генетическое разнообразие почв, своеобразие конкретного природно-хозяйственного ландшафта, эколого-географическое положение и эколого-функциональное состояние земель – степень отклонения их устойчивых и лабильных характеристик от оптимальных (контрольных, или целинных) значений – для рассматриваемой функции [Васенев, 2008]. С внедрением в общественное сознание концепций устойчивого развития и адаптивно-ландшафтного землепользования оценки почв и земель приобретают все более ясно выраженную функционально-экологическую направленность [Васенев и др., 2010].

2.3 Основные методы определения и оценки качества земель

Современная система функционально-экологических оценок почв, земель и землепользования находится в стадии активного предложения и верификации различных вариантов и технологий, в разной степени принимающих во внимание те или иные функции и качества почв и адресованных широкому кругу потенциальных пользователей. Это обусловлено как широким спектром прикладных задач, так и высокой сложностью объекта оценки, что подразумевает практически неограниченное число различных функционально-экологических (агроэкологических, геоэкохимических, санитарно-экологических, социально-экологических и др.) моделей оценки разной специализации и детализации.

Основная часть из них нацелена на решение конкретных экологических проблем с количественной оценкой проблемных ситуаций. Другая – на оценку эффективности применения почвозащитных или реабилитационных технологий улучшения функционально-экологического качества почв. Третья – на информационное обеспечение управленческих решений в области рационального землепользования (по снижению его экологических рисков и/или повышению экономической эффективности) [Методические указания по проведению комплексного мониторинга..., 2003].

Наилучшие условия для практического использования результатов оценки качества земель экспертами и специалистами исполнительных, законодательных органов власти и различных структур землепользования достигаются при доведении ее до состояния экспертной информационной системы, обладающей возможностями нормативного прогнозирования.

Комбинированная оценка количественных критериев физического и экономического соответствия земель различным вариантам и технологиям их использования обычно строится на основе «рамочных рекомендаций» ФАО.

Информационно-методическую основу такой оценки составляют:

- 1) требования районированных культур и сортов;
- 2) методические разработки по количественному анализу влияния основных лимитирующих факторов на продукционный процесс и относительную урожайность культур;
- 3) районированные технологиче-

ские карты по основным сельскохозяйственным культурам с выделением обязательных и факультативных операций, ранжированием гибких элементов технологии; 4) рациональная (минимально-достаточная) система цен на готовую продукцию и основных затрат.

В систему анализа частично или полностью входят следующие информационно-аналитические процедуры:

- проверка на абсолютные ограничения – возможность или невозможность применения рассматриваемого варианта землепользования в условиях конкретного участка;

- качественная или количественная оценка прямых и косвенных, положительных и отрицательных результатов землепользования – например, урожай и соответственно затраты на последующую реабилитацию;

- прогноз вероятного недобора урожая или недостаточного уровня выполнения другой анализируемой функции согласно применяемому набору критериев и алгоритмов оценки;

- расчет с различным уровнем детальности планируемых технологических затрат – прямых, косвенных, стабильных, варьирующих;

- сравнительный анализ показателей экономической эффективности разных вариантов землепользования – с учетом или без кредитной ставки.

При оценке уровня соответствия земельного участка рассматриваемому варианту землепользования обычно применяются алгоритмы дерева решений, мультипликативной оценки и/или жесткого ограничения [Васенев и др., 2004, 2010]. Поэтапный количественный анализ завершается ранговым отнесением земельного участка к одному из трех–пяти классов соответствия данному варианту землепользования или сравнительным анализом эффективности использования одного (нескольких) участков под несколько (один) вариантов использования.

При агроэкологической типизации структур почвенного покрова и функционально-целевом зонировании землепользования особое внимание уделяется степени внутривидового варьирования почвенного плодородия, тепловому и влажностному режимам почв в зависимости от экспозиции и крутизны склона, преобладающих форм микрорельефа [Агроэкологическая оценка..., 2005].

Для количественной оценки экологических и экономических

рисков сельскохозяйственного землепользования могут использоваться адаптированные к условиям конкретного агроландшафта компьютерные модели продукционного процесса [Имитационная модель..., 2001].

Различного рода модели и автоматизированные системы оценки качества почв и земель, динамического моделирования их основных агроэкологических, гидрофизических и геохимических функций находят все более широкое распространение и применение в мире. В последние годы их число удваивается примерно каждые пять лет, и очень остро стоят вопросы пространственно-временной и функционально-целевой верификации различных моделей для их адаптации и использования в новых условиях и объектах [Имитационная модель..., 2001; Васенев и др., 2010].

Современные исследования по агроэкологической (функционально-экологической) оценке почв и земель (т.е. оценке их функциональных возможностей с учетом экологического состояния – качества) находятся в стадии активных методологических и нормативно-методических разработок. Среди наблюдаемых положительных тенденций в их развитии следует отметить постепенный рост внимания исследователей к базовым почвенным характеристикам и морфогенетическим свойствам почв, провинциально-генетической и структурно-функциональной дифференциации почвенного покрова и ландшафта, основным процессам и последствиям многолетней антропогенной динамики почв.

К приоритетным прикладным задачам современной агроэкологической оценки земель следует отнести создание специализированных региональных и локальных почвенно-агроэкологических геоинформационных систем (диагностических, справочных, экспертных ГИС), нацеленных на оптимизацию земледелия.

В совокупности с активно разрабатываемыми в последние годы педодинамическими и процессно-диагностическими моделями они должны служить надежной научно-информационной основой для управления уровнем плодородия используемых в сельском хозяйстве почв, разработки современных систем земледелия на ландшафтной основе и программ устойчивого развития сельскохозяйственных районов страны.

Одна из первоочередных прикладных задач состоит в разработке непосредственно используемых на практике почвенно-агроэкологических карт и моделей – «расшифровок» результатов

фундаментальных исследований генезиса, эволюции и экологии агрогенно измененных почв. Это поможет разрешению многих проблем практического земледелия и агроэкологии сельскохозяйственных регионов: от ландшафтной адаптации землеустройства до нейтрализации различных видов техногенного загрязнения.

2.4 Антропогенные изменения экологических функций почв сельскохозяйственных земель

Антропогенные воздействия на почвы часто имеют регулярно-периодический характер, что обуславливает хорошо выраженную циклическую составляющую антропогенной динамики почв. Среди ее основных циклических элементов можно выделить следующие группы: сезонные (например, обработки почв на полях с интенсивными агротехнологиями или орошение), годовые (земледельческий цикл) и многолетние (ротации севооборота, подсечно-огневая и залежная системы землепользования, лесохозяйственные рубки, биоэнергетическое лесоразведение и т.д.).

Антропогенные циклы характеризуются значительно большей «разомкнутостью» по сравнению с природной циклическостью – в них быстрее проявляется накопительная (трендовая, поступательная) составляющая антропогенной динамики почв, которая формируется за счет постепенно накапливаемых остаточных эффектов отдельных, не полностью замкнутых циклов.

Например, как с сельскохозяйственных полей, так и с лесных вырубок регулярно безвозвратно удаляется значительная часть извлекаемых из почвы растительностью элементов питания [Карпачевский, 1997, 2005; и др.]. При этом почва существенно обедняется гумусом, щелочными и щелочноземельными элементами. Обеднение носит массовый характер и происходит сразу на значительной территории [Сычев, 2000; Минеев, 2004; и др.].

Изменения быстрее накапливаются в наиболее сенсорных свойствах почв, но затем начинают проявляться на все более широком наборе почвенных характеристик. Дегумификация способствует обесструктуриванию почвы [Агрочвоведение, 1994]. Некомпенсированная потеря кальция сопровождается деградацией поглощающего комплекса почв и значительным подкислением [Щербаков и др., 1996; Щеглов, 1999; Васенев, 2003, 2008]. Нару-

шения водного режима могут сопровождаться явлениями поверхностного или грунтового оглеения минеральных горизонтов, сегрегации-десегрегации соединений железа и марганца или «выгорания» торфяных горизонтов [Зайдельман, 2005].

Для развития современной цивилизации характерно постоянное раскручивание спирали техногенного воздействия на почвы. За последнее столетие значительно выросла механическая нагрузка на почву за счет резко возросшей массы движителей и увеличения кратности обработок земли и посевов (посадок) за сезон. Значительно выросли средние урожаи сельскохозяйственных культур, а значит, и обусловленное ими «расшатывание» биологического круговорота [Агроэкология, 2004].

Накапливающиеся результаты многолетней деградации почв длительное время пытались компенсировать повышением интенсивности того или иного вида воздействия на нее: удельной распашанности земель, углублением обработки и введением дополнительных обработок, увеличением доз удобрений и средств защиты растений. Однако чаще всего это только раскачивало своеобразный маятник деградации: сильнее деградация → меньше отдача → больше доза (нагрузка) → сильнее деградация → и т.д. Так, в свое время почти трехкратное увеличение за 1970–1980-х гг. средних доз применения минеральных удобрений в России практически не привело к заметным прибавкам средней урожайности за пятилетку [Щербаков, Рудай, 1983].

Резко возросшее в мире за последние десятилетия применение минеральных удобрений и химических средств защиты растений привело к ускоренной деградации почв. Первые – при неграмотном применении постепенно разрушают почвенные поглощающий и биотический комплексы, вторые – нарушают микробиологический пейзаж почвы. На больших площадях сельскохозяйственных земель распространены монокультуры или нарушения рекомендуемых севооборотов. Связанные с ними проблемы прогрессирующего почвоутомления часто пытаются решить с помощью повышенных доз агрохимикатов и биопрепаратов, тем самым раскручивая новый виток деградации почв [Агроэкология, 2004].

Многолетний тренд деградации базовых характеристик пахотных почв часто сопровождается нарушением их годовых гидрологических циклов [Степи Русской равнины..., 1994]. В литера-

туре неоднократно отмечалось явление агрогенного иссушения пахотных почв [Васенев, 2003; и мн. др.]. С возрастанием степени их выпаханности часто снижаются поверхностная водопроницаемость и полевая влагоемкость почв. Это вызывает увеличение поверхностного стока, а следовательно, и эрозии [Эрозия почв, 2007; и др.].

Эрозия почв часто также сопровождается ухудшением физических свойств выходящих на поверхность почвенных горизонтов, снижением их коэффициентов фильтрации и эрозионной стойкости [Кузнецов, Глазунов, 2004; и мн. др.]. В результате начинает раскручиваться новый маховик эрозии. Аналогично положительные обратные связи могут иметь развивающиеся явления выщелачивания, ощелачивания, уплотнения и слитизации [Гогмачадзе, 2010].

В основе устойчивого, экологически сбалансированного земледелия и землепользования лежит принцип максимального «защелачивания» годовых и многолетних циклов антропогенных воздействий [Агроэкологическая оценка, 2005; Васенев и др., 2010; и др.]. При этом негативные последствия землепользования уравновешиваются адекватными компенсирующими мерами: вынос макро- и микроэлементов с товарной частью урожая – применением макро- и микроудобрений, деградация микробиоты – применением биопрепаратов и стимуляторов, переуплотнение – рыхлением, деградация поглощающего комплекса – средствами химической мелиорации, нарушения водного режима – мерами гидротехнической или агротехнической мелиорации, и т.д.

В экономически развитых странах практические вопросы преобладания положительных антропогенных воздействий на почвы решаются на больших площадях – с приобретением почвами проградационных трендов расширенного воспроизводства плодородия [Duchaufour, 1998]. Концепции устойчивого развития земледелия приобрели статус государственной политики. В последние годы все большее внимание уделяет детальному пространственному варьированию земель и развитию адаптированных к их особенностям технологий прецизионного земледелия, нацеленных на максимальное замыкание годовых биогеохимических циклов в пределах однородных по продуктивному потенциалу участков [Методология составления крупномасштабных..., 2006].

В то же время вся история развития земледелия и землеполь-

зования полна фактов многолетней деградации земель в результате на первый взгляд почти замкнутых циклов их использования [Васенев, 2008].

С усилением интенсивности и увеличением разнообразия деградационных антропогенных изменений ландшафтов и почвенного покрова, многолетним накоплением их последствий в почвенных профилях и качественным (пороговым) обострением системного экологического кризиса природопользования значительно возрастает регулирующая роль почв как базового элемента функционирования природно-хозяйственных экосистем и планетарных оболочек в целом [Структурно-функциональная роль..., 1999]. Следовательно, значительно возрастает актуальность эволюционно-генетических и функционально-экологических исследований по выявлению и агроэкологической интерпретации медленных многолетних трендов динамики лабильных и консервативных свойств почв: состава и организации почвенной массы, характера почвенных режимов и скорости почвообразовательных процессов, строения морфогенетических, гидрологических и геохимических профилей почв.

2.5 Задачи агроэкологического мониторинга качества почв и земель

Антропогенная динамика почв определяется характером прямых и косвенных техногенных воздействий на почву и ландшафт, общим состоянием окружающей среды и экономической жизни общества. С другой стороны, многие количественные и качественные закономерности агрогенной динамики почв в значительной мере зависят от местных особенностей почвенного покрова и природно-хозяйственного ландшафта. Высокая сложность, пространственное варьирование и временная изменчивость основных факторов агрогенной динамики почв обуславливают устойчивую актуальность ее исследований, научную и практическую значимость результатов.

Ежегодное сокращение удельной площади земель, пригодных для активного сельскохозяйственного использования, заставляет общество с большим вниманием относиться к вопросам агроэкологической оценки и мониторинга почв и результатов воздействия на них [Оценка экологического состояния..., 2000].

Последние десятилетия характеризуются все более активным развитием различных методических подходов к анализу антропогенной деградации почвенного покрова [Васенев, 2008; Гогмачадзе, 2010], экологической и агроэкологической оценке почв [Агроэкологическая оценка..., 2005; Васенев, Бузылев, 2010], к среднесрочным и долгосрочным прогнозам их антропогенной динамики [Васенев и др., 2010; Гогмачадзе, 2010].

Можно говорить о своеобразном ренессансе почвенно-оценочных исследований, из которых в свое время и развилось современное генетическое почвоведение. Сейчас они затрагивают широкий набор почвенных агроэкологических функций, постепенно смещаясь из области статических агропроизводственных оценок сельскохозяйственных земель в сферу их динамического анализа и приоритета геосферно-биосферных экологических функций [Васенев и др., 2010].

Тем не менее в прогнозах средневременной антропогенной динамики почв и обусловленных ею изменений агроэкологического качества земель остается еще много нерешенных проблем. Агроэкологический мониторинг средневременной динамики почв тесно переплетается с проблемой выделения ее результатов из общего пространственного варьирования почвенного покрова. Значительные отличия разных видов антропогенных нарушений пахотных почв значительно увеличивают морфогенетическое разнообразие, полигенетичность и гетерохронность почвенного покрова сельскохозяйственных земель. Это усложняет процессно-генетический анализ профиля агрогенно измененных почв, функциональную и экологическую оценку их текущего и прогнозируемого состояния.

К наиболее актуальным и дискуссионным проблемам агроэкологического мониторинга и функционально-экологического анализа агрогенной динамики почв следует отнести следующие вопросы.

1. Исследование качественных и количественных закономерностей исходного разнообразия антропогенных нарушений почв и/или изменений факторов почвообразования.

2. Анализ обусловленных антропогенными нарушениями почв последовательных изменений основных почвенных режимов и процессов – с оценкой глубины и скорости их воздействия на морфогенетический профиль почвы, степени обратимости –

необратимости антропогенных трансформаций.

3. Выделение циклических и направленных (остаточных) составляющих антропогенных изменений почв – с анализом общего вклада их антропогенной динамики в формирование и развитие почвенных профилей.

4. Развитие методологии, алгоритмической и нормативно-информационной базы дифференцированной оценки функционального качества и экологического состояния почв – с учетом их провинциально-генетических особенностей, местных особенностей ландшафта и вида землепользования.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите основные виды антропогенных изменений почв и земель. 2. Какие основные задачи агроэкологического мониторинга качества почв и земель. 3. Информационно-методическая основа оценки качества почв. 4. Понятия качества почв и сельскохозяйственных земель. 5. Современная система функционально-экологических оценок почв. 6. Основные виды деградационных процессов почв сельскохозяйственных земель. 7. Наиболее актуальные проблемы агроэкологического мониторинга и функционально-экологического анализа агрогенной динамики почв.

3 ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЗЕМЕЛЬ

3.1 Агроэкологические функции почв и земель

Агроэкологическое качество пахотных земель оценивается по актуальному для условий конкретного региона, района, поля и земельного участка набору агроэкологических функций – посредством последовательного анализа основных диагностических показателей анализируемых функций, включая частные и интегральные показатели основных физических, химических или биотических параметров земель: органического вещества, биогенных элементов (включая микроэлементы), реакции среды, структурного состояния и сложения почв, содержания и качества воды, биологической активности почвы и фитосанитарного состояния агроценозов.

Перечень даже наиболее часто рассматриваемых почвенных агроэкологических функций довольно велик и включает в себя функции различной степени детализации: а) комплексные функции общего агроэкологического качества земель, их плодородия-продуктивности; б) широкий спектр отдельных функций, например агрофизических (спелость для обработки, условия проходимости), гидрофизических (влагопроводимость, формирование верховодки) и санитарно-экологических (связывания или разложения конкретного загрязнителя).

При их анализе используются различные методический инструментарий и в различной мере специализированные тематические или районированные стандарты данных (частных почвенных или земельных характеристик и их оценок). Как правило, анализ функциональной (факторной) оценки качества пахотных почв и земель последовательно производится сразу по нескольким из их основных агроэкологических функций (факторов оценки).

К наиболее популярным (часто анализируемым) агроэкологическим факторам оценки почв и земель относятся:

1) агрохимическая функция эффективного обеспечения продукционного процесса сельскохозяйственных культур доступными формами элементов питания;

2) гидрофизическая функция обеспечения сельскохозяйственных культур доступной влагой;

3) агрофизическая функция поддержания благоприятных условий для работы сельхозмашин;

4) агроморфогенетическая функция поддержания устойчивого плодородия пахотных почв и земель;

5) санитарно-экологическая функция обеспечения благоприятного фитосанитарного состояния земель;

б) геохимическая функция обеспечения устойчивости почв и земель к загрязнению.

По мере детализации оцениваемых функций все большее значение приобретают провинциально-генетическое разнообразие почв, своеобразие и неоднородность конкретного агроландшафта, эколого-географическое положение и эколого-функциональное состояние земель – степень отклонения их устойчивых и лабильных характеристик от оптимальных (контрольных, или целинных) значений для рассматриваемой функции.

В современных системах агроэкологической оценки земель большое внимание уделяется количественному анализу их устойчивости к деградации и загрязнению, которая связана с поддержанием заданных параметров функционирования (определенного физико-химического состояния почв, гидрологического режима, биологического разнообразия и активности и т.д.).

Количественная оценка устойчивости земель к деградации и загрязнению подразумевает дифференцированный анализ системы «воздействие–изменение» или комбинированный расчет затрат на поддержание и/или восстановление утраченных агроэкологических функций.

Как правило, отдельно рассматриваются биосферные, гидросферные и атмосферные экологические функции почв и земель, которые обеспечивают базовые условия для сохранения биологического разнообразия растительного и животного мира, запасов и качества поверхностных и подземных вод, поддержания оптимального состава атмосферы.

Основные виды устойчивости земель агроландшафта обычно рассматриваются в соответствии с их основными агроэкологическими функциями и особенностями структурно-функциональной организации агроландшафта.

Агрономическая устойчивость показателей производительности или функциональности определяется по данным устойчивости (или коэффициенту вариации) урожайности сельскохозяйственных куль-

тур, продуктивности пастбищ, качества продукции, экономических параметров производства.

3.2 Задачи агроэкологической оценки почв и земель

Проведенный анализ различных систем агроэкологической оценки почв и земель показал первоочередное влияние на эффективность их работы пяти следующих принципиальных элементов оценки:

1) целевого определения набора анализируемых функциональных (в том числе технологических) и экологических качеств почв и земель, ограниченного рамками поставленной задачи и особенностями объекта оценки;

2) использования обоснованно достаточного, но не избыточного набора реально доступных основных диагностических показателей (ОДП) почв и земель – для характеристики каждого из их анализируемых качеств;

3) выбора рациональных (достаточно, но не избыточно информативных) шкал квантификации-ранжирования используемых ОДП;

4) разработки эффективного алгоритма анализа модели с установлением обоснованных зависимостей анализируемых качественных свойств почвы от отдельных почвенных характеристик, оптимального метода интегрирования и интерпретации получаемых частных и общих результатов;

5) принятия во внимание известных закономерностей провинциально-генетического разнообразия почв, пространственного варьирования почвенных характеристик и местных особенностей структуры почвенного покрова, соответствующих масштабу и объектам анализа.

Получающие все более широкое распространение автоматизированные системы оценки агроэкологического качества пахотных почв и земель базируются на шести основных принципах их организации и ведения:

1) рамочной организации системы (framework);

2) прикладной агроэкологической интерпретации результатов;

3) функциональной организации показателей оценки (по основным или частным агроэкологическим функциям);

4) поэтапной адаптированности системы нормативов к условиям конкретного региона и агроэкологического района;

5) гибкой адаптированности системы оценки к природно-

технологическим условиям конкретного хозяйства и года оценки;

б) комплексном характере оценки неоднородных земельных участков с максимальным учетом негативного влияния на качество земель лимитирующих экологических и агроэкологических факторов (функций).

Автоматизированные системы агроэкологической оценки количественных критериев физического и экономического соответствия земель различным вариантам и технологиям их использования строятся на основе «рамочных» (framework) рекомендаций ФАО и предусматривают трехэтапную процедуру оценки:

1) формирование перечня основных диагностических показателей оценки – ОДПО;

2) системный анализ агроэкологических требований основных выращиваемых культур (подразумеваются и условия их возделывания – т.е. агроэкологические требования технологий);

3) приведение шкал, нормативов и алгоритмов оценки ОДПО в соответствие с агроэкологическими требованиями выращиваемых культур и применяемых при этом агротехнологий.

Типичная структура сводного алгоритма такой оценки состоит из следующих основных процедур:

– выбор и автоматизированная формализация-идентификация объекта оценки (для однозначного выбора необходимых для его оценки стандартов);

– ввод значений первичных характеристик выбранного участка земли (элементарный ареал агроландшафта, элементарный рабочий участок);

– частная оценка первичных характеристик анализируемого участка земли (по отдельным фазовым переменным агроэкологического качества почв или земель);

– функционально-факторная оценка основных составляющих функционального качества земель (агроэкологические функции плодородия, условий обработки, устойчивости к загрязнению и т.п.);

– интегральная оценка однородных (простых) объектов – на основе мультипликативного анализа редактируемого набора агроэкологических функций с учетом их относительной важности и устойчивости оценок в рамках конкретного объекта и задач оценки;

– интегральная оценка сложных объектов – на основе анализа результатов оценки их составных элементов с учетом их площадей, расчлененности границ и контрастности контуров;

– визуализация результатов оценки в виде специально разрабатываемых форм–отчетов, графиков или картосхем.

Основные задачи конкретного варианта автоматизированной системы агроэкологической оценки земель определяются:

– ключевыми принципами построения агроэкологической оценки земель;

– обоснованным набором основных диагностических параметров оценки (ОДГТО) по каждой анализируемой функции почв и земель;

– базовыми критериями, шкалами и алгоритмами частной и функционально-факторной агроэкологической оценки (по каждому из включенных в систему ОДПО и обобщающих функциональных факторов оценки);

– принятыми в системе правилами фильтрации, обобщения и интерпретации первичной и расчетной агроэкологической и вспомогательной информации;

– заданным уровнем жесткости-гибкости структурирования и описания анализируемых объектов, решаемых аналитических и экспертных задач, используемых при оценке типовых наборов ОДПО и алгоритмов оценки;

– степенью подготовленности и правами доступа к базовым элементам системы повседневно работающих с ней специалистов и их требованиями к сервисным возможностям, наглядности работы и получаемых результатов.

В соответствии с заданными требованиями количественной идентификации, сопоставления, агроэкологического анализа и интерпретации агрономически наиболее значимых параметров произвольно выбираемых участков и групп участков земель (в соответствии с агроэкологическими требованиями основных сельскохозяйственных культур и агротехнологий) – в созданных для решения конкретных оценочных задач и/или настроенных на условия конкретного региона и района или хозяйства автоматизированных систем агроэкологической оценки земель последовательно решаются следующие основные задачи:

1) однозначная идентификация объекта(ов) анализа в принятой в данной системе адресной и функционально-аналитической координации;

2) ввод (вручную или из готовой базы данных) исходной информации;

3) последовательное решение выбранных для анализа оценочных задач с уточнением (или выбором) по мере необходимости набора оптимальных для данной сессии анализа диагностических параметров, шкал, эталонов и/или алгоритмов их анализа;

4) визуализация (на экране монитора или в виде распечатки) табличных и/или графических результатов анализа;

5) стирание, сохранение, редакция, обобщение, экспорт или дальнейшая обработка полученных материалов.

По мере детализации агроэкологической оценки земель и повышения эффективности разрабатываемых на ее основе адаптивно-ландшафтных систем земледелия все большее значение приобретает адекватный поставленным задачам оценки анализ своеобразия конкретного агроландшафта, провинциально-генетических особенностей его основных почв, агроэкологических качеств рельефа, микроклимата, фитосанитарного состояния и функционально-экологического состояния земель.

Характерные для последних десятилетий периодическая смена землепользователей, высокая динамика рыночного спроса и ускоренное обновление ассортимента материально-технического обеспечения сельскохозяйственного производства повышают актуальность мультипликативной оценки функционального качества и экологического состояния почв и земель, поливариантного прогнозирования их использования в быстро меняющихся экономических и экологических условиях.

Для минимизации экологических и экономических рисков землепользования создаются комплексные системы оценки агроэкологического состояния земель, позволяющие учитывать местные особенности почвенного покрова и агроландшафта при решении широкого спектра задач агроэкологической оценки. Среди большого числа других моделей и оценок они выгодно отличаются полифункциональностью, комплексным подходом к решению прогнозно-оценочных задач и способностью адаптироваться – настраиваться на их решение условиях конкретного агроландшафта и землепользования.

Среди основных положительных тенденций в развитии современных систем агроэкологической оценки земель следует отметить постепенный рост внимания исследователей к базовым почвенным характеристикам и морфогенетическим свойствам почв, провинциально-генетической и структурно-функциональной дифференциации почвенного покрова и агроландшафта, основным процессам и по-

следствиям многолетней антропогенной динамики почв, дифференцированным агроэкологическим требованиям основных сельскохозяйственных культур (сортов) и агротехнологий.

Используемые в автоматизированной системе агроэкологической оценки земель информационно-методическое обеспечение и нормативные базы типовых шкал и эталонных значений основных диагностических показателей оценки включают компоненты федерального, регионального и локального заполнения [Васенев, Бузылев, 2010], предусматривая четыре уровня адаптации автоматизированной системы оценки к природным, технологическим и экологическим особенностям земель конкретного региона и хозяйства к условиям: 1) региона; 2) района; 3) хозяйства; 4) конкретного земельного участка.

3.3 Федеральный уровень информационно-методического обеспечения агроэкологической оценки земель

На федеральном уровне агроэкологической оценки земель решаются принципиальные методологические и технологические вопросы оценки [Агроэкологическая оценка..., 2005]:

1) функционально-целевое структурирование рамочной системы оценки;

2) введение общепринятой системы пространственно-временной организации и классификации агроландшафтов;

3) разработка базовых критериев, факторов и основных диагностических параметров оценки (ОДПО);

4) формирование единых правил качественного и количественного ранжирования ОДПО, базового перечня применяемых классификационных схем;

5) формирование единой рамочной системы метролого-аналитического и информационно-методического обеспечения оценки;

6) создание рамочных баз исходных и нормативных данных, основных алгоритмов анализа, интегрирования и интерпретации информации;

7) разработка типовых форм исходной и нормативной информации, основных информационно-аналитических модулей и результатов анализа;

8) определение перечня используемых платформ совместимого между собой базового и специализированного программного обеспе-

чения.

Принципиальная методология и структурно-функциональная организация оценки базируются на современных ландшафтно-экологических подходах агроэкологической дифференциации территории для рационального размещения сельскохозяйственного производства в целом и формирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия в частности.

Формируемый на федеральном уровне единый методический каркас агроэкологической оценки земель подразумевает ее последующую поэтапную детализацию и настройку на решение частных задач оценки конкретных земельных участков и массивов – с точки зрения их пригодности для выращивания конкретных культур (сортов), применения дифференцированных по уровню материально-технического обеспечения агротехнологий, различных видов техники и агрохимикатов.

Исходную информационно-методическую (и картографическую) основу федерального уровня агроэкологической оценки земель составляют существующие системы почвенно-географического [Добровольский, Урусевская, 2004] и природно-сельскохозяйственного районирования, обзорные карты почвенно-экологического, почвенно-эрозионного, почвенно-мелиоративного районирования и др., подготовленные в последние годы для крупных региональных территорий, европейской и азиатской частей России.

Часть из них уже имеется в электронном виде, другие – сравнительно легко поддаются компьютерной оцифровке, что облегчает формирование на их основе гибкой геоинформационной системы многоцелевого агроэкологического районирования сельскохозяйственной территории страны под основные виды (и в перспективе – сорта) сельскохозяйственных культур – с количественной оценкой их продукционного потенциала, агротехнологических условий возделывания, существующей инфраструктуры производства и условий реализации продукции.

Повышенная актуальность разработки специализированного геоинформационного обеспечения для федерального уровня агроэкологической оценки сельскохозяйственных земель обусловлена высокой динамикой текущей структуры их использования, функционального качества и экологического состояния сельскохозяйственных и маргинальных земель, быстрым обновлением современной селекционно-сортовой, материально-технической и технологической базы

сельскохозяйственного производства, рыночного спроса и научно-информационного обеспечения АПК.

За прошедшие десятилетия был накоплен значительный методический и исходный информационный материал для практической реализации современных подходов к функционально-целевой агроэкологической оценке земель на федеральном уровне и ее геоинформационному обеспечению.

В 1994 г. был создан электронный Почвенно-экологический атлас России, включивший 16 карт разного масштаба и содержания: карты районирования (почвенно-географического, природно-сельскохозяйственного, лесорастительного и др.), биопродуктивности (фитомасса, мортмасса, продукция), растительности, почв, агроклимата и др. Каждая из них имеет несколько слоев, сопряженных с соответствующими федеральными базами данных. В настоящее время оцифрованы Ландшафтная и Почвенная карты страны в масштабе 1:2 500 000. Вместе с Атласом они образуют постоянно развивающуюся ГИС природных ресурсов России.

Специализированные федеральные ГИС, непосредственно связанные с анализом агроэкологического состояния земельных ресурсов России, развиваются в Министерствах природных ресурсов и сельского хозяйства страны.

С использованием автоматизированных систем на основе ГИС проводится государственный земельный кадастр (ГЗК) России. В качестве ГИС-инструментария для земельного кадастра использовались западные (ArcInfo, MapInfo, Intergraph, AutoCAD) и отечественные пакеты (Панорама, GeoDraw/GeoGraph, ObjectLand – Основы геоинформатики, 2004). Принятие целевой федеральной программы «Создание автоматизированных систем ведения государственного земельного кадастра Российской Федерации (АС ГЗК)» способствовало ускоренной разработке специализированных программных средств для автоматизированного ведения государственного кадастрового учета земельных участков как объекта права и налогообложения. В настоящее время в АС ГЗК используются ГИС-платформы MapInfo, ObjectLand, Геополис, GeoMedia, SICAD/SD.

Применение современных ГИС-технологий в землеустройстве дает возможность использовать для ввода и обновления сведений в базах данных ГЗК высокотехнологичные электронные средства геодезии и глобальные системы позиционирования (ГСП), а значит, постоянно иметь точную и свежую информацию о текущем земле-

устройстве территории.

Для оперативного решения кадастровых задач на больших территориях можно использовать технологии фотограмметрической обработки данных дистанционного зондирования (ДЦЗ) с определением размеров, формы и пространственного положения различных земельных и инфраструктурных объектов по результатам измерения их изображений. Их использование в рамках специализированных земельных ГИС помогает решению широкого спектра задач, непосредственно связанных с агроэкологической оценкой земель и проектированием адаптивно-ландшафтных систем земледелия:

- созданию тематических карт разного масштаба для целей районирования и землеустроительного проектирования;
- построению цифровых моделей рельефа и основанных на них карт основных типов и форм рельефа;
- инвентаризации земель и системы землеустройства разного уровня;
- мониторингу агроэкологического состояния земель и оценке ущербов;
- оперативному составлению и обновлению планов землеустройства и качественных почвенно-ландшафтных карт;
- оперативной поддержке тематических баз данных земельных ГИС;
- прогнозу урожайности и проблемных агроэкологических ситуаций.

Вместе с тем в современной технологии ведения ГЗК земельные геоинформационные системы используется главным образом только для ведения кадастровой карты и, как правило, не используются для решения практических задач агроэкологической оценки, районирования и мониторинга земель. На сегодняшний день в России еще не функционирует стройная автоматизированная система ведения ГЗК на всех уровнях кадастрового учета. Единые автоматизированные системы ведения ГЗК на уровне федерального округа и страны в целом еще находятся на стадии проектирования [Агроэкологическая оценка..., 2005].

Геоинформационную основу федерального уровня агроэкологической оценки земель и агроэкологического районирования (необходимых для решения задач адаптивно-ландшафтного земледелия) составляют существующая система природно-сельскохозяйственного районирования и оцифрованные почвенная и ландшафтная карты

страны масштаба 1:2 500 000.

Для европейской территории страны каркасной основой агроэкологического районирования служит детально проработанная «Карта почвенно-экологического районирования Восточно-европейской равнины» (масштаба 1:2 500 000) под редакцией академика Г.В. Добровольского и профессора И.С. Урусевской (1997). Она отражает иерархическую организацию агроландшафта на уровнях от географического пояса до подзональной почвенно-биоклиматической провинции, почвенно-литоморфологического округа и почвенного района, тем самым обеспечивая исходной информацией основные уровни природной классификации равнинных ландшафтов.

Высокая информационная насыщенность разноуровневых географических выделов почвенно-экологического районирования (основные параметры агроклимата на уровне провинций, основные типы рельефа, почвообразующих пород, структура землепользования и средневзвешенные бонитеты почв на уровне округов, доминирующие структуры почвенного покрова на уровне районов) позволяет говорить о наличии хорошей естественно-научной основы для проведения федерального агроэкологического районирования с региональной дифференциацией нормативной базы агроэкологической оценки земель и оптимизации земледелия России.

3.4 Региональный уровень информационно-методического обеспечения агроэкологической оценки земель

На региональном уровне агроэкологической оценки земель решаются соответствующие научно-методические и геоинформационно-аналитические задачи:

1) разработка, верификация и поэтапная детализация региональных систем агроэкологической систематизации земель на основе уточненного природно-сельскохозяйственного (агроэкологического) районирования территории субъектов Российской Федерации;

2) составление региональных регистров паспортизированных и пространственно координированных (с указанием основных ареалов распространения) агроэкологических групп и видов земель;

3) создание среднемасштабных (1:100 000 или 200 000) электронных карт и картосхем агроэкологической группировки сельскохозяйственных земель региона;

4) формирование региональных баз данных основных диагно-

стических параметров оценки (ОДПО) агроэкологического состояния земель;

5) создание региональных электронных атласов агроэкологического состояния земель, структурированных по основным лимитирующим факторам адаптивно-ландшафтного земледелия;

6) формирование региональных систем районированных нормативов агроэкологической оценки земель для задач адаптивно-ландшафтного земледелия и районирования агротехнологий;

7) разработка и адаптация к условиям и задачам региона специализированного программного обеспечения для агроэкологической оценки, прогнозирования и моделирования функционального качества и экологического состояния основных агроэкологических групп и видов земель в наиболее распространенных условиях землепользования [Васенев и др., 2004, 2010; Агроэкологическая оценка..., 2005].

Вся доступная землеоценочная информация поэтапно интегрируется в единую региональную автоматизированную систему комплексной агроэкологической оценки земель (РАСКАЗ – [Васенев и др., 2004, 2010]) и совмещенную с ней региональную ГИС. Ее геоинформационную основу составляют сопряженные с соответствующими базами данных тематические пакеты следующих электронных карт и картосхем:

1) базовых топографических слоев (изолиний рельефа, водотоков, дорожной, жилищной и производственной инфраструктуры, отражаемой в масштабе 1:100 000 или 1:200 000);

2) базового землеустройства с выделением основных категорий законодательно закрепленного землепользования и крупных землепользователей с площадью землепользования более 1000 га;

3) преобладающих типов мезорельефа и видов микрорельефа с количественным (полуколичественным) ранжированием показателей по влиянию на агроэкологическое качество земель и указанием ареалов распространения проблемных геоморфологических ситуаций (оползни, мочары...);

4) почвообразующих пород с указанием ареалов преобладания основных типов почвообразующих пород, глубины залегания подстилающих пород и процентного участия неплодородных пород, оказывающих серьезное влияние на агроэкологическое качество почв и земель;

5) агроклимата с районированием территории по среднемноголетнему количеству осадков, сумме активных температур, длитель-

ности вегетационного периода основных выращиваемых культур, агроклиматическим рискам растениеводства и степени неоднородности микроклимата;

б) структуры почвенного покрова с выделением основных мезо- и микрокомбинаций почвенного покрова и указанием преобладающих соотношений между их компонентами;

7) основных ресурсных факторов агроэкологического состояния почв в условиях данного региона, включая среднесезонные запасы продуктивной влаги, текущее содержание и запасы гумуса и доступных форм питательных макро- и микроэлементов, районирование территории по основным почвенно-гидрофизическим и почвенно-агрохимическим группам земель;

8) лимитирующих факторов агроэкологического состояния земель в условиях данного региона, включая эрозию, агрофизическую и агрохимическую деградацию почв, проблемы фитосанитарного состояния земель, основные виды загрязнения и техногенной деградации земель, риски сезонного иссушения, вымокания посевов, переуплотнения и т.д.

Подобные региональные агрогеоинформационные системы агроэкологической оценки земель являются основой для разработки и функционирования специализированных систем поддержки принятия решений (СППР) по формированию и корректировке адаптивно-ландшафтных систем земледелия.

Формирование специализированных систем агроэкологической оценки земель и СППР агроэкологической оптимизации земледелия опирается на уже существующие или параллельно создаваемые тематические геоинформационные и информационно-справочные системы (ГИС, ИСС) с районированными нормативами агроэкологической оценки, агрохимической и агрофизической характеристикой почв, агроэкологическими требованиями характерных для региона сельскохозяйственных культур и агротехнологий.

В настоящее время накоплен значительный опыт формирования подобных геоинформационных, информационно-справочных и аналитических систем для условий целого ряда крупных сельскохозяйственных регионов России [Васнев и др., 2004, 2010; Агроэкологическая оценка..., 2005].

Основные задачи РАСКАЗ и СППР агроэкологической оптимизации земледелия определяются рассмотренными выше принципами построения агроэкологической оценки земель, предложенным наборо-

ром основных диагностических параметров оценки (ОДПО), базовыми критериями, шкалами и алгоритмами частной и функционально-факторной агроэкологической оценки (по каждому из включенных в систему ОДПО и обобщающих функциональных факторов оценки – ОФФО), принятыми в системе правилами фильтрации, обобщения и интерпретации информации, заданным уровнем жесткости–гибкости структурирования и описания анализируемых объектов, решаемых аналитических и экспертных задач, степенью подготовленности и правами доступа к базовым элементам системы повседневно работающих с ней специалистов и их требованиями к сервисным возможностям, наглядности работы и получаемых результатов.

В соответствии с задаваемыми требованиями количественной идентификации, сопоставления, агроэкологического анализа и интерпретации [Васенев и др., 2004, 2010; Агроэкологическая оценка..., 2005] агрономически наиболее значимых параметров произвольно выбираемых участков и групп участков земель (в соответствии с агроэкологическими требованиями основных сельскохозяйственных культур и агротехнологий) в созданных для решения конкретных оценочных задач и/или настроенных на условия конкретного региона РАСКАЗ и СППР агроэкологической оптимизации земледелия последовательно решаются следующие основные задачи:

1) однозначная идентификация объекта анализа в принятой в данной РАСКАЗ и СППР системе адресной и функционально-аналитической координации;

2) ввод (вручную или из готовой базы данных) исходной информации;

3) последовательное решение выбранных для анализа оценочных задач с уточнением (или выбором), по мере необходимости, набора оптимальных для данной ситуации анализа диагностических параметров, шкал, эталонов и/или алгоритмов их анализа;

4) визуализация (на экране монитора или в виде распечатки) табличных и/или графических результатов анализа;

5) стирание, сохранение, редакция, обобщение, экспорт или дальнейшая обработка полученных материалов.

По мере детализации агроэкологической оценки земель и повышения эффективности разрабатываемых на ее основе адаптивно-ландшафтных систем и подсистем земледелия все большее значение приобретает адекватный поставленным задачам оценки анализ своеобразия конкретного агроландшафта, провинциально-генетических

особенностей его основных почв, агроэкологических качеств рельефа, микроклимата, фитосанитарного состояния и функционально-экологического состояния земель.

Информационно-аналитические модули РАСКАЗ включают в себя:

1) специализированные базы данных (БД) текущей (оцениваемой) и нормативно-справочной информации (используемой в процессе оценки или интерпретации ее результатов);

2) базы знаний (БЗ), представляющие собой совокупность в различной степени формализованных правил, процедур и алгоритмов анализа, трансформации и интерпретации исходной информации по объекту анализа;

3) систему управления базами данных (СУБД), обеспечивающую ввод, экспорт, импорт, выбор по запросу, визуализацию и обработку информации согласно заданной в БЗ системе правил, процедур и алгоритмов анализа.

Для построения региональных автоматизированных систем агроэкологической оценки земель, как правило, применяются универсальные программные платформы создания производных структурированных баз данных и специализированных СУБД (MAMPs, Delphi, 1С). Их использование значительно упрощает и ускоряет процесс формирования информационно-аналитических модулей РАСКАЗ и СППР агроэкологической оптимизации земледелия, облегчает широкое использование в них современных средств визуализации данных и процедур анализа, позволяет создавать интерактивные системы с интерфейсом, максимально понятным и удобным для широкого круга пользователей без специальной подготовки по информатике и оценке земель.

Автоматизированные системы агроэкологической оценки количественных критериев физического и экономического соответствия земель различным вариантам и технологиям их использования предусматривают трехэтапную процедуру настройки системы к условиям конкретного региона:

1) формирование перечня основных диагностических показателей оценки – ОДПО;

2) системный анализ агроэкологических требований основных выращиваемых культур (подразумевая и условия их возделывания);

3) приведение в соответствие шкал, нормативов и алгоритмов оценки ОДПО агроэкологическим требованиям выращиваемых куль-

тур и агротехнологий [Land evaluation..., 1993; Rossiter, 1995].

Типичная структура такой оценки состоит из следующих основных процедур:

- 1) выбор объекта оценки;
- 2) ввод значений первичных характеристик выбранного участка земли (элементарный ареал агроландшафта, элементарный рабочий участок);
- 3–4) частная и функционально-факторная оценки первичных характеристик с переходом от них к оценке основных составляющих функционального качества земель (плодородие, условия обработки, уровень загрязнения и т.п.);
- 5) интегральная оценка сложных объектов на основе анализа результатов оценки их составных элементов;
- 6) визуализация результатов оценки в виде специально разрабатываемых форм–отчетов, графиков или картосхем.

Первая задача, с которой сталкивается любой разработчик и пользователь автоматизированных систем оценки земель, состоит в однозначной функционально-экологической идентификации объектов анализа в системе их координации, принятой в данной системе оценки. Как правило, она включает в себя четыре принципиальные составляющие:

- 1) почвенно- и/или ландшафтно-географическая координация объектов;
- 2) административно-хозяйственная организация территории (район, хозяйство, отделение и/или бригада);
- 3) структурно-иерархическая организация объекта (простой, сложный состав и краткая характеристика базовых элементов);
- 4) функциональная дифференциация решаемых оценочных задач (определение перечня включенных в конкретный анализ задач).

Почвенно- и/или ландшафтно-географическая координация объектов оценки обеспечивает корректное сопоставление текущих данных по нему с соответствующими нормативными данными и шкалами оценки. Последние имеют очевидную провинциально-генетическую, литолого-геоморфологическую и агрогенно-хозяйственную дифференциацию и в идеале должны быть районированы в соответствии с системой агроэкологического районирования соответствующего природного или административного региона.

Точная идентификация объекта анализа в подсистеме административно-хозяйственной организации территории позволяет автома-

тически воспроизводить его точную административно-хозяйственную привязку на всех выходных формах анализа и формировать соответствующие записи в агроэкологических паспортах и специализированных базах данных (если они были заведены). Кроме того, часто она является наиболее удобным «ключом» к определению точного почвенно- и ландшафтно-географического адреса объекта – при формировании в базе знаний редактируемой системы правил соответствия административно-хозяйственных территориальных единиц элементарным выделам агроэкологического районирования. В таком случае выбор произвольного объекта анализа в настроенной на конкретный регион системе оценки предусматривает автоматическое определение его основных агроэкологических (почвенно-географических, ландшафтных, агроклиматических и др.) координат.

Идентификация структурно-иерархической организации объекта анализа автоматически выбирает или сужает исходную базу выбора используемого при его анализе набора алгоритмов. Окончательное определение набора включенных в конкретный анализ алгоритмов оценки происходит при выборе в системе раскрывающихся меню перечня решаемых (комплексных или автономных) оценочных задач, включенных в их решение факторов оценки и основных диагностических показателей оценки этих факторов.

Ввод исходной информации для проведения агроэкологической оценки земель идентифицированного объекта анализа может выполняться как вручную, так и посредством автоматического выборочного считывания информации по объекту исследования из заранее созданной региональной базы данных или файла данных стандартного вида.

В ряде случаев приходится предусмотреть дополнительную процедуру перевода удобной для ввода размерности основных диагностических параметров оценки (ОДПО) в производную размерность, соответствующую требованиям используемого алгоритма анализа. Например, площади могут переводиться из га в %, содержания элементов питания – из мг на 100 г в мг на кг, из одной формы экстрагирования в другую и т.д.

Последовательное решение оценочных задач, выбранных для анализа агроэкологического качества земель ранее идентифицированного объекта, предусматривает поэтапное (интерактивное или полностью автоматизированное – на основе принятых правил из базы знаний) уточнение по мере необходимости набора оптимальных для данной ситуации диагностических параметров, шкал, эталонов и/или

алгоритмов их анализа – из всей совокупности заложенных в программу диагностических параметров, шкал, нормативов и алгоритмов оценки.

Прежде всего, решается задача выбора наиболее значимых (лимитирующих) функциональных факторов и диагностических параметров агроэкологической оценки – в соответствии с агроэкологическими особенностями оцениваемых земель и выбранными для анализа целевыми функциями оценки (плодородие, выбор оптимальных земель для конкретной культуры или агротехнологии). Как правило, она решается интерактивно: пользователь выбирает факторы оценки и оцениваемые параметры из раскрывающихся в соответствующих разделах системы списков/меню.

Опытный эксперт выполняет эту операцию достаточно быстро и эффективно. В помощь менее опытному пользователю разрабатываются районированные сценарии агроэкологической оценки, когда анализируемый набор функциональных факторов и диагностических параметров оценки выбирается при прохождении пользователем через иерархическую систему вопросов с выбором стандартных или количественных ответов – в соответствии со специальным набором правил из подготовленной для этого базы знаний.

Первоочередное влияние на эффективность работы региональных автоматизированных систем агроэкологической оценки земель оказывают пять следующих принципиальных элементов оценки:

1) целевое определение набора анализируемых функциональных (и/или технологических) факторов и основных диагностических параметров оценки (ОДПО) земель, ограниченного рамками поставленной задачи;

2) использование для характеристики каждого из факторов обоснованно достаточного, но не избыточного набора реально доступных ОДПО;

3) выбор рациональных (достаточно, но не избыточно информативных) шкал квантификации–ранжирования используемых ОДПО;

4) разработка эффективного алгоритма анализа модели с установлением оптимального метода интегрирования и интерпретации результатов;

5) принятие во внимание известных закономерностей провинциально-генетического разнообразия почв, пространственного варьирования почвенных характеристик и местных особенностей структуры почвенного покрова, соответствующих масштабу анализа.

Как правило, региональные ГИС агроэкологической оценки земель предусматривают возможность оперативной визуализации получаемых результатов оценки в виде тематических или синтетических (получаемых в результате синтеза отдельных тематических карт) электронных картосхем основных факторов и параметров агроэкологического состояния земель, что облегчает возможности их оперативной интерпретации для сравнительного анализа и проектирования систем земледелия и землепользования.

Применение региональных ГИС агроэкологической оценки земель позволяет быстро обрабатывать большие и сложно организованные массивы первичных агроэкологических данных, трансформируя их в хорошо упорядоченную и логично интерпретируемую систему сопоставимых агроэкологических оценок. На их основе легко выявляются и количественно ранжируются проблемные агроэкологические ситуации и лимитирующие параметры земель, формируя гибкую информационную основу детального агроэкологического районирования и микрозонирования. Повышенная открытость рамочных систем оценки предусматривает их оперативную настройку для работы с новым регионом или технологией земледелия.

3.5 Локальный уровень информационно-методического обеспечения агроэкологической оценки земель

На локальном уровне агроэкологической оценки земель (район, хозяйство, поле) концентрируется вся необходимая информация для их функционально-экологической оценки с учетом особенностей конкретного агроландшафта и специализации сельхозтоваропроизводителей для решения оптимизационных задач агроэкологического аудита и проектирования агротехнологий и систем земледелия.

Для его условий настраивается необходимая нормативная база на основе нормативов, принятых для соответствующего природно-сельскохозяйственного района, к которому относится агроландшафт. При отсутствии готовых районированных нормативов максимально детализируется доступная нормативная информация по соответствующей подзональной или зональной природно-сельскохозяйственной провинции с учетом почвенно-агроландшафтных особенностей конкретного хозяйства.

В результате многолетней деятельности институтов системы ГИПрозем и станций агрохимического обслуживания на всю сель-

скохозяйственную территорию страны были созданы крупномасштабные почвенные и агрохимические карты нескольких туров обследования. При множестве замечаний (по качеству топонимов, детальности и точности картирования, отражению реальной неоднородности структуры почвенного покрова) они, как правило, адекватно отражают основные особенности крупномасштабной организации почвенного покрова и пространственной дифференциации базовых агрохимических параметров плодородия земель [Агроэкологическая оценка..., 2005].

Использование этих карт существенно облегчает и удешевляет проведение качественной агроэкологической оценки земель хозяйства для проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Поэтому необходимо принять все меры по сохранению и, в перспективе, оцифровке крупномасштабных почвенных и агрохимических карт хозяйств в архивах соответствующих земельных и кадастровых региональных и районных учреждений.

Для эффективного решения задач локального уровня агроэкологической оценки земель необходимо использовать базовые элементы региональных автоматизированных систем комплексной агроэкологической оценки земель (РАСКАЗ) после их адаптации и настройки к условиям соответствующего района и при необходимости хозяйства.

Используемые в РАСКАЗ нормативные базы данных шкал и эталонных значений основных диагностических показателей оценки включают компоненты федерального, регионального и локального заполнения. Как правило, все они имеют редактируемый характер, с разным уровнем доступа пользователей к редакции. Использование методов динамического моделирования и анализа педотрансферных функций перспективно, но в настоящий момент ограничено сравнительно небольшим набором гидро- и агрофизических функций, модели которых верифицированы для условий определенного типа земель. Возможные области их применения ограничены информационной базой анализа (набором численных решений моделей и трансферных функций).

Федеральные компоненты включают базовый перечень анализируемых функциональных факторов оценки и ОДПО, алгоритмов их анализа и основных правил рамочной базы знаний для экспертной оценки данных.

Региональные компоненты включают компьютерный агроклиматический справочник, региональные БД агроэкологических требо-

ваний культур, районированных агрохимических, агрофизических, экономических и экологических нормативов и коэффициентов, используемых в алгоритмах оценки.

Локальные компоненты формируются посредством уточнения редакции региональных нормативов и шкал оценки, уточнения набора выращиваемых культур и агроэкологических особенностей анализируемых земель. Агрономически подготовленные пользователи могут применять для их заполнения и редакции результаты местных полевых опытов и экспериментов и/или результаты сравнительного анализа доступного набора нормативного материала, полученного в близких агроландшафтных условиях [Агроэкологическая оценка..., 2005].

Верификация и настройка базовых расчетных алгоритмов проводится агрономически и информационно подготовленными пользователями по согласованию с разработчиками региональных автоматизированных систем комплексной агроэкологической оценки земель и с учетом агроэкологических особенностей земель региона и района анализа, основного набора выращиваемых культур, их агроэкологических требований и технологий выращивания [Васенев и др., 2004, 2010].

Адаптация к условиям и задачам хозяйства основных форм ввода и вывода информации, местных нормативов и коэффициентов проводится на основе стандартных форм рамочной структуры программы, нормативно-справочных БД с районированной системой нормативов, опроса специалистов, местных особенностей хозяйства и ретроспективного решения основных расчетно-аналитических задач.

Считывание информации из уже готовых баз данных или стандартных файлов предусматривает обязательную или периодически повторяющуюся процедуру проверки правильности однозначного выбора запрашиваемых данных из содержащего их массива. Как правило, в базах знаний для этого создают дополнительные алгоритмы тестирования считываемой информации на ее соответствие характерной для запрашиваемых данных размерности.

При оценке уровня соответствия земельного участка рассматриваемому варианту сельскохозяйственного землепользования (культура, агротехнология) обычно применяются гибко настраиваемые (согласно анализу конкретной ситуации и перечню выбранных факторов и параметров оценки) алгоритмы дерева решений и мультипликативной оценки с элементами жесткого ограничения по лимитирующему

фактору [Васенев, 2004, 2008, 2010].

При агроэкологической типизации структур почвенного покрова и функционально-целевом зонировании землепользования особое внимание уделяется степени внутривольного варьирования почвенного плодородия, тепловому и влажностному режимам почв – в зависимости от экспозиции и крутизны склона, преобладающих форм микрорельефа [Сорокина, 1995].

Автоматизированные системы агроэкологической оценки земель предусматривают оперативное отражение получаемых результатов оценки на экране монитора в стандартных формах отчетов с последующей возможностью их экспорта, стирания или печати в виде таблиц или диаграмм. Совмещение баз данных с локальными геоинформационными системами анализируемых объектов позволяет получать результаты анализа в виде электронных картосхем и их распечаток, что облегчает работу над последующим проектированием адаптивно-ландшафтных систем земледелия.

3.6 Задачи агроэкологической оценки земель в системах прецизионного земледелия

Современные интенсивные агротехнологии предусматривают высокий уровень агротехники и применяемых доз удобрений, регуляторов роста и средств защиты растений. В результате значительно возрастает не только плановая рентабельность производства, но и «цена» возможных ошибок в интерпретации текущих почвенно-агроэкологических условий конкретного поля (рабочего участка). Это означает резкое увеличение удельной стоимости экологических и экономических рисков земледелия, что обуславливает быстро растущие требования к точности первичной почвенно-агрохимической информации и качеству ее агроэкологической интерпретации.

Разработанные за последние десятилетия методы анализа СПП, регионально-типологических форм процессов агропедогенеза и элементарных структур почвенного покрова, агроэкологического анализа почв и земель позволяют наиболее адекватно отражать иерархическое строение и пространственно-временную изменчивость почвенного покрова. С их использованием получают геостатистически обоснованные ареалы экстраполяции почвенно-агроэкологической информации, содержательные тематические слои и расчетно-ана-

литические модули геоинформационных и информационно-аналитических систем [Васенев и др., 2010].

Информационно-методическое обеспечение почвенно-агроэкологических вопросов прецизионного (точного) земледелия включает в себя:

– анализ основных закономерностей реальной пестроты урожайности в пределах поля – *в различных почвенно-агроэкологических условиях (зона, регион, район, хозяйство)*;

– исследование труднорегулируемых факторов пестроты урожайности (почвенный покров, ландшафтно-геоморфологические и погодные условия, влияние производственной инфраструктуры);

– исследование регулируемых факторов пестроты урожайности (рост и развитие растений, их стрессовые состояния, вредители и болезни, режимы и динамические показатели агроэкологического качества почв);

– геоинформационное моделирование внутривольного варьирования урожайности и основных агроэкологических факторов ее формирования;

– формирование детальных агроэкологических требований основных зональных культур (в перспективе – сортов) на основных фазах их развития в условиях данного вида агроландшафта;

– разработку алгоритмов и нормативов агроэкологической оценки земель для формирования территориально дифференцированных агротехнологических карт;

– разработку рационально дифференцированных приемов (норм, доз...) применения агротехнологий для снижения варьирования урожайности, непроизводительных потерь и экологического ущерба ландшафта.

Проведенные разными авторами исследования показывают характерную для различных почвенно-ландшафтных условий и большинства регионов России повышенную внутривольную пестроту урожайности основных сельскохозяйственных культур, обусловленную лимитирующим влиянием как регулируемых, так и труднорегулируемых факторов природного и антропогенного происхождения. Доминирующую роль среди них, как правило, играет высокая пространственно-временная изменчивость агроэкологического качества пахотных земель [Васенев и др., 2010].

Важно отметить выявленное разными авторами сильное варьирование урожайности основных сельскохозяйственных культур в

условиях Черноземной зоны России, которая традиционно относилась к регионам с наименее контрастными структурами почвенного покрова и благоприятными условиями для применения однородных зональных технологий на больших, недифференцированных в агропроизводственном отношении полях [Антропогенная эволюция черноземов, 2000].

Основными факторами внутривидового варьирования урожайности являются крутизна склонов, мощность гумусово-аккумулятивных горизонтов (в значительной мере определяемая степенью эродированности почв), глубина выщелачивания карбонатов и влажность пахотного горизонта (в той или иной степени отражающие запасы продуктивной влаги) и содержание питательных элементов [Васенёва и др., 2000; Васенев и др., 2002, 2008, 2010].

Агрогенно активизированные процессы эрозии, другие виды деградационных процессов значительно усложнили структуру почвенного покрова большинства агроландшафтов основных сельскохозяйственных регионов России, включая потенциально наиболее устойчивые черноземные регионы [Антропогенная эволюция черноземов, 2000; Васенев, 2008].

Для анализа приоритетов лимитирования почвенно-геоморфологических факторов плодородия земель на полях со значительным варьированием урожайности используется алгоритм построения дерева корреляций [Васенёва и др., 2000; Васенев и др., 2001, 2008], с помощью которого проводится последовательное иерархическое структурирование факторов варьирования урожайности в условиях конкретных типов земель или хозяйства. Для этого по определенной сетке опробования (с шагом от 20 до 100 м) учитывается урожайность и основные факторы ее варьирования. Затем факторы ранжируются – с учетом особенностей конкретного агроландшафта (таблицы 1 и 2).

Путем последовательного перебора основных факторов варьирования урожайности устанавливается фактор, разбивающий анализируемую выборку точек на их максимально однородные по урожайности группы, и дальнейший анализ проводится в пределах последовательно выделяемых групп с увеличивающимся на каждом этапе числом однородных в пределах группы факторов. Результат поиска напоминает разветвленную структуру дерева с ранжированием лимитирующих факторов в точках ветвления и средней урожайностью каждой из групп.

Таблица 1 – Локальная группировка геоморфологических и почвенно-морфогенетических параметров для сравнительной оценки лимитирующих факторов агроэкологического состояния черноземов [Васенёва и др., 2003]

Параметр	Группы агроэкологического качества земель				
	I	II	III	IV	V
Уклон поверхности	0–1° (1,5°)	1–3°	3–5°	5–8°	>8°
Мощность гумусовых горизонтов	Маломощные, <40 см	Среднемощные, 40–60 см	Повышенномощные*, 60–80 см	Мощные, 80–120 см	Сверхмощные, >120 см
Глубина залегания карбонатов	Поверхностнокарбонатные, < 30 см	Высококарбонатные, 30-50 см	Среднекарбонатные, 50-120 см	Глубококарбонатные, > 120 см	

* Повышенномощные виды черноземов часто объединяются со среднемощными.

Локальная группировка параметров для сравнительной оценки лимитирующих факторов плодородия земель проводится с использованием апробированных классификаций и группировок почв и земель, методических рекомендаций и нормативных материалов по их оценке на основе и в пределах конкретного массива данных, характеризующих земли анализируемого хозяйства или района. Использование разработанных для конкретного агроландшафта локальных шкал группировки параметров в других условиях требует их предварительного уточнения и адаптации.

Разработанные за последние десятилетия методы анализа СПП, региоально-типологических форм процессов агропедогенеза и элементарных структур почвенного покрова, агроэкологического анализа почв и земель позволяют наиболее адекватно отражать иерархическое строение и пространственно-временную изменчивость почвенного покрова. С их использованием получают геостатистически обоснованные ареалы экстраполяции почвенно-агроэкологической информации, содержательные тематические слои и расчетно-аналитические модули геоинформационных и информационно-аналитических систем поддержки принятия управляющих решений.

Таблица 2 – Локальная группировка агрохимических и агрофизических* параметров почв для сравнительной оценки лимитирующих факторов агроэкологического состояния черноземов [Васенёва и др., 2003]

Параметр		Группы агроэкологического качества земель				
		I	II	III	IV	V
Гумус по Тюрину, %		<5,0	5,0–5,5	5,6–6,0	6,0–6,5	>6,5
P ₂ O ₅ , мг/кг	по Чирикову	<50	50–100	100–150	150–200	>200
	по Мачигину	<15	15–30	30–45	45–60	>60
K ₂ O, мг/кг	по Чирикову	<40	40–80	80–120	120–180	>180
	по Мачигину	<100	100–200	200–300	300–400	>400
N, мг/кг	по Корнфилду	<100	100–150	150–200	200–250	>250
pH _{KCl}		<5,0	5,0–5,5	5,6–6,0	6,0–6,5	>6,5
Гидролитическая кислотность, ммоль/кг		>70	50–70	30–50	10–30	<10
Сумма поглощенных оснований, ммоль/кг		<200	200–300	300–350	350–400	>400
Плотность, г/см ³		>1,3	1,2–1,3	1,1–1,2	1,0–1,1	<1,0
Влажность в A1P (%) на время уборки		<15	15–20	20–25	25–30	>30

* Составлена с использованием нормативных материалов из Методического пособия... (2001) и результатов детальных обследований полей в ЦЧР (Васенёва и др., 2002).

Накопленный за рубежом двадцатилетний опыт конструктивного анализа детальной изменчивости почв при оптимизации нарезки полей и расчетах дифференцированных в пределах поля доз удобрений и мелиорантов показал их высокую эффективность в снижении затрат (–12–18%) и повышении рентабельности (+15–30%) интенсивных агротехнологий. Первые результаты подобных исследований в России показывают еще более высокую эффективность использования их результатов в хозяйствах с высоким уровнем технологической дисциплины вследствие более сложной организации и повышенной контрастности СПП доминирующих видов агроландшафтов России.

Анализ пространственно-временной изменчивости элементарных структур почвенного покрова становится обязательным элемен-

том геоинформационно-методического обеспечения современных систем агроэкологического проектирования, экспертизы и аудита адаптивно-ландшафтных и прецизионных (точных) систем земледелия, обязательным условием которых является функциональный анализ пространственно-временной изменчивости агроэкологического качества земель и урожайности сельскохозяйственных культур конкретного агроландшафта.

Прецизионное земледелие нуждается в серьезных информационно-методических исследованиях: сравнительной точности определения текущей урожайности, надежности работы системы в различных условиях, уровня затрат и экономической эффективности применения технологии. Необходимо отрабатывать технологические вопросы применения различных систем спутникового позиционирования с учетом получаемой точности определения текущих координат, надежности работы оборудования и затрат на его использование. Важное значение имеют оценка допустимого варьирования данных и вопросы перевода стандартных карт урожайности в локальные ГИС для выявления основных факторов варьирования урожайности и формирования детальных агротехнологических карт.

Но прежде всего прецизионное земледелие нуждается в надежной естественно-научной основе, которую составляют наши знания:

- закономерностей внутрипольного варьирования почвенного покрова и плодородия земель (в том числе и в различных погодных условиях);
- требований различных зональных культур (в перспективе – сортов) к факторам формирования урожайности на основных фазах их развития;
- функционально-экологической оценки земель и экономической эффективности землепользования – по совокупности физико-химических характеристик земель и эколого-экономических параметров технологий.

3.7 Комплексная оценка агроэкологического качества почв и земель

Комплексная оценка агроэкологического качества почв и земель состоит из двух этапов: функциональной (факторной) и интегральной оценки. Для них можно использовать мультипликативные формулы среднегармонических среднегеометрических значений, а также реги-

онально-типологические педотрансферные функции, построенные на основе адаптированных к местным условиям механических или функциональных моделей почвенно-гидрофизических, геохимических процессов и продукционного процесса [Васенев и др., 2002, 2010].

Основной метод предлагаемой функциональной оценки агроэкологического качества почв состоит в комплексной (мультипликативной) оценке и качества на основе полученных частных оценок по соответствующей функционально-диагностической группе параметров.

Возможно использование методов динамического моделирования и анализ педотрансферных функций, но их применение в настоящий момент ограничено в основном сравнительно небольшим набором гидрофизических и агрофизических агроэкологических функций, функциональные модели которых верифицированы для условий определенного типа почв и земель [Агроэкологическая оценка..., 2005; и др.]. Возможности дальнейшего расширения области их применения ограничены имеющейся на сегодняшний день информационной базой анализа: адаптированные к условиям конкретных типов почв и земель численные решения педотрансферных функций и поправочных коэффициентов для базовых уравнений моделирования.

При решении конкретных оценочно-аналитических или прогнозно-конструктивных задач набор анализируемых агроэкологических функций (факторов оценки) настраивается в соответствии с задаваемыми условиями. Примером такого регионального набора может служить следующее сочетание агроэкологических функций, адаптированное к условиям западной части ЦЧР [Васенев и др., 2004, 2010]:

(А) Агрохимическая функция эффективного обеспечения выращиваемых сельскохозяйственных культур доступными формами питательных элементов;

(В) Агрофизическая функция обеспечения растений влагой и поддержания благоприятных условий для работы сельхозмашин;

(С) Геоэкологическая функция обеспечения агротехнологических условий обработки и использования сельскохозяйственных земель в зависимости от уровня их пространственной неоднородности;

(D) Агро-морфогенетическая функция обеспечения устойчивого воспроизводства потенциального плодородия почв в зависимости от уровня отклонения от оптимальных значений их базовых характери-

стик;

(Е) Геохимическая функция буферной устойчивости почв и земель к техногенному загрязнению с сохранением уровня выполнения ими своих основных агроэкологических и экологических функций;

(F) Санитарно-экологическая функция саморегулирования агроэкологического качества земель конкретного вида использования в зависимости от уровня их загрязнения, засорения, заражения, вида землепользования, применяемых технологий и базовых характеристик почв;

(G) Агроклиматическая функция обеспечения светом, теплом и влагой выращиваемых сельскохозяйственных культур и биотического комплекса почв;

(H) Гидрофизическая функция обеспечения растений доступной влагой и эффективной миграции почвенных растворов (может рассматриваться как важная часть агрофизической функции, но часто рассматривается отдельно).

В разработанном и апробированном на примере модальной для условий Центрально-Черноземной зоны России Курской области рамочном варианте региональной автоматизированной системы комплексной агроэкологической оценки земель (РАСКАЗ) базовом алгоритме функциональной (факторной) оценки агроэкологического качества почв и земель используется формула среднегармонических значений [Васенев, Букреев, 1998, 2001]:

$$Q = \frac{m\Pi(q_i^n)}{\Sigma(\frac{\Pi(q_i^n)}{q_i^n})}$$

где m – число проанализированных параметров; n – индекс их устойчивости.

Для прикладного ранжирования, последующего анализа и использования получаемых результатов функциональной (*факторной*) оценки агроэкологического качества земель разрабатываются региональные интерпретационные таблицы, один из вариантов которых представлен в таблице 3. Цветная окраска ее клеток по методу светофора (от зеленого к красному) способствует быстрому визуальному восприятию качественного ранга полученной оценки.

Индекс устойчивости n призван отразить реальное разнообразие потенциальной устойчивости-изменчивости различных показателей земель в интервале их допустимого варьирования. Известно, напри-

мер, что значительно легче повысить значение рН почвы, чем содержание гумуса. Легче изменить текущую плотность сложения, чем содержание водопрочных агрегатов. Легче нейтрализовать загрязнение нитратами, чем металлами, и т.д.

Таблица 3 – Интерпретационная шкала оценки функционального качества и экологического состояния почв и земель

Фактор	Агроэкологические градации фактора по значениям оценки					
	1-0,96	0,95-0,76	0,75-0,51	0,50-0,26	0,25-0,01	0,0
А.	ЗЕМЛИ высокой	ЗЕМЛИ повышенной	ЗЕМЛИ средней	ЗЕМЛИ низкой	ЗЕМЛИ очень низкой	ЗЕМЛИ непродуктивные
	продуктивности					
В.	с очень хорошими	с хорошими	со сравнительно хорошими	с плохими	с очень плохими	с крайне плохими
	условиями обработки					
С.	однородные	слабо	средне-	сильно-	непригодные для использования	
		неоднородные			под пашню	в хозяйстве
D.	не требующие	требующие незначительного	требующие значительного	требующие очень значительного	требующие капитальной мелиорации	
	мелиоративного улучшения					
Е.	высокой	повышенной	средней	низкой	очень низкой	лишенные
	устойчивости к загрязнению					
F.		условно	не	мало	условно-	не
	благополучного санитарно-экологического состояния			пригодные для сельскохозяйственного использования		
G.	очень		довольно		очень	крайне
	благоприятными			неблагоприятными		
	<i>агроклиматическими условиями</i>					
H.	очень хорошим	хорошим	довольно хорошим	плохим	очень плохим	крайне плохим
	<i>режимом продуктивного влагозапаса</i>					
Q _Σ	оптимального	хорошего	удовлетворительного	неудовлетворительного	очень плохого	критического

В первом приближении индексу устойчивости относительно лабильных параметров присваиваются экспертные оценки $n = 1$, относительно устойчивых параметров $n = 1,2$. При решении конкретных задач он легко подстраивается под заданные в них условия. Для этого

удобно использовать автоматизированные технологии мультипликативного анализа функционально-экологического качества земель, которые допускают значительные модификации набора используемых при анализе параметров и групповых факторов оценки, т.е. действуют по принципу рамочных (*framework*) моделей.

Для интегральной оценки агроэкологического качества почв и земель в случае однородного почвенного покрова и земельного участка традиционно используется формула среднегеометрических значений:

$$Q = \sqrt[8]{A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \times H},$$

где 8 – число проанализированных групп параметров (варьирует от 2 до 8); А...Н – факторные оценки (могут иметь индексы значимости аналогично частным оценкам).

Для интегральной агроэкологической оценки поля с неоднородным ареалом агроландшафта Q_{Σ} используется величина средневзвешенной интегральной оценки его отдельных контуров с поправкой на относительное значение коэффициента неоднородности земель КН (уравнения):

$$Q = \frac{KH \times \sum_{j=1}^k (Q_j \times S_j)}{\sum_{j=1}^k S_j},$$

$$KH = \frac{(KH_K - K_T)}{(KH_K - K_O)},$$

$$KH_T = KP_N KK_T,$$

$$KP_T = \frac{d \times \sum_{j=1}^k L_j}{\sum_{j=1}^k S_j},$$

$$KK_T = \frac{1}{3 \times y} \sum ((Q_{2i} - Q_{1i}) + (Q_{2i} - Q_{3i}) + (Q_{1i} - Q_{3i})),$$

где S_j – площадь контуров почв j -го вида (рода, типа), км²; k – число видов (родов, типов), учитываемых на обследуемой территории; KH_K , KH_O , KH_T – критическое, оптимальное, текущее абсолютные значения коэффициента неоднородности почвенного покрова (ПП); KP_T – коэффициент расчлененности ПП; KK_K – коэффициент контрастности ПП; d – 1 км – коэффициент пересчета

единиц измерения; L_j – длина границ почвенных контуров j -го вида, км; y – число проанализированных групп параметров с групповыми оценками Q_j .

Проведенная данным образом комплексная агроэкологическая оценка почв и земель отражает их провинциально-генетические и местные особенности, что позволяет:

- более объективно судить об агроэкологическом качестве земель, даже в условиях неоднородного по составу почв участка земель;

- выявлять и количественно оценивать лимитирующие факторы агроэкологического качества земель, приоритетные проблемы землепользования;

- проводить компьютерное моделирование, поисковое и нормативное прогнозирование дальнейшего развития и разрешения проблемных ситуаций;

- повысить эффективность принимаемых управленческих и технологических решений за счет предварительного моделирования их последствий.

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите агроэкологические факторы оценки почв и земель.
2. Основные виды устойчивости земель агроландшафта.
3. Автоматизированные системы оценки агроэкологического качества пахотных почв и земель.
4. Основные задачи автоматизированной системы агроэкологической оценки земель.
5. Федеральный уровень информационно-методического обеспечения агроэкологической оценки земель.
6. Какие научно-методические и геоинформационно-аналитические задачи решаются на региональном уровне агроэкологической оценки земель?
7. Задачи локального уровня информационно-методического обеспечения агроэкологической оценки земель.

4 ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЗЕМЕЛЬ

4.1 Агрохимические параметры агроэкологического состояния почв

Анализ агрохимических параметров обеспечения продукционного процесса доступными формами элементов питания и благоприятными условиями среды обитания традиционно составляет информационно-методическую основу количественной оценки уровня окультуренности наряду с интегральными по смыслу показателями мощности гумусово-аккумулятивных горизонтов, равновесной плотности сложения пахотного и подпахотного горизонтов, содержания и водопрочности агрономически ценных агрегатов.

Под окультуриванием почв и сельскохозяйственных земель понимается преобразование их свойств в соответствии с агроэкологическими требованиями конкретной культуры или группы культур [Козловский, 1991; Кирюшин, 2000; Агроэкологическая оценка..., 2005; Васенев и др., 2010; и др.]. 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 [Агроэкологическая оценка..., 2005].

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.

Среди агрохимических параметров агроэкологического состояния почв традиционно наибольшее внимание уделяется содержанию,

запасам и качеству гумуса, значениям рН, содержанию и запасам доступных форм основных элементов питания (NPK) со шкалами оценки, адаптированными к условиям конкретного региона.

По содержанию в почве гумуса наибольшее распространение имеют следующие градации: I группа – содержание гумуса очень низкое < 2,0%; II – низкое 2,1–4,0; III – среднее 4,1–6,0; IV – повышенное 6,1–8,0; V – высокое 8,1–10,0; VI – очень высокое > 10,0% [Гогмачадзе, 2010] – детализируемые для условий конкретного региона и района оценки.

В общей площади пашни России (115,4 млн. га) преобладают земли с низким (37,5%) и средним (28,4%) содержанием гумуса (таблица 4). Площади с повышенным и высоким содержанием гумуса занимают 18,6% пашни РФ, с очень низким – 15,5%. Пахотные земли с низким содержанием гумуса (2,1– 4%) преобладают в Северо-Западном округе – 59,4%, Южном – 62,9% и Дальневосточном – 50,7%. В Южном округе отмечается наименьшее количество почв с содержанием гумуса выше 4% – всего 13,9%.

На большей части пахотных земель России содержание гумуса в почвах из года в год сокращается, а доля пашни с низким его содержанием (< 2%) увеличивается. Одной из главных причин устойчивого падения содержания гумуса в пашне является ежегодное снижение количества вносимых органических удобрений и массовый отход от научно обоснованных севооборотов. В результате ухудшаются биологические свойства почв и их способность удерживать поступающие в них элементы питания.

О потенциальной обеспеченности растений азотом судят по содержанию его легкогидролизуемых форм (таблица 5) и 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 4 – Площади пахотных почв Российской Федерации с различным содержанием гумуса по состоянию на 01.01.2005 (тыс. га) [Гогмачадзе, 2010]

Регион	Общая площадь	Обследованная площадь	Группировка почв по содержанию гумуса, %					
			<2	2,1-4,0	4,1-6,0	6,1-8,0	8,1-10,0	>10
Российская Федерация	115 405,8	105 413,9	15 841,2	39 104,1	30 538,1	15 278,2	3822,1	830,2
		91,3%	15,1%	37,1%	28,9%	14,5%	3,6%	0,8%
Центральный округ	22 101,9	19 796,3	4478,7	4977,1	6234,1	3995,6	103,1	7,7
		89,6%	22,6%	25,1%	31,5%	20,2%	0,5%	0,1%
Северо-Западный округ	2982,4	2371,4	507,7	1416,0	403,5	28,0	11,4	4,8
		79,5%	21,4%	59,7%	17,0%	1,2%	0,5%	0,2%
Южный округ	21951,2	19 458,0	4520,6	11919,9	2823,7	181,7	12,1	0,0
		88,6%	23,2%	61,3%	14,5%	0,9%	0,1%	0,0%
Приволжский округ	34 906,2	33 912,0	4867,1	12 368,6	9538,0	5365,5	1670,9	101,9
		97,2%	14,4%	36,5%	28,1%	15,8%	4,9%	0,3%
Уральский округ	8245,6	6521,8	169,4	1600,2	3000,7	1393,7	318,8	39,0
		79,1%	2,6%	24,5%	46,0%	21,4%	4,9%	0,6%
Сибирский округ	23 047,4	21 291,6	1102,5	5758,8	7914,2	4193,5	1664,3	658,3
		92,4%	5,2%	27,0%	37,2%	19,7%	7,8%	3,1%
Дальневосточный округ	2171,1	2062,8	195,2	1063,5	623,9	120,2	41,5	18,5
		95,0%	9,5%	51,6%	30,2%	5,8%	2,0%	0,9%

Таблица 5 – Агроэкологическая оценка обеспеченности почв легкогидролизуемым азотом в мг/100 г почвы [Агроэкологическая оценка земель..., 2005]

Оценка обеспеченности	pH <5			pH 5–6			pH >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.

Результаты агрохимического обследования пахотных земель в районах распространения кислых почв и группировка площадей по степени кислотности показывают, что на 1 января 2005 г. в Российской Федерации кислые почвы (pH < 5,5) занимали 34,3 млн. га, или 32,0% от обследованной площади (107,1 млн. га) (табл. 6.1.3). Наибольшее распространение кислые почвы имеют в Центральном (53,7%) и Дальневосточном (75,6%) федеральных округах. Особенно высок удельный вес кислых почв (свыше 70,0%) в Республике Коми, Хабаровском крае, Орловской, Кировской, Тамбовской, Пензенской, Пермской, Амурской и Сахалинской областях.

Особую тревогу вызывает агрогенное подкисление земель в Республике Мордовия, Пензенской, Орловской, Тульской, Рязанской, Нижегородской, Курской, Липецкой, Тамбовской областях, расположенных в лесостепной зоне с преобладанием черноземных почв с исходно нейтральной или близкой к нейтральной реакцией среды, где значительные площади пахотных земель уже имеют кислую реакцию среды (от 59,7% в Курской области до 84,7% в Пензенской) и отмечается ежегодное возрастание площади кислых почв [Гогмачадзе, 2010].

В связи с большой пестротой почвенного покрова Российской Федерации агрохимические показатели разных генетических групп почв определяются различными методами, с дифференциацией по зональным и провинциальным типам и подтипам почв, содержанию карбонатов и органического углерода и соответствующей дифференциацией шкал оценки (таблица 6).

Таблица 6 – Площади пахотных почв Российской Федерации с различным уровнем кислотности по состоянию на 01.01.2005 (тыс. га) [Гогмачадзе, 2010]

Регион	Общая площадь	Обследованная площадь	Группировка почв по кислотности				Итого кислых почв
			очень сильнокислые	сильно - кислые	средне кислые	слабокислые	
Российская Федерация	115405,8	107140,8	163,8	2481,9	9497,9	22129,7	34273,2
		92,8%	0,1%	2,3%	8,9%	20,7%	32,0%
Центральный округ	22101,9	19729,5	24,5	536,6	3205,0	6824,5	10590,6
		89,3%	0,1%	2,7%	16,3%	34,6%	53,7%
Северо-Западный округ	2982,4	2476,0	7,0	130,9	301,8	554,4	994,1
		83,0%	0,3%	5,3%	12,2%	22,4%	40,2%
Южный округ	21951,2	19536,8	0,3	26,4	126,3	396,2	549,2
		89,0%	0,0%	0,1%	0,7%	2,0%	2,8%
Приволжский округ	34906,2	34011,7	97,9	1064,2	3383,0	7165,2	11710,3
		97,4%	0,3%	3,1%	9,9%	21,1%	34,4%
Уральский округ	8245,6	7950,7	16,9	110,3	609,6	2667,8	3404,5
		96,4%	0,2%	1,4%	7,6%	33,6%	42,8%
Сибирский округ	23047,4	21381,1	5,5	319,2	1211,9	3934,4	5471,0
		92,8%	0,0%	1,5%	5,7%	18,4%	25,6%
Дальневосточный округ	2171,1	2055,0	11,7	294,3	660,3	587,2	1553,5
		94,7%	0,6%	14,3%	32,1%	28,6%	75,6%

Таблица 7 – Основные градации агроэкологической оценки $pH_{\text{сол}}$ и содержания подвижных форм фосфора и калия, определяемых разными методами анализа [Гогмачадзе, 2010]

Группы почв		Содержание P_2O_5 , мг/кг почвы по методу			Содержание K_2O , мг/кг почвы по методу			
по степени кислотности $pH_{\text{сол}}$	по P_2O_5 , K_2O	Кирсанова	Чирикова	Мачигина	Кирсанова	Чирикова	Мачигина	
Очень сильнокислые	<4,0	Очень низкое	<25	<20	< 10	<40	<20	< 100
Сильнокислые	4,0-4,5	Низкое	25-50	20-50	10-15	40-80	20-40	100-200
Среднекислые	4,6-5,0	Среднее	51-100	51-100	16-30	81-120	41-80	201-300
Слабокислые	5,1-5,5	Повышенное	101-150	101-150	31-45	121-170	81-120	301-400
Близкие к нейтральным	5,6-6,0	Высокое	151-250	151-200	46-60	171-250	121-180	401-600
Нейтральные	>6,0	Очень высокое	>250	>200	>60	>250	> 180	>600

Таблица 8 – Площади пахотных почв Российской Федерации с различным содержанием подвижного фосфора по состоянию на 01.01.2005 (тыс. га) [Гогмачадзе, 2010]

Регион	Общая площадь	Обследованная площадь	Группировка почв с различным содержанием P_2O_5					
			очень низкое	низкое	среднее	повышенное	высокое	очень высокое
Российская Федерация	115 405,8	107 140,8	5848,2	17 125,9	37 931,6	23 240,5	14 736,3	8258,3
		92,8%	5,5%	16,0%	35,4%	21,6%	13,8%	7,7%
Центральный округ	22 101,9	19 729,5	398,9	2401,9	6854,7	4798,1	3586,1	1689,8
		92,9%	2,6%	14,3%	34,8%	23,9%	18,8%	5,6%
Северо-Западный округ	2982,4	2476,0	57,6	225,7	593,0	504,8	716,0	378,9
		83,0%	2,3%	9,1%	24,0%	20,4%	28,9%	15,3%
Южный округ	21951,2	19536,8	1329,3	3295,3	9093,6	3425,9	1441,3	951,4
		89,0%	6,8%	16,9%	46,5%	17,5%	7,4%	4,9%
Приволжский округ	34 906,2	34011,7	1771,8	5706,0	11 850,2	7546,2	4705,9	2431,6
		97,4%	5,3%	16,8%	34,8%	22,2%	13,8%	7,1%
Уральский округ	8245,6	7950,7	945,0	2984,9	2421,7	766,2	422,7	410,2
		96,4%	11,9%	37,5%	30,5%	9,6%	5,3%	5,2%
Сибирский округ	23 047,4	21381,1	726,0	1992,6	6729,7	6023,9	3650,2	2258,7
		92,8%	3,4%	9,3%	31,5%	28,2%	17,1%	10,5%
Дальневосточный округ	2171,1	2055,0	619,6	519,5	388,7	175,4	214,1	137,7
		94,7%	30,2%	25,3%	18,9%	8,5%	10,4%	6,7%

Треть пахотных почв России (35,4%) отнесена к среднеобеспеченным подвижным фосфором (5–10 мг/100 г). Вместе с категориями повышенного содержания фосфора эти площади составляют 78,7% от обследованных земель. Остальная пахотная почва (21,3%, т.е. 23 235,1 тыс. га) отнесена к категориям с низким обеспечением подвижным фосфором (таблица 8).

В то же время в 13 субъектах Российской Федерации отмечается устойчивое сокращение площади пахотных почв с высоким содержанием подвижного фосфора одновременно с увеличением площади пахотных земель с его очень низким и низким содержанием [Гогмачадзе, 2010]. В общей сложности, по результатам массового агрохимического обследования почв в 27 субъектах РФ, только за один 2004 г. площадь их пахотных земель с низкой обеспеченностью фосфором увеличилась на 478,7 тыс. га.

Пахотные земли Российской Федерации в целом хорошо обеспечены подвижным калием, площади почв с низким содержанием составляют лишь 10,2% (таблица 9). При этом три федеральных округа относятся к наименее благоприятным, так как имеют большие площади с низким содержанием в почве подвижного калия: Северо-Западный – 31,4%, Дальневосточный – 25,5%, Центральный – 20,0%. В них имеются субъекты Федерации с еще большими площадями пашни с подобными почвами: Республика Коми – 42%, Вологодская – 44,7; Камчатская – 61,2; Ивановская – 38,2, Калужская – 41,2, Смоленская – 50,4, Тверская – 42,8 и Ярославская – 48,7% области.

Только за один 2004 г. площади пахотных почв с низким содержанием подвижного калия увеличились в 28 субъектах России в целом на 200,2 тыс. га.

Наиболее значительные изменения отмечались в Приморском крае – на 38,6 тыс. га, в Оренбургской области – на 37,2, Волгоградской – на 24,9, Иркутской – на 13,9, Рязанской – на 12,9 и Ярославской – на 11,9 тыс. га.

Таким образом, прослеживается общая тенденция постепенного агрогенного ухудшения основных агрохимических показателей пахотных земель (рН, содержание гумуса, подвижных форм фосфора и калия) в значительной части крупных сельскохозяйственных регионов России.

Таблица 9 – Площади пахотных почв Российской Федерации с различным содержанием обменного калия по состоянию на 01.01.2005 (тыс. га) [Гогмачадзе, 2010]

Регион	Общая площадь	Обследованная площадь	Группировка почв с различным содержанием K_2O					
			очень низкое	низкое	среднее	повышенное	высокое	очень высокое
Российская Федерация	115 405,8	109 201,7	1016,7	10 130,3	23 973,3	30 601,1	26 961,1	16 518,9
		94,7%	0,9%	9,3%	22,0%	28,0%	24,7%	15,1%
Центральный округ	22 101,9	20283,2	435,2	3612,1	5867,6	5888,0	3662,8	817,5
		91,7%	2,2%	17,8%	28,9%	29,0%	18,1%	4,0%
Северо-Западный округ	2982,4	2727,4	122,1	733,1	794,7	543,9	424,0	109,6
		91,2%	4,5%	26,9%	29,1%	19,9%	15,6%	4,0%
Южный округ	21951,2	20266,7	142,7	886,6	3912,2	8069,2	6002,2	1253,8
		92,9%	0,7%	4,4%	19,3%	39,8%	29,6%	6,2%
Приволжский округ	34 906,2	34151,6	169,8	2884,0	8895,0	10 098,2	9592,6	2512,0
		97,5%	0,5%	8,4%	26,0%	29,6%	28,1%	7,4%
Уральский округ	8245,6	8174,8	6,0	208,9	840,6	1656,0	2516,8	2945,5
		98,3%	0,1%	2,5%	10,3%	20,3%	30,8%	36,0%
Сибирский округ	23 047,4	21 553,4	106,4	1318,8	3002,9	3856,5	4485,1	8783,7
		93,9%	0,5%	6,1%	13,9%	17,9%	20,8%	40,8%
Дальневосточный округ	2171,1	2044,6	34,5	486,8	660,3	489,6	277,6	95,8
		97,8%	1,7%	23,8%	32,3%	23,9%	13,6%	4,7%

4.2 Агрофизические параметры агроэкологического качества почв

Важным агрофизическим показателем агроэкологического качества почв является их каменистость, значительно ограничивающая возможности и условия обработки пахотных земель. По характеру скелетной части устанавливают тип каменистости почв: валунные, галечниковые, щебнистые. 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 содержанию хряща выделяют следующие группы почв:

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

По каменистости выделяются группы почв:

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

Базовым параметром агрофизического состояния почв является их гранулометрический состав. Классификация почв России по гранулометрическому составу [Классификация и диагностика..., 1997; 2004] основана на соотношении фракций физического песка и физической глины с поправкой на свойства почв различного генезиса (таблица 10).

Агроэкологическая оценка гранулометрического состава почв зависит от специализации хозяйства, вида выращиваемых культур и провинциально-генетических особенностей почв (таблица 11).

Таблица 10 – Классификационная шкала почв по гранулометрическому составу [Агроэкологическая оценка земель..., 2005]

Содержание физической глины, %	Название 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

Таблица 11 – Агроэкологическая оценка гранулометрического состава почв для зерновых культур [Агроэкологическая оценка земель..., 2005]

Почвы	Оценка по гранулометрическому составу почв, баллы						
	глинистые	тяжелосуглинистые	среднесуглинистые	легкосуглинистые	супесчаные	песчаные	
						связные	рыхлые
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 желтоземы	10	9	7	6	4	–	–
Желтоземно-подзолистые	8	9	10	9	6	4	2

Основным массово определяемым количественным показателем динамично меняющегося физического состояния почв является их плотность сложения, определяемая характером упаковки физических частиц почв и определяющая их пористость и условия водного и воздушного режима (таблица 12). 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 [Агроэкологическая оценка..., 2005; Васенев и др., 2010; и др.].

Таблица 12 – Агроэкологическая оценка плотности и пористости суглинистых и глинистых почв в вегетационный период [Агроэкологическая оценка земель..., 2005]

Плотность, г/см³	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 свежеспаханной 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	Неудовлетворительная – в пахотном горизонте
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
1,6–1,8		Сильно уплотненные иллювиальные горизонты	

Важнейшими условиями агрономической ценности структуры являются ее водопрочность и пористость (таблица 13). 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 13 – Агроэкологическая оценка структуры и сложения пахотного горизонта почв [Агроэкологическая оценка земель..., 2005]

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	Оптимальное для большинства культур
60–75(80)	Отличная	Высокоустойчивое	1,1–1,0	
> 75(80)	Избыточно высокая		< 1,0	Рыхлое (пашня вспушена)

К физико-механическим (агротехнологическим) 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 (Шейн, 2005).

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

У глинистых почв число пластичности превышает 17, у суглинистых – 7–17, у супесей – менее 7, пески непластичны (число пла-

стичности приближается к нулю). 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), сильновязкие (5–15 г/см²), средние по вязкости (2–5 г/см²), слабвязкие (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 изменяется 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 гранулометрического 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.

4.3 Водно-физические параметры агроэкологического состояния почв

К основным водно-физическим свойствам относятся влагоемкость и водопроницаемость почв. Влагоемкость почв оценивается с учетом их гранулометрического состава (таблица 14). Оценка влагообеспеченности проводится по запасам продуктивной влаги в слое 0–20 и 0–100 см весной и перед посевом озимых (таблица 15).

Таблица 14 – Агроэкологическая оценка предельной полевой влагоемкости [Качинский, 1965; Агроэкологическая оценка земель..., 2005]

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 водопроницаемости почвы проводится с учетом природных и производственных условий.

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

- 1) значительной водопроницаемости (более 150 мм);
- 2) средней водопроницаемости (150–50 мм);
- 3) слабой водопроницаемости (менее 50 мм).

Таблица 15 – Агроэкологическая оценка запасов продуктивной влаги [Вадюнина, Корчагина, 1976; Агроэкологическая оценка земель..., 2005]

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

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:

- 1) провальная (более 1000 мм);
- 2) излишне высокая (1000–500 мм);
- 3) наилучшая (500–100 мм);
- 4) хорошая (100–70 мм);
- 5) удовлетворительная (70–30 мм);
- 6) неудовлетворительная (менее 30 мм).

Оценка водопроницаемости в условиях выпитывания дождевых вод имеет большое значение для прогнозирования эрозии (таблица 16).

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.

Ключевым показателем гидрологических условий является уровень (глубина залегания) грунтовых вод (УГВ), который оказывает определяющее влияние на почвообразование, водный режим и влагообеспеченность почв: более 6 м – автоморфные условия, 3–6 м – полугидроморфные условия, менее 3 м – гидроморфные условия, в том числе менее 1,5 м – сильногидроморфные условия.

Таблица 16 – Агроэкологическая оценка дождей и водопроницаемости почвы
[Агроэкологическая оценка земель..., 2005]

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	Морозящие дожди	Низкая
<0,001	Морозящие дожди	Очень низкая

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).

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, так как 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.

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

4.4 Оценка деградации почв и земель связанные мелиоративными проблемами

Наиболее распространенные мелиоративные проблемы связаны с эрозией, подкислением, подщелачиванием, осолонцеванием и засолением почв.

Диагностика почв по степени эродированности (как смывости, так и дефлированности) осуществляется по уровню потери гумуса, отчуждения верхнего гумусового горизонта в соответствии с методиками, разработанными для различных типов и подтипов почв.

При оценке эродированности почв определяются:

- факторы, обуславливающие эрозию (климатические, геоморфологические, почвенные условия, растительный покров и использование);
- тип эрозии (водная, ветровая, смешанная);
- форма проявления (плоскостные или линейные формы);
- степень фактической эродированности (слабая, средняя, сильная);
- фактическая интенсивность эрозии (по величине твердого стока).

По данным государственного учета, общая площадь эродированных, дефлированных, эрозионно- и дефляционно-опасных сельскохозяйственных угодий в РФ составляет около 130 млн. га, в том

числе пашни 84,8 млн га, пастбищ – 28,7 млн га [Гогмачадзе, 2010]. В целом по стране в составе эродированных сельскохозяйственных угодий средне- и сильноэродированные земли занимают около 26%, из них на пашне – 14,9, сенокосах – 1,2 и на пастбищах – 9,3%. Доля эродированных и дефлированных земель продолжает неуклонно увеличиваться. В течение последних 20 лет темпы прироста этих земель достигают 6–7% каждые 5 лет, т.е. до 1,5 млн. га в год. Сельскохозяйственные культуры проявляют разную чувствительность к эродированности почв (таблица 17).

Таблица 17 – Урожайность сельскохозяйственных культур на почвах разной степени эродированности, % к урожайности на несмытой почве [Система оценки степени..., 1992; Гогмачадзе, 2010]

Культура	Степень эродированности почвы		
	слабая	средняя	сильная
Озимая пшеница	85–90	50–60	30–35
Озимая рожь	85–90	55–60	35–40
Яровая пшеница	70–80	40–50	15–20
Ячмень	80–85	45–55	30–40
Овес	80–85	55–60	30–45
Кукуруза	80–85	60–70	15–25
Горох	85–95	60–70	50–60
Сахарная свекла, картофель	80–90	30–40	10–15
Подсолнечник	70–80	40–50	20–30
Многолетние травы	90–95	85–90	60–75

В среднем урожайность сельскохозяйственных культур снижается на слабосмытых почвах на 10–20%, на среднесмытых – на 30–40%, на сильносмытых – на 50–60% по сравнению с урожайностью на полнопрофильных почвах. На дефлированных почвах различной степени деградации величина снижения урожайности на 10–25% меньше. Экономически невыгодно использовать в земледелии сильно деградированные почвы, так как они потеряли свою производительную способность. В современных условиях эрозионные земли лучше «консервировать» посевом многолетних трав.

По результатам исследований ряда научных учреждений страны приводятся следующие данные о влиянии степени эродированности почв на урожайность культур: высокотребовательные к условиям

произрастания сахарная свекла, овощи, бахчевые, подсолнечник, картофель, табак, махорка, конопля, кориандр, озимая и яровая пшеница, просо, кукуруза снижают урожайность на слабо-, средне- и сильносмытых почвах соответственно на 10–30, 30–70 и 35–90%; среднетребовательные – ячмень, гречиха, сорго, зернобобовые, однолетние травы соответственно на 5–15, 22–55 и 40–70% и малотребовательные – овес, озимая рожь, многолетние травы – на 5–10, 15–40 и 25–55%.

Выведены поправочные коэффициенты, отражающие снижение урожайности зерновых и технических культур на смытых почвах европейской части РФ (таблица 18).

Таблица 18 – Коэффициент снижения урожайности на смытых почвах
[Ванин, 1985]

Почва	Поправочные коэффициенты на почвах			
	несмытые	слабая	средняя	сильная
Дерново-подзолистая	1,0	0,7	0,5	0,4
Серая лесная	1,0	0,8	0,6	0,4
Черноземы				
выщелоченный	1,0	0,6	0,5	0,4
обыкновенный	1,0	0,8	0,6	0,3
Темно-серая лесная	1,0	0,7	0,5	0,3
Темно-серая удобряемая	1,0	0,8	0,6	0,5

Процессы эрозии не только ухудшают свойства конкретных почв, но и усложняют структуру почвенного покрова в целом и усиливают его контрастность [Эрозия почв, 2001]. Последнее связано не только со смывом и выдуванием, но и с аккумуляцией почв. Площадь ареалов при переходе от несмытых почв к слабосмытым уменьшается в 2–3 раза, а к среднесмытым – в 4–7 раз.

Это свидетельствует о деградации почвенного покрова, усилении его фрагментарности и повышении трудностей обработки почвы.

На территории Российской Федерации значимость отдельных экологических последствий эрозии почв в большей мере зависит от уровня освоенности и интенсификации сельского хозяйства. В наиболее освоенных районах европейской территории России их можно расположить по степени влияния в следующей последовательности:

- эрозия почв как фактор загрязнения окружающей среды;
- эрозия почв как фактор деградации почвенного покрова;
- эрозия почв как фактор деградации агроландшафтов и малых рек.

С увеличением степени эродированности ухудшаются агрономические свойства почв: снижается содержание гумуса, повышается плотность почвы, снижается пористость, влагоемкость, водопроницаемость, запасы продуктивной влаги, уменьшается биологическая активность (таблица 19).

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.

Таблица 19 – Агроэкологическая оценка эродированных почв (в относительных единицах) [Агроэкологическая оценка земель..., 2005]

Свойства и показатели	Почвы		
	слабосмытые	среднесмытые	сильносмытые
Мощность горизонтов А (А+В)	0,5 (1,0)	0,5–0,0(1,0)	0,0 (0,9–0,0)
Содержание гумуса	0,95–0,75	0,75–0,50	0,50–0,30
Плотность сложения	1,03–1,06	1,05–1,12	1,10–1,23
Влажность завядания	0,98–0,96	0,90–0,85	0,75–0,65
Пористость	1,00–0,95	0,96–0,90	0,80–0,75
Полная влагоемкость	0,98–0,95	0,95–0,80	0,80–0,70
Водопроницаемость	–	0,72–0,64	0,49–0,43
Средняя урожайность зерна	1,0–0,8	0,8–0,6	0,6–0,3

В оценке состава обменных катионов наибольшее значение имеют ионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , 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; 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 и относится к базовому набору массово определяемых агрохимических характеристик [Агроэкологическая оценка земель..., 2005].

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 токсичных концентраций для большинства растений, в то время как питательные растворы с pH 4 не имеют такого действия. Близкие эффекты при низких pH оказывает марганец.

Оптимальные значения pH для разных культур и степень снижения их урожайности при подкислении зависят от провинциально-генетического типа и подтипа почв (таблица 20), 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 H^+ и Al^{3+} ней-

тральными солями) и гидролитическую кислотность (вытеснение гидролитически щелочными солями).

Таблица 20 – Усредненные коэффициенты изменения урожайности основных сельскохозяйственных культур на почвах различной степени подкисления [Методика и технология..., 1990; Методическое пособие..., 2001]

Почвы	Реакция почвы				
	кислая			близкая к нейтральной	нейтральная
	сильно-	средне-	слабо-		
Светло-серые лесные	0,89	0,95	1,00	1,05	1,10
Серые лесные почвы	0,89	0,95	1,00	1,05	1,10
Темно-серые лесные	0,85	0,91	0,96	1,00	1,04
Оподзоленные черноземы	0,83	0,89	0,95	1,00	1,03
Выщелоченные черноземы	0,83	0,89	0,95	1,00	1,03
Типичные черноземы	–	0,85	0,91	0,96	1,00
Обыкновенные черноземы	–	–	0,89	0,95	1,00

Значение гидролитической кислотности используется при расчете доз мелиорантов:

$$C = 0,05 \times H_{\Gamma} \times d_v \times h \times K_M \text{ (т/га)},$$

где H_{Γ} – гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г почвы; d_v – плотность мелиорируемого слоя, г/см³; h – мощность мелиорируемого слоя, см; K_M – поправочный коэффициент на долю CaCO₃ в мелиоранте.

$$K_M = 100/C_M,$$

где C_M – процент CaCO₃ в мелиоранте.

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

В карбонатных почвах наблюдается обратный эффект: в поч-

венном растворе содержится повышенное количество Ca^{2+} и HCO_3^- , 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.

Оценка степени засоления проводится на основе обобщения данных урожайности среднесолеустойчивых сельскохозяйственных культур при различном содержании солей (таблица 21).

Таблица 21 – Агроэкологическая оценка почв по степени засоления [Базилевич, Панкова, 1968; Агроэкологическая оценка..., 2005]

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

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 (таблица 22).

Глубина залегания минерализованных грунтовых вод оценивается исходя из относительного снижения урожайности многолетних насаждений (таблица 23). 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, общая минерализация воды в г/л – таблица 24):

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

Таблица 22 – Классификация почв по типу и степени засоления [Классификация и диагностика почв..., 1977; 2004]

Химизм засоления (по соотношению процентного содержания анионов)	Степень засоления (по сумме солей, %)				
	нет	слабая	средняя	сильная	очень сильная
Хлоридный $Cl^- > 2,5 SO_4^{2-}$	<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 $Cl^- < 0,3 SO_4^{2-}$	<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), $Cl^- < SO_4^{2-}$	<0,15	0,15-0,25	0,25-0,35	0,35-0,60	>0,6
Сульфатно-(хлоридно-) гидрокарбонатный щелочноземельный $HCO_3^- > SO_4^{2-} (Cl^-)$	<0,15	0,15-0,30	0,30-0,50	не встречаются	

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 рН, 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.

Таблица 23 – Оценка глубины залегания минерализованных грунтовых вод [Вальков, 1986]

УГВ, м	Состояние культур
более 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 на 10–20%); слабое угнетение лозы (снижение 10%)
2,00–1,40	Очень сильное угнетение семечковых, абрикоса, черешни (снижение на 50–85%); сильное угнетение сливы, вишни (снижение на 20-50%); среднее угнетение 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%)
менее 0,50	Полная гибель всех плодовых культур

Таблица 24 – 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

Степень солонцеватости почв определяется по содержанию в них обменного натрия (% от ЕКО) (таблица 25), который отрицательно влияет на урожайность большинства сельскохозяйственных культур (таблица 26).

Таблица 25 – Агроэкологическая оценка почв по относительному содержанию в ППК обменного натрия (% от ЕКО) [Агроэкологическая оценка земель..., 2005]

Почвы	Виды по относительному содержанию Na ⁺			
	несолонцеватые	слабосолонцеватые	среднесолонцеватые	сильносолонцеватые
Высокогумусные: черноземы, лугово-черноземные, черноземнолуговые, 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

Таблица 26 – Усредненные коэффициенты снижения урожайности основных сельскохозяйственных культур на почвах различной степени солонцеватости [Методическое пособие и нормативные материалы..., 2001]

Лимитирующий фактор	Степень проявления			Без уточнения степени проявления
	слабая	средняя	сильная	
Солонцеватость	Слабая	Средняя	Сильная	Солонцеватые
K_{S,i}	0,90	0,75	0,60	0,85
Солонцы	Глубокие	Средние	Мелкие	Корковые
K_{S,i}	0,40	0,25	0,16	0,10

Окислительно-восстановительный режим оценивается на основе величин и динамики ОВП и rH_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 (таблица 27).

Активное развитие восстановительных процессов, оглеения и заболачивание сопровождается снижением урожайности (таблица 28). Диапазон восстановительных условий делят на интенсивно-восстановительные (ОВП менее 200 мВ), умеренно-восстановительные (200–300 мВ), слабо-восстановительные (300–400

мВ). Показатель rH_2 (отрицательный логарифм давления молекулярного водорода) характеризует напряженность ОВ процессов в почвах с разным рН: при rH_2 более 27 наблюдается преобладание окислительных процессов, менее 27 – преобладание восстановительных процессов, при rH_2 менее 20 – интенсивные восстановительные процессы.

Таблица 27 – Агроэкологическая оценка окислительно-восстановительных условий [Агроэкологическая оценка..., 2005]

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

Таблица 28 – Усредненные коэффициенты снижения урожайности основных сельскохозяйственных культур на почвах различной степени оглеения и заболачивания [Методическое пособие и нормативные материалы..., 2001]

Зональные почвы	Степень гидроморфизма (гидроморфные почвы)	Гранулометрический состав		
		тяжелые суглинки	средние и легкие	супеси
Серые лесные почвы	глееватые	0,90	0,95	1,00
	глеевые	0,75	0,85	0,90
Черноземы оподзоленные, выщелоченные, типичные	пойменные заболоченные	0,80	0,85	0,90
	лугово-болотные	0,80	0,85	0,90
	болотные	0,60	0,65	0,70
Черноземы обыкновенные и южные	пойменные заболоченные	0,85	0,90	0,95
	лугово-болотные	0,85	0,90	0,95
	болотные	0,75	0,80	0,85

Система оценки ОВ условий должна включать определение типа ОВ режима; минимальные показатели E_h и rH_2 в корнеобитаемом

слое почвы; глубину проявления восстановительных условий; время и длительность периода проявления восстановительных условий; характеристики процессов образования восстановленных форм элементов.

4.5 Оценка фитосанитарно-экологического состояния земель

При оценке фитосанитарно-экологического состояния сельскохозяйственных земель традиционно учитывают негативное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур засоренности посевов, зараженности участка болезнями и вредителями выбранной культуры, которое поддается формализованному описанию однотипными алгоритмами [Васенев и др., 2010].

Оценка влияния засоренности на снижение урожайности проводится по алгоритму (6.5.1):

$$\omega = (\sum((100 - \omega_{1,j} \times N_{\omega,i}) \times S_i)) / (100 \times \sum S_i), \quad (1)$$

где ω – оценка потенциальной урожайности культуры (в долях от целого) на данном рабочем участке; $\omega_{1,j}$ – снижение урожайности j -й культуры (%) при возрастании засоренности элементарных участков i на 1 средневзвешенный сорняк на 1 м² (таблица 29); S_i – площадь элементарных участков i , качественно отличающихся по засоренности в пределах данного рабочего участка.

Оценка засоренности проводится и по превышению экономического порога вредоносности:

$$\psi = (\sum((\psi_{a,i,j} + \psi_{m,i,j}) \times S_i)) / (100 \times \sum S_i), \quad (2)$$

где ψ – уровень превышения экономического порога вредоносности сорняков на данном рабочем участке; $\psi_{a,i,j}$ и $\psi_{m,i,j}$ – уровень превышения экономического порога вредоносности соответственно малолетних и многолетних сорняков для культуры j на элементарном участке i с площадью S_i ;

$$\psi_{a,i,j} = \max(N_{a,i,j,k,t} / N_{a,i,j,k,n}) \text{ или } \psi_{m,i,j} = \max(N_{m,i,j,k,t} / N_{m,i,j,k,n}) \quad (3)$$

где $N_{a,i,j,k,t}$ ($N_{m,i,j,k,t}$) – текущее количество сорняков (шт/м²) конкретной группы k соответственно малолетних и многолетних сорняков на элемен-

тарном участке i ; $N_{a,i,j,k,n}(N_{m,i,j,k,n})$ – экономический порог вредоносности (шт/м²) конкретной группы k соответственно малолетних и многолетних сорняков для культуры j (таблица 30).

Таблица 29 – Оценка влияния засоренности на снижение урожайности
[Методическое пособие и нормативные материалы..., 2001]

Группа культур	Культура	Снижение урожая, %, при воз- растании засоренности на 1 сред- невзвешенный сорняк на 1 м ²
Зерновые культуры	озимая пшеница	0,50
	озимая рожь	0,33
	озимый ячмень	0,33
	яровая пшеница	0,25
	яровой ячмень	0,25
	овес	0,25
	кукуруза	1,00
Сахарная свекла		0,50
Кормовая свекла		0,50
Картофель	ранний	1,0
	средний и поздний	2,0
Масличные культуры	подсолнечник	0,2
	рапс	0,5
	soя	1,0
Зернобобовые	горох	2,0
	фасоль	1,0
Капуста	белокочанная ранняя	0,2
	белокочанная поздняя	1,0
	цветная ранняя	0,5
	цветная поздняя	1,0
	краснокочанная	1,0

Таблица 30 – Экономические пороги вредоносности различных сорняков, шт/м²
[Методическое пособие и нормативные материалы..., 2001]

Культуры	Малолетние сорняки			Многолетние сорняки	
	двудоль- ные	одnodоль- ные	одно- и двудоль- ные	корнеот- прысковые	корне- вищные
Озимые зерновые	16	50	16	3	6
Яровые зерновые	50	60	50	3	6
Сахарная свекла	3	6	5	1	3
Кукуруза	6	10	7	1	6
Подсолнечник	20	30	20	1	6

Результаты расчетов по алгоритмам (1) и (2) хорошо коррелируют между собой и с оценкой засоренности, проводимой по традиционной обобщенной шкале (таблица 31), но дают более детальную картину агроэкологического состояния посевов.

Таблица 31 – Обобщенная шкала оценки засоренности, шт/м²

Количество сорняков, шт/м ²	<5	6-15	16-50	51-100	>100
Обобщенная оценка засоренности	низкая	невысокая	высокая	очень высокая	крайне высокая

Оценка зараженности земель конкретного участка болезнями выбранной культуры проводится по алгоритму (4):

$$\psi_j = (\sum(\psi_{j,i,k} \times S_i)) / (\sum S_i), \quad (4)$$

где ψ_j – оценка зараженности данного рабочего участка болезнями выбранной культуры j ; $\psi_{j,i,k}$ – оценка зараженности элементарного участка i с площадью S_i болезнью k культуры j ;

$$\psi_{j,i,k} = (\psi_{j,i,k,t} \times (S_{i,k,t}/S_i)), \quad (5)$$

где $S_{i,k,t}$ – текущая площадь распространения болезни k на элементарном участке i с площадью S_i степень поражения культуры j болезнью k .

Оценка влияния болезней на снижение урожайности проводится по алгоритму (6):

$$\chi_j = (\sum(\chi_{j,i,k} \times S_i)) / (\sum S_i), \quad (6)$$

где χ_j – обусловленный болезнями недобор (в%) потенциального урожая культуры j на данном рабочем участке; $\chi_{j,i,k}$ – обусловленный болезнью k недобор (в%) потенциального урожая культуры j на элементарном участке i с площадью S_i .

Оценка зараженности земель участка вредителями выбранной культуры проводится по алгоритму (7):

$$k_j = (\sum(k_{j,i,k} \times S_i)) / (\sum S_i), (7)$$

где k_j – оценка зараженности данного рабочего участка вредителями выбранной культуры j ; $k_{j,i,k}$ – оценка зараженности элементарного участка i с площадью S_i вредителями k культуры j ;

$$k_{j,i,k} = (k_{j,i,k,t} \times (S_{i,k,t}/S_i)), (8)$$

где $S_{i,k,t}$ — текущая площадь распространения вредителей k на элементарном участке i с площадью k_i ; $k_{j,i,k,t}$ – степень поражения культуры j вредителями k .

Оценка влияния вредителей на снижение урожайности выбранной культуры проводится по алгоритму (9):

$$v_j = (\sum(v_{j,i,k} \times S_i)) / (\sum S_i), (9)$$

где v_j – обусловленный вредителями недобор (в%) потенциального урожая культуры j на данном рабочем участке; $v_{j,i,k}$ – обусловленный вредителем k недобор (в%) потенциального урожая культуры j на элементарном участке i с площадью S_i .

4.6 Агроэкологическая оценка климатических и микроклиматических условий

В систему базовых показателей оценки агроклиматических особенностей земель входят показатели освещенности, термических условий, влагообеспеченности, ветрового режима и условий переувлажнения.

К основным термическим показателям относятся [Добровольский, Урусевская, 2004; Агроэкологическая оценка земель..., 2005]:

- среднегодовая температура;
- среднемесячные температуры самого холодного и самого теплого месяцев;
- среднегодовые минимальная и максимальная температуры самого холодного и самого теплого месяцев;
- сумма температур выше 10°C за вегетацию;

– длительность периодов со среднесуточными температурами выше 10°C;

– длительность безморозного периода.

В число основных показателей влагообеспеченности входят:

– сумма осадков за год;

– сумма осадков за период вегетации;

– коэффициент увлажнения (по Высоцкому–Иванову);

– число дней в году с ливнями и сильными дождями;

– число дней в году с засухой;

– запасы продуктивной влаги в слоях почвы 0–20 и 0–100 см весной.

Ветровой режим характеризуется показателями:

– годовая роза ветров;

– число дней в году со скоростью ветра выше 5 м/с;

– число дней в году с суховеями;

– длительность суховеев.

Условия перезимовки оцениваются по показателям:

– даты установления и схода снежного покрова;

– средняя высота снежного покрова;

– влажность почвы перед промерзанием и установлением устойчивого снежного покрова;

– число дней в году с оттепелями;

– продолжительность оттепелей.

Фотосинтетически активная радиация ФАР (световые лучи с длиной волны 0,38–0,71 мкм) – усваиваемая растениями часть солнечной энергии:

$$\text{ФАР} = 0,43 S + 0,57 D,$$

где S – прямая радиация, поступающая на горизонтальную поверхность; D – рассеянная радиация.

Коэффициент использования ФАР (КПД ФАР) – часть ФАР, используемая для фотосинтеза. По А.А. Ничипоровичу [Агроэкологическая оценка земель..., 2005], посевы культур по использованию ФАР можно разделить на группы: обычные – 0,5–1,5%, хорошие – 1,5–3,0, рекордные – 3,5–5,0%, теоретически возможные – 6–8%.

По теплообеспеченности в природно-сельскохозяйственном районировании России выделяют три пояса: холодный (менее 1600 °С), умеренный (1600 – 4000 °С) и теплый субтропический (более 4000 °С).

В зависимости от длительности промерзания почвы и ее средне-

годовой температуры выделяются [Добровольский, Урусевская, 2004; Агроэкологическая оценка земель..., 2005] четыре типа температурного режима почв: мерзлотный характерен для районов вечной мерзлоты (среднегодовая температура почвы отрицательная); длительно сезонно промерзающий с длительностью промерзания не менее пяти месяцев (среднегодовая температура почвы положительная, глубина проникновения отрицательных температур более 2 м); сезонно промерзающий с длительностью промерзания от нескольких дней до пяти 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 почв, содержания в них гумуса и влаги, местоположения по рельефу, крутизны, экспозиции и формы склона. Различия в средней месячной температуре песчаной и глинистой почв достигают 3–4°C, осушенной и неосушенной торфяной почв – свыше 5 °С.

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):

$$КУ = P/E,$$

где P – осадки за год, мм; E – потенциальная эвапотранспирация 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) – засушливая степь на южных черноземах;
- *очень засушливая* (КУ 0,44–0,33) – сухая 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.

В степных и сухостепных районах серьезной агроэкологической проблемой являются суховеи – горизонтальные потоки воздуха с повышенной температурой и низкой относительной влажностью. Они относятся к числу опасных метеорологических явлений и возникают на периферии антициклона [Агроэкологическая оценка земель..., 2005]. Вредное действие суховея на растения существенно при скорости ветра более 5 м/с, температуре выше 25 °С и относительной влажности воздуха менее 30%.

Режим суховеев (частота, число дней в году, длительность и интенсивность) является хорошим показателем засушливости климата. В лесной зоне число дней с суховеями за теплый сезон (апрель–октябрь) – 1–2, в лесостепной – 15–20, в степной – 30–60, в полупустынной – 70–100. Для лесной зоны характерны максимум суховеяности в мае и минимум в летний период; для лесостепной зоны – два максимума: весной и значительно меньший – в середине или в конце лета; для степной зоны – два равных максимума (или второй несколько больше первого).

Рассмотренные закономерности территориальной дифференциации агроклиматических условий и их влияния на продукционный процесс используются при формировании базовых алгоритмов оценки и их настройке на условия конкретного региона и хозяйства [Васенёв и др., 2004].

Расчет агроклиматически обеспеченной урожайности по 1-му лимиту плодородия земель (от прихода ФАР) выполняется по алгоритму:

$$Y_j = 10^6 \times \sum (F_i \times d_i) \times K_f / (Q_j \times L_j (100 - \varepsilon_j)),$$

где $F_i = a_{Fi} + b_{Fi} \times y \times (S_{t>5}^{\circ C})$ – приход ФАР за i -й месяц, ккал/га;

a_{Fi} , b_{Fi} – константы, берутся из базы данных (таблица 32);

$y = 1 + 0,010 \times b$ – для южной и юго-западной экспозиции;

$y = 1 - 0,014 \times b$ – для северной экспозиции; $y = 1,0$ – для восточной или западной экспозиции; b – крутизна склона, град.;

d_i – отношение числа дней i -го месяца, входящих в период вегетации культуры, к общему числу дней в месяце (таблица 33);

K_f – коэффициент использования ФАР посевом, % (принят = 2,5);

Таблица 32 – Константы, используемые для определения ФАР (F_i) и радиационного баланса (B_i) в зависимости от суммы активных температур ($S_{t>5}^{\circ C}$) [Васенёв и др., 2004]

i-й месяц	Константы для ФАР		Константы для радиационного баланса	
	$A_{Fi} \times 10^{-1}$	$b_{Fi} \times 10^{-3}$	$A_{Bi} \times 10^{-1}$	$b_{Bi} \times 10^{-3}$
4	32,11	11,30	16,54	17,27
5	26,31	9,26	12,30	12,85
6	25,64	9,03	12,40	12,95
7	23,20	8,16	10,39	10,84
8	18,73	6,59	8,07	8,42
9	16,30	5,73	6,45	6,74
10	13,83	4,87	4,64	4,84

Таблица 33 – Базовые отношения числа дней i -го месяца, входящих в период вегетации культуры, к общему числу дней в месяце (d_i) [Васенёв и др., 2004]

Культура	d_4	d_5	d_6	d_7	d_8	d_9	d_{10}
Озимая пшеница	0,5	1	1	0,5	-	1	0,39
Озимая рожь	0,5	1	1	0,5	-	1	0,39
Яровая пшеница	0,33	1	1	1	0,32	-	-
Ячмень	0,33	1	1	1	-	-	-
Просо	-	0,5	1	1	1	-	-
Гречиха	-	0,5	1	1	0,8	-	-
Овес	0,5	1	1	0,65	-	-	-
Горох	0,33	1	1	-	-	-	-
Кукуруза на силос	-	0,65	1	1	0,6	-	-
Сахарная свекла	0,17	1	1	1	1	0,5	-
Картофель	-	1	1	1	1	-	-
Однолетние травы	0,33	1	0,67	-	-	-	-
Многолетние травы	0,5	1	0,5	1	0,65	-	-

Q_j – калорийность урожая j -й культуры, ккал/кг (таблица 34);

L_j – сумма частей в отношении основной продукции к побочной (таблица 34);

ε_j – стандартная влажность культуры j по ГОСТу, %;

j – номер культуры;

$S_{t>5}^{\circ C}$ – сумма температур больше $5^{\circ C}$ за i -й месяц;

$i = \{4, 10\}$ – номер месяца.

Расчет агроклиматически обеспеченной урожайности по второму лимиту плодородия земель (влагообеспеченности культуры) выполняется по алгоритму.

Таблица 34 – Ориентировочные периоды вегетации и значения справочных коэффициентов для культур: калорийности (Q_j), суммы частей в отношении основной продукции к побочной (L_j), коэффициента водопотребления (K_j) [Васенёв и др., 2004]

Культура	Период вегетации	Q_j	L_j	K_j
Озимая пшеница	1.09-12.10; 15.04-15.07	4500	2,5	350
Озимая рожь	1.09-12.10; 15.04-15.07	4500	2,6	300
Яровая пшеница	20.04-10.08	1600	2,2	300
Ячмень	20.04-31.07	4600	2,1	320
Просо	15.05-31.08	4700	3,0	200
Гречиха	15.05-15.08	4600	3,0	400
Овес	15.04-20.07	4600	2,3	350
Горох	20.04-30.06	4600	2,5	340
Кукуруза на силос	10.05-20.08	4100	1	280
Сахарная свекла	25.04-15.09	4450	1,7	260
Картофель	30.04-1.09	4300	1,7	400
Однолетние травы	20.04-20.06	4100	1	450
Многолетние травы	15.04-05.06; 15.06-20.08	4100	1	340

1. Расчет динамики продуктивной влаги по месяцам в слое почвы 1 м (мм,):

Апрель $W_4 = 0,65 \times W_0 + 0,85 \times S_4 r - E_4$

Май $W_5 = W_4 + 0,85 \times S_5 r - 0,90 \times E_5$

Июнь $W_6 = W_5 + 0,85 \times S_6 r - 0,70 \times E_6$

Июль $W_7 = W_6 + 0,85 \times S_7 r - 0,55 \times E_7$

Август	$W_8 = W_7 + 0,85 \times S_8 r - 0,45 \times E_8$
Сентябрь	$W_9 = W_8 + 0,85 \times S_9 r - 0,70 \times E_9$
Октябрь	$W_{10} = W_9 + 0,85 \times S_{10} r - E_{10}$

где W_0 – сумма осадков за ноябрь – март, мм; W_i – продуктивная влага в i -м месяце, мм; $S_i r$ – сумма осадков в i -м месяце, мм;

$E_i = 10\,000 \times B_i / 586$ – испаряемость влаги в i -м месяце, мм;

$B_i = a_{Bi} + b_{Bi} \times Y \times (S_{i>5}^{\circ} c)$ – радиационный баланс в i -м месяце, ккал/см²;

a_{Bi} , b_{Bi} – константы, берутся из базы данных (таблица 32).

Расчет продуктивной влаги для культур за период вегетации (мм) выполняется по алгоритму:

$$W_j = \sum (S_{wi} \times d_i).$$

Расчет возможного урожая сельскохозяйственной культуры по влагообеспеченности посевов (ц/га) выполняется по алгоритму:

$$Y_{jw} = 10^5 \times W_{ij} / (K_j \times L_j \times (100 - e_j)),$$

где K_j – коэффициент водопотребления, мм га /ц (таблица 34).

4.7 Агроэкологическая оценка рельефа и почвообразующих пород

Типы и подтипы макрорельефа выполняют функцию важного координирующего фактора в многоуровневой системе агроэкологического районирования и агроэкологической оценки земель, знание которого позволяет уточнять реальные пределы научно обоснованной экстраполяции районированных моделей, алгоритмов и шкал оценки значимых для конкретных условий параметров почв и земель [Добровольский, Урусевская, 2004; Агроэкологическая оценка земель..., 2005; Васенев и др., 2010].

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

Мезорельеф – средние формы земной поверхности с колебаниями относительных высот от 1 до 100 м – выполняет важные струк-

турно-экологические функции:

- фактора перераспределения агроклиматических ресурсов и формирования микроклимата;
- каркаса геохимического ландшафта, определяющего направленность и интенсивность геохимических процессов;
- фактора дифференциации почвенного покрова и формирования мезо- структур 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 агроэкологической оценки земель они 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 [Агроэкологическая оценка земель..., 2005; Васенев и др., 2010].

Микрорельеф – мелкие формы земной поверхности с колебаниями относительных высот до 1 м – перераспределяет тепло и влагу на небольших расстояниях, является основным фактором дифференциации почвенного покрова и функционирования почв на уровне микро-структур почвенного покрова. Микрорельеф в значительной мере определяет характер и выраженность внутривольной пестроты урожайности и фитосанитарного состояния основных сельскохозяйственных культур. Особенно сильное 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 созревания 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 агроэкологической оценки земель важную функцию

координирующего фактора часто выполняет вид микрорельефа (эрозионный, проса- дочный, 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 агроэкологического 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 агроэкологического 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.

Сеть понижений, по которым осуществляется сток поверхностных вод, называется гидрографической сетью. Ее верхняя часть обычно лишена постоянных водотоков и поэтому называется суходольной сетью. Хорошо выраженная суходольная сеть обеспечивает хорошую дренированность агроландшафта, но способствует развитию линейной и плоскостной эрозии.

К современным эрозионным формам рельефа относят размывы. Они бывают донными (идущими 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 размывов 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 30 м.

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 нарушения 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 оценки агроэкологического качества земель конкретного участка используют следующие характеристики его мезо- и микрорельефа:

- форма и элемент мезорельефа (терраса, склон, лощина, днище и др.);
- 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 агроэкологическими 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 (таблица 35) играет очень важную роль в формировании продуктивного влагозапаса, бокового стока, эрозии, условий обработки почв и выделения рабочих участков при землеустройстве. Крутизна склона 1–3° обеспечивает наиболее благоприятные условия по дренированности, но после 2° начинает проявляться линейная эрозия и требуется ограничение доли пропашных культур в севообороте. При крутизне в 3–5° сильно развиваются эрозионные процессы, и запрещено возделывание пропашных культур.

Таблица 35 – Агроэкологическая классификация склонов по крутизне [Агроэкологическая оценка земель..., 2005]

Вид склона	Крутизна, градус
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°

Таблица 36 – Агроэкологическая классификация склонов по длине [Заславский, 1987]

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

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 36) – во многом определяет уровень развития эрозии в его средней и нижней частях. 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).

Значительное влияние на микроклиматические условия и развитие эрозионных процессов оказывает экспозиция склона. Снегозапас на склонах разных экспозиций одного водораздела может отличаться в два и даже четыре раза. Например, для лесостепной зоны европейской территории России [Агроэкологическая оценка земель..., 2005] 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.

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.

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 – соответственно на –4–7%, –10–16 и –20–40%.

Глубина расчленения и стадии развития процессов линейной эрозии (реликтовые и/или современные формы) характеризует тип линейного расчленения. По глубине расчленения различают слабо-врезанные (5–10 м), средне - врезанные (10–25 м) и глубоко-врезанные (25–50 м) эрозионные системы; по составу элементов – ложбинно-лощинные, ложбинно-лощинно-балочные, лощинно-балочные и овражно-лощинно-балочные.

Степень повреждения территории современными формами линейной эрозии характеризуется коэффициентами расчлененности территории оврагами, овражности и плотностью оврагов.

Коэффициент расчлененности территории оврагами – суммарная протяженность оврагов на 1 км² площади. По этому показателю различаются слабая (менее 0,25 км/км²), средняя (0,25–0,50), сильная (0,50–0,75) и очень сильная (более 0,75) степени развития эрозии.

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

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

При анализе агроэкологических особенностей литологических условий исследуемых земель основное внимание обращается на их следующие характеристики [Агроэкологическая оценка земель..., 2005; Васнев и др., 2010]:

- 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 оглеения).

Методы определения и шкалы оценки большинства агрофизических, гидрофизических и физико-химических (агрохимических) характеристик почвообразующих пород аналогичны используемым при агроэкологической оценке почв (см. разделы 4.1–4.4).

Среди широкого разнообразия почвообразующих пород в условиях европейской части России, как правило, преобладают ледниковые (моренные), флювиогляциальные (водно-ледниковые), аллювиальные, пролювиальные и морские отложения, лёссы, лёссовидные 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. Они несортированы, имеют неоднородный гранулометрический состав, включают валуны, обогащены песком, чаще всего являются валунными 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 дву-члены), 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 проблематичного генезиса и чаще рассматриваются как отложения мелководных при- ледниковых разливов талых вод. Они хорошо сортированы, 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.

Лёссы и лёссовидные суглинки также имеют проблематичное происхождение. Для лёссов характерна умеренная карбонатность, крупнопылевато-суглинистый гранулометрический состав, хорошая микроагрегированность, пористость и рыхлое сложение, хорошее сочетание водопроницаемости и влагоемкости. По своим физическим, химическим и водно-физическим свойствам лёссы наиболее благоприятны для развития растений и интенсивного сельскохозяйственного использования.

Лёссовидные 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.

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 др.

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.

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

Аллювий – отложения постоянных водных потоков, который различают на:

- 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. 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 прослойки. В них могут находиться 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.

Агроэкологическая оценка рельефа и почвообразующих пород играет важную роль в проектировании и корректировке современных систем и технологий земледелия, позволяет оптимизировать размещение по полям сельскохозяйственных культур и выбирать оптимальное для почвенно-геоморфологических условий конкретного рабочего участка сочетание агротехнологий, сортов выращиваемых

культуры и их планируемой урожайности в условиях текущего года.

Контрольные вопросы и задания

1. Что понимают под окультуриванием почв и сельскохозяйственных земель? 2. Назовите основные агрохимические параметры агроэкологического состояния почв. 3. Агрофизические показатели агроэкологического качества почв. 4. Охарактеризуйте основные водно-физические показатели агроэкологического состояния почв. 5. Диагностика почв по степени эродированности. 6. Оценка физико-химических свойств почв. 7. Оценка фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур. 8. Назовите основные показатели оценки агроклиматических особенностей земель. 9. Оценка влагообеспеченности земель. 10. Перечислите основные агроэкологические характеристики рельефа. 11. Агроэкологическая оценка почвообразующих пород.

5 АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

5.1 Агроэкологическая оценка почв, загрязненных тяжелыми металлами

Загрязнение почв тяжелыми металлами (ТМ) – одно из наиболее распространенных негативных следствий техногенного воздействия человека на природные и сельскохозяйственные экосистемы. В концентрациях, характерных для микроэлементов, они играют важную роль в обменных процессах, но в высоких концентрациях вызывают загрязнение почв, что вредно воздействует на экосистемы. Их негативное действие может быть прямым и косвенным. В первом случае блокируются реакции с участием ферментов, что приводит к уменьшению или прекращению их каталитических действий. Косвенное воздействие проявляется в переводе питательных веществ в недоступное для растений состояние.

Уровень загрязнения агроэкосистем тяжелыми металлами зависит от множества факторов, но именно почва, как правило, служит основным приемником и аккумулятором ТМ. Вертикальное и латеральное распределение тяжелых металлов в почвенном профиле и почвенном покрове – весьма сложный процесс, обусловленный целым рядом природных и техногенных факторов, среди которых доминируют таксономические выделы почв (типы, подтипы, роды, виды), их гранулометрический состав, содержание органического вещества окислительно-восстановительные и кислотно-основные условия, водный, тепловой режимы и общий геохимический фон региона.

Согласно оценкам техногенных потоков ТМ, по отношению к их кларковому содержанию в почве формируется следующий ряд сопоставления их потенциальной экологической опасности: кадмий > свинец > мышьяк > цинк > никель > кобальт [Гогмачадзе, 2010]. Эти элементы в большей части хорошо сорбируются пахотным горизонтом почв, особенно тяжелого гранулометрического состава и с высоким содержанием гумуса. Их соединения длительное время сохраняют высокую подвижность и токсические свойства. Наиболее опасные из тяжелых металлов – ртуть, кадмий и свинец, положительная роль которых не доказана даже в случае их самых малых концентраций.

Наиболее распространенные и характерные для большинства агроэкосистем сочетания тяжелых металлов могут существенно раз-

личаться для разных природных и административных регионов и территорий, что определяется как геохимическими особенностями доминирующих в них почв (таблица 37), так и степенью загрязняющего воздействия местных предприятий, транспортной и производственной инфраструктуры, применяемых в сельскохозяйственном производстве оросительных вод, удобрений, мелиорантов и пестицидов (таблица 38).

Таблица 37 – Кларки и среднее содержание тяжелых металлов в основных зональных почвах СССР и России (мг/кг) [Сает и др., 1990; Гогмачадзе, 2010]

Элементы	Глобальные		Зональные (почвы СССР)		
	кларки земной зоны	почвы мира	подзолистые	серые лесные	черноземы
Ванадий	90,0	100,0	63,5	118,0	148,0
Хром	83,0	90,0	180,0	250,0	286,0
Марганец	1000,0	850,0	715,0	1025,0	885,0
Кобальт	18,0	10,0	8,4	12,4	13,2
Никель	58,0	40,0	23,2	30,3	72,1
Медь	47,0	20,0	15,3	23,5	28,9
Цинк	83,0	50,0	41,3	60,0	62,0
Молибден	1,1	2,0	1,7	3,2	4,2
Кадмий	0,13	0,5	0,7	0,7	0,5
Свинец	16,0	10,0	11,5	12,5	13,2

Таблица 38 – Сравнительная оценка основных сельскохозяйственных источников загрязнения почв тяжелыми металлами (мг/кг сухой массы) [Гогмачадзе, 2010]

Элемент	Орошение сточными водами	Фосфорные удобрения	Азотные удобрения	Органические удобрения	Известковые материалы	Пестициды
Cd	2–1500	0,1–170	0,05–8,5	0,3–0,8	0,04–0,1	-
Co	2–260	1–12	5,4–12	0,3–24	0,4–3,0	-
Cu	50–3300	1–300	1–15	2–60	2–125	12–50
Mn	60–3900	40–2000	-	30–550	40–1200	-
Pb	50–3000	7–225	2–27	6,6–15	20–1250	60
Zn	700–49000	50–1450	1–42	15–250	10–450	1,3–25

Опасность загрязнения почв и продукции растениеводства тя-

желыми металлами особенно велика в хозяйствах, использующих интенсивные системы удобрений, а также в тепличных хозяйствах, где применяются повышенные дозы минеральных удобрений. Расчеты А. Anderson [1979] показали, что если концентрация кадмия в удобрении превышает 8 мг/кг, поступление элемента в почву не компенсируется выносом его сельскохозяйственной продукцией и выщелачиванием в подпочвенные горизонты, что ведет к накоплению кадмия в корнеобитаемом слое. Ряд авторов [Гребенникова, 1997; Гришина, Иванова, 1997] отмечают, что преобладающий в настоящее время приток тяжелых металлов в почву с удобрениями превышает отток, имеет место длительный срок удержания элементов в пахотном горизонте почв и их дальнейшая аккумуляция.

В целом, согласно обобщению М.М. Овчаренко [1997], применение минеральных удобрений дает 2,5–3,0% загрязнения почв тяжелыми металлами. Поступление их в почву с органическими удобрениями (включая осадки сточных вод) может достигать 20–26% общего потока токсичных элементов.

Тяжелые металлы агротехногенного происхождения, попадая в почву, недолго существуют в своей исходной форме. Процесс их почвенной трансформации включает следующие стадии:

- 1) преобразование оксидов ТМ в гидроксиды (карбонаты, гидрокарбонаты);
- 2) растворение гидроксидов (карбонатов, гидрокарбонатов) ТМ и адсорбция соответствующих катионов металлов твердыми фазами почвы;
- 3) образование фосфатов тяжелых металлов и их соединений с органическими веществами почвы.

Опасность загрязнения тяжелыми металлами усиливается еще и слабым выведением их из почвы. Продолжительность пребывания загрязняющих компонентов в почвах гораздо больше, чем в других частях биосферы. Период полуудаления существенно варьирует для разных ТМ: для цинка – 70–510, кадмия – 13–1100, меди – 310–1500, свинца – 740–5900 лет [Овчаренко, 1997]. Наибольшей миграционной способностью обладает цинк. Цинк, кадмий и медь способны мигрировать на глубину до 30 см. Свинец мигрирует на незначительную глубину и чаще накапливается в поверхностном слое (до 10 см), поскольку его комплексы с гуминовыми кислотами значительно прочнее, чем у других тяжелых металлов (в частности, в 1509 раз прочнее, чем кадмия).

Профильное распределение подвижных форм тяжелых металлов определяется типом почвообразовательного процесса и в значительной мере связано с гумусовым профилем почв (Zn, Cd, Co), с процессами элювиально-иллювиальной дифференциации (Zn, Pb, Cu), со сменой кислотно-щелочных условий на границе карбонатного горизонта (Cd). Гетерогенность содержащихся в пахотном горизонте подвижных форм ТМ обусловлена агрогенными, почвенно-морфогенетическими, литологическими и биологическими факторами, а также глобальным техногенным привносом тяжелых металлов на поверхность почвы [Глазовская, 1997; Липатова, Вежливцева, 2006].

По прочности связи с почвенно-поглощающим комплексом металлы располагаются в следующий ряд: свинец > медь > цинк = кадмий. Емкость поглощающего комплекса в основном определяется гранулометрическим и минералогическим составом минеральной части почв, содержанием и качеством органического вещества.

Прочность связи техногенных тяжелых металлов с крупными гранулометрическими фракциями почвы невелика (таблица 39). В почвоведении принято считать, что основной вклад в связывание металлов техногенного происхождения вносят тонкие гранулометрические фракции почвы, где сосредоточена большая часть активных по отношению к тяжелым металлам реакционных центров. Но кроме них на поверхности почвы присутствуют пылевые частицы, которые хотя и являются более слабыми центрами, удерживающими ионы металлов, но обладают огромной миграционной способностью. Пылевые частицы переносятся ветром на большие расстояния, а также попадают на почву вместе с дождевой водой.

Таблица 39 – Вклад гранулометрических фракций в общее содержание тяжелых металлов в загрязненных почвах (% от суммы содержания ТМ во всех фракциях) [Гогмачадзе, 2010]

Гранулометрические фракции	Дерново-подзолистая				Чернозем выщелоченный			
	Cu	Zn	Cd	Pb	Cu	Zn	Cd	Pb
Песок	10,16	6,62	11,06	14,00	6,36	6,74	6,78	9,91
Крупная и средняя пыль	48,88	37,92	58,30	49,75	40,50	37,37	42,02	41,91
Мелкая пыль	33,66	47,46	25,73	30,23	37,68	34,35	36,11	34,14
Ил	7,30	8,00	4,92	6,02	15,40	21,54	15,08	14,05

В расчете на единицу массы почвы наибольшая доля тяжелых

металлов связана с пылеватыми фракциями, прежде всего с фракциями крупной и средней пыли. Основными механизмами поглощения тяжелых металлов являются ионный обмен и специфическая сорбция минеральными почвенными компонентами. Наиболее прочно в составе всех фракций закрепляется свинец, имеющий наибольшее сходство как с органическим веществом, так и с минеральными компонентами почвы.

Вследствие непрочного закрепления тяжелых металлов с крупными гранулометрическими фракциями высока возможность их перехода в жидкую фазу почвы. Особенно это касается кадмия и цинка. В определенных условиях существует опасность биологического поглощения этих металлов. В черноземах благодаря наличию гумусовых пленок на поверхности минеральных частиц тяжелые металлы прочнее связаны с крупными фракциями (Пляскина, Ладонин, 2005). Поэтому распределение по гранулометрическим фракциям здесь менее дифференцировано, чем в подзолистой почве.

В большинстве случаев гумус служит важным естественным барьером, прочно удерживающим ТМ и сдерживающим их миграцию по почвенному профилю и покрову. Гумусово-аккумулятивные горизонты почв загрязненных территорий, как правило, значительно обогащены тяжелыми металлами [Овчаренко, 1997; Манторова, 2002; Пляскина, Ладонин, 2005].

Фитотоксичное действие тяжелых металлов на растения сильнее выражено на слабокультуренных почвах с низким содержанием гумуса. В почвах с высоким содержанием органического вещества тяжелые металлы прочно связаны с гумусом, трудно доступны растениям, и как следствие снижается их отрицательное действие на растения.

Образование комплексных соединений металлов с органическим веществом почвы способствует выведению излишних масс металлов из миграционных циклов на длительное время. Прочность связи тяжелых металлов с органическим веществом существенно влияет на самоочищающую способность почв. Наиболее прочно закрепляется ртуть, прочно связывается свинец, менее прочно – медь, еще меньше – цинк и кадмий [Соколов, Черников, 1999].

При загрязнении почв тяжелыми металлами их катионы прежде всего реагируют с теми почвенными компонентами, с которыми могут образовывать наиболее устойчивые соединения. При поглощении меди и свинца почвой большое значение имеет образование комплек-

сов с органическим веществом.

В дерново-подзолистой почве, где содержание гумуса невелико, соответственно ограничено и количество реакционных центров, поэтому часть катионов меди и свинца поглощается за счет специфической сорбции. В то же время катионы цинка прочно связаны с минеральными компонентами.

Одним из важнейших факторов, определяющих подвижность тяжелых металлов в почвах, служит реакция среды. Значительной подвижностью в кислой среде обладают свинец, цинк и медь. Уменьшение рН на 1,8–2 единицы приводит к увеличению подвижности цинка в 3,8–5,4 раза; кадмия – в 4–8, а меди – в 2–3 раза (Башмаков, Лукаткин, 2002).

Разные авторы отмечают, что наиболее прочно ионы большинства тяжелых металлов закрепляются в почве при нейтральных и слабощелочных значениях рН, так как ионы водорода при высокой концентрации в среде создают конкуренцию для металлов в процессах сорбции, в слабощелочных условиях возрастает устойчивость органо-минеральных комплексов.

Подвижность тяжелых металлов существенно изменяется под действием минеральных удобрений. Внесение физиологически кислых удобрений способствует увеличению кислотности почвы и коэффициентов подвижности тяжелых металлов: цинка – с 13,4 до 19%, меди – с 2,6 до 4,7%, свинца – с 5,0 до 7,4% и кадмия – с 19,6 до 28,3%, так как значительная доля металлов при увеличении кислотности малобуферной почвы переходит из обменно-поглощенного состояния в почвенный раствор. Изменение рН почвы с 4,5 до 7 обеспечивает устойчивое снижение в 5–10 раз содержания кадмия, свинца и цинка в растениях – даже при самом высоком уровне содержания их в почве [Овчаренко, 1997]. С этим связано большое значение известкования в нейтрализации негативного воздействия на растения тяжелых металлов.

Фосфорные удобрения также обладают значительной способностью детоксикации почв, загрязненных ТМ. Это объясняется тем, что большинство металлофосфатов является нерастворимыми соединениями. Кроме того, при внесении фосфорных удобрений в почвенном растворе появляется больше ионов кальция – антагониста свинца, что также препятствует поступлению свинца в растения.

В последние годы все чаще в качестве источника удобрений стали применять осадки сточных вод (ОСВ), содержащие помимо

элементов питания и значительное количество тяжелых металлов. Исследованиями В.А. Касатикова с соавторами [2003, 2009] показано, что уровень валового содержания тяжелых металлов в удобряемых осадками сточных вод дерново-подзолистых супесчаных почвах зависит прежде всего от дозы осадка и вида используемого мелиоранта. При этом ОСВ оказывают большее влияние на содержание подвижных форм тяжелых металлов в пахотном и подпахотном горизонтах почв, чем на их валовое содержание.

При количественной экологической оценке загрязнения почв тяжелыми металлами наибольшее распространение имеет сравнение валового содержания и содержания подвижных форм отдельных элементов с их предельно допустимыми концентрациями (ПДК), ориентировочно допустимыми концентрациями (ОДК), кларками или фоновым содержанием (по коэффициенту концентрации K_c), а также интегральная оценка степени загрязнения по суммарному показателю Z_c (СанПин 42-128-4433-87; ГН 2.1.7.020-94).

Валовое содержание элемента в почвенном покрове наряду с историей и современным уровнем техногенного воздействия обусловлено прежде всего его концентрацией в материнской почвообразующей породе и определяется ее генезисом, петрографией, предыдущими и современными процессами почвообразования. На содержание подвижных форм тяжелых металлов большое влияние оказывают растительный покров, реакция среды, содержание органического вещества и прочие почвенные характеристики.

Фоновое содержание тяжелых металлов определено и регламентируется как для отдельных типов почв, так и для отдельных географических точек местности. Кларки элементов приведены во многих научных работах и региональных обобщениях (Ильин, 1991; Ягодин и др., 1995; и др.).

В настоящее время уровень фоновых концентраций многих элементов в почвах все чаще определяется не столько естественными факторами почвообразования, сколько глобальными процессами их рассеяния в результате хозяйственной деятельности человека. По некоторым тяжелым металлам отсутствуют надежные данные об их фоновом содержании в почвах. Приводимые различными авторами результаты по фоновому содержанию тяжелых металлов в почвах часто значительно различаются и территориально фрагментарны [Гогмачадзе, 2010].

При этом неоднократно отмечалась парадоксальная ситуация,

когда фоновое содержание тяжелых металлов в тяжелосуглинистых среднегумусовых черноземах и лугово-черноземных почвах (наиболее устойчивых к загрязнению ТМ) локально превышало ПДК, а выращенная на таких почвах продукция в полной мере соответствовала принятым нормативам [Ильин, 1991; Васенев и др., 1998; и др.].

В условиях повышенного разнообразия почвенного покрова России система единых национальных нормативов уже давно подвергается справедливой критике. По мнению ряда ученых, экстраполяция единых величин ПДК на все территории без учета региональных особенностей представляется несостоятельной. Данный недостаток в меньшей степени выражен в принятых в 1992 г. нормативах ОДК, дифференцированных для трех больших групп почв с характерными сочетаниями принципиальных вариантов гранулометрического состава и кислотности почв, в значительной мере определяющих подвижность в них тяжелых металлов [Перечень ПДК и ОДК..., 1995].

ОДК рассчитаны для шести тяжелых металлов и имеют по три численных значения для различных условий, что делает их применение более обоснованным и гибким. Однако и в этом случае перечень природных условий, при которых они эффективно применимы, отнюдь не исчерпывает разнообразие свойств почв не только России, но даже ее отдельных регионов.

Другим большим недостатком преобладающего нормирования содержания ТМ в почвах является характеристика их загрязнения по одному элементу. В ПДК не учитывается суммарный эффект их действия, в то время как почвы чаще всего содержат не один, а несколько элементов. Их воздействие на растения характеризуется процессами как синергизма, так и антагонизма между различными тяжелыми металлами, а также между тяжелыми металлами и другими макро- и микроэлементами. Результирующее влияние зависит от чувствительности растений (общей и поэлементной), почвенных условий, химической формы соединений и других факторов, но определяющими являются набор металлов и соотношение между ними.

На анализе коэффициента концентрации K_c основана педохимическая индикация степени загрязнения почв тяжелыми металлами [Глазовская, 1997]:

$$K_c = C/C_{\phi},$$

где C – концентрация вещества в загрязненной пробе, C_{ϕ} – 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).

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

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

где K_c – коэффициенты 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 (таблица 40), их фактического содержания в почве (таблиц 41) и значения ПДК (таблица 42) [Агроэкологическая оценка..., 2005].

Таблица 40 – 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,	> 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.

Дополнительной характеристикой загрязнения почв тяжелыми металлами, позволяющей более точно прогнозировать их поведение и миграцию в смежные среды, является распределение данных элементов по профилю почвы, оцениваемое по соотношению их концентраций в различных почвенных горизонтах (от почвообразующей породы и до подстилки).

В целом сравнение с ПДК позволяет оценить относительное санитарно-гигиеническое благополучие территории, но не дает возможности выявить удельное влияние на нее хозяйственной деятельности. Конкретно измерить масштабы изменений, происшедших под влиянием конкретного антропогенного фактора, можно лишь сравнив содержание тяжелых металлов в почве в настоящий момент времени с исходной их концентрацией на момент начала оцениваемой деятельности (например, функционирования потенциально опасного предприятия). По кратности увеличения содержания можно судить о глубине, допустимости и степени обратимости анализируемого антропогенного воздействия, что, как правило, реализуется в рамках подготовки профильных экологических разделов оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) или перечня мероприятий по охране окружающей среды (ООС)

В работах Д.С. Орлова с соавторами [1995; 1996] и О.А. Соколова с соавторами [1999; 2009] приведены экологические нормативы на содержание тяжелых металлов в веществах, используемых в качестве нетрадиционных органических удобрений (твердых бытовых отходах, осадках сточных вод, активном иле, коре и опилках, лигнине, сапропелях, гуматах), и компостах на их основе: кадмия – 20 мг/кг, кобальта – 100, хрома – 750, меди – 1000, ртути – 16 мг/кг, марганца – 3000, молибдена – 50, никеля – 300, свинца – 750, цинка – 2500 мг/кг.

По степени загрязнения тяжелыми металлами почвы подразделяют на сильно-, средне- и слабозагрязненные [Гогмачадзе, 2010]. К сильнозагрязненным относятся почвы, в которых содержание загрязняющих веществ в несколько раз превышает ПДК. Выращенные на них культуры содержат химические вещества выше установленных норм. Нередко они характеризуются пониженной биологической продуктивностью, заметным ухудшением физико-механических, хи-

мических и биологических свойств.

Таблица 41 – Схема оценки почв сельхозугодий по степени загрязнения химическими веществами [Агроэкологическая оценка..., 2005]

Категория	Z	Загрязненность относительно ПДК	Изменение показателей здоровья	Возможное использование почв	Необходимые мероприятия
1	2	3	4	5	6
I. 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
II. 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
III. 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
IV. Чрезвычайно опасная	> 128	Превышает ПДК по всем показателям	Увеличение заболеваемости детей, нарушение репродуктивной функции женщин	Исключение из сельскохозяйственного использования	Снижение уровня загрязнения и связывания токсикантов в почвах. Контроль за содержанием токсикантов во всех средах

К среднезагрязненным относятся почвы, в которых установлено превышение ПДК без видимых изменений в базовых свойствах и продуктивности почв. К слабозагрязненным относятся почвы, в которых содержание химических веществ не превышает ПДК, но суще-

ственно выше естественного фона.

Таблица 42 – ПДК веществ в почвах и допустимые уровни их содержания по показателям вредности, мг/кг почвы с учетом фона [Агроэкологическая оценка земель..., 2005]

Элемент	ПДК	Показатели вредности		
		транслокационный	водный	общесанитарный
Подвижные формы				
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
Cr	6,0	-	-	6,0
Pb	6,0	-	-	-
Валовое содержание				
Sb	4,5	4,5	4,5	50,0
Mn	1500	3500	1500	1500
V	150	170	350	150
Pb	30	35	260	30
Hg	2,1	2,1	33,3	5,0
Pb + Hg	20+1	20+1	30 + 2	30 + 2
Cu	55	-	-	-
Ni	85	-	-	-
Zn	100	-	-	-

Установление формализованного уровня загрязнения почв тяжелыми металлами позволяет проводить согласованную оценку функционально-экологического качества земель для уточнения возможности и целесообразности их использования в агропромышленном комплексе (таблица 43).

Таблица 43 – Критерии опасности загрязнения почв тяжелыми металлами выше значений ПДК [Черных, 1999; Гогмачадзе, 2010]

Среда и элемент	Критерии ситуации		
	неудовлетворительная	чрезвычайная	катастрофическая
1-й класс опасности: Cd, Hg, Pb, Zn	1–2 ПДК	2–3 ПДК	>3 ПДК
2-й класс опасности: Co, Ni, Mo, Cu, Sb, Cr	1–5 ПДК	5–10 ПДК	>10 ПДК

Агроэкологическая оценка загрязнения почв тяжелыми металлами в целях их экологической сертификации должна содержать в любом случае как минимум три уровня:

1-й уровень загрязнения: земельные участки можно использовать по любому назначению без ограничений;

2-й уровень загрязнения: использование земельных участков ограничено, и в некоторых случаях необходимо проводить мероприятия по санации почв;

3-й уровень загрязнения: земельные участки подлежат консервации, и использование их возможно только после проведения мероприятий по санации и повторных контрольных исследований, подтверждающих возможность их использования для производства продукции, пригодной на продовольствие или фураж.

Нормирование содержания тяжелых металлов в почве для оценки возможности и целесообразности их использования в растениеводстве и овощеводстве нуждается в районировании и функционально-целевой дифференциации. В идеале для каждой сельскохозяйственной культуры должна быть установлена своя ОДК тяжелых металлов в почве [Лукин и др., 2000; Соколов и др., 2009; Гогмачадзе, 2010]. Установив для каждой сельскохозяйственной культуры безопасный уровень содержания тяжелых металлов в почве, можно путем подбора наиболее толерантных к накоплению их растений даже на загрязненных почвах получать экологически безопасную продукцию. Такой способ мелиорации загрязненных почв – наиболее эффективный.

При комплексной агроэкологической оценке и картировании почв удобнее применять единые ОДК подвижных форм тяжелых металлов в почве. В качестве таких ОДК целесообразнее использовать уровни, при которых происходит загрязнение продукции наименее толерантных сельскохозяйственных культур. По результатам исследований, за ОДК подвижных форм свинца, цинка, кадмия в черноземе типичном тяжелосуглинистом с $pH > 4,8$ можно принять соответственно 19; 74 и 0,7 мг/кг. ОДК подвижной меди составляет не менее 100 мг/кг [Гогмачадзе, 2010].

Для почв с кислой и слабокислой реакцией среды разработаны детальные шкалы из 10 градаций агроэкологической оценки почв по содержанию и степени загрязнения их тяжелыми металлами (таблица 44).

Разным градациям такой оценки соответствуют свои агроэколо-

гические рекомендации по оптимизации сельскохозяйственного землепользования с минимизацией его экологических и экономических рисков (таблица 45).

Таблица 44 – Классификация почв по содержанию (загрязнению их) тяжелыми металлами (мг/кг воздушно-сухой почвы, валовое содержание для почв с кислой и слабокислой реакцией) [Гогмачадзе, 2010]

Уровни	Свинец	Кадмий	Цинк	Медь	Никель	Ртуть
Содержание: очень низкое	<5	<0,05	<15	<5	<10	<0,05
низкое	5–10	0,05–0,10	15–30	5–15	10–20	0,05–0,10
среднее	10–35	0,10–0,25	30–70	15–50	20–50	0,10–0,25
повышенное	35–70	0,25–0,50	70–100	50–80	50–70	0,25–0,50
высокое	70–100	0,50–1,00	100–150	80–100	70–100	0,50–1,00
очень высокое	100–150	1–2	150–200	100–150	100–150	1–2
Загрязнение: низкое	100–150	1–2	150–200	100–150	100–150	1–2
среднее	150–500	2–5	200–500	150–250	150–300	2–5
высокое	500–1000	5–10	500–1000	250–500	300–600	5–10
очень высокое	>1000	>10	>1000	>500	>600	>10

На почвах с низкой степенью загрязнения возможно выращивание корне- и клубнеплодов, кочанной капусты, технических культур, но при обязательном контроле за качеством продукции и проведении агротехнических и агрохимических мероприятий, направленных на увеличение емкости поглощения почв, закрепление тяжелых металлов в почвах для предотвращения или снижения их поступления в растения. К основным мероприятиям улучшения агроэкологического состояния таких почв относятся: известкование, внесение органических и минеральных удобрений. На песчаных и супесчаных почвах, кроме того, эффективно внесение цеолитов.

Если почвы имеют средний и высокий уровень загрязнения, то можно рекомендовать не аккумулирующие тяжелые металлы сельскохозяйственные культуры (особенно технические, семенники многолетних трав, ягодные и другие) – при интенсивном применении агрохимических и агротехнических мероприятий, снижающих поступ-

ление тяжелых металлов в продукцию.

Таблица 45 – Краткие рекомендации по подбору, размещению и использованию сельскохозяйственных культур и территории с учетом уровня содержания тяжелых металлов в почве [Гогмачадзе, 2010]

Уровень содержания ТМ в почве	Рекомендации по подбору, размещению и использованию сельскохозяйственных культур и территории
1	2
Низкое и очень низкое содержание	На пахотных и кормовых угодьях рекомендуется внесение дополнительных доз минеральных и органических удобрений, обеспечивающих привнесение в почву необходимых микроэлементов. Размещение и использование сельскохозяйственных культур без ограничений.
Среднее содержание	На пахотных и кормовых угодьях – размещение любых зонированных сельскохозяйственных культур без ограничения, включая очень чувствительные к накоплению ТМ. Применение интенсивной технологии возделывания сельскохозяйственных культур. В качестве приоритетов следует рекомендовать выращивание столовой зелени, овощей открытого грунта, корнеплодов, ягод, производство элитных семян растений, культур с высокой чувствительностью к накоплению ТМ, лекарственных растений, растениеводческой продукции, используемой для диетического и детского питания. В лесных массивах – оптимальная среда для сбора грибов и ягод, заготовки дикорастущих лекарственных растений. Для сельских территорий – использование массивов под зоны отдыха, скверы, парки, дома отдыха, санатории, размещение детских дошкольных и школьных учреждений.
Повышенное содержание	На пахотных и кормовых угодьях – размещение любых зонированных сельскохозяйственных культур, сдерживая размещение высокочувствительных к накоплению ТМ культур. Потребление продукции растениеводства для пищевых и иных целей без ограничения, исключая использование для производства диетического и детского питания. В лесных массивах – ограничения в сборе высокочувствительных к ТМ дикорастущих лекарственных растений.
Высокое содержание	На пахотных угодьях ограничить размещение высокочувствительных и сдерживать размещение среднечувствительных к ТМ культур. Исключить производство овощеводческой продукции, используемой в сыром виде, столовой зелени, ягодных культур, сохранив кормопроизводство.

1	2
	<p>Используемые для пищевых и продовольственных целей сельскохозяйственные культуры подвергать обязательному контролю на содержание ТМ. Высоко- и средне чувствительные к ТМ сельскохозяйственные культуры направлять на переработку.</p> <p>В лесных массивах следует ввести ограничения на сбор грибов и дикорастущих лекарственных растений.</p> <p>Для сельских территорий – запрет на выращивание столовых овощей, зелени на приусадебных участках.</p>
Очень высокое содержание	<p>На пахотных и кормовых угодьях – приоритетное размещение устойчивых к ТМ кормовых и технических культур. Ограниченное использование для продовольственных целей слабо чувствительных к ТМ культур. Обязательный контроль над содержанием ТМ в растительной продукции. Приоритетная специализация в растениеводстве – производство технических культур, зерно- и кормопроизводство</p> <p>В лесных массивах – введение строгих ограничений на сбор грибов и дикорастущих лекарственных растений</p> <p>Для сельских территорий – категорический запрет, с выделением штрафных санкций, на выращивание столовой зелени на приусадебных участках</p>
Низкое загрязнение	<p>На пахотных угодьях рекомендуется приоритетное размещение устойчивых к тяжелым металлам кормовых и технических культур, а также культур, последующее использование которых требует переработки. Организация на территории санитарно-защитных севооборотов. Рекомендуется проведение глубокой вспашки, повышенное внесение органических удобрений и известкование.</p> <p>Кормовые угодья целесообразно в большей степени использовать под сенокосение, чем под выпас.</p> <p>В лесных массивах – категорический запрет на сбор грибов и дикорастущих лекарственных растений.</p> <p>Для сельских территорий – ограничить использование территории для размещения мест отдыха и оздоровления.</p>
Среднее загрязнение	<p>На пахотных угодьях рекомендуется размещение только устойчивых к ТМ технических культур, требующих по технологии глубокой переработки (на спирт, масло, крахмал и т.п.). Организация на территории санитарно-очистительных севооборотов.</p>

1	2
	<p>Рекомендуется глубокая вспашка для снижения общей концентрации тяжелых металлов в верхнем пахотном слое или удаление верхнего загрязненного слоя почвы, а также землевание или залужение пашни</p> <p>На кормовых угодьях допускается выращивание кормовых культур только с обязательной последующей переработкой. Запрещается выпас скота.</p> <p>Для городских (сельских) территорий – вывод детских дошкольных и школьных заведений, ликвидация мест отдыха населения.</p>
Высокое и очень высокое загрязнение	<p>На пахотных угодьях исключается выращивание любых сельскохозяйственных культур, используемых для хозяйственных целей. Целесообразна консервация пахотных земель с проведением комплекса мероприятий по их санации или залужению. В частности, при фитосанации целесообразно размещение растений с высокой способностью к поглощению тяжелых металлов из почвы с целью последующей утилизации (сжигания). При загрязнении высоко опасными загрязнителями (1-го класса опасности) рекомендуется обязательное удаление верхнего загрязненного слоя почвы.</p> <p>На кормовых угодьях крайне ограничивается хозяйственное использование растительности, включая использование на кормовые цели, даже после переработки.</p> <p>Для городских (сельских) территорий – обязательный вывод детских дошкольных и школьных заведений, ликвидация мест отдыха населения.</p>

При очень высокой степени загрязнения почв тяжелыми металлами запрещается выращивать сельскохозяйственные культуры для продовольственных целей; агротехнические приемы (известкование, внесение органических и минеральных удобрений, цеолитов) на таких почвах будут малоэффективны, сельскохозяйственные культуры будут содержать тяжелые металлы выше ПДК. Наиболее чувствительные к тяжелым металлам культуры будут даже снижать на 20–40% урожай (биомассу).

Локальные уровни загрязнения сельскохозяйственных угодий во многих регионах достаточно высоки [Гогмачадзе, 2010], что определяет необходимость развития специализированных систем ведения сельского хозяйства, устойчивого снижения техногенной нагрузки, проведения реабилитации загрязненных сельскохозяйственных уго-

дий.

Выявленная в ходе мониторинговых обследований общая площадь загрязнения тяжелыми металлами пахотных земель России относительно невелика (таблица 46), но, как правило, загрязнению подвергаются наиболее плодородные и/или удобно расположенные относительно дорожной и производственной инфраструктуры участки пашни.

Таблица 46 – Загрязнение почв пахотных угодий России тяжелыми металлами [Гогмачадзе, 2010]

ТМ	Обследованная площадь		С содержанием ТМ выше ПДК		Валовое содержание		Подвижные формы	
	тыс. га	% общей	тыс. га	% обследованной	тыс. га	% обследованной	тыс. га	% обследованной
Pb	16380,7	12,9	273,0	1,7	255,6	1,6	17,4	0,1
Cd	14257,7	11,3	27,7	0,2	11,9	0,1	15,8	0,1
Ni	8667,5	6,8	56,0	0,7	9,0	0,1	47,0	0,6
Cr	5957,5	4,7	33,3	0,6	32,4	0,5	0,9	-
Zn	24783,5	19,6	54,0	0,2	39,5	0,15	14,57	0,05
Co	9256,7	7,3	94,3	1,0	94,3	1,0	-	-
Cu	22326,0	17,6	449,2	2,0	28,6	0,1	420,6	1,9

По распространенности на сельскохозяйственных территориях тяжелые металлы располагаются в следующей последовательности: Cu > Ni > Zn, Co > Pb > Cd, Cr. Загрязненные участки, как правило, располагаются вблизи крупных городов, промышленных зон, предприятий топливно-энергетического комплекса, автомагистралей.

Для сравнения уровней загрязнения почв токсичными веществами промышленного происхождения (ТПП) вблизи источников промышленных выбросов с фоновыми уровнями содержания ингредиентов подразделения сети Росгидромета ежегодно проводят отбор проб почв в фоновых районах, прилегающих к техногенным. Значения фоновых содержаний ингредиентов в почвах представляют в ежегодниках «Загрязнение почв территории деятельности (соответствующего) УГМС ТПП».

С удалением от источника промышленных выбросов общее со-

держание тяжелых металлов в почвах уменьшается до фонового (примерно на расстоянии 5–20 км) в зависимости от мощности источника.

Таким образом, необходимо регулярно контролировать уровень текущего загрязнения сельскохозяйственных земель тяжелыми металлами и прогнозировать их агроэкологическое состояние с учетом применяемых агротехнологий, морфогенетических особенностей почв, качества используемых агрохимикатов, основных факторов, способствующих увеличению или снижению подвижности и накопления ТМ в почвенном покрове, поверхностных и грунтовых водах, основной и побочной продукции растениеводства.

Согласно эколого-токсикологической оценке почв сельскохозяйственных угодий РФ, данной агрохимической службой Минсельхоза, к наиболее распространенным и опасным (в условиях России) тяжелым металлам первого класса опасности относятся свинец и цинк, а из элементов второго класса опасности – никель и медь. Распределение тяжелых металлов и их воздействие на агропромышленный комплекс носят ярко выраженный регионально и локально дифференцированный характер, так как состав техногенно поступающих тяжелых металлов значительно отличается для различных субъектов Российской Федерации, и разные почвы обладают различной способностью связывания, аккумуляции и миграции разных форм различных металлов.

Крайне актуальными остаются приоритетные задачи разработки научно обоснованных районированных нормативов агроэкологической оценки уровня загрязнения почв тяжелыми металлами, приемов предотвращения загрязнения и технологий детоксикации почв при различных уровнях загрязнения их тяжелыми металлами – с доведением содержания ТМ до уровней, допустимых для ведения устойчивого земледелия, получения чистой (отвечающей санитарно-гигиеническим требованиям и запросам рынка) растениеводческой продукции, и предупреждения распространения загрязнителей в другие природные среды с целью предотвращения отравления ими животных и человека.

5.2 Агроэкологическая оценка загрязнения сельскохозяйственной продукции нитратами

Нитраты занимают особое место среди агрохимических загряз-

нитратов почвы, продукции растениеводства и водных источников. Это связано с тем, что нитраты являются основным источником азотного питания растений, широко используются в растениеводстве, интенсивно выделяются при разложении и трансформации органических и органо-минеральных удобрений, обладают потенциально очень высокой миграционной способностью.

Избыток нитратов приводит к целому ряду нежелательных экологических последствий, серьезно влияющих на здоровье человека и животных, поэтому анализу уровней текущего и прогнозируемого загрязнения нитратами почв, поверхностных и грунтовых вод, основной и побочной растительной продукции традиционно уделяется повышенное внимание.

Накопление нитратов растениями является ответной метаболической реакцией растений на изменение режима минерального питания и погодных условий, возникающей на определенных стадиях и фазах его развития. Высокое содержание нитратов в растениях свидетельствует либо об избыточной обеспеченности их азотом, либо о низкой степени восстановления нитратов в тканях [Гогмачадзе, 2010].

Факторы, влияющие на размеры накопления нитратов в растениях, можно условно разделить на внешние и внутренние. К основным внешним и трудно регулируемым факторам относят климатические: низкую освещенность, неблагоприятные условия температуры и увлажнения. Действуя системно, они часто усиливают или ослабляют друг друга.

Существенное влияние на содержание в продукции нитратов оказывают регулируемые земледельческие факторы: чередование культур в севообороте, система обработки почв, недостаточная обеспеченность растений элементами питания. Накопление повышенных количеств нитратов в пищевых и кормовых продуктах в основном является следствием избыточного азотного питания растений или неправильного времени и способа внесения азотных удобрений [Агроэкология..., 2004].

Большее влияние на содержание в почве азота нитратов оказывают агротехнические приемы. Повышенному уровню содержания в почве азота нитратов способствует отвальная вспашка. Культивация и плоскорезная обработка снижают его концентрацию. Очень высокая обеспеченность почв нитратной формой азота была отмечена при полевой влажности 22–24% и содержании водопрочных агрегатов

более 30%. По степени влияния на содержание азота нитратов основные свойства почв и агротехнические приемы выстраиваются в следующий ряд: агротехнические приемы > полевая влажность > плотность сложения почв > содержание водопрочных агрегатов.

Внутренними факторами являются биологические и сортовые особенности отдельных культур. Например, по мере созревания концентрация нитратов в съедобной части овощей определяется в значительной степени сортом, причем сортовые различия по накоплению нитратов могут составлять 200–500%.

Оптимальный уровень содержания нитратов в растениях соответствует 0,5–1,0% в расчете на сухое вещество. Более низкие значения приводят к недобору урожая, а превышение может неблагоприятно отражаться на здоровье людей при употреблении продукции в пищу [Агроэкология..., 2004]. Усвоение нитратов растениями включает как минимум три аспекта: во-первых, повышение нитратов представляет собой барьер на пути передвижения азота из почвы в грунтовые и поверхностные воды; во-вторых, нитраты – основной источник азотного питания растений; в-третьих, их накопление в избыточных количествах ухудшает биологическое качество продукции, создает потенциальную опасность для животных и человека.

Согласно результатам многочисленных исследований, потенциальная токсичность нитратов для животных проявляется при содержании 0,25% азота нитратов $N-NO_3$ на сухое вещество, хотя эта величина в зависимости от ряда других факторов может изменяться от 0,1 до 0,5%. Для сельскохозяйственных животных ориентировочно токсическими дозами нитратов при приеме внутрь являются: КРС – 30–50; лошади – 60–70; свиньи – 60–90; овцы – 60–100; птицы – 90–130 мг NO_3 на 100 г массы.

Для человека максимально допустимая суточная доза нитратов (с продуктами питания и водой), не оказывающая существенного отрицательного влияния на организм, как правило, соответствует 200–220 мг NO_3 , или 3,6 мг NO_3 на 1 кг массы тела. На практике эти цифры нуждаются в уточнении, так как при их определении исходно не учитывалась возможность образования из нитратов более токсичных веществ – нитритов. Согласно данным ФАО/ВОЗ, допустимая суточная доза нитрита составляет 0,2 мг/кг массы тела, исключая грудных детей. Острая интоксикация отмечается при одноразовой дозе с 200–300 мг, летальный исход при 300–2500 мг. Допустимое суточное потребление нитритов составляет 10 мг, в то время как токсичная доза

нитратов для взрослого человека массой 70 кг достигает 3100 мг.

Самое частое проявление нитратно-нитритных токсикозов связано с нарушением газообмена в тканях. Механизм токсического действия нитритов в организме заключается в их взаимодействии с гемоглобином крови, блокировке центров переноса кислорода, превращении гемоглобина в метгемоглобин. Это приводит к нарушению тканевого газообмена, цианозу и другим негативным изменениям в организме.

Кроме того, было установлено, что поступление нитратов и нитритов в дозах на уровне рекомендованных ПДК, но в течение длительного периода, также ведет к серьезным нарушениям функционирования живых организмов.

Что касается нормирования содержания нитратов в продукции, то существуют разные подходы к принципам нормирования. Одни страны разрабатывают нормативы на каждый конкретный продукт (капуста, огурцы, томаты, шпинат и т.д.), другие – в целом по овощам и продуктам диетического питания. Узнать, насколько негативно воздействует на здоровье человека овощная культура, обогащенная нитратами, можно на основе данных о суточном потреблении нитратов с продуктами питания (таблица 47).

Таблица 47 – Потребление человеком нитратов с продуктами питания
[Гогмачадзе, 2010]

Вид продукта	Потребление продукта		Содержание нитратов в продукте, мг/кг		Суточное поступление нитратов в организм человека, мг	
	кг/год	г/сут.	среднее	максимум	среднее	максимум
Картофель	122	334	121	463	40	155
Капуста	32	88	427	2220	37	195
Морковь	14	38	157	339	6	13
Свекла	4	11	1649	2220	18	24
Огурец	13	36	178	1597	6	57
Томат	22	60	70	160	4	10
Лук	13	36	497	1248	18	45
Молоко	365	1000	10	14	10	14
Вода	730	2000	8	106	16	212

Различия и периодический пересмотр нормативов по отдельным видам сельскохозяйственной продукции, допускаемые медиками разных стран в оценке максимально допустимого уровня (МДУ) нитратов, при котором начинаются необратимые изменения в организме, указывают на несовершенство существующих решений многих методических вопросов (таблица 48).

Таблица 48 – Нормативы содержания нитратов в продуктах питания (мг/кг сырого веса по нитрат-иону)
[Гогмачадзе, 2010]

Наименование продукта	Допустимые концентрации
Картофель	250
Капуста белокочанная	500
Морковь	250
Огурцы	150
Томаты	150
Свекла	1400
Дыни	90
Арбузы	60
Лук репчатый	80
Лук (перо)	600

Установленные МДУ надежно обеспечивают безопасность среды только тогда, когда в ней содержится один загрязняющий компонент. Если появляются другие загрязнители, то они могут усилить отрицательное действие.

При оценке агроэкологических рисков загрязнения нитратами почв и выращиваемой на них продукции важное значение имеет не только существующий ПДК по содержанию нитратов в почве (130 мг/кг), но и уровень содержания в ней минерального и легкогидролизуемого азота (см. таблицу 5, раздел 4.1). Важную роль в регулировании процессов накопления нитратов в растениях могут играть физиологически активные вещества и внесение в почву различных сорбентов (цеолиты, глаукониты). Как правило, достоверно понижающий эффект на содержание нитратов в продукции большинства изучаемых культур (за исключением огурца) оказывает применение солей гуминовых кислот.

Поскольку содержание нитратов в почве очень динамично, основными объектами агроэкологического мониторинга нитратов должны быть не только почва сельскохозяйственных угодий, но и получаемая на них продукция. В последние годы резко возросли требования к качеству урожая сельскохозяйственных культур, в первую очередь кормовых и овощных. По основным фазам их роста и развития рекомендуется проводить мониторинговый анализ содержания нитратов в почве (почвенная диагностика) и растениях (листовая и тканевая диагностика) – 3–4 раза за период вегетации, что особенно актуально для интенсивных технологий сельскохозяйственного производства [Гогмачадзе, 2010].

Одним из важнейших этапов нормирования является получение и обобщение данных о фактическом загрязнении растительной продукции. В России контроль за содержанием нитратов в сельскохозяйственной продукции осуществляется профильными департаментами и службами Министерства сельского хозяйства и Роспотребнадзора.

Имеющиеся результаты не всегда показывают полную и объективную оценку содержания нитратов в почве и других компонентов агроэкосистем. Нужны систематические наблюдения в условиях представительных агроландшафтов и хозяйств различных почвенно-климатических зон.

Для управления продукционным процессом в желаемом направлении (без избыточного накопления нитратов) необходимы детальные знания доминирующих факторов, влияющих на скорость и потенциал накопления и трансформации нитратов в почве и продукции основных типов агроландшафта, районированные шкалы их агроэкологической оценки, верифицированные алгоритмы динамического моделирования, поискового и нормативного прогнозирования их поведения в почве и агроэкосистеме в различных почвенно-экологических, гидрометеорологических и агротехнологических условиях основных сельскохозяйственных регионов России.

Практически все антропогенные факторы, связанные с избыточным накоплением нитратов в продукции, можно в значительной степени использовать для регуляции азотного питания и, как следствие, для управления азотным обменом в растениях, чтобы не допустить ухудшения качества урожая. Наиболее сильное воздействие на аккумуляцию нитратов в продукции оказывают избыточные дозы азотных удобрений, генотип сорта и биологические особенности культуры.

Необходимо подчеркнуть важность проведения периодической

почвенной и растительной диагностики, которая может способствовать регулированию процессов накопления нитратов в растениях. Наиболее эффективные приемы и мероприятия, способствующие снижению содержания нитратов в растительной продукции, была удачно систематизирована О.А. Соколовым с соавторами [1988; Агроэкология..., 2004]. Основные из них:

- обеспечение сбалансированного питания растений макро- и микроэлементами;
- дробное внесение азотных удобрений (основное внесение и 1–2 подкормки).

Обязательным условием получения овощной продукции с невысоким (ниже ПДК) содержанием нитратов является проведение последней азотной подкормки не позднее, чем за 8–10 дней до уборки урожая.

Для того чтобы предотвратить поступления нитратов в организм человека и животных в количествах, опасных для жизни, необходимы строгий контроль за содержанием их в во всех звеньях цепи почва–вода–удобрение–растение–продукция–человек (животные) и научно обоснованные регламенты предельно допустимых норм в них.

Нормативы содержания нитратов в почвах должны быть районированы (зонированы) в зависимости от типа почвы и ее базовых свойств: гранулометрический состав и плотность сложения, вододерживающая способность и водопроницаемость, содержание органического вещества и скорость его минерализации, реакция среды и характеристики ППК, содержание подвижных форм основных макро- и микроэлементов питания, интегральные показатели микробиологической и биохимической активности почв и т.д.

5.3 Агроэкологическая оценка загрязнения земель и сельскохозяйственной продукции пестицидами

Ежегодный зарегистрированный объем использования пестицидов в развитых странах мира превышает 3 млн. т в год, что составляет примерно 0,5 кг на каждого жителя планеты. В России этот уровень не так высок, однако наблюдается значительное расширение ассортимента применяемых пестицидов и возрастает использование высокотоксичных препаратов с малыми нормами расхода. Ситуация усугубляется поступлением все новых видов пестицидов, которые в

процессе регистрации проходят экологические испытания только на трех представительных вариантах зональных почв, что явно недостаточно в условиях повышенного разнообразия почвенных и агро-экологических условий Российской Федерации.

К основным причинам загрязнения почвы остаточными количествами пестицидов (ОКП) относятся: бессистемное использование земли и средств защиты растений; несоблюдение регламентов применения пестицидов; потери, происходящие при их хранении и транспортировке; непроизводительная и несовершенная техника для их внесения; применение устаревших технологий, а также отсутствие районированного нормирования их применения.

Часть пестицидов вносят непосредственно в почву, другие – попадают в нее с протравленными семенами, а также в результате смыывания с поверхности растений выпадающими осадками [Мониторинг пестицидов в объектах..., 2005]. Отдельные препараты способны длительное время сохраняться в почве, поэтому их концентрация в пахотном горизонте при длительном применении постепенно увеличивается [Минеев, 2004]. До сих пор несанкционированными источниками загрязнения почвы нередко служат препараты, запрещенные к использованию или с просроченными сроками использования. По данным В.Г. Минеева с соавторами, среднее содержание пестицидов в пахотных почвах в период их интенсивного применения в северо-европейской части России составляло 0,005, а на юге – 0,5 мг/кг.

В 1980-х годы пахотные почвы основных сельскохозяйственных регионов России были загрязнены преимущественно хлорорганическими и фосфорорганическими препаратами. Практически повсеместно обнаруживали остатки ДДТ [Ладонин, Лунев, 1985].

В середине 1990-х гг. доля площадей, загрязненных пестицидами, по данным Росгидромета, составляла более 7% обследованной территории. В 1997 г. этот показатель в Курской, Тамбовской и Омской областях был равен соответственно 40,1, 51,7 и 39%. В 1999 г. наиболее загрязненными оказались почвы Курской области и регионов Северного Кавказа. На 20% обследованной площади в Курской области в почве под садами, зерновыми, ягодниками и кукурузой уровни суммарного ДДТ достигали 2,4–8,5 ПДК. В Краснодарском крае на 20% обследованной площади в почве под корнеплодами уровни загрязнения почвы метафосом достигали 2,2–2,4 ПДК.

По результатам массовых обследований почв на площади около 36 тыс. га на территории 36 субъектов РФ (таблица 49), сетевыми

подразделениями Росгидромета в середине 2000-х гг. [Мониторинг пестицидов в объектах..., 2005] было обнаружено загрязнение по суммарному ДДТ (ДДТ + ДДЭ), 2,4-Д и трефлану.

Почва, загрязненная ОКП, была выявлена на площади 0,7 тыс. га весной 2005 г. и 0,61 тыс. га осенью 2005 г., что составило соответственно 3,90 и 3,55% обследованной территории. Загрязненные почвы обнаружены на территории 12 субъектов РФ, с максимальными значениями превышений до 6,5 ПДК (площадь 53 га). Отдельные превышения ПДК были отмечены также в воде и донных отложениях.

Традиционно большое внимание уделяется вопросам качества и безопасности пищевых продуктов. Законодательную основу контроля качества у нас в стране составляет принятый в 2000 г. закон ФЗ-29 «О качестве и безопасности пищевых продуктов», предложивший стратегические ориентиры для обеспечения производства и реализации экологически безопасных продуктов питания.

В конце 1980-х гг. в нашей стране была загрязнена пестицидами примерно одна третья часть продукции. Причем в 10% случаев их содержание превышало допустимые нормы.

В 1990-х гг. контроль за остаточными количествами пестицидов (ОКП) в сельскохозяйственной продукции осуществляли контрольно-токсикологические лаборатории (КТЛ) службы защиты растений Министерства сельского хозяйства Российской Федерации и другие ведомства.

В начале и середине 2000-х гг. доля загрязненной пестицидами продукции составляла уже около 0,5% от всего объема проанализированной выборки (примерно 10–12% от общей обрабатываемой пестицидами площади [Государственный доклад..., 2006, 2007]). Но и в этом случае речь идет о десятках тысяч тонн загрязненной продукции. Основными загрязнителями были пестициды группы пиретроидов, сим-триазинов, феноксисукусных кислот, фосфорорганические пестициды. В целом лабораториями было выявлено 243 случая нарушения технологии и регламентов применения пестицидов, приведших к загрязнению урожая сельскохозяйственных культур ОКП выше допустимых уровней.

Результаты последних лет показывают некоторое возрастание общего содержания пестицидов в продуктах растительного и животного происхождения, прежде всего в картофеле, луке репчатом, капусте, помидорах, огурцах, моркови, свекле, пшенице, ячмене и вино-

граде. Тенденция к повышению уровня содержания наблюдается у следующих соединений: хлорофос, карбофос, медьсодержащие фунгициды, производные карбаминовой кислоты, в частности цинеб.

Таблица 49 – Территориальное распределение основных объектов мониторинга загрязнения почв пестицидами, производимого сетевыми подразделениями УГМС Росгидромета в 2005 г.

УГМС, ЦГМС, КЛМС (регион)	Обследованная площадь, га	Количество обследованных			
		районов	хозяйств	полей	проб поч- вы
Башкирское (Башкортостан)	1960	3	5	6	120
Верхне-Волжское (Верхнее Поволжье)	4906	25	42	78	381
Западно-Сибирское (Западная Сибирь)	2487	24	32	84	165
Иркутское (Иркутская область)	5875	6	24	154	380
Обь-Иртышское (Ом- ская область)	901	5	7	30	100
Приволжское (Сред- нее Поволжье)	3872	16	16	49	390
Приморское (Примор- ский край)	3639	9	10	19	150
Северо-Кавказское (Северный Кавказ)	3798	10	14	42	291
Уральское, Курган- ской ЦГМС (Курган- ская обл.)	5434	5	8	22	490
ЦЧО, Староосколь- ская ЛКЗП (ЦЧО)	1586	9	12	22	254
Центральное УГМС, в том числе МОС ЦГМС	1425	11	17	45	62
Итого	35886	123	187	551	2783

Такая тенденция в значительной мере объясняется существенным увеличением масштабов применения средств защиты растений, которое в 2005–2006 гг. практически уже достигло уровня 1991 г., а в 2007 г. и превзошло его.

Помимо службы Росгидромета и Минсельхоза у нас в стране действует автоматизированный отраслевой мониторинг, осуществляемый Министерством здравоохранения РФ [Гогмачадзе, 2010], который определяет ОКП, относящиеся к 45 группам, в 262 видах пищевых продуктов.

Продукты питания являются основным путем попадания пестицидов в организм человека (не связанного с технологиями их применения) – до 95%, еще в среднем 4,7% попадает с водой и 0,3% – с воздухом и через кожу. В овощах, фруктах и ягодах пестициды концентрируются в кожуре и на ее поверхности [Агроэкология, 2000].

Ежегодный рост применения пестицидов является объективным следствием интенсификации сельского хозяйства, что актуализирует задачу системной кооперации и согласования деятельности всех органов, связанных с этой проблемой, по организации информационно единой (но функционально и территориально распределенной) системы эффективного контроля за остаточными количествами пестицидов и производных от них токсикантов в сельскохозяйственной продукции, водных объектах и почвенном покрове всех регионов страны.

Уровень загрязнения сельскохозяйственных культур может быть значительно выше, чем почв, на которых они выращивают. Поскольку поведение пестицидов в системе почва – растение подвержено большому числу трудно учитываемых факторов, то и при однократном их применении могут иметь место случаи локального превышения установленных нормативов.

Вероятность их появления напрямую связана с уровнем внутрипочвенной пестроты фитосанитарного и функционально-экологического состояния посевов, степенью и факторами неоднородности мезо- и микроструктур почвенного покрова, региональные и локальные особенности которых необходимо учитывать при разработке экологических регламентов и контрольных мероприятий за применением пестицидов.

5.4 Агроэкологическая оценка земель, загрязненных нефтепродуктами

К приоритетным загрязнителям почв и сельскохозяйственных земель относятся нефть и нефтепродукты (НП). Основные причины загрязнения: аварии на магистральных и промысловых трубопрово-

дах, аварии при транспортных перевозках нефтепродуктов, выбросы нефти на буровых скважинах, отходы прибрежных нефтеочистительных заводов; операции по обслуживанию транспорта, деятельность местных автопредприятий и баз нефтепродуктов, промышленные отходы нефтеперерабатывающих предприятий, системы отопления, работающие на НП, и другие.

В 2006 г. на территории Российской Федерации общая протяженность линейной части магистральных трубопроводов составляла более 231 тыс. км, промысловых трубопроводов – более 350 тыс. км [Гогмачадзе, 2010]. Физический и моральный износ технического оборудования и отсутствие постоянного контроля за состоянием малых технологических систем приводят к росту числа аварий и углеводородному загрязнению значительных территорий. К настоящему времени ситуация не только не улучшается, но и ухудшается. Загрязнение окружающей среды продолжается. На нефтепромыслах теряется в общей сложности не менее 3,5% всей добываемой нефти (с учетом нефтяных газов в пересчете на нефтяной эквивалент).

По данным Ростехнадзора России, в местах добычи нефти происходит до 35 тысяч аварий в год. Основная их причина – физический износ и коррозия металла. Нефтяными компаниями принимаются меры по наращиванию объемов выборочного и капитального ремонтов нефтетрубопроводов. Однако ежегодные объемы профилактических ремонтных работ по обеспечению надежности трубопроводных систем, по данным Ростехнадзора России, составляют не более 2% общей их протяженности, при требуемых 10–12%. Это приводит к неуклонному старению этих систем и росту аварийности, следовательно, к ухудшению перспектив решения проблемы [Гогмачадзе, 2010].

Определить объем нефти, попадающей в природные объекты при всех авариях, крайне сложно, он оценивается только для рядовых происшествий в суммарную величину около 10 тыс. т в год. Вместе с тем в условиях ожидаемого экономического роста станет еще сложнее предотвращать дальнейшую деградацию природы в нефтедобывающих регионах [Романенко, 1999].

Для оценки состояния земельных угодий и разработки или подбора технологий, отдельных мероприятий, приемов, технологических операций в целях получения нормативно чистой продукции необходима характеристика показателей глубины и степени проявления за-

грязнения. К настоящему времени разработаны критерии содержания нефти и нефтепродуктов в почвах, облегчающие правильное их использование и реабилитацию, безопасное проживание людей на загрязненной территории и получение полноценной продукции растениеводства [Гогмачадзе, 2010].

Действующие и разрабатываемые в России экологические критерии и нормативные показатели по оценке уровня загрязнения земель нефтепродуктами [Порядок определения ущерба от загрязнения земель химическими веществами] могут служить основой для принятия управляющих и технологических решений в области очистки земель и землепользования.

Почвы считаются загрязненными нефтепродуктами, если концентрация их достигает уровня, при котором:

- начинается значимое угнетение или деградация растительного покрова;
- достоверно падает продуктивность сельскохозяйственных земель;
- нарушается природное равновесие в почвенном биоценозе (происходит вытеснение одним-двумя бурно произрастающими видами растительности остальных видов, ингибируется деятельность микроорганизмов, исчезают характерные, для фоновых ценозов, виды альгофлоры, мезофауны и т.п.);
- происходит вымывание нефтепродуктов из почв в подземные и/или по верхностные воды;
- существенно изменяются водно-физические свойства и структура почв;
- заметно возрастает доля углерода привнесенных нефтепродуктов (НП) в общем содержании органического углерода почв (до и более 10% всего $C_{орг}$).

При попадании нефти в почву происходят глубокие, необратимые или трудно обратимые изменения ее морфологических, физических, физико-химических, микробиологических свойств, а иногда (при сильной и очень сильной степенях загрязнения) и существенные изменения почвенного профиля, которые приводят к потере загрязненными почвами значительной части плодородия и отторжению их из сельскохозяйственного пользования.

Результаты многолетних агрохимических исследований загрязненных нефтью и нефтепродуктами (НП) сельскохозяйственных почв показали [Гогмачадзе, 2010], что при нефтяном загрязнении наблю-

даются:

- значительные изменения кислотности или щелочности почв;
- заметное снижение в сумме поглощенных оснований Са и Mg;
- значительное снижение количества подвижного P_2O_5 – при увеличении модуля загрязнения НП до 24 л/м²;
- снижение доступности микроэлементов (кобальт, марганец, медь) вследствие образования гидрофобной оболочки;
- ухудшение водно-воздушного режима почвы за счет диспергирования почвенных частиц и гидрофобных свойств нефти;
- нарастающая битумизация почвы.

На таких почвах происходит замедление роста и развития растений, отмечаются морфологические изменения их органов и некрозы листьев, запаздывание фаз вегетации, что приводит к резкому снижению урожайности. Степень изменения биологической продуктивности растений в значительной степени определяется количеством и качеством битумоидов, попавших в пахотный горизонт. Существенную роль играет характер и уровень техногенной трансформации базовых почвенно-геохимических и интегральных биохимических характеристик корнеобитаемого слоя, что также необходимо учитывать при проектировании мер реабилитации загрязненных почв.

Сильное загрязнение почв НП приводит к полному уничтожению почвенных беспозвоночных животных (дождевых червей и др.), которые выполняют важнейшую функцию в разложении детрита и органического вещества почвы и в формировании гумусового горизонта.

В почве нефтепродукты могут находиться:

- а) в жидком подвижном виде – в свободной, растворенной водной или водно-эмульсионной фазе в порах;
- б) в свободном неподвижном состоянии в порах и трещинах, выполняя роль цемента между почвенными частицами и агрегатами;
- в) в сорбированном состоянии, связанные с органической или органо-минеральной массой;
- г) в виде сплошного слоя на поверхности почвы.

Тяжелые фракции нефти образуют на поверхности почвы корки, весьма устойчивые к разложению, а если разливы НП были многократными на одном и том же месте, образуются твердые устойчивые покровы. Смолисто-асфальтеновые компоненты нефтепродуктов сорбируются большей частью верхними горизонтами почв, прочно цементируя их, что ухудшает водно-воздушные свойства почв, при-

водит к заболачиванию и смене окислительно-восстановительных условий.

В более глубокие горизонты нефть проникает по ходам корней растений, трещинам. Поэтому этим горизонтам свойственно неравномерное распределение нефти. На почвах с легким гранулометрическим составом нефтепродукты просачиваются фронтально на глубину 1,5–2 м.

На загрязненных нефтепродуктами почвах нарушается поступление воды и питательных веществ, вследствие вытеснения почвенного воздуха нефтью и разрушения структуры почвы наступает кислородное голодание растений, ингибируются процессы нитрификации и аммонизации, нарушается азотный режим почвы, возникает азотное голодание растений. Начинают интенсивно развиваться нефтеокисляющие микроорганизмы, которые выступают в роли конкурентов растениям, отбирая у них питательные вещества [Солнцева, 1998].

Покрытые нефтяной пленкой почвенные частицы теряют способность впитывать и удерживать влагу, из-за чего снижаются гигроскопическая влажность, водопроницаемость и влагоемкость; затрудняется транспирация влаги через загрязненные горизонты почвы. Почвенные коллоиды, покрытые нефтяной пленкой, утрачивают поглотельную способность.

Емкость удержания жидких НП почвами является интегральной характеристикой аккумулирующих свойств почв. Ее величину существенно уменьшает почвенная влага, обладающая в сравнении с НП более сильным сорбционным и капиллярным взаимодействием с почвой. Емкость удержания жидких НП зависит также от структуры, гранулометрического состава почвы и содержания в почве органического вещества.

Состав гумуса меняется – уменьшается относительное содержание гуминовых кислот и фульвокислот, увеличивается содержание негидролизуемого остатка, увеличивается общее содержание органического углерода. Изменение аэрации приводит к анаэробным условиям, снижающим окислительно-восстановительный потенциал и подщелачивающим почвенный раствор [Орлов, Аммосова, 1994]. В то же время природный геохимический фон содержания углеводов в почве во многих регионах имеет широкие пределы колебаний – от 10 до 500 мг/кг сухого веса почвы, что объясняется диффузией легких фракций НП из нефтяной залежи [Пиковский и др., 1993]. Та-

кие диффузии углеводородов в почву часто не оказывают большого негативного влияния на почвенную биоту и растения, если они не содержат значительного количества полициклических ароматических соединений (ПАУ) или других токсических примесей [Трофимов и др., 2000]. Кроме того, углеводороды нефти способны образовывать в процессе трансформации токсичные соединения, обладающие канцерогенными свойствами, стойкие к микробиологическому расщеплению и способные переходить в растения, что значительно снижает качество возделываемых культур и создает угрозу для здоровья человека.

Из всех углеводородов нефти, попадающих в почву, наиболее опасны для здоровья людей полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Они оказывают канцерогенные и мутагенные воздействия на живые организмы уже в наноконцентрациях (Чернявский и др., 2001). Предельно допустимая концентрация (ПДК) самого вредного из них – 3,4–бенз(а)пирена – установлена для почв на уровне 20 нг/г.

Депонирующая по отношению к ПАУ роль почвенного покрова имеет важное экологическое значение, причем в разных почвах интенсивность накопления и степень сохранности этих углеводородов различные. Депонирующая роль пашни включает в себе огромный экологический риск нахождения ПАУ в агроландшафтах.

В условиях стабильной поверхности почв ПАУ из-за их малой растворимости накапливаются в первых верхних сантиметрах почвенного профиля. Возможно всасывание и последующая транспортировка молекул ПАУ корневыми системами растений. Находясь в сорбированном состоянии, они способны мигрировать вместе с органико-минеральными частицами.

Установлено, что так называемый «нефтяной стресс» – при содержании НП в почве в количестве 5–10% – вызывает стимуляцию накопления антоцианов, аскорбиновой кислоты, рибофлавина в проростках вики, ежи, ячменя, кукурузы и проса. Поэтому содержание антоцианов можно использовать, как тест, характеризующий степень загрязнения окружающей среды НП – при оперативной биоиндикации нефтяного загрязнений в системе экологического или агроэкологического мониторинга.

Быстрая и динамичная реакция микроорганизмов на загрязнение почв НП позволяет использовать показатели их микробиологической активности для индикации функционально-экологического состояния загрязненных почв. В относительно невысоких концентрациях (до

5%) НП могут даже стимулировать развитие почвенных микроорганизмов, так как служат субстратом для их роста как источник органических веществ.

Наибольший стимулирующий эффект часто наблюдается примерно при 2,5%-м загрязнении нефтью. Повышение уровня загрязнения НП более 5% вызывает ингибирующий эффект на деятельность микроорганизмов, особенно резко проявляющийся при 10%-м нефтяном загрязнении. Среди микроорганизмов цикла азота наиболее чувствительны к нефтяному загрязнению нитрифицирующие бактерии. Численность же и активность микробов-азотфиксаторов, аммонификаторов, денитрификаторов может даже увеличиваться (Исмаилов, 1983).

Загрязнение выше определенного уровня (определенного регионально-типологическими особенностями почв и свойствами конкретного вида НП) отрицательно действует на почвенную биоту, изменяя состав почвенных организмов, снижая их численность, нарушая метаболические процессы, уменьшая активность ферментов. При этом оксидоредуктазы, как правило, более чувствительны к загрязнению нефтепродуктами, чем гидролазы, и наиболее негативное воздействие на биологические показатели почв оказывают нефть и моторное масло, в меньшей мере – бензин и дизельное топливо [Колесников и др., 2006].

О плодородии нефтезагрязненных почв судят по таким показателям, как количество, состав и биомасса микроорганизмов; активность почвенных ферментов; показатели общей биологической активности – «дыхание» почвы, интенсивность процессов нитрификации, денитрификации, разложения клетчатки, азотфиксации и др. Количественные сравнения этих показателей сопоставимых загрязненных и чистых почв позволяют выявить негативные и позитивные тенденции в их функционально-экологическом состоянии.

Экологические риски загрязнения и функциональный потенциал самоочищения почв от нефти и нефтепродуктов существенно различаются в разных биоклиматических и ландшафтно-геоморфологических условиях. При сопоставимости прочих условий риски накопления нефтепродуктов при их попадании в почву существенно возрастают с юга на север, от песчаных почв к глинистым, от среднеувлажненных к переувлажненным, от обрабатываемых к целинным. Закономерности накопления и деградации нефти и НП в почвах определяются исходными свойствами почв, способами ис-

пользования земель, наличием в почвах геохимических барьеров [Гогмачадзе, 2010].

Диагностика и установление норм и уровней загрязнения НП почв и водных источников, несмотря на свою актуальность, по мнению большинства ученых, занимающихся этой проблемой, еще далеки от оптимального разрешения [Пиковский и др., 2003; Гогмачадзе, 2010].

На основе ГОСТа 17.1.4.01-80 разработаны и сертифицированы методики анализа НП с помощью инфракрасной спектрофотометрии, люминесцентного анализа в ультрафиолетовой области или газожидкостной хроматографии. Однако из рассмотрения при этом выпадают тяжелые смолы и асфальтены, негативное влияние которых сильнее, чем влияние легких, растворимых в воде углеводородов. Основная часть легких углеводородов удаляется с поверхности почв путем испарения или выноса с жидким поверхностным стоком. Часть из них проникает в глубь почвенного профиля и достигает уровня грунтовых вод. Тяжелые же углеводороды и смолисто-асфальтеновые компоненты чаще всего закрепляются в верхних горизонтах почв, меняя их водно-физические свойства и загрязняя токсическими веществами.

Наиболее актуальной является задача, сочетающая в себе количественную и качественную диагностику загрязнения почв нефтепродуктами. По мнению большинства ученых, такой методикой может быть комплекс люминесцентных методов в сочетании с определением общего некарбонатного углерода почв. Эта методика удовлетворяет уровням загрязнения до 5000 мг НП в 1 кг почвы. При уровнях более 5000 мг/кг можно применять весовой или колориметрический метод определения НП в почвах.

Методики по диагностике и нормированию загрязнения почв НП учитывают разнообразные факторы загрязнения, совокупное действие которых вызывает негативные экологические изменения в окружающей среде. Это нарушение экологического равновесия в почвенной экосистеме; гибель почвенных животных; гибель или падение продуктивности растений; изменение морфологии, водно-физических свойств почв, падение их плодородия; возникновение опасности загрязнения подземных и поверхностных вод из-за проникновения нефтепродуктов в водоносные горизонты.

Минимальный уровень содержания НП в почве, выше которого наступает ухудшение плодородия, называют верхним безопасным

уровнем концентрации (ВБУК) нефтепродуктов в почве. На величину ВБУК влияют тип, состав и свойства почвы, климатические условия, тип землепользования, вид и состав самих НП и др. факторов. С содержанием нефтепродуктов в почве ниже уровня ВБУК почва, как правило, способна справиться сама, без воздействия извне, т.е. без помощи человека, хотя для этого требуется определенное время для осуществления физико-химических и микробиологических процессов разрушения углеводов.

Кроме показателей ВБУК, существует уровень концентрации НП в почвах, выше которого почва самостоятельно не может справиться с загрязнением. Этот уровень называется верхним пределом потенциала самоочищения почв (ВППС). Почвы, содержащие нефтепродукты выше уровня ВППС, должны санироваться и рекультивироваться, так как без этого они самостоятельно не выходят из стадии деградации и будут оказывать на экосистемы негативное влияние.

Показатель ВБУК принимают за ориентировочно допустимую концентрацию нефтепродуктов в почвах (ОДК). ОДК является тем нижним допустимым уровнем загрязнения, при котором почва в течение одного года самостоятельно восстанавливает свою продуктивность, и негативные последствия для почвенного биоценоза могут быть устранены самой почвой. Поэтому ОДК используют для оценки загрязнения НП верхнего, гумусово-аккумулятивного, горизонта почв (глубиной примерно 20–30 см).

Единого уровня ОДК нефтепродуктов для всех типов почв и природных зон не существует и не может быть, так как он зависит от химического состава НП, свойств и состава почв, биоклиматических и литолого-геоморфологических условий, которые существенно различаются даже в пределах небольших антропогенно измененных и сельскохозяйственных территорий.

В частности, ОДК нефтепродуктов существенно различают для НП легких фракций (бензина, керосина, дизельного топлива, конденсата) и тяжелых (нефть с плотностью выше 0,8; мазут, смазочные масла, битум). Легкие фракции НП разлагаются и испаряются еще на поверхности почвы или смываются водными потоками на 20-40%. Тяжелые же НП, обволакивая корневые системы растений, резко снижают поступление влаги, что приводит к гибели последних. Тяжелые НП малодоступны микроорганизмам, поэтому процесс их распада идет очень медленно, насчитывая десятки лет.

ОДК для тяжелых нефтепродуктов гораздо ниже, чем для лег-

ких. ОДК для легких НП в почвах даже с низкой способностью к самоочищению принимается равным 2000 мг/кг, со средней способностью 4000 мг/кг и высокой способностью к самоочищению 8000 мг/кг. Для тяжелых нефтепродуктов эти показатели будут в 2 раза меньше.

Составлены карты районирования РФ и сопредельных государств по типам возможных изменений природной среды при нефтедобыче и потенциальной опасности загрязнения земель углеводородами [Глазовская, 1988; Пиковский и др., 1988]. Вся территория России разделена на четыре большие группы почвенно-ландшафтных районов – по потенциальной способности их почв самоочищаться от загрязнения нефтепродуктами:

1. Мерзлотно-тундрово-таежные районы (с холодным климатом, мерзлотными условиями в почве, широким распространением торфяников и восстановительных условий в почвенном профиле) характеризуются очень низкой и низкой способностью почв к самоочищению.

2. Таежно-лесные районы (с умеренным климатом, высокой влажностью, вегетационным периодом растений от 3 до 5 месяцев) имеют почвы со средней способностью к самоочищению.

3. Лесостепные и степные районы (с умеренным и теплым климатом, длительным – свыше 5 месяцев – вегетационным периодом растений) богаты почвами с высокой и очень высокой способностью к самоочищению при высокой влажности и средней – при пониженной влажности.

4. Полупустынные и пустынные районы (с теплым климатом, низкой влажностью почв) характеризуются высокой способностью почв к самоочищению при умеренной дозе осадков и средней — при низкой дозе.

В основе предложенной градации почв учитывали как главные факторы биологического и физико-химического разложения углеводородов в почвах, так и условия механического рассеяния углеводородов. Биологическое разложение происходит за счет биологической активности почв, с которой связана интенсивность деятельности углеводородоокисляющих микроорганизмов, которая в свою очередь зависит от продолжительности вегетационного периода, наличия влаги в почве, создающей благоприятную среду для микробиологической деятельности и теплового режима почв.

Самой низкой скоростью биологической деградациии НП в почве

характеризуются холодные и очень холодные почвы с относительно низкой биологической активностью. Высокой скоростью деградации обладают умеренно холодные и умеренно теплые почвы со средней и высокой биологической активностью. Самой высокой скоростью физико-химического разложения углеводов обладают почвы с окислительным режимом в профиле, где годовая сумма температур выше 10°C превышает 1500. Закреплению НП в почвенном профиле способствуют сорбционные барьеры (органогенные и гумусовые горизонты), а также механические барьеры, препятствующие миграции нефтепродуктов. Годовое количество осадков и водный режим почв, определяющий характер промывания почвенного профиля, являются главными факторами выноса НП за пределы почвенного профиля [Солнцева, 1998].

При содержании нефтепродуктов в количестве 5–20 г/кг сухой почвы для минеральной части почв (и 40–150 г/кг – для их органической части) степень техногенной деградации почв оценивается от легкой до умеренной – без необходимости специальных мер для поддержки растений, при наличии временного ослабления их роста [Гогмачадзе, 2010].

При возрастании доз загрязнения НП до 20–50 г/кг сухой минеральной части почвы (и до 150–750 г/кг – для сухой органической части почвы) степень техногенной деградации почв оценивается от умеренной до высокой, с гибелью многих видов растений и невозможностью восстановления почв в течение трех лет. Необходимо проведение рекультивации, без нее восстановление требует в 3 раза больше времени.

При дозах соответственно свыше 50 и 750 г/кг НП, когда нефтью пропитана почва на глубину 10 см, практически все растения погибают. При рациональной рекультивации почва может быть восстановлена в течение 3–5 лет, без рекультивации восстановление занимает свыше 20 лет.

В географически близких к нам странах Западной Европы за нижний допустимый уровень загрязнения почв НП принимается уровень от 1000 до 5000 мг/кг сухой почвы.

В России он в два раза выше – от 2000 до 8000 мг/кг [Звягинцев и др., 1989; Гогмачадзе, 2010]:

1) Для легких фракций НП (бензин, керосин, дизельное топливо) величина ОДК составляет:

а) для тундровых глеевых суглинистых и глинистых почв, для

тундровых болотных почв – 2000 мг НП на 1 кг почвы;

б) для средне- и южно-таежных подзолистых и дерново-подзолистых супесчаных и суглинистых почв – 4000 мг/кг, при этом наблюдается ингибирование микробиологической и фотосинтетической активности;

в) для серых лесных черноземов и бурых почв пустынно-степных – 8000 мг/кг, также с ингибированием микробиологической и фотосинтетической активности.

2) Для тяжелых фракций НП (нефть, мазут, смазочные масла, битум) величина ОДК составляет:

а) для тундровых глеевых суглинистых и глинистых, тундровых болотных почв – 700 мг НП в 1 кг почвы, но уже при этом наблюдается ухудшение водно-физических свойств, возможно замедление фотосинтетической активности, канцерогенез;

б) для средне- и южно-таежных подзолистых и дерново-подзолистых супесчаных и суглинистых, пустынно-степных и бурых почв – 2000 мг/кг, при наблюдающемся ухудшении водно-физических свойств почв, замедлении фотосинтетической активности, канцерогенезе;

в) для серых лесных почв, черноземов – 4000 мг/кг, при проявлении всех вышеуказанных признаков и медленном разложении НП в почве.

Несомненно, приведенные ОДК должны со временем корректироваться в соответствии с новыми результатами исследований регионально-типологических особенностей природных и антропогенно измененных почв и поведения в них различных групп нефтепродуктов.

Исследования по диагностике различных уровней загрязнения почвы НП с помощью микробиологических методов показали, что качественные изменения в составе почвенной микробиоты и интенсивные количественные изменения микробиологических процессов в почве наступают при среднем уровне загрязнения начиная от 600 мг НП в 1 кг почвы. При высоком уровне загрязнения (40 000 мг/кг и выше) наблюдается обильное развитие резистентных к высоким концентрациям НП видов микроорганизмов и подавление роста обычных для данной почвы микроорганизмов. При очень высокой степени загрязнения (свыше 250 000 мг/кг почвы) наблюдается практически полное подавление развития любых микроорганизмов в почве и полное ингибирование микробиологических процессов [Звягинцев и др.,

1989].

В проблеме нормирования загрязнения почв НП четко прослеживаются два основных аспекта. Во-первых, необходимо учитывать уровень уже имеющегося загрязнения, потенциал самоочищения и возможности рекультивации экосистем. Во-вторых, необходимо строго нормировать предельно допустимые выбросы НП в окружающую среду. Любой залповый сброс НП в почвы и водоемы недопустим, так как он сразу приводит эту среду в деградированное состояние.

Используемые в настоящее время методы определения содержания нефтепродуктов в почвах включают стадии экстракции, концентрирования и хроматографической очистки экстракта (Панкратова и др., 2002). Установлено, что экстракция гексаном дает заниженные результаты: с извлечением только до 60% внесенных нефтепродуктов.

Миграционные процессы поведения нефтепродуктов в почвенных системах – основа для прогноза последствий загрязнения природной среды и разработки необходимых решений по ее защите при аварийных выбросах и мониторинге. В разных нефтедобывающих регионах России и СНГ проведено много исследований, указывающих, что НП активно мигрируют в любых типах почв [Солнцева, 2002]. Наиболее глубоко нефтепродукты продвигаются в субстратах легкого гранулометрического состава.

Для решения проблем рекультивации нефтезагрязненных территорий в каждом конкретном случае должен разрабатываться свой комплекс агротехнических мероприятий, направленных на оптимизацию деятельности выделенной из аборигенной микрофлоры культуры микроорганизмов-деструкторов. Типичный комплекс включает частое рыхление нефтезагрязненных почв, применение различных доз минеральных, органо-минеральных или органических удобрений, включая перегной, сидераты, сточные воды животноводческих ферм, биогумус, использование поверхностно-активных веществ или активного ила, содержащего углеводородокисляющие дрожжи, что стимулирует деструктивную активность почвенных микроорганизмов.

5.5 Агроэкологическая оценка земель, загрязненных радионуклидами

В процессе техногенеза увеличивается содержание в биосфере долгоживущих радионуклидов искусственного и естественного происхождения, что приводит к изменению радиационного фона. Загрязняющие вещества легко вовлекаются в экосистемные миграционные циклы, накапливаясь в почве, растениях и сельскохозяйственной продукции.

Попадая в окружающую природную среду, радионуклиды активно вовлекаются в круговорот веществ, накапливаясь в ее компонентах. Они становятся неотъемлемым звеном пищевых цепей и играют существенную роль в функционировании экосистем, в том числе почвы и растительности. Наибольшему загрязнению подвергаются аккумулятивные горизонты почв сельскохозяйственных территорий [Гогмачадзе, 2010].

К числу наиболее неблагоприятных и опасных относятся территории радиоактивного загрязнения. Такие загрязнения имели место в районах размещения радиохимических производств вследствие сбросов в окружающую среду или захоронения неочищенных радиоактивных отходов, в результате технических нарушений и аварий на объектах ядерной энергетики.

Полномасштабное изучение радиационной обстановки в пределах России и смежных государств, проведенное в конце 1980-х и первой половине 1990-х гг., позволило выявить основные зоны загрязнения радионуклидами. Всего в России обследовано более 6 млн. км² территории. На основе аэро-гамма-съемки и наземных обследований были созданы и изданы карты загрязнения Европейской части России ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr и ²³⁹Pu.

Радиоактивные загрязнения Чернобыльского происхождения с уровнями загрязнения более 37 кБк/м² (1 Ки/км² по ¹³⁷Cs) были обнаружены на территории 19 областей и 5 республик России, а общая их площадь по ¹³⁷Cs составила 59,3 тыс. км².

Радиологическая обстановка на загрязненных территориях требует проведения масштабных реабилитационных защитных агрохимических мероприятий, предусматривающих известкование, фосфоритование и калиевание почв, внесение органических и минеральных удобрений (таблица 50). Эти мероприятия создают геохимические барьеры на пути миграции радионуклидов из почвы в растение, что позволяет получать нормативно чистую продукцию.

Для радионуклидов поглощение их почвой определяется процессами между двумя основными фазами – твердой и жидкой (почвенным раствором) и осуществляется за счет процессов сорбции – десорбции радионуклидов, осаждения – растворения труднорастворимых соединений и коагуляции – пептизации коллоидов [Алексахин и др., 1991].

Как сложная многофазная система почва оказывает значительное влияние на миграцию радионуклидов. С одной стороны, происходит сорбция радионуклидов твердой фазой почвы, с другой – идут процессы перераспределения их в более глубокие слои.

Таблица 50 – Радиационная модель плодородия для почв, загрязненных радионуклидами [Черногоров и др., 2012]

Показатели плодородия	Единицы измерения	Параметры плодородия		
		до аварии на ЧАЭС		антирадиационные
		исходные	оптимальные	
Содержание гумуса	%	1,2-1,8	2,0-3,0	2,5-3,5
Содержание обменного калия	мг/кг почвы	70-100	150-250	250-350
Почвенная кислотность	pH Кс1	4,8-5,2	5,4-6,2	5,8-6,5
Содержание подвижного фосфора	мг/кг почвы	80-120	180-250	200-300
Условный комплексный ранг плодородия	ранг	5,25-7,25	10,1-13,45	13,32-18,75

Основные радионуклиды – стронций–90 и цезий–137, – определяющие характер загрязнения зоны аварии, по-разному сорбируются почвами. Стронций и цезий, попадая в землю, обычно остаются в верхнем пятисантиметровом слое почвы, а в песках проникают на глубину до 30–45 см. Они активно накапливаются в торфе, подвижны, хорошо вымываются, что облегчает их проникновение в водоемы. Стронций–90 в основном закрепляется в почве по типу ионного обмена, а цезий–137 закрепляется преимущественно по типу необменного поглощения и прочно фиксируется твердой фазой почвы. В настоящее время основная доля цезия–137 сорбирована почвами, а основная доля стронция–90 находится в обменной форме [Маркина и др., 2005].

Для различных типов почв была сделана оценка одного из ос-

новых количественных параметров миграции радионуклидов по профилю почв – экологического периода полувыведения радионуклида из корнеобитаемого слоя почвы (периода полу очищения) – времени на различных типах лугов, за которое содержание радионуклида в корнеобитаемом слое почвы снижается в 2 раза (без учета радиоактивного распада). Наиболее медленно процесс самоочищения почв протекает на суходольных лугах, а наиболее быстро – на торфяниках (таблица 51).

Таблица 51 – Период полу очищения корнеобитаемого слоя почвы с учетом периода полураспада ^{137}Cs [Маркина и др., 2005]

Тип угодий	Основные типы почв	Период полуочищения, лет
Суходольный луг	дерново-подзолистые, дерновые, серые лесные, черноземы	25–35
Пойменный луг	аллювиальные, дерновые, дерновые оглеенные, луговые	20–25
Низинный луг	глеевые, дерновые оглеенные, торфянистые	20–25
Торфяники	торфяные, болотные	10–20

За счет горизонтальной миграции вследствие водной и ветровой эрозии почв отмечены процессы локального вторичного перераспределения радионуклидов. В пахотных горизонтах на различных элементах рельефа в результате латеральных потоков и водной эрозии на посевах однолетних культур за двенадцать лет изменение содержания радионуклидов достигает 1,5–3 раз [Маркина и др., 2005]. На бессменных посевах многолетних трав при отсутствии твердого стока этот эффект не наблюдается.

Почвы по прочности закрепления радионуклидов образуют следующий ряд: чернозем >дерново-подзолистая среднесуглинистая >дерново-подзолистая песчаная [Санжарова и др., 1994]. Наиболее быстрая миграция характерна для торфяных почв через 7–8 лет, после аварии радионуклиды «чернобыльского» происхождения зарегистрированы в торфяных почвах и на глубине до 20 см. На болотных лугах получены максимальные коэффициенты квазидиффузии от 0,097 до 0,464 см² в год для «медленной» компоненты и от 0,40 до 1,28 см²/год для «быстрой». Средние параметры квазидиффузии и

конвективного переноса ^{137}Cs на суходольных лугах в 4–5 раза ниже, чем для торфяников. Основной вклад вносит «медленная» компонента миграции.

Одним из интегральных параметров, используемых для прогноза радиологической обстановки, является период получищения корнеобитаемого слоя почвы – время, в течение которого содержание радионуклидов в корнеобитаемом слое почв уменьшается в 2 раза. Определены экологические (T_{ec}) периоды получищения слоев 0–10 см, не учитывающие распад радионуклидов, и эффективные (T_{eff}) периоды получищения – с учетом радиоактивного распада.

Наиболее длительные периоды получищения почв от ^{137}Cs получены для суходольных лугов (T_{ec} – 55–143 года), а наименьшие (T_{ec} – 15–21 год) – для болотных лугов на торфяниках. Количественные параметры миграции ^{90}Sr по сравнению с ^{137}Cs были выше для всех типов лугов, причем процесс очищения корнеобитаемого слоя, оцененный на основании периодов получищения, протекает для ^{90}Sr в среднем в 2 раза быстрее, чем для ^{137}Cs . Периоды получищения корнеобитаемого слоя почвы для ^{90}Sr варьируют от 30 до 96 лет для суходольных лугов и от 13 до 18 лет – для низинных [Санжарова и др., 1994].

Поступление радионуклидов в растения из почвы определяется при помощи коэффициентов накопления (K_n), которые рассчитываются путем отношения содержания радионуклидов к единице массы растений и почвы соответственно. Размеры накопления радиоактивных веществ растениями зависят от многих факторов, среди которых можно выделить основные: физико-химические свойства радионуклидов, агрохимические свойства почв, биологические особенности растений.

На основе сравнительного анализа изменений коэффициентов перехода (K_n) цезия–137 из почвы в растения в зоне влияния Чернобыльской аварии все почвы были условно разбиты на четыре группы с учетом их особенностей и имеющейся информации об их способности к фиксации цезия–137. В первую группу были включены торфяные почвы, для которых характерны наиболее высокие значения K_n . Минеральные почвы были объединены в три группы гранулометрического состава: песчаные и супесчаные, легко- и среднесуглинистые, тяжелосуглинистые и глинистые [Санжарова и др., 1994].

Динамика содержания доступных растениям форм ^{137}Cs в корнеобитаемом слое почвы определяется тремя основными процес-

сами:

- 1) фиксацией радионуклида твердой фазой почвы (снижением доли доступных для растений форм);
- 2) выносом радионуклида из этого слоя;
- 3) физическим распадом радионуклидов.

В отличие от ^{137}Cs динамика содержания доступных растениям форм ^{90}Sr в корнеобитаемом слое почв в большей степени определяется выносом радионуклида из этого слоя и физическим распадом, поскольку процессы фиксации ^{90}Sr твердой фазой почвы протекают с существенно меньшей интенсивностью.

Поступление радионуклидов в растения зависит от основных управляемых агрохимических параметров плодородия почв, которые можно расположить в следующий убывающий ряд: содержание гумуса > содержание обменного калия > величина рН > содержание подвижного фосфора [Воробьев и др., 1994].

Переход радионуклидов существенно зависит от межвидовых особенностей сельскохозяйственных культур. Накопление цезия-137 по видам растений (в расчете на сухое вещество) может различаться до 180 раз (таблица 52), а накопление стронция-90 – до 30 раз при одинаковой плотности загрязнения почв. Зерно накапливает ^{137}Cs в два и более раз меньше, чем солома и зеленая масса растений. Что касается почв, то, как отмечалось выше, на песчаных и супесчаных почвах переход радионуклидов почва – растение выше, чем на суглинистых. Наилучшие результаты получены на черноземах.

Накопление ^{137}Cs в растениях озимой пшеницы очень сильно зависит от гранулометрического состава почвы. Различия между супесчаными и легкосуглинистыми разностями составляют 3–5 раз, а различия между типами почв менее существенны – 1,5–2 раза.

Особенности минерального питания растений, разная продолжительность вегетационного периода, различия в характере распределения и мощности корневых систем и другие биологические особенности растений определяют межвидовые различия в аккумуляции радионуклидов, которые могут достигать 10–30 и более раз (таблица 53).

Наименьшее накопление радионуклидов происходит в культурах, которые характеризуются более низким содержанием кальция и калия. Установленные закономерности поступления радионуклидов в продукцию являются теоретической основой для размещения культур по полям и формирования структуры посевов и уточнения специ-

ализации растениеводства.

Таблица 52 – Содержание ^{137}Cs (10^{-9} Ки/кг) в продукции растениеводства при плотности загрязнения почвы 1 Ки/км² на почвах разного гранулометрического состава [Воробьев и др., 1994]

Культура	Продукция	Дерново-подзолистые почвы				Серые лесные	Каштановые и луговые	Черноземы
		песчаные	супесчаные	легко- и средне-суглинистые	тяжело суглинистые			
Пшеница озимая	зерно	0,4	0,2	0,06	0,03	0,05	0,02	0,01
	солома	0,8	0,4	0,12	0,06	0,09	0,04	0,02
Рожь озимая	зерно	0,4	0,2	0,06	0,03	0,05	0,02	0,01
	солома	0,8	0,4	0,12	0,06	0,09	0,04	0,02
Пшеница яровая	зерно	0,7	0,5	0,17	0,08	0,12	0,06	0,03
	солома	1,8	1,0	0,35	0,16	0,24	0,12	0,06
Овес	зерно	0,8	0,4	0,13	0,06	0,09	0,05	0,03
	солома	1,6	0,8	0,26	0,12	0,18	0,10	0,06
Ячмень	зерно	0,6	0,4	0,13	0,06	0,09	0,05	0,03
	солома	1,6	0,8	0,26	0,12	0,18	0,10	0,06
Горох	зерно	4,0	1,0	0,30	0,16	0,20	0,10	0,05
	солома	7,0	1,4	0,50	0,25	0,30	0,15	0,08
Гречиха	зерно	1,0	0,5	0,15	0,10	0,13	0,07	0,04
Кукуруза	биомасса	0,6	0,3	0,10	0,05	0,07	0,04	0,02
Вико-овес	биомасса	1,8	0,9	0,3	0,15	0,25	0,20	0,10
Картофель	клубни	0,4	0,2	0,1	0,08	0,08	0,08	0,05
Столовая свекла	корнеплод	2,0	1,0	0,4	0,20	0,25	0,15	0,07
Капуста	кочан	0,8	0,4	0,20	0,10	0,05	0,07	0,04
Лен	солома	0,8	0,4	0,20	0,09	0,05	-	-

Таблица 53 – Коэффициенты перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в сельскохозяйственные культуры на дерново-подзолистых супесчаных почвах [Агеец, 2001]

Культура, продукция	$K_{\text{п}}$	
	^{137}Cs	^{90}Sr
Травы естественных сенокосов	20,37	14,25
Зеленая масса люпина	2,80	15,90
Многолетние злаковые травы	2,02	9,25
Клевер	1,45	17,33
Зеленая масса рапса	1,37	16,73
Зеленая масса гороха	1,27	18,10
Солома овса	0,71	4,75
Зеленая масса кукурузы	0,63	5,10
Зеленая масса бобово-злаковых однолетних трав	0,61	11,66
Свекла кормовая	0,44	4,09
Зерно овса	0,35	1,16
Картофель	0,30	0,65
Зерно озимой ржи	0,13	0,82
Зерно ячменя	0,10	1,54

Главным условием при подборе культур является пригодность почв по гранулометрическому составу и режиму увлажнения, степени окультуренности и плотности радиоактивного загрязнения. Необходимо также учитывать и общебиологические требования растений к предшественникам, поскольку важнейшим элементом системы земледелия на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, является севооборот.

Накопление радионуклидов растениями и переход их в продукты питания зависит от комплекса почвенных свойств. По интенсивности перехода радионуклидов в урожай почвы Центрального региона России располагаются в следующий убывающий ряд: дерново-подзолистые (песчаные>супесчаные>суглинистые)>серые лесные>пойменные луговые >черноземы.

С целью снижению перехода радионуклидов в первичном звене сельскохозяйственной цепочки «почва–растение» разработан комплекс специальных защитных мероприятий, позволяющих снизить концентрацию радионуклидов в сельскохозяйственной продукции

[Гогмачадзе, 2010].

Обработка почвы. Системой обработки почв на землях, загрязненных радионуклидами, в сочетании с другими мероприятиями должны быть решены следующие основные задачи:

– захоронение загрязненных радионуклидами слоев почвы в нижнюю часть обрабатываемого слоя почвы или, при определенных условиях, их перемешивание и «разбавление чистой почвой» из незагрязненных слоев, или оставление на месте для получения продукции, пригодной для использования в народном хозяйстве, и ограничение контакта работника и урожая с загрязненной почвой;

– предупреждение водной и ветровой эрозии для недопущения вторичного загрязнения сопредельных сред и территорий (рисунок 1).

Разработанная на научной основе система обработки почвы с учетом почвенно-климатических условий должна осуществляться поэтапно: от основной (первичной) обработки до основной (последующей) и предпосевной обработки в севообороте в течение всего времени использования в земледелии загрязненных радионуклидами земель.

При вспашке поля плугами общего назначения, а также двухъярусными плугами проводится разбивка поля на загонки и поворотные полосы в соответствии с требованиями производства работ, а при вспашке оборотными и фронтальными плугами выделяются лишь поворотные полосы. Отсюда можно видеть существенное преимущество вспашки оборотными и фронтальными плугами, обеспечивающими гладкую вспашку. Еще большее преимущество вспашки такими плугами проявляется на склоновых землях, где требуется вспашка по горизонталям, так как образование свальных гребней и развальных борозд приводит к водной эрозии и вторичному загрязнению близлежащих по склону участков и сопредельных сред.

Для предупреждения вторичного загрязнения и загрязнения сопредельных сред и контуров 1–2 раза за ротацию 8–10-польного севооборота проводят глубокое рыхление (щелевание) или чизелевание почвы на глубину до 60 см на посевах многолетних трав и озимых культур (щелевание) или под них (чизелевание) щелерезами типа ЩН–5–40 и чизельными плугами типа ПЧ–2,5. Расстояние между проходами рабочих органов глубокорыхлителя от 90 до 500 см, а чизельных плугов – от 45 до 90 см. Направление глубокого рыхления и чизелевания – поперек склона или по горизонталям. Глубокое рых-

ление проводить при влажности почвы не более 0,8 НВ [Возняк, 1993].

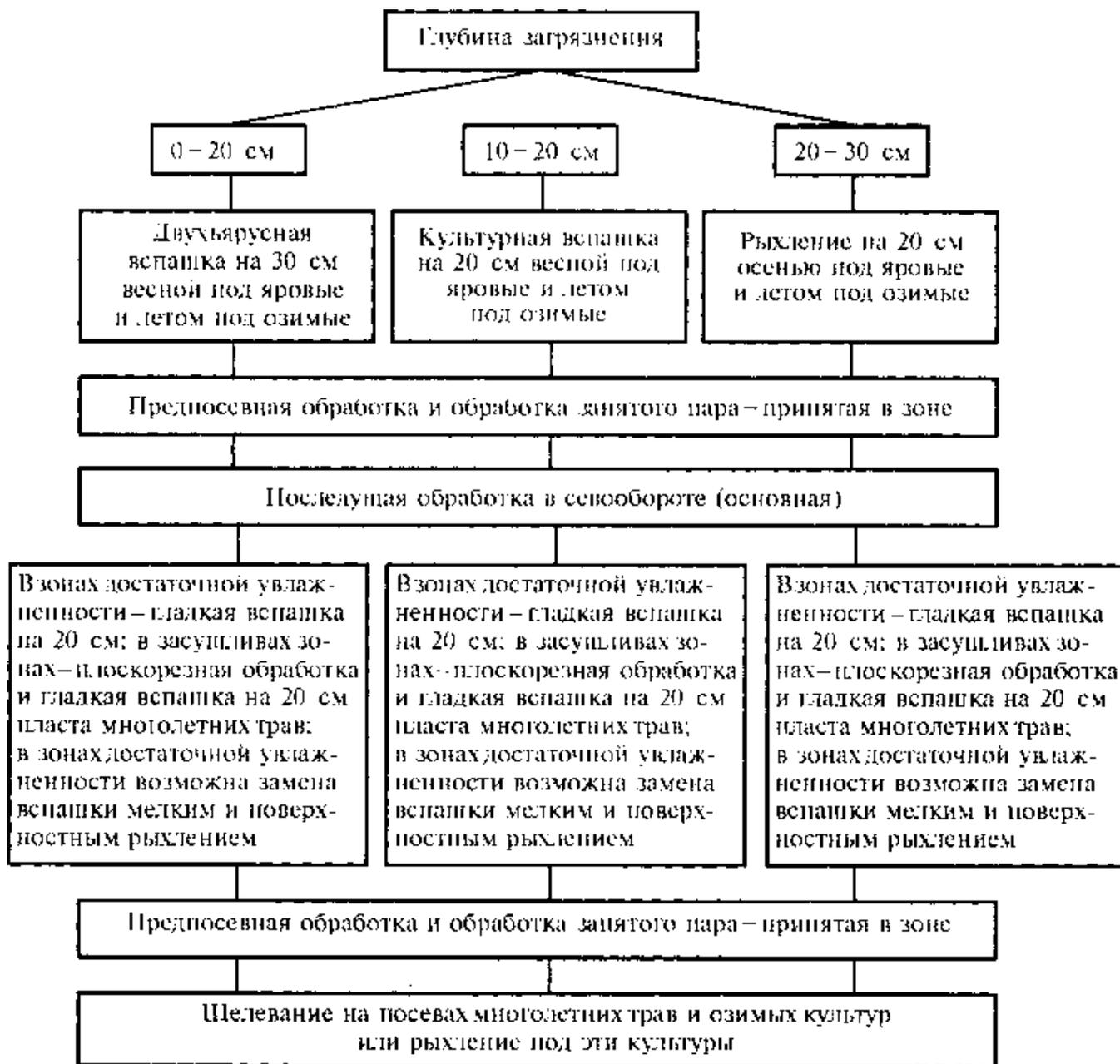


Рисунок 1 – Последовательность приемов системы обработки загрязненных радионуклидами почв в севообороте [Гогмачадзе, 2010].

Примечание: 1. На землях, подверженных водной эрозии, проводится контурная обработка почвы; при ветровой эрозии она проводится непосредственно перед залужением. 2. При вспашке и рыхлении почвы при загрязнении нижней части загрязненный слой обработкой не затрагивается.

Основной контроль – в соответствии с требованиями первичной заделки загрязненного слоя почвы или разбавление его нижним слоем до необходимого уровня загрязнения, дающего возможность использовать продукцию растениеводства в хозяйстве, при обязательном контроле за содержанием загрязняющего вещества в почве.

Известкование кислых почв. Известкование почв – один из наиболее важных приемов повышения продуктивности сельскохозяйственных угодий. При внесении извести в кислой почве резко увеличивается содержание подвижного кальция и магния, что влияет на биологическую доступность радионуклидов, особенно ^{90}Sr . Установлено, что внесение извести в дозе, эквивалентной гидролитической кислотности, снижает содержание стронция–90 и цезия–137 в продукции растениеводства примерно в 1,5–2,5 раза, а в отдельных случаях – в 3 раза. Дальнейшее увеличение доз известковых удобрений приводит к снижению поступления радионуклидов в меньшей степени. Минимальное накопление радионуклидов в растениеводческой продукции при прочих равных условиях возделывания сельскохозяйственных культур отмечено при оптимальной реакции почвенной среды. Поэтому основной целью известкования в зоне радиоактивного загрязнения территории является нейтрализация кислотности почвы и насыщение поглощающего комплекса кальцием и магнием.

Оптимальные показатели кислотности (рН) колеблются в больших пределах и зависят от множества факторов: структуры посевных площадей, типа и гранулометрического состава почвы, обеспеченности гумусом, фосфором и других показателей [Гогмачадзе, 2010].

Например, для дерново-подзолистых почв в зависимости от гранулометрического состава эти показатели составляют:

- глинистые и суглинистые – 6,0–6,7;
- супесчаные – 5,8–6,2;
- песчаные – 5,6–5,8.

На торфяно-болотных и минеральных почвах сенокосов и пастбищ оптимальные параметры составляют соответственно 5,0–5,3 и 5,8–6,2.

При известковании кислых почв учитывается плотность загрязнения радионуклидами:

- первый уровень загрязнения по цезию–137 – 1–5 Ки/км²;
- второй уровень загрязнения по цезию–137 – 5–15 и более Ки/км².

При первом уровне загрязнения известкование кислых почв проводится в соответствии с «Инструкцией по известкованию кислых почв в колхозах и совхозах». При втором уровне загрязнения почв радионуклидами известкование проводится дозами известковых удобрений, обеспечивающими доведение реакции почвенной среды до оптимального значения. Дозы известковых удобрений приведены в таблице 54.

Таблица 54 – Рекомендуемые дозы CaCO_3 для дерново-подзолистых и серых лесных почв, подвергшихся радиационному загрязнению, в зависимости от степени кислотности почв [Гогмачадзе, 2010]

Степень кислотности почв рН(КСl)	Дозы CaCO_3 (т/га) на разных группах загрязнения почв		
	I	II	III
Сильнокислые (<4,5)	8,0	9,0	10,0
Среднекислые (4,6–5,0)	6,5	8,0	9,5
Слабокислые (5,1–5,5)	5,0	7,0	9,0
Близкие к нейтральным (5,6–6,0)	3,5	6,0	8,0
Нейтральные (6,0–7,0)	–	5,0*	6,0

* известкуются только многолетние травы.

Уровни загрязнения:
слабый I – 1–5 Ки/км²,
средний II – 5–15 Ки/км²,
высокий III – 15–40 Ки/км².

Высокие дозы известковых удобрений (8–10 т/га) рекомендуют вносить в два приема: 0,5 дозы под вспашку, 0,5 дозы – под культивацию, дозы менее 8 т/га лучше вносить под глубинную культивацию. Данное мероприятие снижает поступление радионуклидов из почвы в растения в 1,5–2 раза и будет оказывать положительное влияние в последующие 3–4 года.

Установлены приемы, способствующие повышению эффективности известкования и гипсования для уменьшения поступления радионуклидов в продукцию [Алексахин, 1996]. К ним относятся:

– совместное внесение известковых материалов с органическими и минеральными фосфорно-калийными (РК) удобрениями снижает поступление в растения ¹³⁷Cs на дерново-подзолистых суглини-

стых почвах в 3–5 раз;

– доза внесения извести устанавливается в размере не менее 1,5 ГК, гипс эффективен в дозах не более 20 т/га фосфогипса – в связи с опасностью дополнительного загрязнения почвы стабильным стронцием;

– тщательное перемешивание мелиорантов (извести, шлаков, фосфогипса, цеолитов и др.) с почвой мелиорируемого слоя обеспечивает больший эффект от их внесения.

Нейтрализация кислотности почвенного раствора известкованием уменьшает накопление ^{137}Cs в урожае в 2–4 раза [Юдинцева и др., 1981; Маркина и др., 1997, 2005]. На кислых почвах поглощение ^{137}Cs растениями на порядок выше, чем на нейтральных. Соответственно кислотность почв влияет и на накопление ^{137}Cs в сельскохозяйственной продукции (таблица 55).

Таблица 55 – Влияние кислотности почв на накопление ^{137}Cs в сельскохозяйственной продукции [Юдинцева и др., 1981; Маркина и др., 2005]

Продукция	Кислотность почв, ед. pH		
	4,5-5,5	5,6-6,5	6,6-7,5
	Коэффициент накопления ($\text{п} \times 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$)		
Молоко	0,4–3,2	0,2–0,5	0,2
Мясо	1,2–1,8	0,6	0,3–0,6
Сено	15–20	5–7	2,0
Клевер	0,8-2,9	0,3	0,1
Озимая пшеница	0,5	0,2	0,05

Таким образом, агроэкологическая оптимизация свойств загрязненных радионуклидами почв заключается в корректировке факторов и параметров плодородия, ведущих к повышению почвенной составляющей устойчивости растений к действию радиации и к созданию в почве условий, позволяющих снизить поступление радионуклидов с урожаем растениеводческой продукции в продукцию животноводства.

Применение минеральных удобрений. Влияние минеральных удобрений на снижение уровня загрязнения продукции растениеводства радионуклидами обусловлено рядом причин: улучшением условий минерального питания растений, ведущим к увеличению биомассы и «разбавлению» радионуклидов; усилением антагонизма между ионами радионуклидов и ионами солей вносимых удобрений; изменением доступности радионуклидов вследствие перевода их в трудноусвояемые соединения.

При этом следует учитывать неодинаковую роль разных видов удобрений в накоплении радионуклидов: фосфорные и калийные удобрения ослабляют переход радионуклидов в растения, а азотные могут усиливать их накопление. При внесении одних калийных удобрений или в сочетании с другими видами поступление цезия-137 из почв разных типов в сельскохозяйственные растения уменьшается от 2 до 20 раз, а под влиянием фосфорных удобрений переход этого элемента в надземную массу сокращается в 2–3 раза.

Применение отдельно известковых, органических и минеральных удобрений может снизить содержание радионуклидов в продукции лишь в 1,5–3 раза, а совместное внесение органических и минеральных удобрений на фоне известкования – в 3–5 раз.

Важным приемом, ограничивающим поступление радиоцезия из почвы в растения, служит применение калийных удобрений, что обусловлено как антагонизмом катионов цезия и калия в почвенном растворе, так и значительной прибавкой урожая сельскохозяйственных культур, особенно на бедных калием дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах. По мере повышения плотности загрязнения почв радионуклидами потребность в дополнительных дозах калия увеличивается.

Нормативы потребности в калийных удобрениях определены из расчета обеспечения полной потребности сельскохозяйственных культур для формирования планируемого урожая и повышения содержания калия в почве до оптимального уровня (таблица 56).

На накопление радионуклидов всеми сельскохозяйственными культурами оказывают существенное влияние показатели общего почвенного плодородия. При повышении содержания гумуса в почве от 1 до 3,5% переход радионуклидов в растения снижается в 1,5–2 раза, а по мере повышения содержания в почве обменных форм калия от низкого (менее 100 мг K_2O на кг почвы) до оптимального (200–300 мг/кг) и изменения реакции почв от кислой (рН 4,5–5,0) к нейтраль-

ной (рН 6,5–7,0) – в 2-3 раза.

Действие фосфорных удобрений также положительно сказывается на уменьшении поступления радионуклидов из почвы в растительную продукцию, особенно на почвах с низким содержанием подвижных фосфатов. Известно также, что фосфорные удобрения способствуют закреплению микроколичеств стронция-90 за счет осаждения его вносимыми фосфатами.

Таблица 56 – Нормативы основной и дополнительной потребности в калийных удобрениях на загрязненных радионуклидами землях [Юдинцева и др., 1981; Маркина и др., 2005]

Почва	Содержание K_2O , мг/га почвы	Средняя доза K_2O на незагрязненных землях, кг/га	Дополнительная потребность K_2O (кг/га) при загрязнении, Ku/m^2		
			^{137}Cs 1–5 ^{90}Sr 0,15–0,5	^{137}Cs 5–15 ^{90}Sr 0,5–2,0	^{137}Cs 15–40 ^{90}Sr 2,0–3,0
Пашня					
Дерново-подзолистые, дерновые	менее 80	100	50	100	150
	81-140	90	30	60	90
	141-200	80	20	40	60
	201-300	55	15	30	45
	более 300	-	-	-	-
Улучшенные сенокосы и пастбища					
Дерново-подзолистые, дерновые	менее 80	80	40	80	120
	81-140	70	30	60	90
	141-200	60	20	40	60
	201-300	45	15	30	45
	более 300	-	-	-	-

Учитывая острый дефицит фосфорных удобрений и их высокую стоимость, рекомендовано для ведения земледелия на загрязненной территории обеспечить минимум фосфорных удобрений, необходимый для сбалансированного питания сельскохозяйственных культур с учетом содержания подвижных фосфатов в почве (таблица 57).

Предусмотрено постепенное повышение содержания фосфора до оптимального уровня с приоритетом по плотности загрязнения

земель радионуклидами. На почвах с высоким содержанием подвижных фосфатов (более 250 мг Р₂О₅ на 1 кг почвы на минеральных и 1000 мг/кг – на торфяно-болотных почвах) фосфорные удобрения не вносят до очередного цикла агрохимического обследования.

Таблица 57 – Нормативы основной и дополнительной потребности в фосфорных удобрениях на загрязненных радионуклидами землях [Юдинцева и др., 1981; Маркина и др., 2005]

Почва	Содержание Р ₂ О ₅ , мг/га почвы	Средняя доза Р ₂ О ₅ на загрязненных землях,	Дополнительная потребность Р ₂ О ₅ (кг/га) при плотности загрязнения, Ки/м ²		
			¹³⁷ Cs 1–5 ⁹⁰ Sr 0,15–0,5	¹³⁷ Cs 5–15 ⁹⁰ Sr 0,5–2,0	¹³⁷ Cs 15–40 ⁹⁰ Sr 2,0–3,0
Пашня					
Дерново-подзолистые, дерновые	менее 60	45	15	30	45
	61-100	40	10	20	30
	101-150	35	5	10	15
	151-250	20	–	5	10
	более 250	–	–	–	–
Улучшенные сенокосы и пастбища					
Дерново-подзолистые, дерновые	менее 60	35	15	30	45
	61-100	30	10	20	30
	101-150	25	5	10	15
	151-250	10	–	5	10
	более 250	–	–	–	–

Минеральные удобрения на загрязненных землях, так же как и на незагрязненных, вносят с учетом содержания элементов питания в почве и выноса их растениями на планируемый уровень урожайности, однако дозы внесения удобрений значительно отличаются от их применения на чистых землях. Установлено, что при загрязнении почв радионуклидами максимальная доза азотных удобрений составляет 60–90 кг/га д.в. [Жигарева и др., 1996; Бондарь и др., 1996]. Внесение повышенных доз азотных удобрений, особенно аммонийных, повышает поступление цезия–137 в растения. Поэтому расчет доз азотных удобрений проводят исходя из потребности растений на

планируемый урожай, почвенно-климатических условий зоны и окультуренности почвы [Пестряков и др., 1996].

Таблица 58 – Расчет доз удобрений под определенную культуру на загрязненных радионуклидами землях [Ратников и др., 1998; Маркина и др., 2005]

Показатель	Элементы питания		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Программируемая урожайность, т/га	Расчет		
2. Вынос элементов питания на 1 т основной продукции с-х. культурой, кг			
3. Вынос элементов питания урожаем основной продукции, кг/га (п. 1 • п. 2)			
4. Содержание элементов питания в почве мг на кг почвы (картограммы хозяйства)			
5. Количество питательных веществ, вносимых в почву с органическими удобрениями: 5а. в среднем, % 5б. при внесении 40 т/га (40 т/га • п. 5а), кг/га	0,5 200	0,2 80	0,6 240
6. Коэффициент использования элементов питания из органических удобрений	0,25	0,3	0,5
7. Количество элементов питания из органических удобрений при внесении 40 т/га, кг/га	50	24	120
8. Количество элементов питания, необходимое для программируемой урожайности, кг/га (п. 3–п. 7)	не более 60		
9. Поправочные коэффициенты с учетом окультуренности (установлено экспериментально): 9а. слабоокультуренные 9б. среднеокультуренные 9в. окультуренные			
	1,0 0,9 0,9	1,3 1,0 0,7	1,3 1,0 0,8
10. Доза минеральных удобрений с учетом коэффициентов окультуренности почвы (п. 8 • на поправочный коэффициент: п. 9а или п. 9б., или п. 9в.)			
11. Доза минеральных удобрений с учетом загрязнения в д.в. (п. 10*2 только для P ₂ O ₅ ⁻² ; K ₂ O ⁻²)			
12. Доза внесения минеральных удобрений в туках, (п. 11 • % содержания д.в. в удобрении), кг/га			

Примечание: При внесении органических удобрений больше или меньше 40 т/га делается расчет на фактическую дозу внесения.

В технологиях возделывания культур на загрязненных радионуклидами землях расчетную дозу по P_2O_5 и K_2O увеличивают в 2–3 раза [Ратников и др., 1998], что обеспечивает существенное снижение поступления радионуклидов в растения при использовании оптимизационного алгоритма расчета доз удобрений (таблица 58).

Формы минеральных удобрений оказывают значительно меньшее влияние на поступление радионуклидов в сельскохозяйственные культуры. Критерием применения тех или иных форм удобрений на загрязненных землях должны быть биологические особенности культур, их реакция на изменение качественных показателей. Ряд исследователей указывают, что увеличение перехода ^{137}Cs из почвы в растение обусловлено наличием аммонийной формы азота (NH_4^+) в азотных удобрениях, способной замещать связанные обменные катионы в гумусе и глинистых минералах, вытесняя их в почвенный раствор и увеличивая доступность для корневого усвоения растениями.

Применение органических и органо-минеральных удобрений. В целях поддержания почвенного плодородия, направленного на обеспечение стабильного урожая сельскохозяйственных культур, на загрязненных радионуклидами землях необходимо задействовать все имеющиеся источники обогащения почв органическим веществом: навоз, солому, зеленые удобрения, а при небольшом расстоянии перевозок – и торф. Внесение органических удобрений должно обеспечить бездефицитный баланс гумуса в почве, а на бедных песчаных и супесчаных почвах – положительный баланс, снизить напряженность дефицита фосфора и калия в почве [Гогмачадзе, 2010].

Органические удобрения на основе навоза от животных, содержащихся на чистых кормах, вносят равномерно в дозе 40–80 т/га. При использовании навоза от животных, содержащихся на загрязненных кормах, доза внесения – не более 80–120 т/га. Загрязнение вносимых удобрений не должно превышать загрязнение почвы радионуклидами в 10 раз, или в $1 \cdot 10^{-8}$ Ки/км² [Государственный доклад..., 2006]. Их заделка проводится плугом с предплужниками, плугами с винтовыми отвалами или двухъярусными плугами без выноса на поверхность загрязненного радионуклидами слоя.

Исследования показывают, что, в зависимости от дозы органических удобрений, равномерности их внесения и заделки, на песча-

ных и супесчаных почвах поступление радионуклидов в растения может снижаться в 11 раз, а на суглинистых – в 2,5 раза [Ратников и др., 1998].

Эффективным мелиорантом в условиях радиоактивного загрязнения являются сапропели – отложения пресноводных водоемов [Агеец и др., 1995] (таблица 59).

Таблица 59 – Влияние сапропелевых удобрений на поступление радионуклидов в урожай сельскохозяйственных культур

Варианты опыта	¹³⁷ Cs, Бк/кг			⁹⁰ Sr, Бк/кг		
	ячмень (зерно)	вико-овсяная смесь (сено)	клевер (сено)	ячмень (зерно)	вико-овсяная смесь (сено)	клевер (сено)
Н60Р60К100 (фон)	27,4	151,7	336,7	30,0	99,9	637,5
Фон + сапропель кремнеземистый, 60 т/га	13,7	99,9	309,0	25,9	88,1	547,6
Фон + сапропель карбонатный, 60 т/га	24,0	122,1	284,9	26,7	87,0	529,1
НСР ₀₉₅	7,8	22,00	22,2	5,2	13,3	44,3

Используют два вида сапропелевых удобрений – карбонатные и кремнеземистые. Сапропель кремнеземистый содержит (при 60% влажности) 22% органического вещества и 1,6% СаО. Сапропель карбонатный – 12% органического вещества, но в его составе больше кальция (СаО) – 5,7%.

Внесение 60 т/га кремнеземистого сапропеля позволяет снизить накопление ¹³⁷Cs в зерне ячменя на 50% и в сене однолетних трав на 35%. Снижение накопления ⁹⁰Sr менее заметно – на 18 и 12% соответственно, однако при этом существенно (на 6,5 ц/га) повысился урожай зерна ячменя. При увеличении доз сапропеля до 80–100 т/га действие их на повышение урожая и снижение накопления радионуклидов существенно увеличивается [Агеец и др., 1995]. На кислых почвах карбонатные сапропели могут быть использованы одновременно и в качестве известкового мелиоранта.

Сапропелевые удобрения являются хорошими мелиорантами, способствующими уменьшению радиоактивности растениеводческой продукции не только в год их применения, но и в последствии. Чем

беднее почва элементами минерального питания и гумусом, тем эффективнее действие сапропеля.

Кроме того, благодаря наличию органического вещества и минеральных макро- и микроэлементов сапропели могут быть использованы для приготовления органических удобрений комплексного действия.

Микроудобрения также вносят вклад в снижение поступления радионуклидов в сельскохозяйственные культуры, хотя механизм их действия изучен недостаточно. Внесение микроэлементов в виде сернокислой соли Zn, Cu и Ni на фоне NPK приводило к снижению поступления радионуклидов, например, в растения овса и люпина на 30–40%. Применение сернокислого магния + Pk и Mn + Fe снижало поступление соответственно в 5,5–5,9 раза и 1,3–1,7 раза [Гогмачадзе, 2010].

Применение микроэлементов базируется на избирательной отзывчивости сельскохозяйственных культур к отдельным элементам с учетом их недостаточного содержания в почве. Основным способом внесения микроудобрений, обеспечивающий наибольший экономический эффект и экологическую безопасность, – некорневые подкормки растений микроэлементами.

Для обеспечения экологической безопасности землепользования и нормативного экологического качества земель необходимо проведение государственной экологической экспертизы новых и скорректированных проектов земледелия и землепользования, а также мероприятий агрохимического и агротехнического характера, регулирующих качество загрязненных земель сельскохозяйственного назначения.

Контрольные вопросы и задания

1. Опасность загрязнения почв и продукции растениеводства тяжелыми металлами.
2. Оценки почв сельхозугодий по степени загрязнения химическими веществами.
3. Критерии опасности загрязнения почв тяжелыми металлами.
4. Рекомендации по подбору, размещению и использованию сельскохозяйственных культур и территории с учетом уровня содержания тяжелых металлов в почве.
5. Назовите основные факторы, влияющие на накопление нитратов в растениях.
6. Принципы нормирования содержания нитратов в продукции.
7. Приемы и мероприятия, способствующие снижению содержания нитратов в расти-

тельной продукции. 8. Основные причины загрязнения почвы остаточными количествами пестицидов. 9. Экологические критерии и нормативные показатели по оценке уровня загрязнения земель нефтепродуктами. Нормирование загрязнения почв нефтепродуктами. 10. Последствия от загрязнения нефтью и нефтепродуктами сельскохозяйственных почв. 11. Перечислите и охарактеризуйте мероприятия, позволяющие снизить концентрацию радионуклидов в сельскохозяйственной продукции.

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ И ПОНЯТИЙ

Автоморфные почвы формируются на ровных поверхностях и склонах в условиях свободного стока поверхностных вод при глубоком залегании грунтовых вод (глубже 6 метров), не оказывающих влияние на почвообразование.

Аллювиальный процесс – принос паводковыми водами взмученного материала, постоянное размывание и обновление поймы, отложение на ее поверхности взвешенных в воде частиц.

Антропогенное воздействие на природу – прямое осознанное или косвенное и неосознанное воздействие человеческой деятельности, вызывающее изменение природной среды, естественных ландшафтов.

Ареал почвы – площадь, занимаемая однородным почвенным типом.

Биологические ресурсы – генетические ресурсы, организмы, популяции или любые другие биотические компоненты экосистем, имеющие фактическую или потенциальную ценность для человечества.

Биотехнология – любой вид технологии, связанный с использованием биологических систем, живых организмов или их производных для изготовления или изменения продуктов или процессов с целью их конкретного использования.

Биогеоценоз – сложная природная система, совокупность на известном протяжении земной поверхности однородных природных условий (атмосферы, горной породы, почвы и гидрологических условий, растительности, животного мира и мира микроорганизмов), имеющая свою, особую специфику взаимодействия слагающих ее компонентов и определенный тип обмена веществом и энергией.

Борьба с опустыниванием – деятельность, которая является частью комплексного развития земельных ресурсов в засушливых и полузасушливых районах в интересах устойчивого развития и которая направлена на предотвращение и/или сокращение масштабов деградации земель, а также на восстановление частично деградировавших и пострадавших от опустынивания земель.

Вид почвы – группы почв в пределах рода, различающиеся по степени развития основного почвообразовательного процесса: например, в подзолистых почвах по степени развития подзолообразования выделяют виды сильно-, средне-, сильноподзолистых почв.

Влагоемкость – количество влаги, которое может длительно удерживаться почвой при подаче воды сверху, когда грунтовая вода стоит глубоко, и при подаче воды снизу, когда уровень грунтовых вод высок.

Водный режим почв – совокупность всех явлений поступления влаги в почву, ее передвижения, изменения ее физического состояния в почве и ее расхода из почвы. К числу этих явлений – элементов водного режима почв – относятся: инфильтрация, конденсация, фильтрация, подъем капиллярный, замерзание почвы, размерзание почвы, сток, испарение суммарное, десукция. В зависимости от количественного соотношения этих явлений, которое определяет преобладающее направление в передвижении почвенной влаги и пределы колебаний влажности почвы, создаются различные типы водного режима почвы.

Водопроницаемость почвы – свойство почвы как пористого тела пропускать через себя воду. Количественно выражается мощностью слоя воды, поступающей в почву через ее поверхность в единицу времени.

Вторичное засоление – накопление солей в почве, возникающее в результате искусственного изменения водного режима: например, при неправильном орошении.

Вторичные глинистые минералы – это вторичные алюмосиликаты с общей химической формулой $n\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ и характерным молярным отношением $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$, изменяющимся от 2 до 5. Их название связано с преобладанием в составе глин. К ним относятся минералы групп монтмориллонита, каолинита, гидрослюд, смешанно-слоистых минералов, хлорита.

Вторичные минералы образуются при химическом выветривании первичных минералов, при осаждении солей из водных растворов и их кристаллизации, в результате жизнедеятельности микроорганизмов и т.д.

Выветривание – процессы разрушения горных пород и минералов под воздействием атмосферы, гидросферы и биосферы. Различают: физическое выветривание – измельчение горной породы без изменения ее минералогического и химического состава под влиянием колебаний температуры и влажности; химическое и биологическое выветривание, вызывающие глубокие изменения минералогического и химического состава. Выветривание является также компонентом собственно почвообразовательного процесса.

Выпотной тип водного режима складывается в почвах семиаридного (полусухого) и аридного (сухого) климата (коэффициент увлажнения менее 0,55) при неглубоком залегании грунтовых вод. Капиллярная кайма грунтовых вод поднимается к поверхности почв, при этом влага испаряется, а растворенные в ней соли скапливаются в поверхностных горизонтах.

Выщелачивание – процесс обеднения того или иного горизонта или почвы в целом основаниями (щелочами и щелочными землями) в результате выхода их из кристаллической решетки минералов или из органических соединений, растворения и выноса просачивающейся водой. Частными видами выщелачивания являются: а) декарбонизация – разрушение и вынос извести из почвы или почвообразующей породы; б) рассоление – освобождение почвы или почвообразующей породы от водорастворимых солей.

Генетически модифицированные организмы (ГМО) - созданные с помощью биотехнологии новые биологические организмы и культуры.

Географическая среда – широкое понятие, объединяющее природную и окружающую среду.

Гидролитическая кислотность обусловлена количеством ионов водорода и алюминия, находящихся в обменном (частично в необменном) состоянии в почвенном поглощающем комплексе, которые извлекаются из ППК раствором гидролитически щелочной соли (обычно используют 1н. раствор ацетата натрия CH_3COONa (pH 8,2)).

Гидроморфные почвы формируются в условиях длительного поверхностного застоя вод или при залегании грунтовых вод на глубине менее 3 метров (при этом капиллярная кайма может достигать поверхности почвы).

Гранулометрический состав – относительное содержание в почве твердых частиц (механических элементов) разной величины.

Грунтовые воды (аллохтонные) – первый от поверхности земли постоянный водоносный горизонт, залегающий на водоупорном слое.

Гуматы кальция – гуминовые кислоты, связанные с кальцием (вторая фракция гуминовых кислот, черные гуминовые кислоты).

Гуминовые кислоты (ГК) – высокомолекулярные азотсодержащие органические кислоты, хорошо растворимые в щелочах, слабо растворимые в воде и не растворимые в кислотах. Имеют темно-коричневый, темно-бурый или черный цвет.

Гумификация – процесс превращения промежуточных продуктов разложения органических остатков в специфические сложные высокомолекулярные вещества – гумусовые кислоты.

Гумус – сложная система высокомолекулярных азотсодержащих органических веществ специфической природы, все составные части которой находятся в тесном взаимодействии друг с другом и с минеральной частью почвы.

Гумусообразование – процесс преобразования органических остатков в почвенный гумус и его перемешивания с минеральной частью почвы с формированием гумусовых сгустков (гумонов), обволакивающих пленок, органоминеральных соединений и глинисто-гумусовых комплексов.

Дерновый горизонт (дернина) – горизонт накопления гумуса, более чем на 50% пронизанный корнями травянистых растений.

Дерновый процесс – интенсивное гумусообразование, гумусонакопление и аккумуляция биофильных элементов под воздействием травянистой растительности и особенно корневой массы с образованием поверхностного темного комковатого или зернистого гумусового горизонта, состоящего на половину из корневых систем растений.

Дефляция – процесс механического разрушения почвы под действием ветра (ветровая эрозия почвы), который особенно сильно проявляется на легких почвах (развеивание песков), но иногда и на суглинках и глинах при их пылеватом составе во время пыльных бурь.

Диагностика почв – это процесс описания почвы в соответствии с определенными правилами в целях ее систематического определения, т.е. отнесения к уже известному или новому типу, подтипу, роду, виду и т.д.

Емкость катионного обмена (ЕКО) – общее количество всех поглощенных (обменных) катионов, выраженная в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы.

Емкость поглощения – вся сумма поглощенных катионов. Емкость поглощения определяется по количеству катиона, которым насыщают почву, промывая ее обычно забуференным по pH раствором соли этого катиона и вытесняя каким-либо другим катионом. Обычно, говоря о емкости поглощения, имеют в виду емкость катионного обмена.

Засоление – процесс накопления в почвенном профиле водорастворимых солей из минерализованных грунтовых вод при выпотном водном режиме.

Засуха – естественное явление, возникающее, когда количество осадков

значительно ниже нормальных зафиксированных уровней, что вызывает серьезное нарушение гидрологического равновесия, неблагоприятно сказывающегося на продуктивности земельных ресурсов.

Зольные вещества – элементы, которые остаются в золе после сжигания органической части растения. Обычно это все элементы, которые могут находиться в растениях и животных, кроме углерода, водорода, кислорода и азота; последние не входят в состав золы, так как улетучиваются при сухом озолении. В состав золы входят преимущественно кремний, алюминий, железо, марганец, кальций, магний, фосфор, сера, калий, натрий и ряд микроэлементов.

Зона экологического бедствия – территории с очень сильным и устойчивым загрязнением (содержание загрязняющих веществ более чем в 10 раз выше ПДК), разрушительной потерей продуктивности, практически необратимой трансформацией экосистем, почти полностью исключаящей их из хозяйственного использования. Деграция земель превышает 50% площади территории.

Иллювиальный горизонт – горизонт, в котором происходит накопление веществ, вынесенных из вышележащих (элювиальных) горизонтов.

Кислотные осадки – любые атмосферные осадки (дожди, туманы, снег), кислотность которых выше нормальной.

Кислые породы – магматические горные породы, пересыщенные кремнекислотой (65–70%), т. е. содержащие её в избытке, который выделяется в виде минерала кварца (гранит, диорит и др.) или остаётся растворённым в аморфной основной массе – вулканическом стекле (обсидиан, смоляной камень и др.).

Классификация почв – это объединение почв в группы по их важнейшим свойствам, происхождению и особенностям плодородия.

Климат – многолетний режим погоды, среднее состояние атмосферы той или иной территории, характеризующееся средними показателями метеорологических элементов (температуры, осадков и т.д.).

Климатическая система – совокупность атмосферы, гидросферы, биосферы и геосферы и их взаимодействие.

Комплекс почв – 1) чередование почв по микрорельефу; 2) почвенные комбинации с регулярным чередованием мелких пятен (от 1 метра до десятков метров) контрастно различающихся почв, взаимно генетически обусловленных. Компоненты комплекса чаще всего приурочены к элементам микрорельефа или микроассоциациям растительности и сопряжены с перераспределением влаги осадков.

Кора выветривания – слои горных пород, где протекают процессы выветривания. Это продукт разрушения горных пород, трансформации минеральных компонентов, их сортировки и переотложения.

Коэффициент увлажнения – отношение количества выпавших осадков (в мм) к испаряемости за этот же период.

Криогенез – это генезис (образование, развитие и эволюция) почв в условиях влияния многолетней мерзлоты.

Криотурбация – процесс морозного механического перемещения одних почвенных масс относительно других в пределах какого-либо горизонта или профиля в целом с образованием специфического криотурбационного строения.

Ландшафтная экология – наука, лежащая на рубеже географии (ландшафтоведения) и биологии (экологии), изучает природно-территориальные комплексы с экологической точки зрения как биотопы, экотопы или местообитания, занятые определенными биоценозами.

Лессиваж (лессивирование, обезиливание, иллиммеризация) – вынос илистой фракции вниз по профилю без ее разрушения.

Мерзлотный тип водного режима – характерен для областей вечной мерзлоты. В течение большей части года вода находится в форме льда, и только в летние месяцы почва оттаивает на небольшую глубину и формируется надмерзлотная верховодка.

Метаморфический горизонт – горизонт, основные свойства которого создаются процессами почвообразования, совершающимися *in situ*.

Минерализация – процесс разложения органических веществ до простых компонентов (воды, CO_2 , минеральных солей и др.).

Мониторинг – наблюдение и контроль за изменениями состояния окружающей среды под влиянием человеческой деятельности, предупреждение о явлениях, неблагоприятных для жизни, здоровья и производственной деятельности людей.

Морфологические признаки – внешние признаки почвы, по которым ее можно отличить от горной породы или одну почву от другой, а также приблизительно судить о направлении и степени выраженности почвообразовательного процесса. Главные морфологические признаки почвы: строение почвенного профиля, мощность почвы и ее отдельных горизонтов, окраска, структура, гранулометрический состав, сложение, новообразования и включения.

Неблагоприятное воздействие – изменение в физической среде или биоте, включая изменение климата, которое имеет значительные вредные последствия для здоровья человека или для состава, восстановительной способности или продуктивности природных и регулируемых экосистем или для материалов, используемых человеком.

Неблагоприятные последствия изменения климата – изменения в физической среде или биоте, вызываемые изменением климата, которые оказывают значительное негативное влияние на состав, восстановительную способность или продуктивность естественных и регулируемых экосистем или на функционирование социально-экономических систем, или на здоровье и благополучие человека.

Негидролизуемый остаток (гумин) – совокупность ГК и ФК, прочно связанных с минеральной частью почвы.

Непромывной водный режим формируется в полувлажных (семигумидных) и полусухих (семиаридных) областях (коэффициент увлажнения 1,0–0,33), почвенная толща промачивается в пределах 1–2,5 м. Между промачиваемой толщей и капиллярной каймой грунтовых вод существует горизонт с по-

стоянной в течение всего года низкой влажностью (мертвый горизонт, по Г.Н. Высоцкому).

Низкомолекулярные неспецифические кислоты – органические кислоты, встречающиеся не только в почве. Представлены уксусной, муравьиной, молочной, янтарной, яблочной и др. кислотами, являющимися промежуточными продуктами разложения органических остатков в почве.

Новообразования – скопления веществ различной формы и химического состава, которые образуются и откладываются в горизонтах почвы в результате почвообразовательных процессов.

Номенклатура почв – это наименования почв в соответствии с их свойствами и классификационным положением.

Оглеение – процесс метаморфического преобразования минеральной почвенной массы в результате постоянного или длительного периодического переувлажнения почвы, приводящего к интенсивному развитию восстановительных процессов, иногда сменяемых окислительными; процесс характеризуется восстановлением элементов с переменной валентностью, разрушением первичных минералов, синтезом специфических вторичных минералов, имеющих в своей кристаллической решетке ионы с низкой валентностью, незначительным выносом оснований и иногда аккумуляцией соединений железа, серы, фосфора, кремния.

Оглинивание (оглинение) – процесс внутрпочвенного выветривания первичных минералов с образованием и относительным накоплением *in situ* вторичных глинистых минералов.

Ожелезнение – процесс высвобождения железа из решеток минералов при выветривании и их осаждении *in situ* по порам и трещинам в виде кутан зерен и микроагрегатов и сгустков гидроксидов, сопровождающийся побурением или покраснением почвообразующей породы и почвы.

Оподзоливание – появление в почве признаков подзолистого процесса, в основе которого лежит кислотный гидролиз глинистых силикатов в условиях гумидного климата и промывного типа водного режима с остаточной аккумуляцией в подзолистом (оподзоленном) горизонте кремнезема и обеднение его илом, алюминием, железом и основаниями.

Осолонение – процесс разрушения минеральной части почвы под воздействием щелочных растворов (щелочной гидролиз глинистых силикатов) с накоплением остаточного аморфного кремнезема и выносом из элювиального (осолоделого) горизонта аморфных продуктов разрушения.

Осолонцевание – внедрение натрия в почвенный поглощающий комплекс и как следствие резкое повышение дисперсности органической и минеральной части, снижение устойчивости коллоидов по отношению к воде и возникновение щелочной реакции почвы.

Оструктуривание – процесс разделения почвенной массы на агрегаты разного размера и формы и последующего упрочнения их.

Пептизация коллоидов – процесс перехода коллоидов из состояния геля (коллоидного осадка) в состояние золя (коллоидного раствора). В результате

разрушается ценная комковатая структура и ухудшаются физические свойства почвы.

Первичные минералы образуются в результате остывания магмы.

Периодически промывной водный режим формируется на границе влажных (гумидных) и полувлажных (семигумидных) областей (коэффициент увлажнения 0,8–1,2), характерно не ежегодное (периодическое) промачивание атмосферными осадками почвенно-грунтовой толщи до уровня грунтовых вод.

Плодородие – способность почв удовлетворять потребности растений в элементах питания и воде, обеспечивать их корневые системы достаточным количеством тепла, воздуха и благоприятной физико-химической средой для нормального роста и развития.

Плотность почвы – вес 1 см^3 сухой почвы, взятой без нарушения природного ее сложения, единица измерения – г/см^3 .

Подзолообразовательный процесс – процесс кислотного гидролиза (разрушения под действием низкомолекулярных органических кислот неспецифической природы и высокомолекулярных органических кислот специфической природы (главным образом фульвокислот)) первичных и вторичных минералов с последующим выносом продуктов разрушения вниз по профилю с нисходящими токами воды в условиях промывного водного режима.

Подстилкообразование – формирование на поверхности почвы органо-генного слоя лесной подстилки или степного войлока.

Подтип почвы – группы почв в пределах типа, качественно отличающиеся по проявлению основного и налагающихся процессов почвообразования и являющиеся переходными ступенями между типами. Как правило, в пределах каждого типа выделяется центральный, наиболее типичный подтип и ряд переходных к другим типам подтипов.

Полугидроморфные почвы формируются при кратковременном застое поверхностных вод или при залегании грунтовых вод на глубине 3–6 метров (при этом капиллярная кайма может достигать корней растений).

Пористость почвы – суммарный объем всех пор, выраженный в % от общего объема почвы.

Почва – обладающая плодородием сложная полифункциональная и поликомпонентная открытая многофазная система в поверхностном слое коры выветривания горных пород, являющаяся комплексной функцией горной породы, организмов, климата, рельефа и времени.

Почвенная зона – ареал, занимаемый зональным почвенным типом и сопутствующими ему интразональными типами.

Почвенные горизонты – однородные, обычно параллельные поверхности слои почвы, составляющие почвенный профиль и различающиеся между собой по морфологическим признакам. Называются генетическими, т.к. образуются в процессе генезиса почв.

Почвенный поглощающий комплекс (ППК) – вся сумма органических, минеральных и органоминеральных коллоидов (частицы размером менее 0,0001 мм), обладающих физико-химической поглотительной способностью и способных к реакциям обмена.

Почвенный профиль – определенная вертикальная последовательность генетических горизонтов почвы.

Почвообразующие (материнские) породы – горные породы, на которых формируются почвы.

Промывной водный режим – формируется в гумидных областях, где осадки превышают испаряемость (коэффициент увлажнения больше 1). Атмосферные осадки ежегодно промачивают почвенно-грунтовую толщу до уровня почвенно-грунтовых вод, часто весной и осенью в таких почвах формируется верховодка.

Процесс почвообразования – сложный процесс образования почв из слагающих земную поверхность горных пород, их развития, функционирования и эволюции под воздействием комплекса факторов почвообразования в природных или антропогенных экосистемах Земли. Почвообразовательный процесс представляет собой совокупность явлений превращения и передвижения веществ и энергии в почвенной толще.

Псевдооглеение – процесс внутрипочвенного поверхностного или подповерхностного оглеения под воздействием периодического переувлажнения верховодкой при ее сезонном образовании на водоупорном иллювиальном горизонте или более тяжелом нижнем слое двухчленной почвообразующей породы.

Пучение – излияние на поверхность тиксотропной почвенной массы в условиях криогенеза.

Разновидность почвы – группы почв в пределах вида или подвида, различающиеся по гранулометрическому составу верхних почвенных горизонтов (легкосуглинистые, супесчаные, глинистые и т.д.)

Разряд почвы – группы почв, образующиеся на однородных в литологическом или генетическом отношении породах (на лессах, аллювии, граните, известняке и т.д.).

Рассоление – процесс освобождения почвенного профиля или почвообразующей породы от водорастворимых солей путем растворения и выноса их в грунтовые воды при смене гидрологического режима почвы.

Растрескивание – процесс интенсивного сжатия почвенной массы при ее обсыхании с образованием вертикальных трещин на ту или иную глубину, ведущий к перемешиванию почвы и ее гомогенизации на глубину растрескивания в одних почвах (например, вертисолях) либо, наоборот, к образованию гетерогенных профилей с разным составом и строением в заполненных трещинах в других почвах (например, в криогенных почвах).

Реакция почвенного раствора – соотношение концентраций в почвенном растворе ионов H^+ и OH^- ; выражается величиной рН.

Реликтовые признаки – признаки почв, приобретенные в процессе предшествующих фаз выветривания и почвообразования и не соответствующие современной биоклиматической и (или) гидрологической обстановке.

Рельеф – совокупность неровностей земной поверхности разного масштаба.

Род почвы – группы почв в пределах подтипов, качественные генетические особенности которых обусловлены влиянием комплекса местных условий: составом почвообразующих пород, составом и положением грунтовых вод, реликтивными признаками почвообразующего субстрата.

Сегрегация – процесс образования осветленного внутрипочвенного горизонта путем стягивания соединений железа и марганца из общей почвенной массы в центры концентрации без существенного выноса за пределы горизонта.

Сиаллитизация (оглинивание) – процесс внутрипочвенного выветривания первичных минералов с образованием и относительным накоплением *in situ* вторичной глины сиаллитного состава.

Скелетность почвы обусловлена наличием слабовыветрившихся обломков плотных пород, смешанных с мелкоземом.

Слитизация – процесс обратимой цементации (при высыхании) монтмориллонитово-глинистых почв в условиях периодического чередования интенсивного увлажнения и просыхания, сопровождающийся сменой набухания и усадки с интенсивной вертикальной трещиноватостью.

Сложение – характер взаимного расположения в пространстве механических элементов, почвенных агрегатов и связанных с ними пор. Это внешнее выражение плотности и пористости почвы.

Солончаковатость – наличие водорастворимых солей в почвенном профиле.

Сочетания почв – закономерная смена (чередование) почв по мезорельефу. В последнее время сочетания предлагается называть почвенные комбинации, в которых регулярно чередуются довольно крупные (порядка гектаров и десятка гектаров) ареалы контрастно различающихся почв, генетическая связь между которыми (перемещение влаги, органико-минеральных и минеральных веществ) имеет однонаправленный (односторонний) характер.

Сравнительно-географический метод основан на изучении связей между пространственным изменением свойств и состава почв с географией факторов почвообразования.

Сравнительно-исторический метод дает возможность исследовать прошлое почв. На основании изучения погребенных почв и почвенных горизонтов, реликтовых признаков почв и их сопоставления с современными процессами можно судить о прошлом почв.

Степень засоления определяется количеством водорастворимых солей с учетом их токсичности.

Степень насыщенности почв основаниями – отношение суммы обменных катионов к сумме тех же катионов и величины гидролитической кислотности почв.

Строение почвы (строение профиля) – общий вид почвы со всеми почвенными генетическими горизонтами. Это результат генезиса почвы, постепенного развития ее из материнской породы, которая дифференцируется на горизонты в процессе почвообразования.

Структура – совокупность почвенных агрегатов определенной формы и размеров, на которые естественно распадается почва.

Сумма поглощенных оснований – общее количество всех поглощенных катионов, выраженная в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы.

Сумма обменных катионов – общее количество всех катионов, находящихся в диффузном слое коллоидных мицелл (синоним – сумма поглощенных катионов).

Таксономия почв – система таксономических единиц, то есть последовательно соподчиненных систематических категорий, отражающих объективно существующие в природе группы почв.

Тиксотропность – способность почв и грунтов в переувлажненном состоянии разжижаться под влиянием механических воздействий и снова переходить в твердое состояние при пребывании в покое.

Тип почвы – большая группа почв, развивающихся в однотипно сопряженных биологических, климатических, гидрологических условиях и характеризующихся ярким проявлением основного процесса почвообразования при возможном сочетании с другими процессами.

Токсичность солей – свойство различных легкорастворимых солей вызывать угнетение развития и отравление растительных организмов вследствие повышения осмотического давления в почвенных растворах и нарушения поступления воды и питательных элементов, а также нарушения физиологических функций растения.

Торф – органогенная порода, состоящая из растительных остатков, измененных в процессе болотного почвообразования и погребения этих остатков под их нарастающей толщей в условиях анаэробнозиса.

Факторы почвообразования – внешние по отношению к почве компоненты природной среды, под воздействием и при участии которых формируется почвенный покров земной поверхности.

Ферралитизация – процесс внутрипочвенного выветривания первичных минералов с образованием и относительным накоплением *in situ* вторичной глины ферралитного состава. В составе ферралитизованного материала преобладают кварц, каолинит и минералы группы гидроксидов алюминия (гидраргиллит, диаспор) и железа (лимонит, гематит).

Ферриалитизация – процесс накопления подвижных соединений железа в виде $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и Fe_2O_3 на фоне оглинения (сиаллитизации), обусловленного декарбонатизацией.

Физическое выветривание – измельчение горной породы без изменения ее минералогического и химического состава под влиянием колебаний температуры и влажности.

Фульвокислоты (ФК) – высокомолекулярные азотсодержащие органические кислоты, хорошо растворимые и в кислотах, и в щелочах. Имеют светло-желтую окраску.

Химизм засоления (тип засоления) – качественный состав солей. Устанавливается по соотношению анионов или катионов в составе водной вытяжки засоленных почв.

Чистое производство – такое промышленное производство, при котором на окружающую среду оказывается минимальное неблагоприятное влияние,

благодаря тщательной организации использования ресурсов, проектированию и использованию продукции, систематическим мерам по предотвращению загрязнения окружающей среды, обеспечению безопасных условий работы для персонала и соблюдению требований техники безопасности.

Эволюция почвы – совокупность всех изменений в почве от начала ее образования до сегодняшнего дня. Причина эволюции – несоответствие свойств почвы и протекающих в ней процессов факторам почвообразования.

Экологическая система или экосистема – динамичный комплекс сообществ растений, животных и микроорганизмов, а также их неживой окружающей среды взаимодействующих как единое функциональное целое.

Экологическое нормирование – разработка регламентов антропогенного воздействия на окружающую среду, соблюдение которых гарантирует нормальное функционирование экосистем.

Экология – область знания, изучающая взаимоотношения (взаимодействия) организмов и их сообществ, включая человека с окружающей средой (в т.ч. с другими организмами и сообществами).

Элементарные почвенные процессы – частные почвообразовательные процессы, являющиеся горизонтообразующими или профилеобразующими (например, гумусообразование, засоление, оподзоливание, оглеение и др.).

Элювиально-глеевый процесс – процесс разрушения глинистых силикатов при оглеении с последующим выносом или сегрегацией продуктов разрушения и остаточным накоплением кремнезема; отличается от псевдооглеения отсутствием мраморизации и сегрегации.

Элювиальный горизонт – горизонт вымывания, осветленный, обедненный илом, полуторными окислами и основаниями (подзолистый, осолоделый, иллимиризованный горизонты).

Элювиирование – процесс выноса продуктов разрушения почвенного материала нисходящими или латеральными (боковыми) токами воды, в результате чего элювиальный горизонт обедняется теми или иными соединениями и относительно обогащается оставшимися на месте соединениями или минералами.

Эрозия – процесс механического разрушения почвы под действием поверхностного стока атмосферных осадков (временных водных потоков).

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Оценка потенциальной урожайности культуры на рабочем участке

Базовые алгоритмы и нормативы автоматизированной оценки потенциальной (агроклиматически обеспеченной) урожайности культур на рабочем участке описаны в 4-й главе.

Они рассчитывают потенциальную урожайность сельскохозяйственных культур по первому лимиту плодородия земель от прихода ФАР, по второму лимиту от влагообеспеченности культур с расчетом продуктивной влаги за период вегетации, с учетом нормативных коэффициентов водопотребления.

Уточненный расчет урожайности с учетом бонитета почв и лимитирующих почвенных условий (третий и четвертый лимиты плодородия земель) выполняется согласно алгоритму:

$$Y_{jr} = Y_{jw} \times (B_s / 100) \times K_{sб} \times K_{сб},$$

где B_s – обобщенный балл бонитета s -ого типа (подтипа, рода) почвы (таблица 60);

$K_{sб}$ – поправочный коэффициент на базовые свойства почв;

$K_{сб}$ – коэффициент снижения урожайности за счет лимитирующих факторов почв (эрозии, подкисления, засоления и т.п.).

Результат решения задачи по оценке потенциальной урожайности культуры на рабочем участке составляет 3 значения потенциальной урожайности сельскохозяйственной культуры, обеспеченной расчетными уровнями фотосинтетически активной радиации (ФАР – 1-е) и запасами продуктивной влаги (2-е) в условиях конкретного поля (рабочего участка) за период вегетации культуры и ограниченной лимитирующими факторами агроэкологического состояния почв на данном участке (3-е).

Таблица 60 – Усредненные баллы бонитета для основных подтипов и родов почв ЦЧР [Методика агроэкологической типизации..., 2004]

Подтип, род почв	Бонитет	Подтип, род почв	Бонитет
Светло-серые лесные почвы	59	Обыкновенные черноземы	
Серые лесные почвы (II)	61	Обычные	75
Темно-серые лесные почвы	65	Неполноразвитые	60
Оползолненные черноземы:		Глубоковскипающие	70
Обычные	65	Карбонатные	68
Осолodelые	55	Остаточно-карбонатные	45
Неполноразвитые	50	Солонцеватые	50
Слабодифференцированные	40	Остаточно-солонцеватые	50
Выщелоченные черноземы		Осолodelые	50
Обычные	80	Южные черноземы	
Осолodelые	55	Обычные	70
Неполноразвитые	60	Неполноразвитые	60
Слабодифференцированные	40	Глубоковскипающие	65
Типичные черноземы		Карбонатные	65
Обычные	80	Остаточно-карбонатные	38
Неполноразвитые	70	Солонцеватые	40
Глубоковскипающие	75	Остаточно-солонцеватые	50
Карбонатные	73	Осолodelые	50
Остаточно-карбонатные	45	Лугово-черноземные (II) степи	77
Солонцеватые	50	Черноземно-луговые (II) степи	74
Остаточно-солонцеватые	55	Луговые почвы (II) степи	70
Осолodelые	55	Лугово-черноземные карбонат.	75
Лугово-черноземные (II) ле-	76	Лугово-черноземные солонц.	55
Черноземно-луговые (II) ле-	74	Лугово-черноземные осолод.	55
Луговые почвы (II) лесостепи	71	Черноземно-луговые осолод.	53

Расчет поправочного коэффициента на базовые свойства почв проводится по формуле среднегармонического значения из частных оценок каждого из рассматриваемых свойств (K_{s6i}):

$$K_{s6} = m \Pi(K_{s6i}) / \sum(\Pi(K_{s6i}) / K_{s6j}),$$

где m – число проанализированных i -х параметров;

$$K_{s6i} = 1 + (\Delta B_{scp} / B_{scp}) \times (P_{sti} - P_{scpi}) / \Delta P_{scp},$$

где ΔB_{scp} и B_{scp} – среднерегionalный интервал варьирования и среднерегionalное значение бонитета s -й почвы;

ΔP_{scp} , P_{sti} и P_{scpi} – среднерегionalный интервал варьирования, текущее и среднерегionalное значение i -го параметров s -й почвы (таблица 61).

Примечание. При отсутствии необходимой исходной или нормативной информации $K_{с6}$ принимается за 1.

Таблица 61 – Средние интервалы варьирования и значения бонитета черноземов (Ч.) и их базовых параметров в ЦЧР [Акулов, 1992]

Подтип, род почв	Бонитет, баллы		А+АВ, см		Гумус в $A_{пах}$, %		Физ. глина, %		Сумма основан., мг/кг	
	$B_{бсч}$	$\Delta B_{счч}$	$P_{счч}$	$\Delta P_{счч}$	$P_{счч}$	$\Delta P_{счч}$	$P_{счч}$	$\Delta P_{счч}$	$P_{счч}$	$\Delta P_{счч}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Оподзоленные черноземы										
Обычные	65	10	60	10	5,3	1,5	48	15	28	5
Осолоделые	55	10	65	10	4,3	1,5	43	15	25	5
Неполноразвитые	50	10	48	15	4,8	1,5	48	15	28	5
Слабодифференцированные	40	10	70	10	2,3	1,5	15	10	15	10
Выщелоченные черноземы										
Обычные	80	10	78	15	6,0	2,0	53	15	33	5
Осолоделые	55	10	70	10	5,3	1,5	48	15	30	5
Неполноразвитые	60	10	53	15	5,3	1,5	53	15	33	5
Слабодифференцированные	40	10	75	10	2,3	1,5	15	6	15	10
Типичные черноземы										
Обычные	80	10	78	15	7,0	2,0	58	15	38	5
Неполноразвитые	70	10	53	15	6,3	1,5	58	15	38	5
Глубоковскипающие	75	10	78	15	5,8	1,5	48	15	35	5
Карбонатные	73	5	78	15	6,8	1,5	58	15	43	5
Остаточно-карбонатные	45	10	45	10	4,3	1,5	58	15	40	5
Солонцеватые	50	20	45	40	5,0	1,0	63	15	33	5
Остаточно-солонцеватые	55	10	60	20	5,8	1,5	58	15	33	5
Осолоделые	55	10	80	10	5,3	1,5	53	15	33	5
Обыкновенные черноземы										
Обычные	75	10	60	10	5,8	2,5	63	15	43	5
Неполноразвитые	60	10	48	15	5,8	1,5	58	15	43	5
Глубоковскипающие	70	10	60	10	6,3	1,5	53	15	38	5
Карбонатные	68	5	60	10	6,3	1,5	58	15	48	5
Остаточно-карбонатные	45	10	40	10	4,3	1,5	58	15	43	5
Солонцеватые	50	10	43	35	5,0	1,0	68	15	38	5
Остаточно-солонцеватые	50	20	50	20	5,8	1,5	63	15	38	5
Осолоделые	50	10	70	10	5,3	1,5	58	15	38	5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Южные черноземы										
Обычные	70	10	50	10	5,3	1,5	68	15	45	10
Неполноразвитые	60	10	38	15	4,8	1,5	63	15	43	5
Глубоковскипающие	65	10	50	10	4,8	1,5	58	25	40	5
Карбонатные	65	10	50	10	5,3	1,5	68	15	48	5
Остаточно-карбонатные	38	15	38	15	4,5	1,0	58	15	43	5
Солонцеватые	40	20	38	25	4,0	1,0	68	15	43	5
Остаточно-солонцеватые	50	20	40	20	4,8	1,5	63	15	43	5
Осолоделые	50	10	53	15	4,8	1,5	58	15	40	5

Коэффициент снижения урожайности за счет лимитирующих факторов почв (эрозии, солонцеватости, засоления, оглеения, подкисления и т.п.) принимается равным минимальному значению из проанализированных частных оценок каждого из рассматриваемых параметров ($K_{сли}$):

$$K_{сл} = \min (K_{сли}),$$

где $K_{сли}$ для проанализированных i -х параметров s -й почвы получаются в результате сопоставления данных по объекту с нормативами соответствующих таблиц (19, 20, 21, 26 см. раздел 4.4).

Примечание: при отсутствии необходимой исходной или нормативной информации $K_{сл}$ принимается за 1. В перспективе возможно формирование дополнительных таблиц лимитирующих факторов почв и земель по их параметрам, включенным в агроэкологический паспорт поля, и дальнейшая детализация- районирование нормативных значений на основе получения новых знаний.

Расчет рациональных доз удобрений на рабочем участке

Расчет рациональной дозы применения минеральных удобрений учитывает вынос рассчитываемого элемента с планируемым урожаем, частичную компенсацию выноса за счет базового плодородия почв (без применения удобрений), применения органических удобрений в этом году и последствий удобрений предыдущего года, а также коэффициент использования минеральных удобрений в текущем году и рекомендуемые поправочные коэффициенты к расчетным дозам минеральных удобрений с учетом агрохимических и агроэкологических особенностей почв конкретного участка:

$$D = ((R - C_s - C_o - C_p) / U_m) \times K_f,$$

где D – доза минеральных удобрений на планируемую урожайность, кг/га д.в.; R – вынос анализируемого элемента с плановым урожаем, кг/га д.в.; C_s – частичная компенсация выноса за счет плодородия почв, кг/га д.в.; C_o – частичная компенсация выноса за счет ОУ в текущем году, кг/га д.в.; C_p – частичная компенсация выноса за счет последствий предыдущего года, кг/га д.в.; U_m – коэффициент использования минеральных удобрений в текущем году; K_f – поправочный коэффициент к расчетным дозам удобрений с учетом агрохимических и агроэкологических особенностей конкретного участка;

$$R = Y \times R_n;$$

Y – урожайность, ц/га;

R_n – удельный вынос, кг/ц основной продукции с учетом побочной (таблица 62);

$$C_s = S_n \times N_p \times K_{en};$$

S_n – содержание подвижной формы элемента питания в почве, мг/кг; N_p – норматив «окупаемости» содержания подвижной формы элемента питания урожаем культуры, ц на 1 мг/кг (таблица 63);

Таблица 62 – Удельный вынос P_2O_5 и K_2O с урожаем (кг/ц – из расчета на 1 ц урожая основной продукции с учетом побочной [Методическое пособие и нормативные материалы..., 2001]

Культура	P_2O_5	K_2O
Зерновые в целом	1,1	2,6
Озимая пшеница	1,2	2,5
Озимая рожь	1,4	2,7
Яровая пшеница	1,1	2,0
Ячмень	1,1	2,1
Овес	1,7	3,4
Просо	1,0	3,4
Гречиха	1,5	4,0
Горох	1,2	2,1
Вика	0,9	4,8
Сахарная свекла	0,17	0,68
Конопля (волокно)	6,0	15,0
Подсолнечник (семена)	2,6	7,0
Рапс (семена)	2,3	3,0
Рапс (зеленый корм)	0,28	0,5
Картофель	0,2	0,88
Кукруза на силос	0,16	0,35
Кукруза на зерно	0,7	3,3
Кормовые корнеплоды	0,19	0,61
Однолетние травы (сено)	0,7	2,0
Многолетние травы (сено)	0,65	1 1,8

K_{ep} – коэффициент пересчета содержания подвижной формы элемента питания на стандартный метод Чирикова (таблица 64);

$$C_o = D_o \times O_n \times U_o;$$

D_o – доза применения органических удобрений (ОУ), т/га;

O_n – содержание элемента питания в ОУ, кг/т (таблица 65);

U_o – коэффициент использования из ОУ в 1-й год (таблица 66);

$$C_p = D_{o_p} \times O_{n_p} \times U_{o_p} + D_{m_p} \times U_{m_p};$$

D_{o_p} – доза применения органических удобрений (ОУ) в предыдущий год, т/га; O_{n_p} – содержание элемента питания в ОУ предыдущего года, кг/т (таблица 65); U_{o_p} – коэффициент использования из ОУ во 2-й год (таблица 66);

Таблица 63– Усредненные нормативы «окупаемости»
подвижной формы элемента питания
(по Чирикову) урожаям, ц на 1 мг/кг
[Методическое пособие и нормативные материалы...,
2001]

Культура	Светло-серые и серые лесные почвы		Темно-серые и черноземы оподзоленные		Черноземы выщелоченные, типичные и обыкновенные	
	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O
Озимая пшеница	0,20	0,22	0,22	0,24	0,24	0,26
Озимая рожь	0,17	0,20	0,18	0,22	0,20	0,24
Яровая пшеница	0,22	0,22	0,24	0,24	0,26	0,26
Ячмень	0,22	0,20	0,24	0,22	0,26	0,25
Овес	0,15	0,16	0,16	0,17	0,18	0,19
Просо	0,22	0,16	0,24	0,17	0,26	0,19
Гречиха	0,15	0,14	0,16	0,15	0,17	0,16
Горох	0,13	0,21	0,17	0,23	0,22	0,25
Вика	0,24	0,14	0,24	0,15	0,24	0,16
Сахарная свекла	1,40	1,30	1,50	1,53	1,59	1,76
Картофель	0,91	0,88	0,98	0,95	1,05	1,02
Кукуруза на силос	1,63	1,84	1,75	1,99	1,88	2,14
Кормовые корнеплоды	1,34	1,28	1,46	1,52	1,58	1,76
Однолетние травы (с.)	0,31	0,28	0,34	0,30	0,37	0,32
Многолетние травы (с.)	0,34	0,30	0,37	0,33	0,40	0,36

Таблица 64 – Усредненные коэффициенты пересчета содержания подвижных форм P₂O₅ и K₂O на стандартный метод Чирикова (Чир, мг/кг) с метода Мачигина (Мач, мг/кг – для карбонатных почв)

Элемент питания	Методы анализа и коэффициенты пересчета	Шкалы оценки и значения коэффициентов					
		Очень низкая	Низкая	Средняя	Повышенная	Высокая	Очень высокая
P ₂ O ₅	Метод Чирикова	<20	20-50	50-100	100-150	150-200	>200
	Метод Мачигина	<10	10-15	15-30	30-45	45-60	>60
	Пересчет от Мач. к Чирикову	2,00	2,80	3,33	3,33	3,33	3,33
K ₂ O	Метод Чирикова	<20	20-40	40-80	80-120	120-180	>180
	Метод Мачигина	<50	50-100	100-200	200-300	300-400	>400
	Пересчет от Мач. к Чирикову	0,40	0,40	0,40	0,40	0,43	0,45

Таблица 65 – Усредненное содержание P_2O_5 и K_2O в органических удобрениях, кг/т сырого веса
[Методическое пособие и нормативные материалы..., 2001]

Виды удобрений	Влажность, %	P_2O_5 кг/т	K_2O , кг/т	К пересчета в подстилочный навоз
Навоз КРС подстилоч. (стан-	75	2,5	6,0	1,00
Навоз КРС полужидкий	85	1,2	3,3	0,60
Навоз КРС жидкий	95	0,6	1,1	0,20
Компост торфо-навозный (1:1)	70	2,2	4,7	1,00
Сапропель	60	0,7	0,0	0,80
Солома злаковых	18	2,0	9,0	-
Солома бобовых	18	2,5	6,0	-
Птичий помет подстилочный	40	18,1	9,7	3,00
Птичий помет сухой	14	39,0	20,0	7,00
Компост торфо-пометный (1:1)	70	7,4	4,1	1,40

Таблица 66 – Усредненные коэффициенты использования P_2O_5 и K_2O из органических и минеральных удобрений 1-го и 2-го года использования
[Методическое пособие и нормативные материалы..., 2001]

Вид удобрения	Год использования	U(P_2O_5)	U (K_2O)
Органические	1-й	0,28	0,55
	2-й	0,13	0,13
Минеральные	1-й	0,18	0,50
	2-й	0,13	0,13

Dm_p – доза применения минеральных удобрений (МУ) в предыдущий год, кг/га д.в.; Um_p – коэффициент использования из минеральных удобрений во 2-й год (таблица 66);

$$K_f = K_t \times K_e \times K_a \times K_c \times \dots \quad (K_i \text{ – в перспективе});$$

K_t – поправочный коэффициент к дозам минеральных удобрений в зависимости от гранулометрического состава почвы поля (таблица 67);

K_e – поправочный коэффициент к дозам минеральных удобрений в зависимости от степени эродированности почвы поля (таблица 68);

K_a – поправочный коэффициент к дозам минеральных удобрений

ний в зависимости от степени кислотности почвы поля (таблица 69);

K_c – поправочный коэффициент к дозам минеральных удобрений в зависимости от уровня технологической культуры земледелия на поле (таблица 70);

K_i – возможные в будущем дополнительные поправочные коэффициенты к дозам минеральных удобрений в зависимости от свойств поля и хозяйства.

Таблица 67 – Поправочные коэффициенты к основным дозам минеральных удобрений в зависимости от гранулометрического состава почв [Методическое пособие и нормативные материалы..., 2001]

Гранулометрический состав почв	P_2O_5	K_2O
Глина	1,10	0,80
Тяжелый суглинок	1,10	0,80
Средний суглинок	1,00	1,00
Легкий суглинок	1,00	1,10
Супесь	1,00	1,20
Песок	1,00	1,20

Таблица 68 – Поправочные коэффициенты к основным дозам минеральных удобрений в зависимости от степени эродированности почв [Методическое пособие и нормативные материалы..., 2001]

Степень эродированности почв	P_2O_5	K_2O
Неэродированная	1,00	1,00
Слабоэродированная	1,05	1,05
Среднеэродированная	1,10	1,10
Сильноэродированная	1,20	1,20

Таблица 69 – Поправочные коэффициенты к основным дозам минеральных удобрений в зависимости от кислотности почвы
[Методическое пособие и нормативные материалы..., 2001]

Культура	Поправочные коэффициенты к основным дозам P_2O_5 и K_2O в зависимости от pH_{KCl}					
	P_2O_5			K_2O		
	<4,6	4,6-5,0	>5,0	<4,6	4,6-5,0	>5,0
Озимая пшеница	1,2	1,1	1,0	1,2	1,1	1,0
Яровая пшеница	1,2	1,1	1,0	1,2	1,1	1,0
Ячмень	1,2	1,1	1,0	1,2	1,1	1,0
Овес	1,2	1,1	1,0	1,2	1,1	1,0
Картофель		1,1	1,0		1,1	1,0
Кормовые корнеплоды	1,2	1,1	1,0	1,2	1,1	1,0
Многолетние травы	1,3	1,1	1,0	1,3	1,1	1,0

Таблица 70 – Поправочные коэффициенты к основным дозам минеральных удобрений в зависимости от уровня технологической культуры земледелия
[Методическое пособие и нормативные материалы..., 2001]

Уровень культуры земледелия	Кс	Основной критерий оценки – Средняя продуктивность земель по хозяйству, з.е. на 1 га пашни за три года
Низкий	1,20	<20
Средний	1,00	20-30
Повышенный	0,90	30-40
Высокий	0,80	40-50
Очень высокий	0,70	>50

Предварительный расчет максимально возможной урожайности выбранной культуры на конкретном поле при учете всех лимитирующих факторов позволяет более обоснованно задавать величину планируемого урожая. После решения задачи рекомендуемые нормы минеральных удобрений на заданный урожай могут использоваться для последующей корректировки размера планируемого урожая с учетом лимитирующих факторов урожайности.

Требования растений к реакции среды (по данным различных авторов)

Растение	Оптимальный интервал рН _{сол}	Растение	Оптимальный интервал рН _{сол}
Рожь	5,5–7,5	Кострец	7,0–7,5
Овес	5,0–7,4	Капуста	6,7–7,4
Пшеница		Томаты	6,3–6,7
яровая	6,0–7,5	Морковь	5,6–7,0
озимая	6,3–7,6	Огурцы	6,7–7,0
Ячмень	6,8–7,5	Рис	4,0–6,0
Кукуруза	6,0–7,0	Чечевица	5,5–7,2
Горох	6,0–7,0	Вика	5,7–6,5
Фасоль	6,4–7,1	Чайный куст	4,5–6,0
Гречиха	4,7–7,5	Брюква	4,8–5,5
Кормовая свекла	6,2–7,5	Сераделла	5,4–6,5
Картофель	5,0–5,5	Лисохвост	5,3–6,0
Турнепс	6,0–6,5	Райграс	6,8–7,5
Сахарная свекла	7,0–7,5	Редис	5,5–7,3
Конопля	7,1–7,4	Лук	6,4–7,9
Лен	5,9–6,5	Мак	6,8–7,2
Люцерна	7,0–8,0	Салат	6,0–6,5
Клевер	6,0–7,0	Хлопчатник	6,5–7,5
Люпин	4,5–6,0	Сахарная кукуруза	6,0
Цикорий	5,5	Редис	6,0
Огурцы	5,5	Баклажаны	6,0
Тыква	5,5	Горчица	6,0
Томаты	5,5	Перец	6,0
Бобы	5,5	Репа	6,0
Салат	5,5	Арбуз	6,0
Дыня	5,5	Пастернак	6,5
Сельдерей	6,5	Спаржа	6,5
Шпинат	6,5	Бук	4,0–6,5
Береза	4,0–7,2	Смородина	5,8–6,5
Дуб	4,5–8,0	Яблоня	5,3–6,0
Ель	3,5–7,0	Слива	5,3–6,0
Сосна	3,0–7,5	Вишня	5,3–6,0
Лиственница	4,0–5,5	Малина	4,8–5,7
Земляника	4,8–5,7	Крыжовник	4,8–5,7
Тимофеевка	5,0–6,5	Груша	4,8–5,7

Приложение 4

Группировка почв по степени кислотности, определяемой в солевой вытяжке (потенциометрически)

№ группы	Степень кислотности	pH (KCl)
1	Очень сильнокислые	Менее 4,0
2	Сильнокислые	4,1–4,5
3	Среднекислые	4,6–5,0
4	Слабокислые	5,1–5,5
5	Близкие к нейтральным	5,6–6,0
6	Нейтральные	Более 6,0

Приложение 5

Группировка почв по сумме поглощенных оснований

№ группы	Сумма поглощенных оснований	мг-экв./100 г почвы
1	Очень низкая	Менее 5,0
2	Низкая	5,1–10,0
3	Средняя	10,1–15,0
4	Повышенная	15,1–20,0
5	Высокая	20,1–30,0
6	Очень высокая	Более 30,0

Приложение 6

Группировка почв по степени насыщенности основаниями

№ группы	Степень насыщенности основаниями	%
1	Очень низкая	Менее 30,0
2	Низкая	30,1–50,0
3	Средняя	50,1–70,0
4	Повышенная	70,1–90,0
5	Высокая	Более 90,0

Приложение 7

Группировка почв по содержанию обменных кальция и магния

№ группы	Содержание элементов	Ca	Mg
		мг-экв/100 г почвы	
1	Очень низкое	0–2,5	Менее 0–0,5
2	Низкое	2,6–5,0	0,6–1,0
3	Среднее	5,1–10,0	1,1–2,0
4	Повышенное	10,0–15,0	2,1–3,0
5	Высокое	15,1–20,0	3,1–4,0
6	Очень высокое	Более 20,0	Более 4,0

Приложение 8

Группировка почв по содержанию гидролизуемого азота, определяемого по методам Тюрина-Кононовой, Корнфилда

№ группы	Содержание гидролизуемого азота	По методу	
		Тюрина-Кононовой	Корнфилда
		мг/кг почвы	
1	Очень низкое	Менее 30	Менее 100
2	Низкое	31–40	101–150
3	Среднее	41–50	151–200
4	Повышенное	51–70	Более 200
5	Высокое	71–100	
6	Очень высокое	Более 100	

Группировка почв по нитрификационной способности,
определяемой по методу Кравкова

№ группы	Нитрификационная способность	NO ₃ мг/кг почвы
1	Очень низкая	Менее 5,0
2	Низкая	5,1–8,0
3	Средняя	8,1–15,0
4	Повышенная	15,1–30,0
5	Высокая	30,1–60,0
6	Очень высокая	Более 60,0

Группировка почв по содержанию подвижных форм фосфора

Группа почв*	Содержание подвижных форм фосфора	P ₂ O ₅ , мг на 100 г почвы		
		по Кирсанову (в 0,2 н HCl), для дерново- подзолистых и серых лесных почв	по Чирикову (в 0,05 н CH ₃ COOH), для некарбо- натных черно- земов	по Мачигину (в 1% (NH ₄) ₂ CO ₃), для карбонат- ных черно- земов, каштановых и др.
1	Очень низкое	< 2,5	< 2	< 1
2	Низкое	2,5–5,0	2,0–5,0	1,0–1,5
3	Среднее	5,0–10,0	5,0–10,0	1,5–3,0
4	Повышенное	10,0–15,0	10,0–15,0	3,0–4,5
5	Высокое	15,0–25,0	15,0–20,0	4,5–6,0
6	Очень высокое	>	> 20	> 6,0

* 2 – низкое для зерновых; 3 – низкое для кормовых, корнеплодов и картофеля; 4 – низкое для овощных, citrusовых, винограда.

Приложение 11

Группировка почв по содержанию обменного калия

Группа почв*	Содержание обменного калия	K ₂ O, мг на 100 г почвы			
		по Кирсанову	по Масловой	по Чирикову для некарбонатных черноземов	по Мачигину, для карбонатных черноземов, каштановых и др.
		для дерново-подзолистых и серых лесных почв			
1	Очень низкое	< 4	< 5	< 2	< 5
2	Низкое	4–8	5–10	2–4	5–10
3	Среднее	8–12	10–15	4–8	10–20
4	Повышенное	12–17	15–20	8–12	20–30
5	Высокое	17–25	20–30	12–18	30–40
6	Очень высокое	> 25	> 30	> 18	> 40

* 2 – низкое для зерновых; 3 – низкое для кормовых и картофеля; 4 – низкое для овощных, citrusовых, винограда.

Приложение 12

Группировка почв по содержанию подвижных форм микроэлементов, определяемых по методу Пейве-Ринькиса

Элемент	Экстрагирующий раствор	Градации почв по содержанию микроэлементов мг/кг		
		низкое	среднее	высокое
Марганец	0,1 и H ₂ SO ₄	<30	31–70	>70
Цинк	1 и KC1	<0,7	0,8–1,5	>1,5
Медь	1 и KC1	<1,5	1,6–3,3	>3,3
Кобальт	1 и HNO ₃	<1,0	1,1–2,2	>2,2
Бор	H ₂ O	<0,33	0,34–0,7	>0,70
Молибден	Оксалатно-буферный раствор с pH 3,3	<0,10	0,11–0,22	>0,22

Группировка почв по содержанию подвижных форм
микроэлементов, определяемых в вытяжке ацетатно-аммонийного
буферного раствора (рН 4,8)

Элемент	Градации почв по содержанию микроэлементов, мг/кг		
	низкое	среднее	высокое
Марганец	<10	10,0–20,0	>20,0
Цинк	<2,0	2,1–5,0	>5,0
Медь	<0,20	0,21–0,50	>0,50
Кобальт	<0,15	0,16–0,30	>0,30

ЛИТЕРАТУРА

1. Агеец, В.Ю. Система радиозкологических контрмер в агросфере Беларуси / В.Ю. Геец // Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Институт радиологии». – Минск, 2001. – 250 с.
2. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий / Под редакцией академика РАСХН В.И. Кирюшина и академика РАСХН А.Л. Иванова. – М.: ФГНУ "Росинформагротех", 2005. – 794 с.
3. Агроэкологическая характеристика пахотных почв Российской Федерации по содержанию тяжелых металлов, мышьяка и фтора (по состоянию на 01.01.2000 г.). – М.: Агроконсалт, 2002. – 50 с.
4. Агроэкология / 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.
5. Агроэкология. Методология, технология, экономика / В.А. Черников, И.Г. Грингоф, В.Т. Емцев и др.; Под ред. В.А. Черникова, А.И. Чекереса. – М.: КолосС, 2004. – 400 с.
6. Акулов, П.Г. Воспроизводство плодородия и продуктивность черноземов / П.Г. Акулов. – М.: Колос, 1992. – 223 с.
7. Алексахин, Р.М. Сельскохозяйственная радиозкология / Р.М. Алексахин, А.В. Васильев, В.Г. Дикарев и др. // Монография. – М.: Экология, 1992. – 400 с.
8. Андроханов, В.А. Техноземы: свойства, режимы, функционирование / В.А. Андроханов, С.В. Овсянникова, В.М. Курачев. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. – 200 с.
9. Боул, С.В. Генезис и классификация почв / С.В. Боул, Ф.Д. Хоул, Р.Дж. Мак-Крекен. – М.: Прогресс, 1977. – 417с.
10. Булгаков, Д.С. Агроэкологическая оценка пахотных почв // РАСХН, Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2002.
11. Васенёв, И.И. Организация агроэкологического мониторинга черноземов ЦЧО / И.И. Васенёв, Д.А. Букреев, А.П. Щербаков // Агроэкологическое состояние черноземов ЦЧО. – Курск, 1996. – С. 313–318.
12. Васенев, И.И. Оценка почвенного покрова агроландшафтов по физико-химическим и экологическим параметрам / И.И. Васенев, Д.А. Букреев // Модели управления продуктивностью агроландшафта. – Курск, 1998. – С.59–65.
13. Васенев, И.И. Автоматизированные системы агроэкологической оценки земель / И.И. Васенев, А.В. Бузылев. – М.: РГАУ-МСХА, 2010. – 174 с.
14. Васенев, И.И. Агроэкологическое моделирование и проектирование / И. И. Васенев, А.В. Бузылев, Ю.А. Курбатова и др. – М.: РГАУ-МСХА. 2010. – 260 с.
15. Васенёв, И.И. Базовый агроэкологический мониторинг в ЦЧЗ / И.И. Васенёв, А.П. Щербаков // Информационно-справочные системы по оптимиза-

ции землепользования в условиях ЦЧЗ (под ред. И.И. Васенева и Г.Н. Черкасова). – Курск, 2002. – 110 с.

16. Васенев, И.И. Базовый агроэкологический мониторинг / И.И. Васенев, А.П. Щербаков, Э.Г. Васенева, М.Ю. Дегтева // Методическое пособие и нормативные материалы для разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия. – Курск, 2001. – С. 143-152.

17. Герасименко, В.П. Практикум по агроэкологии: учебное пособие / В.П. Герасименко. – СПб.: Изд-во «Лань», 2009. – 432 с.

18. Глазовская, М.А. Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям. – М.: МГУ, 1997. – 102 с.

19. Гогмачадзе Г.Д. Агроэкологический мониторинг почв и земельных ресурсов Российской Федерации. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2010. – 592 с.

20. Гогмачадзе Г.Д. Деградация почв: причины, следствия, пути снижения и ликвидации. М.: Издательство МГУ им. М.В. Ломоносова. – 2011. – 272 с.

21. Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Российской Федерации за 1999 г.». М.: Государственный центр экологических программ, 2000. 579 с.

22. Державин, Л.М. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения / Л.М. Державин, Д.С. Булгаков и др. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. – 240 с.

23. Добровольский, Г.В. География почв / Г.В. Добровольский, И.С. Урусевская. – М.: МГУ, 2004. – 416 с.

24. Добровольский, Г.В. Экологические функции почвы / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М.: МГУ, 1986. – 137 с.

25. Добровольский, Г.В. Функции почв в биосфере и экосистемах / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М.: Наука, 1990. – 261 с.

26. Добровольский, Г.В. Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М.: Наука, 2000. – 185 с.

27. Доклад Министерства природных ресурсов «О состоянии и охране окружающей среды в Российской Федерации в 2005 г.», 2006, раздел 7. – С. 95.

28. Ильин, Б.В. Тяжёлые металлы в системе почва-растение. – М.: Наука, 1991. – 151 с.

29. Имитационная модель роста сельскохозяйственных растений WOFOST и ее использование для анализа продуктивности земель России / под ред. И.Ю. Савина, В.С. Столбового и К. Ван Диепена. – М., 2001 – 216 с.

30. Информационно-справочные системы по оптимизации землепользования в условиях ЦЧЗ / под ред. И.И. Васенёва и Г.Н. Черкасова. – Курск, 2002. – 110 с.

31. Карманов, И.И. Ландшафтно-сельскохозяйственная типизация территории / И.И. Карманов, Д.С. Булгаков. – М., 1997. – 110 с.

32. Карпачевский, Л.О. Экологическое почвоведение. – М.: МГУ, 1993. – 184 с.

33. Карпачевский, Л.О. Динамика свойств почвы. – М.: ГЕОС, 1997. – 170

с.

34. Кауричев, И.С. Структура почвенного покрова и типизация земель / Кауричев И.С., Романова Т.А., Сорокина Н.П. – М.: МСХА, 1992.

35. Кирюшин, В.И. Экологические основы земледелия. – М.: Колос, 1996. – 366с.

36. Кирюшин, В.И. Классификация почв и агроэкологическая типология земель / В.И. Кирюшин – Изд-во «Лань». – 2011. – 288 с.

37. Классификация почв России /Составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева. – М.: Почвенный ин-т,1997. – 236 с.

38. Козловский, Ф.И. Современные естественные и антропогенные процессы эволюции почв. – М.: Наука, 1991. – 196 с.

39. Кузнецов, М.С. Эрозия и охрана почв / М.С. Кузнецов, Г.П. Глазунов. – М.: МГУ, 1996. – 335 с.

40. Лопырев, М.И. Агрорландшафты и земледелие / М.И. Лопырев, С.А. Макаренко. – Воронеж: ВГАУ, 2001. – 168 с.

41. Методика агроэкологической типизации земель в агрорландшафте / информационно-справочные системы оценки их ресурсного потенциала и оптимизации базовых элементов систем земледелия // Рос. акад. с.-х. наук, Всерос. науч.-исслед. ин-т земледелия и защиты почв от эрозии. Под ред. И.И. Васенева. – Москва: Россельхозакадемия, 2004. – 80 с.

42. Методика и технология почвенно-экологической оценки и бонитировки почв для сельскохозяйственных культур / составитель И.И. Карманов. – М.: ВАСХНИЛ, 1990. – 114 с.

43. Методические указания по контролю и изучению фитотоксичности остаточных количеств гербицидов. – М.: ЦИНАО, 1986. – 36 с.

44. Методические указания по определению баланса питательных веществ азота, фосфора, гумуса, кальция / В.Г. Сычев, П.Д. Музыкантов, М.К. Панкова. – М.: ЦИНАО, 2000. – 40 с.

45. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – М.: ЦИНАО, 1992. – 61 с.

46. Методическое пособие и нормативные материалы для разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия / под ред. А.Н. Каштанова, А.П. Щербакова, Г.Н. Черкасова. – Тверь, 2001. – 260 с.

47. Минеев, В.Г. Агрохимия, биология и экология почвы / В.Г. Минеев, Е.Х. Ремпе. – М.: Росагропромиздат, 1990. – 206 с.

48. Муха, В.Д., Агрочвоведение / В.Д.Муха, Н.И.Картамышев, Д.В. Муха // Учебники и учеб. пособия под ред. В.Д. Мухи для студентов высш. учеб. заведений). – М.: КолосС, 2003. – 528 с.

49. Муха, Д.В. Плодородие почв и развитие человечества. – Курск: КСХА, 2001. – 56 с.

50. Овчаренко, М.М. Тяжелые металлы: в системе почва-растение-удобрение. – М.: Пролетарский светоч, 1997. – 290 с.

51. Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2042-06 / Подготовлены

коллективом авторов в составе: Н.В. Русаков, И.А. Крятов, Н.И. Тонкопий, Ж.Ж. Гумарова, Н.В. Пиртахия (ГУ НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина РАМН); А.П. Веселов (Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека). Введены в действие постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 23 января 2006 г. № 2 с 1 апреля 2006 г.:

<http://www.gosthelp.ru/text/GN217204206Orientirovochn.html>

52. Оценка качества окружающей среды и экологическое картографирование. – М., 1995. – 213 с.

53. Плодородие почв и устойчивость земледелия /под ред. И.П. Макарова и В.Д. Мухи. – М.: Колос, 1995. – 288 с.

54. Почвенно-экологический мониторинг / под ред. Д.С. Орлова и В.В. Васильевской. – М.: МГУ, 1994. – 272 с.

55. Приходько, В.Е. Орошаемые степные почвы: функционирование, экология, продуктивность. – М.: Интеллект, 1996. – 168 с.

56. Проблемы агроэкологического мониторинга в ландшафтном земледелии. М.: ВИУА, 1994. – 87 с.

57. Региональные эталоны почвенного плодородия / Л.Л. Шишов, Д.С. Булгаков, И.И. Карманов и др.). – М., 1991. – 274 с.

58. Система оценки степени деградации земель. – Пущино, 1992. – 19 с.

59. Солнцева, Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. – М.: МГУ, 1998. – 374 с.

60. Сорокина, Н.П. Агроэкологическая группировка и картографирование пахотных земель для обоснования адаптивно-ландшафтного земледелия (Методические рекомендации). – М.: Почв. Ин-т, 1995. – 108 с.

61. Степи Русской равнины: состояние, рационализация аграрного освоения. – М.: Наука, 1994. – 212 с.

62. Структурно-функциональная роль почвы в биосфере / под общ. ред. Г.В. Добровольского. – М.: ГЕОС, 1999. – 278 с.

63. Сычев, В.Г. Тенденции изменения агрохимических показателей плодородия почв Европейской части России. – М.: ЦИНАО, 2000. – 187 с.

64. Черногоров, А.Л. Агроэкологическая оценка земель и оптимизация землепользования / Л.А. Черногоров, П.А. Чекмарев, И.И. Васенев, Г.Д. Гогмачадзе. – М.: Изд-во Московского университета, 2012. – 268 с.

65. Щеглов, Д.И. Черноземы центра Русской равнины и их эволюция под влиянием естественных и антропогенных факторов. – М.: Наука, 1999. – 214 с.

66. Щербаков А.П. Вековая динамика, экологические проблемы и перспективы использования черноземов / А.П. Щербаков, И.И. Васенев, Ф.И. Козловский, И.А. Крупеников, И.И. Лебедева, Д.И. Щеглов. – Курск, 1996. – 59 с.

67. Эрозия почв России: монография / А. Н. Каштанов, Л. Л. Шишов, В. А. Рожков [и др. ; под общ. науч. ред. А. Н. Каштанова и др.]; Рос. акад. с.-х. наук, Почв. ин-т им. В. В. Докучаева. – Москва: Почв. институт, 2004. – 76 с.

68. Эрозия почв: науч. тр. / Рос. акад. с.-х. наук, Почв. ин-т им. В. В. Докучаева; [отв. ред. А. Н. Каштанов]. – Москва: Почв. институт, 2007. – 322 с.

69. Duchaufour, P. Handbook of pedology. A. A. Balkema. 1998. – 264 p.

70. Handbook of soil science (M.E. Sumner ed.). CRC Press. 2000.
71. Land evaluation. Part III. Crop requirements (Sys, I.C., Van Ranst, E., Debaveye, I.J., Beernaert). ITC. 1993. – 200 p.
72. Rossiter, D.J., van Wambeke, A. Automated Land Evaluation System. Cornell University. 1995.
73. Schnug E., Murphy D., Evans E., Haneklaus S., Lamp J. Yield mapping and application of yield maps to computer-aided local resource management // Soil Specific Crop Management. 1993. P. 87-93.
74. Thompson W.I I., Robert P.C. Evaluation of mapping strategies for variable rate applications // Site-Specific management for Agricultural Systems Proc. of the 2nd Int. Conf. ASA, CSSA, SSSA/ 1994. P. 303-323.

Николай Петрович Чекаев
Александр Юрьевич Кузнецов

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗЕМЕЛЬ

Учебное пособие
для бакалавров, обучающихся по направлению
35.03.03 – Агрохимия и агропочвоведение

Редактор
Компьютерный набор
Корректор

Н.П. Чекаев
А.Ю. Кузнецова
Л.А. Артамонова

Подписано в печать

Бумага Гознак Print

Усл. печ. л. 12,2

Формат 60×84 1/16

Отпечатано на ризографе

Заказ №

Тираж 50 экз.

РИО ПГСХА

440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30