МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

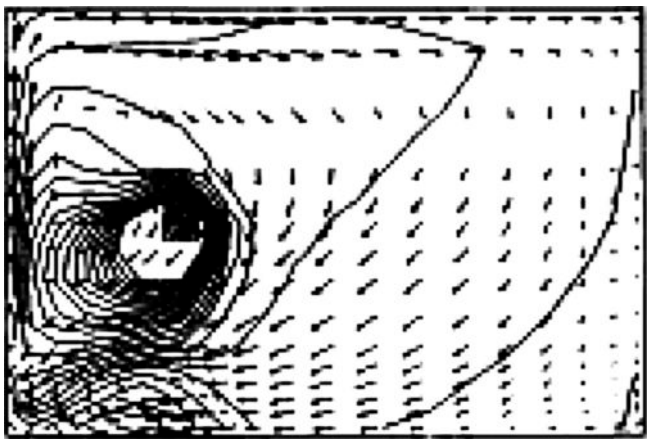
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ – МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА

Серия «Экологическое знание». Выпуск 1

А.М. Ярославцев, Ю.Л. Мешалкина, И.И. Васенев

Математическое моделирование и прогнозирование при проведении экологического проектирования и ОВОС

Учебное пособие



Москва
Издательство
2015

УДК 504.54: 631.42
ББК 40.35:85-118-7
Р33

Интерактивный модульный курс «ГИС технологии для оценки воздействия землепользования на окружающую среду» по программе Темпус STREAM (530397-TEMPUS-1-2012-1-SK-TEMPUS-SMHES) «Развитие обучения в течение всей жизни в области оценки воздействия на окружающую среду и экологического менеджмента в России»

Издание осуществлено при поддержке программы TEMPUS, грант Европейской Комиссии № 530397-TEMPUS-1-2012-1-SK-TEMPUS-SHMES, «STREAM»

А.М. Ярославцев, Ю.Л. Мешалкина, И.И. Васенев «Математическое моделирование и прогнозирование при проведении экологического проектирования и ОВОС» Учеб. пособие / А.М. Ярославцев, Ю.Л. Мешалкина, И.И. Васенев: _____, 2015. – 106 с.

В учебном пособии в интерактивной форме представлены современные представления о геоинформационных системах и их применении в почвоведении и экологии для решения актуальных экологических и агроэкологических проблем. Основное внимание уделено вопросам взаимодействия геоинформатики, картографии и дистанционного зондирования, и эффективного применения ГИС для оценки воздействия землепользования на окружающую среду.

Предназначено для магистров, аспирантов, экологов – практиков, экспертов – экологов, а также преподавателей, научных сотрудников.

Рецензенты – доктор биологических наук, чл.-корр. РАН профессор МГУ имени М.В. Ломоносова С.А. Шоба,

– доктор биологических наук, профессор РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева М.А. Мазиров.

ISSN

© Ярославцев А.М., Мешалкина Ю.Л., Васенев И.И. 2015
© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2015
© Программа TEMPUS
© Издательство _____ , 2015

Оглавление

Введение **5**

Учебный модуль 1. Теоретические и методические основы моделирования при проведении ОВОС **7**

Модульная единица 1.1. Критерии того, что моделирование необходимо для ОВОС 9

Модульная единица 1.2. Анализ проблемы как основа моделирования . 12

Модульная единица 1.3. Процесс моделирования и проверки модели ... 15

Учебный модуль 2. Моделирование ОВОС как раздел экотоксикологии **20**

Модульная единица 2.1 Введение в экотоксикологию ее связь с ОВОС 22

Модульная единица 2.2 Токсикометрия 26

Модульная единица 2.3. Методы расчета среднеэффективной дозы токсикантов 28

Модульная единица 2.4 Расчет LD_{50} по методу Беренса 30

Модульная единица 2.5 Аккумуляция токсикантов 32

Модульная единица 2.6 Комбинированное действие ядов 34

Учебный модуль 3. Моделирование рисков воздействия загрязняющих веществ на агроценозы **43**

Модульная единица 3.1. Агроэкологические функции почв и земель 45

Модульная единица 3.2. Современные задачи агроэкологической оценки почв и земель 47

Модульная единица 3.3. Федеральный уровень информационно-методического обеспечения агроэкологической оценки земель 52

Модульная единица 3.4. Региональный уровень информационно-методического обеспечения агроэкологической оценки земель 54

Модульная единица 3.5 Задачи разработчика на региональном уровне . 58

Модульная единица 3.6 Локальный уровень информационно-методического обеспечения агроэкологической оценки земель 62

Учебный модуль 4. Оценка и прогнозирование антропогенного воздействия на почвы **71**

Модульная единица 4.1. Экологическая оценка почв, загрязненных тяжелыми металлами 72

Модульная единица 4.2. Экологическая оценка почв, загрязненных радионуклидами 76

Модульная единица 4.3. Экологическая оценка деградации агроландшафтов и почв 81

Учебный модуль 5. Моделирование поведения веществ в воздушной среде..... 84

Модульная единица 5.1 Основные подходы к моделированию поведения веществ в воздушной среде 86

Модульная единица 5.2 Основы метеорологии для моделирования загрязнения воздушной среды..... 88

Модульная единица 5.3 Эффекты полютантов на атмосферу 91

Модульная единица 5.4 Моделирование и прогнозирование загрязнения воздуха 96

Модульная единица 5.5 Методы моделирования загрязнения воздуха .100

Заключение к курсу 110

Глоссарий 112

Введение

Интерактивный модульный курс «**Математическое моделирование и прогнозирование при проведении экологического проектирования и ОВОС**», разработанный на кафедре экологии по программе ***Темпус STREAM (530397-TEMPUS-1-2012-1-SK-TEMPUS-SMHES)*** реализуется на факультете почвоведения, агрохимии и экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Местом проведения подготовки магистров являются научно-исследовательские лаборатории: лаборатория кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева «Лаборатория агроэкологического мониторинга, моделирования и прогнозирования экосистем».

Интерактивный модульный курс **«Математическое моделирование и прогнозирование при проведении экологического проектирования и ОВОС»** представляет собой разработку, составленную на основе анализа опубликованной в России научной, научно-методической и учебной литературы, нормативных и нормативно-методических документов, а также материалов оценки воздействия на окружающую среду различных производств сельского хозяйства.

Согласно философии ОВОС оценка воздействия должна быть получена до начала самого воздействия, т.е. носить превентивный характер. В большинстве случаев этого невозможно достичь без активного использования методов математического моделирования.

Модели, в целом, нужны для представления сложной системы понятным способом. Они принимают много форм, начиная «с концептуальных моделей», которые объясняют способ, которым система работает, включая все факторы и параметры того, как, например, загрязнитель перемещается после его выброса.

Курс сконцентрирован на проблеме моделирования перемещения полютантов в различных средах, но для раскрытия этой темы необходимо сначала дать представление о том, что может являться загрязняющим веществом, что невозможно сделать без экотоксикологии. Она изучает источники поступления вредных веществ в окружающую среду, их распределение и превращение в окружающей среде, действие на живые организмы. Практическими результатами исследований являются разработка рекомендаций и проведение правовых, технологических, медицинских и санитарно-гигиенических мероприятий по контролю и снижению уровня загрязнений, что соответствует философии ОВОС. Рассмотренные в курсе процессы поступления, распространения и превращения загрязняющих веществ в окружающей среде очень сложны

и представляют собой самостоятельный раздел экотоксикологии подходы которого, особо важный для дела моделирования в ОВОС.

Случай попадании полютантов в грунты и почвы следует рассматривать с двух сторон, с одной стороны почвы являются самостоятельным биокостным телом с огромным количеством экосистемных функций и таким образом важны для ОВОС сами по себе. С другой стороны, основной функцией почв с практической точки зрения для людей была и остается способность почв быть средой для производства урожая сельскохозяйственными культурами. Таким образом становится очевидно, что наравне с рассмотрением нанесением повреждения полютантом почве как таковой, необходимо отдельное рассмотрение подходов к оценке рисков воздействия загрязняющих веществ на агроценозы, что и было проделано в нашем курсе.

Одной из идей, положенных в систему организации курса, помимо попытки разностороннего освещения проблемы моделирования в ОВОС, является постепенное усложнение материала по ходу ознакомления с ним студента. Поэтому в качестве последнего модуля было решено представить материалы по теме моделирования поведения веществ в воздушной среде. Если предыдущие темы концентрировались в основном на подходах формирования моделей, правильном их подборе и использовании, то модуль «Моделирование поведения веществ в воздушной среде» посвящен математической составляющей курса, что связано с тем, что модели распространения вещества в воздушной среде на данный момент являются наиболее полно развитыми и неоднократно верифицированными.

Учебный модуль 1. Теоретические и методические основы моделирования при проведении ОВОС

Вы будете изучать:

- критерии того, что для решения задач ОВОС необходимо моделирование;
- отличия линейных и нелинейных моделей;
- отличия детерминистических и вероятностных моделей;
- анализ проблемы как основа моделирования;
- что такое "анализ чувствительности";
- что понимается под термином "очерчивание проблемы";
- что понимается под стратегической оценкой проблемы;
- использование таблицы взаимодействий при моделировании;
- задачи, которые при моделировании ОВОС решает прикладной математик;
- чем отличаются детерминистические и вероятностные модели;
- в чем состоит подход Монте-Карло при моделировании;
- использование входных и выходных данных;
- процедуру проверки модели;
- основные тенденции в развитии экологического моделирования.

Цели модуля:

- дать базовое представление о моделировании в целом;
- показать важность верификации моделей;
- создать представление об алгоритмике моделирования;
- показать основные типы моделей и способы подбора оптимальной;
- показать важность математического моделирования при проектировании в ОВОС.

После изучения модуля вы сможете:

- использовать критерии для того, чтобы оценить нужно ли моделирование для решения задач ОВОС ;
- находить отличия линейных и нелинейных моделей;
- находить отличия детерминистических и вероятностных моделей;
- находить отличия стационарных и динамических моделей;
- находить отличия прогностических моделей и моделей принятия решений;
- проводить "анализ проблемы" для начала моделирования в области ОВОС;

- знать, что такое "анализ чувствительности";
- знать, что понимается под термином "очерчивание проблемы";
- знать, что понимается под стратегической оценкой проблемы;
- знать использование таблицы взаимодействий при моделировании;
- понимать задачи, которые при моделировании ОВОС решает прикладной математик;
- знать, в чем состоит подход Монте-Карло при моделировании;
- знать отличия и использование входных и выходных данных;
- описывать процедуру проверки модели;
- перечислять основные тенденции в развитии экологического моделирования.

Ключевые слова: моделирование, линейные и нелинейные модели, анализ чувствительности, таблица взаимодействий, подмодули, метод Монте-Карло, проверка модели, настройка модели, вероятностные и детерминистские модели, входные и выходные параметры

Библиографический список

Основная литература

1. Environmental impact assessment in Australia, theory and practice (6th edition) Mandy Elliott, The Federation Press, Sydney, Australia, 2014. xiv + 348 pp.
2. Jay, S. , Jones, C. , Slinn, P. and Wood, C. . Environmental impact assessment: retrospect and prospect. (2007) Environmental Impact Assessment Review, 27 (4). pp. 287-300.
3. Petts J, editor. Handbook of environmental impact assessment. Oxford: Blackwell; 1999b.

Дополнительная литература

1. Агроэкология (под ред. В.А. Черникова и А.И. Чекереса). М.: Колос. 2000. 535 с

2. Richardson T. Environmental assessment and planning theory: four short stories about power, multiple rationality, and ethics. Environ Impact Assess Rev 2005;25: 341–65.

3. Wood CM. Environmental impact assessment: a comparative review. second ed. Harlow: Prentice Hall; 2003..

Модульная единица 1.1. Критерии того, что моделирование необходимо для ОВОС

Модель (в науке) – это описание объекта (предмета, процесса или явления) на каком-либо формализованном языке, составленное с целью изучения его свойств. Такое описание особенно полезно в случаях, когда исследование самого объекта затруднено или физически невозможно. Процесс построения и исследования модели называется *моделированием*. Таким образом, модель выступает как своеобразный инструмент для познания, который исследователь ставит между собой и объектом и с помощью которого изучает интересующий его объект.

Модели, используемые в ОВОС, являются упрощенным представлением реальности.

Можно ли изготовить идеальную копию реальности?

Невозможно изготовить идеальную копию реальности, но если мы можем сымитировать наиболее важные характеристики этой реальности, то модель будет узнаваема и полезна.

Нужно иметь ввиду, что не всегда результаты моделирования могут быть проверены, это особенно касается альтернатив управленческих решений, которые не были и никогда не будут реализованы. Например, если рассматриваются три или четыре альтернативные площадки для атомной электростан-

ции, то для проверки будут доступны данные только той альтернативы, которая была выбрана, и то, только через несколько лет или даже десятилетий спустя. Прогнозы же для других альтернатив не могут быть проверены.

? *Следует ли использовать имитационную модель?*

В каких случаях можно ограничиться методами для упорядочивания информации, для отображения связей между элементами и для оценки альтернатив, а в каких случаях нужно переходить к моделированию? Предлагаем рассмотреть ряд критериев.

Объем данных

Наиболее известной особенностью компьютеров является их способность обрабатывать большие объемы данных. Как правило, такие данные относятся к нескольким простым категориям: например, часы работы и зарплата позволяют быстро провести расчеты выплат. Для такого типа задач объем и скорость расчетов поражают воображение.

Критерий 1. Если Ваше исследование требуют выполнения большого числа несложных вычислений, то вычисления на компьютере на основе математической модели обычно будут желательными.

Сложность отношений между элементами окружающей среды

Взаимосвязанный характер элементов окружающей среды значительно усложняет оценку воздействий, поскольку взаимосвязь между этими элементами часто является далеко не простой. Если мы имеем два взаимосвязанных элемента, очевидное предположение состоит в том, что, когда мы слегка меняем один элемент, другой элемент будет меняться незначительно и пропорционально. Такие отношения называются "линейными". Однако очень часто для природных или социальных систем, предположение о линейности взаимосвязи является ложным. Действие может произвести некоторый отклик, но увеличение воздействия может существенно и не увеличить отклик. Наоборот, при постепенном увеличении действие может производить незначительные изменения до тех пор, пока не будет достигнута точка, в которой происходит резкое изменение отклика. Два последних типа отношений называются «нелинейными».

В первом случае мы можем более или менее оценить вероятные последствия усиления воздействий, предполагая линейность отклика; в последнем, мы не сможем предвидеть потенциальную катастрофу.

Изучение возможного влияния нелинейности и косвенных связей часто возможно за счет использования математических моделей, и где нелинейности могут быть изучены с использованием компьютеров.

Критерий 2. Если есть много сложных связей между элементами при оценке ОВОС, использование компьютерной модели будет иметь большую ценность.

Связи между элементами, меняющиеся во времени

Природный мир не является статичным. Потоки энергии и вещества, и изменения в этих потоках, не только обычные, но и иногда необходимые для поддержания жизнеспособности экосистемы. Условия, которые кажутся статическими могут быть медленно меняющимися или могут представлять лишь временное равновесное состояние среди нескольких процессов, действующих в противоположных направлениях. Особое значение имеет необходимость поиска возможных механизмов обратной связи между различными экологическими, социологическими и экономическими процессами.

Иногда не только масштаб изменений, но и скорость, с которой эти изменения будут происходить влияют на конечное равновесное состояние системы.

В других случаях изменения могут видоизменяться и приводить к последствиям, которые будут ощущаться долго после того, как проект будет завершен. Если, для каждой пары связей, которые влияют на изменения может быть определена скорость, с учетом задержек и временных лагов, то в целом изменения можно достаточно точно оценить. В математических терминах, анализ будет динамическим (зависящие от времени) и не статическим.

Критерий 3. Если моделируемые процессы зависят от времени, то компьютерное моделирование обычно полезно.

Неопределенность

Вполне вероятно, что лишь очень немногие из элементов и параметров модели будут простыми, как "ширина пути' или 'высота плотины'. Многие будут иметь широкие пределы их возможных значений, либо из-за отсутствия знаний, или потому что они действительно варьируют в пространстве и времени.

Анализ моделирования стока, основанный на средних значениях, будет не в состоянии объяснить воздействие, возникающее раз в год или раз-в-столет в результате экстремальных событий. Даже, когда варьируют несколько входных параметров, точность предсказания будет иллюзорной. Везде где это возможно, лучшим подходом будет начать с частотных распределений для

всех соответствующих входных переменных. С компьютерной моделью изучения последствий различных комбинаций значений параметров это является относительно легкой задачей.

Критерий 4. Если некоторые или все взаимосвязи элементов могут быть определены только в терминах статистической вероятности, или в виде диапазона значений входных параметров, тогда компьютерная модель точно будет полезна.

Расходы

И наконец: сколько это будет стоить? Затраты варьируются от страны к стране, поэтому разумнее описать минимальные требования в отношении персонала и объектов. Наименьшим необходимым количеством стоит считать коллектив из трех ученых (имеющих, между ними, опыт в нескольких ресурсных областях и в моделировании), одного программиста, и секретаря. Кроме того, там должен быть доступ к небольшому компьютеру, данным и ресурсу специалистов других областей.

Критерий 5. Построение компьютерной модели для проведения ОВОС потребует не менее трех профессиональных сотрудников, двух вспомогательных сотрудников, и доступ к маленькому компьютеру и к необходимым данным и специалистам.

Модульная единица 1.2. Анализ проблемы как основа моделирования

Основные критерии, описанные выше, предполагают, что, независимо от очевидной сложность проблемы, мы можем по крайней мере попытаться использовать модель в ОВОС.

Стратегия будет зависеть от оценки проблемы, которая может быть выполнена только после того, как мы разделим саму проблему в круг вопросов, которые следует поставить и оценить их масштаб и сложность.

Основным практическим ограничением обычно является время, а также необходимые средства вычислительной техники, и людей, обладающих необходимыми знаниями для разработки модели и подготовки программ.

Стратегическая оценка проблемы

Для любого серьезного развития, всегда существует множество возможных альтернатив. Обычно, самым очевидным предложением для развития в

конкретном регионе является то, при котором ожидается получение максимальной выгоды (экономической, социальной и др.), если прогноз оправдается. Однако, важно найти альтернативу, которая будет иметь минимальную стоимость, если дела пойдут плохо. Кроме того, желательно поискать альтернативы с высокой вероятностью успеха, даже если потенциальная польза не очень высока.

Например, в плане развития для конкретного региона, предложение может заключаться в том, чтобы построить одну крупную мазутную электростанцию. Это подход при «максимуме выгоды». Однако последствия при сбое в предположениях ОВОС могут привести к неприемлемому ухудшению качества воздуха. Мы можем, поэтому, как альтернативу, рассмотреть вопрос о строительстве ряда электростанций малой мощности, так что выбросы от каждой из них по отдельности не влияли на весь регион. Этот вариант может оказаться менее эффективным, с традиционной точки зрения, но безопаснее, чем строительство большой электростанции, и может рассматриваться как подход, основанный на «минимальной цене ошибки». Наконец, мы могли бы предложить строительство средних станций в запланированной последовательности, изменяя проект, когда неожиданные негативные эффекты начнут обнаруживаться. Это будет подход «максимальной вероятности успеха» и, хотя, он может быть менее эффективным, чем первый вариант, но повлечет за собой меньше риска.

Вышеуказанные три точки зрения (т. е. по максимум выгоды, минимум затрат на провал и с максимальной вероятностью успеха) можно выделить в каждом крупном этапе планирования развития.

Персонал

Теперь, когда вы построили стратегические ограничения и оценили проблему, первой задачей является потребность собрать в одном месте всю имеющуюся информацию и выявить людей, которые могут внести свой вклад в разработку модели. Как правило, это специалисты различного рода, включая системных аналитиков и программистов. Некоторые из этих людей будут консультантами, которые смогут помочь персоналу, и некоторые из них должны обладать широким «политическим» видением проблемы.

Что вы попросите их сделать? Существует несколько определенных принципов, которые могут быть полезны.

Организация и идентификация переменных

1. Организовать переменные в отдельные классы по некоторым общим свойствам.

2. Сформулировать гипотезы о взаимодействиях между классами переменных и проиллюстрировать их графически.
3. Определить для каждого взаимодействия все разумные альтернативные гипотезы и сделать приблизительные оценки максимумов, минимумов и порогов.

Определение степеней точности. Когда проблема может быть разделена на подсистемы, важно иметь приблизительно одинаковую степень точности в каждой из подсистем. Лучший способ сделать это - провести первоначальную оценку требуемой или возможной точности для каждой из подсистем, определить основные входы и выходы данных. Выбор соответствующего уровня точности зависит от точности ответов на вопросы, на которые вы хотели бы получить ответы, время, отведенное на изучение, и качество данных.

Строительство технологической схемы. Широкий выбор возможностей доступен для создания схем на основе теории управления, кибернетики и теории информации.

Таблица взаимодействий. Если отдельные подсистемы анализируются независимыми подгруппами вашего персонала, одной из наиболее сложных задач является обеспечение эффективного взаимодействия между подмоделями.

Приведенная выше последовательность этапов может быть разработана очень быстро, например, после того, как данные для исследования залива Джеймст были обобщены, группа из 20 участников семинара выполнила все вышеуказанные действия за два дня.

Три блока информации необходимо собрать на следующем шаге анализа:.

1. Вы должны определить важнейшие элементы системы или переменные и их взаимодействия.
2. Вы должны выявить и систематизировать ключевые показатели воздействия по отношению к общей цели проекта.
3. Необходимо указать политику управления или действий, которые вместе определяют каждый конкретный план.

Модульная единица 1.3. Процесс моделирования и проверки модели

Теперь, когда проблема определена в терминах ее границ, ее подсистем, ее возможных переменных и их соединения, можно начать собственно процесс моделирования. Именно в этот момент экспертиза, выполненная прикладным математиком, который уже используется в качестве консультанта в стратегическом и тактическом определении проблемы, приобретает первостепенное значение.

Математик будет осуществлять выбор модели, которая будет использоваться. В этом, он будет руководствоваться размером проблемы, природой различных классов переменных, и степенью неопределенности, присутствующей в отношениях между ними.

В целом, выбор будет лежать между следующими классами моделей:

(а) детерминированные и вероятностные модели

В первом случае все отношения строятся так, как если бы они регулировались фиксированными естественными законами. Неопределенности и случайные флуктуации не встраиваются в модель. В последнем случае, некоторые или все взаимосвязи определяются статистическими вероятностями связями, которые включены в модель явным образом, на выходе которой непосредственно показываются последствия этих вероятностей. Иногда это называется подходом Монте-Карло.

(б) линейные и нелинейные модели

Хотя это может быть удобно считать, что отношения между переменными всегда линейны, в большинстве практических задач требуется более сложное предположение о нелинейности .

(в) стационарные модели и модели, зависящие от времени

Стационарные модели основаны на расчете фиксированного конечного состояния на основе фиксированного предварительного воздействия на фиксированное состояние. Зависящие от времени модели включают способы воздействия, которые динамически влияют на процессы.

(г) прогностические модели и модели принятия решений

Прогностические модели позволяют оценить последствия конкретных решений, которые должны быть изучены. Модели принятия решений указывают, какие из решений являются наилучшими наилучшие в некотором определенном пути.

Когда компьютер используется в сочетании с математической моделью, компьютерная программа должна быть однозначной. После того, как математик протестировал алгоритм, чтобы гарантировать, что все компоненты работают правильно, он стремится подтвердить, что модель имеет отношении к реальному миру, идет поиск возможных несоответствий или нереальные результатов. Путем изменения модели и подвергая полученный вариант дальнейшему анализу, он продолжает процесс совершенствования модели, в рамках ограничений времени и ресурсов в процессе проведения оценки последствий.

В этой связи, математик использует два основных приема. Во-первых, он использует анализ чувствительности. Во-вторых, математик ищет максимальное упрощение модели, которое согласуется с ее прогностическим значением или процессом принятия решений. Часто, может оказаться, что части модели, которые были разработаны, чтобы удовлетворить теоретически важным соображениям относительно мало влияют на конечный результат процесса моделирования. В таких случаях упрощение модели не только желательно, но и легко достижимо.

Проверка модели

Повторный анализ и доработка может, теоретически, продолжаться бесконечно, но в ОВОС, они будут обычно ограничиваться в связи с необходимостью предоставления результатов быстро. Действительно, у нас может быть слишком мало времени, чтобы развить модель до нужной степени, что крайне желательно в научных исследованиях.

Мы должны признать, однако, что проверка (сопоставление модели с реальностью) в ОВОС провести не легко. Иногда можно провести только кажущуюся валидацию, которая может быть достигнута, путем подбора будущих показателей экологической системы с ожиданием от модели. Такое испытание вряд ли соответствует критериям науки и не способствует процессу принятия решений. Тем не менее, некоторое подтверждение правомерности модели может быть получено.

Как использовать выходные данные

Как только модель была проверена и признана удовлетворительной, следующий шаг заключается в выборе среди множества возможных альтернативных стратегий или действий. Проблема состоит в том, чтобы определить: «каков самый лучший выбор?»

Предположим, вы столкнулись с набором (скажем, A, B, C, D, E, F) альтернативной политики или действий, порожденных какой-то моделью. Для каждой из этих альтернатив, целесообразно оценить вероятность оказаться

правильными или неправильными при каких-то объективных основаниях. Для каждой из альтернатив, вы также можете оценить шансы (экономические, социальные, политические и др.) в пользу последующих действий или цены отказа от них.

Вполне вероятно, что нынешняя тенденция в сторону более точных и сложных моделей для конкретных ситуаций будет продолжена. Успехи следует ожидать в направлении улучшения процедуры для анализа роли пространственных характеристик систем, развития теории самоорганизующихся систем, совершенствования методики поиска оптимальных наборов условий, и создание методик для примирения конфликта в сложных системах.

Особую актуальность для экологических проблем будет иметь разработка процедур эффективного поиска оптимальности в иерархических системах, где оптимизация на уровне каждой подсистемы должна быть согласована с оптимальностью высших уровней системы.

Кроме того, тенденция к генерализации экологических моделей с начинает появляться, и мы можем ожидать развития гибкого, легкого в использовании языка программирования для моделирования условий окружающей среды, что позволит пользователю сконцентрироваться на концептуальных проблемах, не беспокоясь о том, как общаться с компьютером. С этим тесно связана возможность развития функциональных пакетов или модулей, основных и инвариантных экологических процессов, которые могут быть объединены различными способами для каждого конкретного проблема во многом таким же образом, как физические законы вводятся в настоящее время в строительство метеорологических и гидрологических моделей.

В дальнейшем тенденция к упрощению модели и анализ может быть ожидаемым. Такие шаги позволят обеспечить критическое и целенаправленное изучение ключевых компонентов модели - таким образом указывают на ключевые компоненты системы повлияли. Эти анализы включают соображения качественного поведения модели системы стабильности и меры устойчивости и надежности.

Вопросы для самоконтроля к модулю 1

1. Перечислите критерии того, что для решения задач ОВОС необходимо моделирование?
2. Чем отличаются линейные и нелинейные модели?

3. Можно ли изготовить идеальную копию реальности?
4. Изобразите процесс создания и проверки модели ОВОС в виде блок-схемы.
5. Что такое "анализ чувствительности"?
6. Что понимается под термином "очерчивание проблемы"?
7. Что понимается под стратегической оценкой проблемы?
8. Для чего используется при моделировании таблица взаимодействий?
9. Какие задачи при моделировании ОВОС решает прикладной математик?
10. Чем отличаются детерминистические и вероятностные модели?
11. В чем состоит подход Монте-Карло при моделировании?
12. Как можно использовать выходные данные?
13. В чем состоит суть проверки модели?
14. Какие основные тенденции в развитии экологического моделирования?

Примеры тестовых заданий к модулю 1

1. Что понимается в науке под термином "модель"?

а) это описание объекта (предмета, процесса или явления) на каком-либо формализованном языке, составленное с целью изучения его свойств

б) любое описание объекта (предмета, процесса или явления)

в) это описание объекта или предмета (но не процесса или явления) на каком-либо формализованном языке, составленное с целью изучения его свойств

г) это записанный в любом виде отчет о явлении или процессе, свидетелем которого Ты являлся

2. Что не относиться к критериям для оценки необходимости моделирования для решения задач ОВОС

а) сложность отношений между элементами окружающей среды

б) динамические связи между элементами

в) взаимосвязи между элементами описываются диапазонами

г)наличие хорошего финансирования

3. Какое минимальное число человек должно быть задействовано при построении компьютерной модели для проведения ОВОС

а) достаточно 1 специалиста

б) 1 специалиста в области ОВОС и 1 математика

в) потребуется не менее трех профессиональных сотрудников, двух вспомогательных сотрудников

г) сотрудники не требуются, достаточно участвовать в форуме

4. Что не входит в понятие "очерчивание проблемы" при построении моделей для ОВОС?

а) каковы географические пределы проблемы?

б) каковы временные рамки проблемы?

г) какие подсистемы будут затронуты моделированием?

в) как часто данная проблема требует решения в данном регионе

5. Что не входит в процедуру "организация и идентификация переменных"

а) объединение переменных в классы по некоторым общим свойствам

б) формулировка гипотезы о взаимодействиях между классами переменных

г) нахождение альтернативных гипотез для каждого взаимодействия

в) четкое ограничение территории, где наблюдается взаимодействие

6. Чем определяется выбор степени точности в моделировании ОВОС?

а) зависит от точности ответов на вопросы, на которые вы хотели бы получить ответы,

б) от времени, отведенном на изучение проблемы

г) от качества исходных данных

в) от имеющихся финансовых ресурсов

7. В чем состоит подход Монте-Карло при моделировании?

а) все взаимодействия в модели носят вероятностный характер.

б) все взаимодействия управляются фиксированными законами

в) результат моделирования невозможно предсказать

г) в модель вставлен генератор случайных чисел

8. При выборе оптимальных альтернатив моделей ОВОС для каждой из альтернатив

а) оцениваются шансы (экономические, социальные, политические и др.) в пользу последующих действий или цены отказа от них

б) строиться прогноз на 50-100лет

в) альтернативы проецируются в многомерное пространство и ранжируются по полученным весам

г) выбираются наиболее выгодные с экономической, социальной или политической точек зрения альтернативы

Учебный модуль 2. Моделирование ОВОС как раздел экотоксикологии

Вы будете изучать:

- основные направления экотоксикологии;
- механизмы совместного действия нескольких токсикантов;
- способы представления токсичности различных соединений;
- методы расчета среднесмертельной дозы токсиканта;
- метод Беренса;
- способы расчёта LD_{50} без использования графических средств;
- функциональную и материальную кумуляцию;
- типы совместного действия токсикантов;
- способы расчета аддитивного действия токсикантов.

Цели модуля:

- дать представление о экотоксикологии как о современной и активно развивающейся отрасли экологии;
- показать связь между экотоксикологией и оценками воздействия на окружающую среду;
- показать важность использования данных экотоксикологии при проектировании экологических моделей;
- раскрыть основные подходы экотоксикологической оценки;
- обсудить различные подходы в токсикометрии;
- научить правильно рассчитывать величину LD_{50} для разных токсикантов;
- показать основные подходы к интерпретации и расчету коэффициента кумуляции;
- отразить всю важность одновременного рассмотрения действия нескольких токсикантов;
- объяснить механизмы аддитивного действия токсикантов;
- показать многообразие механизмов метаболизации токсикантов в природе.

После изучения модуля Вы сможете:

- понимать различие между медицинской и экологической токсикологией;
- интерпретировать результаты основных токсикометрических показателей;
- правильно подойти к планированию экотоксикологического эксперимента;
- рассчитать среднесмертельную дозу токсиканта;

- выбирвать правильный алгоритм расчёта Ld50;
- верно оценивать значения коэффициента кумуляции;
- определять тип совместного действия нескольких токсикантов;
- оценивать необходимость детоксикации;
- характеризовать токсические свойства ксенобиотиков;
- применять данные экотоксикологии в проектировании экологических моделей.

Ключевые слова:

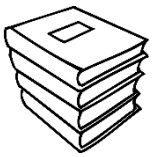
ПДК, ОБУВ, МДУ, ДОК, ЛД50, LD_{50}, σ_{LD50}, биоиндикация, биотрансформация, детоксикаци, коэффициент кумуляции, кумулята, ксенобиотики, нормальное распределение, накопленные частоты, среднеэффективная доза, среднесмертельная доза, стандартное отклоение, токсикометрия, токсикологический эксперимент,характеристическая кривая, экотоксиканты экотоксикология

Библиографический список

Основная литература

1. Исидоров В. А. Введение в химическую экотоксикологию: Учебн. пособие. — СПб.: Химиздат, 1999. — 143 с.

2. Мосина Л. В. Сельскохозяйственная экотоксикология. Модуль 7: Учебное пособие. — М., 2000.



Дополнительная литература

1. Безруков М.Е., Гелашвили Д.Б., Силкин А.А. Методы токсикометрии в биомони- торинге//Экологический мониторинг. Ч. И. Методы биомониторинга. — Н. Нов¬город: Изд-во Нижнегородского университета, 1995. — С. 388—441.

2. Каган Ю. С. Токсикология фосфорорганических инсектицидов и гигиена тру¬да при их применении. — М.: Медгиз, 1963. — 326 с

3. Чеснокова С. А/., Трифонова Т. А., Смотрова С. П. Экотоксикологический анализ объектов окружающей среды: Лаб. практикум. — Владимир: Изд-во Влад. гос. ун-та, 1999.— 56 с.

Модульная единица 2.1 Введение в экотоксикологию ее связь с ОВОС

Экологическая токсикология, или экотоксикология, представляет собой междисциплинарное научное направление, изучающее действие вредных химических веществ, находящихся в окружающей среде, на живые организмы и их популяции, входящие в состав экосистем, — от микроорганизмов до человека. Это определение экотоксикологии как самостоятельного научного направления было введено в 1969 г., когда при Международном научном комитете по проблемам окружающей среды была организована специальная Рабочая комиссия по экологической токсикологии. В 1978 г. на конференции Международного научного комитета по проблемам окружающей среды было принято уточненное определение экотоксикологии как «междисциплинарного научного направления, связанного с изучением токсических эффектов действия химических веществ на живые организмы, преимущественно на популяции организмов и биоценозы, входящие в состав экосистем. Экотоксикология изучает источники поступления вредных веществ в окружающую среду, их распределение и превращение в окружающей среде, действие на живые организмы. Сопредельное положение с экотоксикологией занимает биоиндикация.

В отличие от медицинской токсикологии экотоксикология изучает влияние химических веществ как на индивидуальные организмы, так и на их популяции. Экотоксикология пользуется классическими приемами токсикологии, имея при этом и свои собственные методы и объекты исследований. В последние годы в рамках международного и национального обществ экотоксикологов регулярно проводятся научные совещания, конференции, симпозиумы; по проблемам экотоксикологии издается около 10 специализированных научных журналов. К основным направлениям экотоксикологии относятся следующие:

- исследование источников поступления экотоксикантов, их распространения и превращения в почве, воде, атмосфере, растениях, животных, по трофическим цепям в целом, оканчивающимся человеком; химических изменений экотоксикантов с образованием новых соединений с модифицированными токсическими свойствами;

- изучение воздействия токсического вещества на разные виды организмов, прогнозирование опасности загрязнения окружающей среды для людей, животных, растений и экосистем в целом;
- выяснение ответных реакций организма на действие вредного вещества на уровне клетки, организма, популяции, сообщества; исследование механизмов токсичности и разработка критериев оценки вредного действия экотоксикантов;
- исследование механизмов токсического действия и токсических эффектов химических веществ, жизненно необходимых организмам, но поступающих в избыточных количествах или полностью чужеродных, позволяющее понять реакцию растений и животных на внедрение в экосистему ксенобиотиков;
- разработка гигиенических основ регламентации поступления экотоксикантов в окружающую среду;
- разработка методов анализа экотоксикантов в объектах окружающей среды, методов диагностики, лечения и профилактики поражений.

Практическими результатами исследований являются разработка рекомендаций и проведение правовых, технологических, медицинских и санитарно-гигиенических мероприятий по контролю и снижению уровня загрязнений. В их основу положена концепция гигиенического регламентирования вредных факторов окружающей среды, включающая установление количественных значений предельно допустимых концентраций (ПДК), ориентировочных безопасных уровней воздействия (ОБУВ) экотоксикантов в воздухе, воде, почве, максимально допустимых уровней (МДУ) остаточных количеств химических средств защиты растений и допустимых остаточных количеств (ДОК) химических веществ в продуктах питания.

К основным источникам загрязнения окружающей среды химическими веществами относятся: теплоэлектроцентрали, вредные отходы химической, нефтехимической, металлургической, целлюлозно-бумажной и других отраслей промышленности; автомобильный, авиационный, морской и речной транспорт; производство и применение радиоактивных веществ различного назначения, радиоактивные отходы; применение в сельском и лесном хозяйстве химических средств защиты растений от болезней, вредителей, сорняков (фунгицидов, инсектицидов, гербицидов); применение химико-фармацевтических и косметических средств, продукции бытовой химии; сточные воды, бытовые отходы и др.

Поступающие в окружающую среду химические продукты распространяются и трансформируются в атмосфере, почве и водоемах, поступают в пищевые цепи, аккумулируются живыми организмами. Способность экотоксикантов распространяться на большие расстояния в биосфере зависит от их физических, химических, физико-химических свойств (испаряемость, летучесть, растворимость, адсорбируемость почвой, устойчивость к разложению). Многие экотоксиканты распространяются на большие расстояния и длительное время сохраняют опасные свойства.

В зависимости от распространенности поступающие в окружающую среду экотоксиканты могут вызывать локальные (точечные), хронические региональные и глобальные загрязнения.

К локальным загрязнениям относятся разовые выбросы токсических веществ в окружающую среду в результате аварий, взрывов, пожаров, стихийных бедствий. Их последствия чаще проявляются на небольшой территории вблизи места выброса.

Под хроническим региональным загрязнением понимают продолжительное во времени поступление в окружающую среду экотоксикантов в существенных количествах. В результате происходит загрязнение довольно крупного района (речной системы, бассейна водосбора, природно-территориального комплекса). Подобное загрязнение возникает в связи с работой крупных промышленных предприятий, энергетических установок, городских хозяйственных объектов и др. При этом малотоксичные вещества поступают в окружающую среду, как правило, в больших количествах, а высокотоксичные — в малых.

К глобальным относятся загрязнения окружающей среды в больших количествах и в течение длительного времени, охватывающие значительную часть земной поверхности. Примерами таких загрязнений являются постоянно увеличивающееся поступление в атмосферу углекислого газа и фреонов, радиоактивные осадки после атомных и термоядерных взрывов в атмосфере.

Процессы поступления, распространения и превращения загрязняющих веществ в окружающей среде очень сложны и представляют собой самостоятельный раздел экотоксикологии.

При изучении действия экотоксикантов необходимо учитывать специфическую видовую чувствительность, стадию развития организма, характер совместного действия нескольких экотоксикантов. Известны большие различия в токсическом действии одних и тех же веществ на разные виды живых организмов. Механизм специфической токсичности еще мало изучен. При по-

иске пестицидов стремятся найти вещества, обладающие специфическим узконаправленным действием против определенных видов вредителей, но безопасные для полезных видов.

Важное значение в экотоксикологии имеет изучение токсичности не только самого вещества, попадающего в окружающую среду, но и продуктов его превращения. При загрязнении отходами производств, продуктами сжигания топлива, мусора образуется смесь продуктов сложного состава. При этом общий токсический эффект смеси может отличаться от суммарной токсичности ее отдельных компонентов.

Экотоксикологическая оценка опасности тех или иных веществ производится с учетом стадии развития организма. В частности, эмбрионы обладают повышенной чувствительностью к токсическому действию различных веществ. Например, применявшийся в качестве снотворного средства в странах Западной Европы талидамид поражает эмбрионы человека и других млекопитающих в первые недели после зачатия (у человека между 23-м и 40-м днями) и вызывает врожденные анатомические уродства.

Повышенной чувствительностью к вредным веществам обладают организмы на ранних стадиях послеродового развития. Повышенная чувствительность к экотоксикантам встречается и на завершающих стадиях онтогенеза.

К важным задачам экотоксикологии относятся прогнозирование опасности для живых организмов загрязнения отдельных районов экотоксикантами и разработка мероприятий по профилактике поражений, лечению пострадавших и ликвидации последствий заражений. Эти задачи решаются в комплексных программах контроля загрязнения окружающей среды, биологического и санитарно-гигиенического мониторинга. Их успешное решение зависит от совершенствования системы контроля количественного содержания экотоксикантов в окружающей среде, глубокого знания характера и механизма острого и хронического действия экотоксикантов на живые организмы в условиях их обитания, физико-химических свойств экотоксикантов для прогнозирования их распространения в окружающей среде, по трофическим цепям, биотрансформации. Их решение осуществляется совместными усилиями экологов, токсикологов, химиков и других специалистов.

Модульная единица 2.2 Токсикометрия

Токсикометрия — это преимущественно экспериментальный раздел токсикологии. Получение количественных оценок действия ксенобиотиков требует реализации трех исследовательских этапов: планирования эксперимента, его проведения и получения количественных оценок, интерпретации результатов.

При этом прежде всего учитывают показатели токсичности исследуемого вещества, его потенциальную опасность, концентрации яда в окружающей среде или его дозы (при попадании вещества в организм, например, через рот), способные вызвать отравление.

Чаще всего термин «доза» служит для обозначения количества введенного в организм химического вещества, выражаемого обычно на единицу массы тела.

Величина LD_{50} имеет вероятностный характер. Некоторые способы определения LD_{50} основаны на предположении о «нормальности» кривой доза—эффект. В этом случае кроме характеристики положения LD_{50} статистическая совокупность экспериментальных данных по определению смертельной дозы того или иного вещества должна еще иметь характеристику рассеяния. Такой характеристикой является величина среднеквадратического отклонения — σ_{LD50}- Следовательно, наиболее определенной, а может быть, и наилучшей количественной характеристикой токсичности яда в зоне смертельных доз будет величина LD_{50} и ее среднеквадратическая (стандартная) ошибка — σ_{LD50}-

Если величину LD_{50} определяют почти всегда, то ее стандартную ошибку σ_{LD50} — значительно реже. Это приводит к тому, что существенная часть экспериментально собранной информации о токсичности того или иного яда, во-первых, не используется самими авторами, а во-вторых, не может быть использована другими исследователями.

Таким образом, среднесмертельная доза изучаемого вещества должна представляться в виде величины: $LD_{50} \pm \sigma_{LD50}$.

Однако токсический эффект определяется не только количеством яда, но и временем его воздействия. Действие ядов в зависимости от дозы или концентрации обычно по-разному развивается во времени. Следовательно, токсический эффект всегда есть результат взаимодействия трех факторов: организма, количества вещества и времени.

Связь между дозой вещества, временем и эффектом может быть представлена в виде поверхности в трехмерном пространстве. При сечении этой поверхности плоскостями, параллельными координатным плоскостям, получаются три семейства кривых, попарно связывающих дозу яда, время и эффект. Эти попарные зависимости между двумя величинами (при постоянном значении третьей, чаще временной величины) и являются предметом исследования токсикологов. В соответствии с числом пар, которые могут быть составлены из трех рассматриваемых величин, принципиально возможны три типа токсикологических экспериментов:

- эксперименты по установлению связи между дозой или концентрацией яда и токсическим эффектом. Такие эксперименты осуществляются наиболее часто. К ним относятся, например, опыты по определению среднесмертельных доз и концентраций;
- эксперименты по установлению зависимостей между временем воздействия яда и эффектом. В ряде случаев зависимости время — эффект имеют большое значение, например, при установлении предельно допустимых концентраций вредных веществ для атмосферного воздуха;
- эксперименты по установлению связей между дозой или концентрацией яда и временем наступления фиксированного токсического эффекта. Примером экспериментов, относящихся к этому типу, являются опыты по изучению кумулятивных свойств ядов.

Количество яда и величина эффекта, связь которых изучается в опытах трех перечисленных типов, выражаются в соответствующих единицах концентрации или дозы воздействующего вещества. И концентрацию, и дозу вещества можно выразить в долях от дозы или концентрации, вызывающей определенный эффект, например от дозы, вызывающей 50%-ю гибель животных (0,5 LD_{50}, 0,1 LD_{50} и т. д.).

Объем эффекта выражают либо количеством животных, на которых достигнут определенный результат в течение определенного срока наблюдения за ними (например, процент гибели животных в течение первых суток после введения яда), либо по среднему результату проявления эффекта (например, по времени гибели половины подопытных животных). В первом случае говорят об альтернативном эффекте, во втором — о градированной (градационной) зависимости эффекта от воздействующего агента. При учете реакции в альтернативной форме для каждого животного достаточно определить наступление или отсутствие эффекта. При учете же результата в градированной форме для каждого животного необходимо установить степень достигнутого эффекта. Понятно, что для учета реакции в градированной форме необходимы более

тонкая методика и индивидуальный подход к каждому животному. Таким образом, рассматривая вопрос об изучении зависимостей между дозой яда, временем и эффектом, следует иметь в виду возможность проведения шести видов токсикологических экспериментов: три типа по два варианта в каждом — в зависимости от формы учета эффекта (альтернативной или градированной).

Модульная единица 2.3. Методы расчета среднеэффективной дозы токсикантов

Среднесмертельную дозу вычисляют статистическими методами. Наиболее известны методы Беренса, Кербера, Першина, Беренса и Шлоссера, метод наименьших квадратов, методы пробит- анализа Миллера и Тейтнера, Лигчфилда и Уилкоксона, метод Штабского и некоторые другие.

При выявлении эффективной дозы какого-либо вещества, вызывающего конкретный эффект, находят не одно определенное значение, а ряд значений, которые образуют вариационный ряд его индивидуальных эффективных доз. Распределение частот индивидуальных эффективных доз в этом вариационном ряду обычно приближается к нормальному распределению.

В условиях нормального распределения вариационный ряд может быть полностью определен средней арифметической варьирующего признака (в данном случае — доза) и величиной стандартного отклонения (σ), соответствующего стандартной ошибке средней арифметической (σ) из индивидуальных минимальных эффективных доз. Найти ее можно, используя известную формулу:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n-1}},$$

Другой путь определения средней эффективной дозы вытекает из особенностей кривой нормального распределения. Площадь над осью абсцисс, ограниченная этой кривой, выражает общее количество животных, у которых наблюдалась изучаемая реакция (рис. 2.1, *А).*

Так как кривая нормального распределения симметрична, то перпендикуляр, восстановленный из точки 3σ, соответствующей средней эффективной дозе, разделит всю площадь, ограниченную кривой, на две равные части. Следовательно, средняя эффективная доза вместе с тем является той дозой, которая вызывает изучаемый эффект у 50 % подопытных животных.

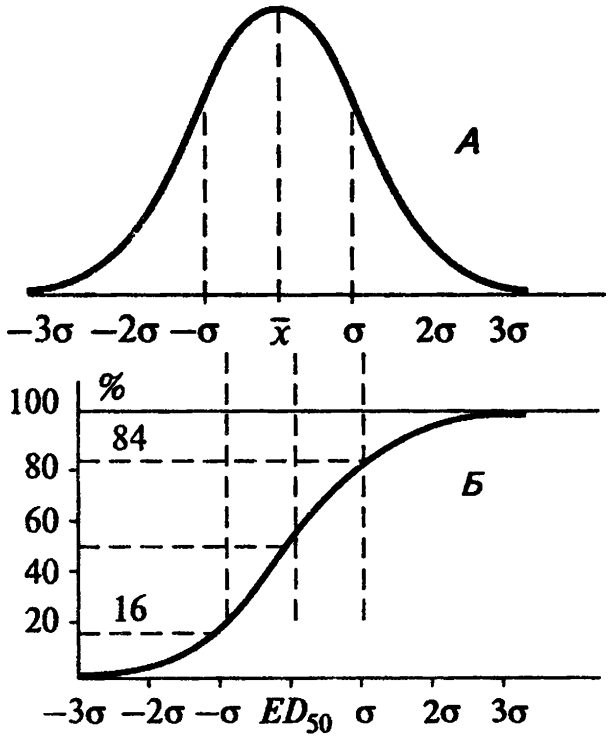


Рис. 2.1. Соотношение между кривой нормального распределения *(А)* и соответствующей ей кумулятой *(Б)*

Итак, вместо того, чтобы на очень большом количестве животных определять эффективные дозы и из них вычислять среднюю арифметическую, можно избрать более простой путь — искать ту дозу, которая вызывает изучаемый эффект у 50 % подопытных животных.

Если изучать на животных действие последовательно возрастающих доз исследуемого вещества, разделив для этого животных на ряд групп и испытывая на каждой группе какую-либо одну дозу, то окажется, что учитываемая реакция проявляется лишь, начиная с какой-то определенной дозы, частота возникновения этой реакции будет нарастать и, наконец, при какой-то величине дозы эта реакция наступит у всех животных данной группы. Зависимость между величиной дозы и частотой возникновения реакции можно изобразить графически. Для этого по оси абсцисс следует отложить дозы, а по оси ординат — частоту возникновения учитываемого эффекта к числу животных, на которых данную дозу испытали (см. рис. 2.1, *Б).* При этом зависимость между дозой и частотой наступления реакции будет представлена симметричной S-образной кривой, которую обычно называют кумулятой или характеристической кривой. На этой кривой средняя эффективная доза соответствует значению абсциссы для той части кривой, ордината которой равна 50 %.

Для стандартизированной кривой нормального распределения, т. е. при стандартном отклонении теоретического распределения при σ=1, следует отметить, что при σ = — 1 площадь, отсекаемая перпендикуляром, восстановленным из этой точки, составляет 16 % (точнее, 15,87 %) общей площади, ограниченной кривой распределения; при σ = +1 отсекаемая площадь составляет 84 % (точнее, 84,13 %) общей площади, ограниченной кривой распределения. Следовательно, доза вещества, которая меньше, чем LD_{50}, на величину стандарта, должна вызывать реакцию у 16 % животных, доза, превышающая LD_{50} на величину стандарта, должна вызывать реакцию у 84 % животных. Эти дозы соответственно обозначают *LD*16 и *LD84*.

Итак, $LD_{l6} = LD_{50} — \sigma$; $LD_{84} = LD_{50} + \sigma$.

Отсюда: $LD_{84} — LD_{16} = LD_{50} + \sigma - LD_{50} + \sigma = 2\sigma$, следовательно, $\sigma = (LD_{84} - LD_{l6})/2$.

Это соотношение часто используется для нахождения стандартного отклонения и стандартной ошибки LD_{50}

Характеристическая кривая имеет исключительно большое значение для количественной оценки фармакологической активности. По существу, все методы количественного определения активности сводятся к построению характеристической кривой или эквивалентной ей прямой на основании данных, полученных в результате эксперимента, и к последующему их анализу.

Модульная единица 2.4 Расчет LD_{50} по методу Беренса

Метод вычисления LD_{50} по Беренсу основывается на том положении, что общее количество животных, погибших от доз, меньших LD_{50}, равно общему количеству животных, выживших от доз, больших LD_{50}. Для обработки экспериментального материала по методу Беренса необходимо, чтобы интервал между испытываемыми дозами был одинаков и чтобы для испытания каждой из доз было использовано одинаковое количество животных. Для выравнивания экспериментальной характеристической кривой Беренс предложил прием так называемого накопления частот. Этот прием заключается в том, что к числу животных, погибших от каждой из испытанных доз, прибавляется коли-

чество животных, погибших от всех меньших испытанных доз, а к числу животных, выживших от каждой из испытанных доз, прибавляют количество животных, выживших от всех более высоких испытанных доз.

Логически этот прием вполне оправдан. Так, если данное животное погибло под влиянием какой-то дозы изучаемого вещества, то оно, несомненно, погибло бы, если бы это вещество было введено в более высокой дозе; наоборот, если данное животное осталось в живых после введения ему определенной дозы изучаемого вещества, то оно, бесспорно, выжило бы, если бы это вещество было ему введено в меньшей дозе.

На основании вычисленных накопленных частот подсчитывают смертность от каждой из испытанных доз в процентах и строят характеристическую кривую, откладывая по оси абсцисс испытанные дозы, а по оси ординат — проценты смертельных исходов. Величина LD_{50} может быть найдена непосредственно из графика. Для этого из той точки характеристической кривой, которой соответствует 50 % смертельных исходов, опускают перпендикуляр на ось абсцисс; величине LD_{50} соответствует точка пересечения этого перпендикуляра с осью абсцисс.

Близкую по значению величину LD_{50} можно получить и без построения графика. Так как в средней части характеристической кривой небольшой ее отрезок мало отличается от прямой линии, то величину LD_{50} можно вычислить путем прямолинейного интерполирования между ближайшими к LD_{50} меньшей и большей дозами.

Если интервал между испытанными дозами равен *d*, а величина LD_{50} находится между *A и B, из* которых доза *A* вызвала *a %* смертельных исходов ($a < 50$) и доза *B*— *b %* смертельных исходов ($b > 50$), то

$$LD_{50} = A + (50 + a) * d / (b - a)^{/}.$$

Практическое использование метода Беренса можно проиллюстрировать на примере обработки экспериментального материала по изучению токсичности тубазида, подробно описанного М. Л. Беленьким (1963).

«Накопление частот» происходит следующим образом. Для дозы 150 мг/кг, от которой фактически выжило 8 животных, записываем результат: погибло 0 животных, выжило 8 + 7 + 4 + 2+1=22 животных, т. е. прибавляем к числу фактически выживших животных число животных, которые выжили от более высоких доз. Для дозы 160 мг/кг, от которой в эксперименте 1 животное погибло и выжило 7: погибло 1 животное, выжило 7 + 4 + 2+ 1 = 14 животных. Для дозы 170 мг/кг, от которой погибло в эксперименте 4 животных: погибло 4+1=5 животных, т. е. прибавляем одно животное, погибшее от меньшей дозы,

выжило 4 + 2 + 1 = 7 и т. д. На основании вычисленных по накопленным частотам процентов смертельных исходов строим характеристическую кривую. Из этой кривой находим, что интересующая нас величина LD_{50} равна 172,3 мг/кг.

Как уже указывалось ранее, величину LD_{50} можно определить, не прибегая к построению графика, непосредственно из данных, находящихся в 1-й и 4-й колонках расчетной таблицы 2.1, по указанной ранее формуле. В нашем случае d = 10, A = 170 мг/кг, B= 180 мг/кг, a =41,7 %, 6 = 78,6 %.

Тогда

$$LD_{50} = A + \frac{(50+a)d}{b-a} = 170 + \frac{(50-41,7)10}{78,6-41,7} = 172,3 \text{ мг/кг}.$$

Модульная единица 2.5 Аккумуляция токсикантов

Хроническое отравление тесно связано с кумуляцией в организме самого яда или вызванных им изменений. Накопление массы яда в организме называют *материальной кумуляцией,* а накопление вызванных ядом изменений — *функциональной кумуляцией.* Без функциональной кумуляции невозможно хроническое отравление. Нередко наблюдаются одновременно материальная и функциональная кумуляции. Функциональная кумуляция происходит в результате хронического отравления хлорированными углеводородами, бензолом, бензином, многими другими газами и парами, легко выделяющимися из организма с выдыхаемым воздухом; материальная кумуляция — при отравлении металлами. Чем быстрее накапливаются вредные для организма последствия систематического вдыхания вредного вещества, тем больше опасность хронического отравления. Чем выше кумулятивность, тем ниже предельно допустимая концентрация, предупреждающая хроническое отравление, что учитывается при гигиенической регламентации вредных веществ. Чем быстрее будут накапливаться вредные для организма последствия при систематическом воздействии ксенобиотика, тем большую потенциальную опасность в плане развития хронического отравления он представляет. Выяснение кумулятивных свойств ксенобиотиков — непременное условие разработки эколого-

гигиенических нормативов их содержания в объектах производственной и окружающей среды.

Показателем функциональной кумуляции является *коэффициент кумуляции* ($К_к$). Он отражает сроки гибели животных при повторном введении им дозы, составляющей одну и ту же долю от смертельной дозы или систематически повышающихся доз. $К_к$ оценивают как отношение суммарной дозы, полученной в опыте с повторным введением вещества (ΣLD_{50}), **к** LD_{50} при однократном введении: $К_к = \Sigma LD_{50} / LD_{50}$. Обычно затравки проводятся ежедневно, дозы выражаются в долях от LD_{50} (при однократных введениях) и чаще составляют 1/10, 1/20 и 1/50 LD_{50}. Наиболее сравнимые результаты получают при внутрибрюшинном способе введения веществ. В основе распространенных методов оценки кумулятивности ксенобиотиков лежит учет общего количества вещества (в расчете на 1 кг массы тела экспериментального животного), которое может быть введено до его гибели при повторном введении несмертельных разовых доз. При ежедневном введении равных доз изучаемого соединения (1/5; 1/10 LD_{50}) оценка кумулятивных свойств фактически проводится по числу введений вещества, приводящему к гибели 50 % подопытных животных (n_{50}): $К_к = n_{50}/LD_{50}$, где d — ежедневно вводимая доза (кратная LD_{50}); LD_{50}— среднесмертельная доза при однократном введении, учитываемая, как правило, на 14-е сутки; $К_к$ — коэффициент кумуляции (Каган, Станкевич, 1964). Данный метод не предусматривает ограничений по времени, и процедура установления $К_к$, особенно при выборе низких разовых доз (1/50 LD_{50}), может длиться 2—4 мес.

Поскольку значение $К_к$ вводимых разовых доз, кратных LD_{50}, зависит от значения d, сопоставление степени кумулятивности вредных веществ правомерно проводить только при одинаковом значении d/LD_{50}.

Для сравнительной оценки кумулятивных свойств химических веществ пользуются классификацией (см. табл. 2.1), предложенной Л. И. Медведь, Ю. С. Каган и др.(1968).

Таблица 2.1 Классификация кумулятивного действия ксенобиотиков

Степень кумуляции	**Значения $К_к$**
Сверхкумуляция	< 1
Выраженная кумуляция	1—3
Умеренная кумуляция	3—5
Слабая кумуляция	5

Например, при ежедневном введении белым крысам меркаптофоса (фосфорорганического пестицида) в дозе 0,35 мг/кг (0,1 LD_{50}) гибель 50 % животных наблюдалась на 100-е сутки. По указанной ранее формуле находим $К_к$: $К_к$ = $n_{50}d/LD_{50}$ = 100 • 0,1 LD_{50}/LD_{50} = = 100 • 0,35 мг/кг: 3,5 мг/кг = 10.

Таким образом, по значению $К_к$ = 10 меркаптофос можно отнести к слабокумулятивным веществам.

При обосновании ПДК важно иметь представление на уровне пороговых, а не смертельных доз. Для выявления $К_к$ на пороговом уровне чаще используют внутрибрюшинный способ введения вещества.

При затравках на пороговом уровне кроме подопытной требуется контрольная группа животных и предварительное определение $D_{min}50$. Производится постановка опыта с малыми дозами (1/2 $D_{min}50$, 1/4 $D_{min}50$). При длительном воздействии многих ядов в малых дозах и низких концентрациях вырабатываются приспособления к их хроническому воздействию (уменьшается реакция организма на воздействие ядов).

Модульная единица 2.6 Комбинированное действие ядов

В большинстве случаев человек и окружающая среда подвергаются воздействию сложного комплекса вредных веществ, часто в сочетании с другими неблагоприятными факторами (шумы, излучения, высокие и низкие температуры и др.). Под комбинированным действием понимают одновременное или последовательное воздействие на организм двух или более токсических веществ, поступающих одним и тем же путем (ингаляционно, перорально и т. д.). Различают следующие типы совместного действия токсических агентов.

- ***Однородное совместное действие.*** Наблюдается, когда разные ксенобиотики воздействуют на одну и ту же систему рецепторов. При комбинированном воздействии наркотиков одного и того же типа, в значительной мере ароматических углеводородов (бензола и толуола, толуола и ксилола), раздражающих газов (хлора и оксидов азота, оксидов азота и сернистого газа и др.), некоторых пестицидов (хлорофоса и тиофоса, хлорофоса и фосфамида) проявляется ***суммационный (аддитивный) эффект.***

➢ ***Независимое совместное действие.*** Происходит, когда токсические компоненты имеют различный механизм действия и воздействуют на разные звенья и органы. При этом получаемые эффекты не связаны друг с другом и эффект простого суммирования встречается реже (севин и бутифос, сероводород и фенол, сероводород и оксид углерода и др.). Подопытное животное чаще погибает от воздействия одного или другого компонента, чем в результате их совместного эффекта.

➢ ***Синергическое*** или ***антагонистическое совместное действие.*** При этом токсический эффект смеси ядов не может быть определен, исходя из эффективности отдельных компонентов. Он зависит от механизма взаимодействия ядов с биосубстратом.

В соответствии с рекомендациями комитета экспертов ВОЗ (1981) указанные типы комбинированного воздействия токсикантов получили следующие определения.

➢ ***Аддитивное действие*** — такой тип комбинированного действия химических веществ, при котором их совместный эффект равен сумме эффектов каждого из веществ при изолированном воздействии на организм.

➢ ***Потенцирование*** (более чем аддитивное действие) — такой тип комбинированного действия, при котором совместный его эффект превышает сумму эффектов каждого из веществ, входящих в комбинацию, при их изолированном воздействии на организм.•

➢ ***Антагонизм*** (менее чем аддитивное) — такой тип комбинированного действия, при котором совместный эффект меньше суммы эффектов каждого из веществ, входящих в комбинацию, при их изолированном воздействии.

Наряду с вышеприведенным определением аддитивности в современной токсикологии широко используется также другое понятие, основанное на предположении, что при однонаправленном действии смесь ведет себя как одно вещество. С этих позиций аддитивное действие определяется как такой тип комбинированного действия, при котором отдельные компоненты смеси являются взаимозаменяемыми в пропорциональных частях их изоэффективных доз. Так, если выразить через (С1, $C_2,\ldots,C_n$) дозы или концентрации компонентов смеси, а через (M_1 $M_2,\ldots,M_n$) их изоэффективные дозы или концентрации (например, LD_{50} или ПДК), то в уравнении:

$$(C_1/M_1 + C_2/M_2 + \ldots + C_n/M_n)K = 1$$

в случае аддитивности коэффициент K принимает значение 1. Другими словами, эффект действия смеси равен эффекту, наблюдаемому при изолированном воздействии компонентов в соответствующих изоэффективных дозах или

концентрациях. Действию, более чем аддитивному (потенцированию), будет соответствовать значение коэффициента $K > 1$; действию, менее чем аддитивному (антагонизм), — значение $K < 1$. Условия токсикометрической взаимозаменяемости так называемых изоаддитивных веществ (веществ однонаправленного действия) в общем виде были сформулированы еще Н. В. Лазаревым (1938).

Во многих случаях комбинированное воздействие ядов может вызвать токсический эффект, превышающий сумму эффектов от действия каждого яда смеси в отдельности. Чаще это связано с торможением одним веществом процессов биотрансформации и детоксикации другого вещества. Усиление токсического эффекта наблюдается при комбинированном воздействии фосфорорганических препаратов (подавление холинэстеразы одним веществом и торможение вследствие этого детоксикации другого вещества). Хлорофос и карбофос, хлорофос и метафос, карбофос и тиофос при их совместном воздействии вызывают эффекты, превышающие простую суммацию. Более чем аддитивное действие часто наблюдается при совместном воздействии хлорированных углеводородов. Это объясняется изменением активирования микросомальных ферментов, метаболизирующих чужеродные для организма вещества (четыреххлористый углерод и этилендихлорид). Более чем аддитивный эффект установлен также при одновременном однократном воздействии оксида углерода и тетраэтилсвинца, оксида углерода и оксидов азота, оксида углерода и адреналина, оксида углерода и этилового спирта, озона и оксидов азота, озона и аэрозоля серной кислоты. Нередки также случаи, когда однократное комбинированное действие ядов вызывает эффект, который меньше суммы эффектов воздействия каждого из них. Такое действие известно для сернистого ангидрида и хлора, сернистого газа и аммиака, аммиака и углекислого газа. В результате взаимодействия названных веществ образуются малотоксичные соединения, детоксикация происходит за счет химических реакций. Аналогичный ослабленный эффект наблюдается при совместном воздействии снотворных и возбуждающих нервную систему веществ; препаратов, повышающих и понижающих давление; метилового и этилового спиртов; оксидов азота и сернистого ангидрида; метана и оксида углерода.

Вышеприведенные примеры касаются однократного комбинированного воздействия веществ. Комбинированное действие малых доз и низких концентраций ядов в условиях хронических экспериментов чаще вызывает аддитивный эффект. Более чем аддитивное действие ядов при их комбинированном воздействии в условиях хронических экспериментов наблюдается сравни-

тельно редко (смесь ДДТ и этилового спирта, марганца и фтора, севина и бутафоса, гамма-гексахлорциклогексана и ТМТД, бензина и дихлорэтана). Довольно часто наблюдаются менее чем аддитивные эффекты при хроническом комбинированном воздействии малых доз и низких концентраций ядов.

В условиях сельскохозяйственного производства, фармацевтической промышленности вредные вещества чаще поступают в организм и окружающую среду не одновременно в виде смеси, а последовательно. По целому ряду показателей последовательное воздействие различных пестицидов вызывает в организме работающих более выраженный токсический эффект, чем раздельное применение исследуемых веществ.

При комплексном воздействии вредных веществ яды поступают в организм одновременно, но разными путями (через дыхательные пути, пищеварительную систему, кожные покровы). Комплексное воздействие ядов также бывает аддитивным, более и менее чем аддитивным.

Сумма концентраций токсических веществ в окружающей среде, выраженных в процентах от соответствующих ПДК для каждого вещества в отдельности, не должна превышать 100 %, или:

$$a_1/x_1 + a_2/x_2 + \ldots + a_n/x_n \leq 1,$$

где a_2, a_n — значения фактических концентраций веществ в окружающей среде; x_1, x_2, x_n — значения их ПДК.

Для характеристики токсических эффектов ксенобиотика, поступающего в организм одновременно разными путями (с пищей, водой, вдыхаемым воздухом), целесообразно использовать термин «комплексное воздействие». В этом случае для оценки комплексного действия вещества предложена формула суммационного эффекта (Сидоренко, 1985):

$$C_{почва}/ПДК_{почва} + C_{атм}/ПДК_{атм} + C_{вода}/ПДК_{вода} + \\ + Д_{пища}/ПДУ_{пища} \leq 1,$$

где С — фактические концентрации (дозы — Д) ксенобиотиков в пищевых продуктах и в окружающей среде; ПДК — соответственно гигиенические нормативы их содержания в почве, воде и воздухе; ПДУ — предельно допустимый уровень в пище.

Следует отметить, что использование предложенной формулы, по-видимому, справедливо для случая, когда гигиенические нормативы вещества в различных средах изоэффективны (т. е. биологически эквивалентны). Хотя в большинстве изученных случаев говорить о биологической эквивалентности

не приходится, тем не менее в первом приближении можно считать, что комплексные показатели состояния окружающей среды, хотя и не дают полной характеристики реальной нагрузки, несомненно, способствуют развитию методов ее определения.

Применительно к веществам, токсический эффект от совместного действия которых усиливается (превышает сумму эффектов от действия каждого из них), вносят соответствующие поправочные коэффициенты. В частности, воздушную среду, содержащую оксид углерода и оксиды азота, оценивают по следующей формуле:

$$a_1/x_1 : 3 + a_2/x_2 : 1{,}5 \leq 1,$$

где a_1 и x_1 — концентрация и ПДК оксидов азота; a_2 их$_2$- концентрация и ПДК оксида углерода.

Одновременное воздействие вредных веществ и повышенной температуры, как правило, усиливает и ускоряет развитие токсического эффекта. Влияние температуры на повышение токсического эффекта усиливается по мере увеличения концентрации действующего вещества. Понижение температуры в большинстве случаев также ведет к усилению токсического эффекта. Для веществ, вступающих во взаимодействие с влагой воздуха, его повышенная влажность усиливает токсический эффект.

Вопросы для самоконтроля к модулю 2

1. Что изучает экотоксикология?
2. В чем разница между экотоксикологией и медицинской токсикологией?.
3. Что является финальным результатом экотоксикологических изысканий?
4. Что такое хроническое действие токсиканта?
5. Какие основные этапы существуют при проведении токсикометрического изыскания?
6. Как распределена зависимость гибели животного от введенной ему дозы полютанта?
7. Какие еще методы расчета средне-эффективной дозы токсикантов кроме метода Беренса вы знаете ?
8. Как еще модно назвать величину равную медиане на графике распределения доза токсиканта - эффект?

9. Почему характеристической была выбрана величина LD_{50}, а не, например, LD_{96}?
10. Какой прием предложил Беренс для для выравнивания экспериментальной характеристической кривой?
11. Опишите как по графику с осями доля смертности/доза токсиканта можно рассчитать величину среднесмертельной дозы?
12. Что такое функциональная кумуляция?
13. Для чего используется коэффициент кумуляции, почему в таких ситуациях нельзя обойтись значением среднесмертельной дозы ?
14. Предположите какие вещества будут иметь коэффициент кумулятивного действия в качестве ксенобиотика больше 5?
15. Почему при определении ПДК веществ с высоким кумулятивным эффектом требуется еще и контрольная группа животных?
16. Что такое аддитивность токсиканта?
17. Что такое суммационный эффект.
18. Как связаны экотоксикология и ОВОС?

Примеры тестовых заданий к модулю 2

1. В каком веке появилась экотоксикология

а) XV б) XVIII
в) XX г) XXI

2. В зависимости от распространенности поступающие в окружающую среду экотоксиканты не могут вызывать следующий тип загрязнения

а) локальные (точечные)
б) хронические региональные
в) имматурные
г) глобальные

3. Аббреватура ДОК в экотоксикологии расшифровывается как

а) достаточно очищенный канал
б) длинна охвата круговорота
в) достаточные остаточные количества
г) допустимые остаточные количества

4. Какой из предложенных этапов не входит в алгоритм получения количественно оценки действия ксенобиотика

а) планирования эксперимента

б) проведения эксперимента

в) получения количественных оценок

г) публикация результата

5. Статистическая совокупность экспериментальных данных по определению смертельной дозы того или иного вещества должна имеет характеристику рассеяния, именуемую

а) σ*LD5* б) LD_{50}

в) LDσ г) σ*50*

6. Что означает запись 0.6 *LD40*

а) 60 % от дозы, вызывающей 50%-ю гибель животных

б) 40 % от дозы, вызывающей 50%-ю гибель животных

в) 60 % от дозы, вызывающей 40%-ю гибель животных

г) 40 % от дозы, вызывающей 60%-ю гибель животных

7. Решение искать ту дозу, которая вызывает изучаемый эффект у 50 % подопытных животных исходит из предположения о

а) нормальности распределения эффектов действия вещества на большое количество сходных животных

б) идентичности всех подопытных животных

в) более высоком иммунитете у примерно половины популяции подопытных

г) скосе нормальности распределения устойчивости в область более низких значений

8. Чему равно значение выражения LD_{84} - LD_{l6}

а) LD_{68} б) σ

в) 2σ г) LD_{50}

9. Какая часть выборки лежит внутри отрезка длинной 6σ

1)16% 2)50%

3)84% 4)100%

10. Для ксенобиотиков с Kk ниже единицы была выделена специальная группа:

а) сверхкумулирующие

б) выраженно кумулирующие

в) умеренно кумулирующие

г) слабо кумулирующие

11. Коэффициент показывающий сроки гибели животных при повторном введении им дозы, составляющей одну и ту же долю от смертельной дозы называют:

а) коэффициент смертности

б) коэффициент кумуляции

в) кумуляцией смертности

г) кумулирующая мортальность

12. Более высокая кумулятивность токсиканта будет автоматически означать:

а) повышение ПДК

б) понижение ПДК

в) необходимость дополнительных исследований

г) перерасчет ПДК

13. Часто комбинированное воздействие ядов может вызвать токсический эффект, превышающий сумму эффектов от действия каждого яда смеси в отдельности. Почему это происходит?

а) из-за того, что печень животных не может одновременно бороться с двумя токсикантами

б) из-за торможения одним веществом процессов биотрансформации и детоксикации другого вещества;

в) из-за аддитивного эффекта токсикантов

г) это просто флуктуации, такого эффекта не существует.

14. Такой тип комбинированного действия токсикантов, при котором совместный его эффект превышает сумму эффектов каждого из веществ, входящих в комбинацию, называется:

а) аддитивное действие

б) потенцирование

в) антагонизм

г) субмиссивное действие

15. Нередки случаи, когда однократное комбинированное действие ядов вызывает эффект, который меньше суммы эффектов воздействия каждого из них. Объясните этот эффект

а) после распознавания одного из токсикантов запускаются все репарационные механизмы организма и действие оставльных токсикантов пресекается на ранних этапах

б) токсиканты смеси реагируют между собой и теряют токсичность

в) в смеси удельная мольная доля каждого из компонентов ниже, а значит ниже и токсический эффект

г) в реальности токсический эффект даже сильнее, просто из-за относительно низкой удельной концентрации каждого компонента в смеси, он наступает позже.

16. LD_{50} для вещества равный 150 мг/кг означает, что

а) что после приема половины этой дозы гарантированно погибнут все тестируемые животные

б) что после приема этой дозы гарантировано погибнут все тестируемые животные

в) что после приема этой дозы гарантировано погибнет 50% подопытных животных

г) что после приема половины этой дозы гарантировано погибнет 50% подопытных животных

17. На каком предположении основывается расчёт LD_{50} по Беренсу

а) что общее количество животных, погибших от доз, меньших LD_{50}, равно общему количеству животных, выживших от доз, больших LD_{50}

б) что общее количество животных, погибших от доз, меньших LD_{50}, значительно общего количества животных, выживших от доз, больших LD_{50}

в) что общее количество животных, погибших от доз, меньших LD_{50}, сильно меньше общего количества животных, выживших от доз, больших LD_{50}

г) что общее количество животных, погибших от доз, меньших LD_{50}, никак не зависит от количества животных, выживших от доз, больших LD_{50}

18. Стандартно значение LD_{50} по Беренсу рассчитывается методом, который математически можно охарактеризовать как

а) стохастический

б) дифференциальный

в) графический

г) интегральный

Учебный модуль 3. Моделирование рисков воздействия загрязняющих веществ на агроценозы

Вы будете изучать:

- агроэкологические функции почв и земель;
- агроэкологические факторы оценки почв;
- алгоритм оценки количественных критериев физического и экономического соответствия земель различным вариантам их использования;
- структурно-функциональную организацию оценки агроландшафтов России на федеральном уровне;
- связь геоинформационных систем с современными подходами к автоматизации процесса агроэкологической оценки почв;
- геоинформационную основу систем агроэкологической оценки регионального уровня;
- способы интеграции всего множества землеоценочной информации в автоматизированной системе агроэкологической оценки;
- задачи разработчика системы агроэкологической оценки на региональном уровне.

Цели модуля:

- показать важность агроэкологических функций почвы при оценке земель;
- дать представление об построении рамочного решения для оценки данного набора земель;
- ознакомить с существующими подходами агроэкологической оценки земель на федеральном уровне;
- дать представление о базовых способах представления землеоценочных данных и способах их хранения и использования в автоматических системах агроэкологической оценки;
- привить основы алгоритмизации процессов перехода между различными масштабами моделирования экосистем;
- дать представление о процессе разработки системы агроэкологической оценки на региональном уровне.

После изучения модуля вы сможете:

- определять основные агроэкологические функции почв для оценки земель;
- подбирать адекватные агроэкологические факторы оценки почв;

- правильно выстраивать работу по подбору критериев оценки земель;
- планировать этапы агроэкологической оценки земель федерального уровня;
- корректно подбирать геоинформационные источники данных для агроэкологической оценки;
- проектировать базовые концептуальные схемы автоматизированных систем агроэкологической оценки;
- подобрать агроэкологическую СППР под текущие нужды;
- разбираться в основных задачах разработчика системы агроэкологической оценки регионального уровня.

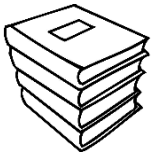
Ключевые слова: агроландшафт, агрономическая устойчивость, агроэкологические факторы оценки почв, базы знаний, государственный земельный кадастр, геоинформационные системы, глобальные системы позиционирования, данные дистанционного зондирования, обобщающих функциональных факторов оценка, основные диагностические показатели оценки, система поддержки принятия решений, система управления базами данных, элементарный ареал агроландшафта

Библиографический список

Основная литература

1. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий (под ред. В.И. Кирюшина и А.Л. Иванова). – М.: Росинформагротех, 2005. - 783 с.

2. Методика агроэкологической типизации земель в агроландшафте (информационно-справочные системы оценки их ресурсного потенциала и оптимизации базовых элементов систем земледелия) (под ред. И.И. Васенёва). М.: Россельхозакадемия, 2004. 80 с.



Дополнительная литература

1. Агроэкология (под ред. В.А. Черникова и А.И. Чекереса). М.: Колос. 2000. 535 с.
2. Кирюшин В.И. Агропочвоведение. – М.: КолосС, 2009.

Модульная единица 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, биологический 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; и (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 различный 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 (функциям) оценки почв и земель относятся:

A) Агрохимическая функция эффективного обеспечения продукционного процесса сельскохозяйственных культур доступными формами элементов питания;

B) Гидрофизическая функция обеспечения сельскохозяйственных культур доступной влагой;

C) Агрофизическая функция поддержания благоприятных условий для работы сельхозмашин;

D) Агроморфогенетическая функция поддержания устойчивого плодородия пахотных почв и земель;

E) Санитарно-экологическая функция обеспечения благоприятного фитосанитарного состояния земель;

F) 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 культур, продуктивности пастбищ, качества продукции, экономических параметров производства.

Модульная единица 3.2. Современные задачи агроэкологической оценки почв и земель

Проведенный анализ различных систем агроэкологической оценки почв и земель [*Васенев и др., 2004; 2010*] показал первоочередное влияние на эффективность их работы пяти следующих принципиальных элементов оценки:

- целевого определения набора анализируемых функциональных (в т.ч., технологических) и экологических качеств почв и земель – *ограниченного рамками поставленной задачи и особенностями объекта оценки*;
- использования обоснованно достаточного, но не избыточного набора реально доступных основных диагностических показателей (ОДП) почв и земель – *для характеристики каждого из их анализируемых качеств*;
- выбора рациональных (*достаточно, но не избыточно информативных*) шкал квантификации-ранжирования используемых ОДП;
- 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*;
- 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 6 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;

6) 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 3-х этапную процедуру оценки:

1) формирование перечня основных диагностических показателей оценки – ОДПО;

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

3) приведение шкал, нормативов и алгоритмов оценки ОДПО в соответствие агроэкологическим требованиям выращиваемых культур и применяемых при этом агротехнологий.

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

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

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

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

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

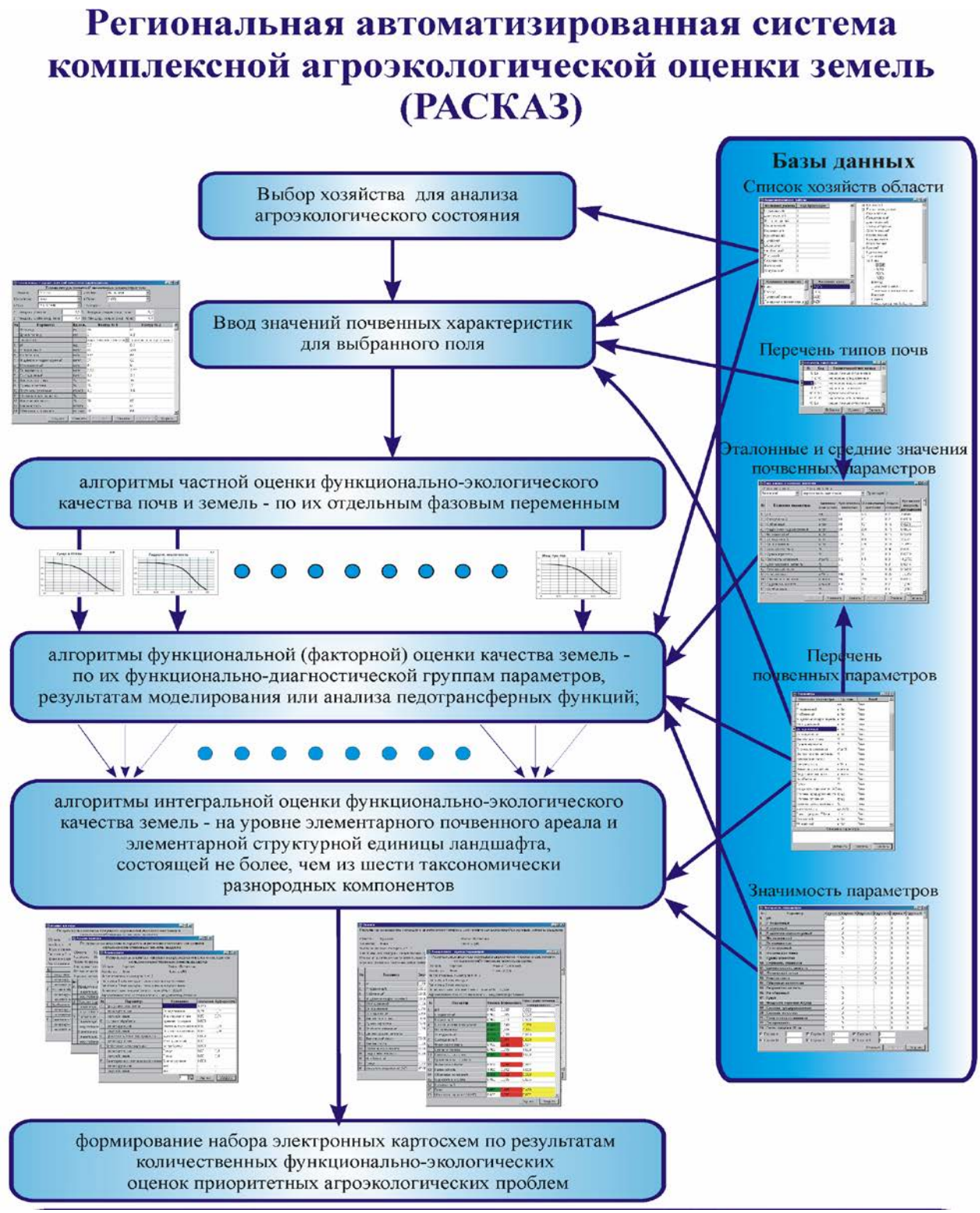


Рис. 3.1. Принципиальная блок-схема автоматизированной системы агроэкологической оценки земель РАСКАЗ (Васенев и др., 2004)

д) 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;

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

ж) визуализация результатов оценки в виде специально разрабатываемых форм-отчетов, графиков или картосхем (рис. 3.1).

Основные задачи конкретного варианта автоматизированной системы агроэкологической оценки земель определяются: 1) ключевыми принципами построения агроэкологической оценки земель; 2) обоснованным набором основных диагностических параметров оценки (ОДПО) по каждой анализируемой функции почв и земель; 3) базовыми критериями, шкалами и алгоритмами частной и функционально-факторной агроэкологической оценки (по каждому из включенных в систему ОДПО и обобщающих функциональных факторов оценки); 4) принятыми в системе правилами фильтрации, обобщения и интерпретации первичной и расчетной агроэкологической и вспомогательной информации; 5) заданным уровнем жесткости-гибкости структурирования и описания анализируемых объектов, решаемых аналитических и экспертных задач, используемых при оценке типовых наборов ОДПО и алгоритмов оценки; 6) 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.

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 в условиях конкретного агроландшафта и землепользования.

Среди основных тенденций в развитии систем агроэкологической оценки земель следует отметить постепенный рост внимания исследователей к провинциально-генетической и структурно-функциональной дифференциации почвенного покрова и агроландшафта, основным процессам и последствиям 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, Кирюшин, 2005; Васенев, Бузылев, 2010*), предусматривая 4 уровня адаптации автоматизированной системы оценки к природным, технологическим и экологическим особенностям земель конкретного региона и хозяйства:

- адаптацию к условиям региона;
- адаптацию к условиям района;
- адаптацию к условиям хозяйства;
- адаптацию к условиям конкретного земельного участка.

Модульная единица 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 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 ранжирования ОДПО, базового перечня применяемых классификационных схем;

5) формирование единой рамочной системы метеоролого-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 обеспечения.

Принципиальная методология и 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.

Исходную информационно-методическую основу федерального уровня агроэкологической оценки земель составляют существующие системы почвенно-географического [*Добровольский, Урусевская, 1984; 2004*] и природно-сельскохозяйственного районирования [*«Природно-сельскохозяйственное…», 1983*] и обзорные карты почвенно-экологического, почвенно-эрозионного, почвенно-мелиоративного и т.п. районирования. Часть из них уже имеется в электронном виде, другие – сравнительно легко поддаются компьютерной оцифровке, что облегчает формирование на их основе ГИС многоцелевого агроэкологического районирования сельскохозяйственной территории страны

под основные виды сельскохозяйственных культур – с количественной оценкой их продукционного потенциала, агротехнологических условий возделывания, существующей инфраструктуры производства и условий реализации продукции.

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 году 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 пр. Каждая из них имеет несколько слоев, сопряженных с соответствующими федеральными базами данных [*Рожков и др., 1995*]. В настоящее время оцифрованы Ландшафтная карта и Почвенная карта страны в масштабе 1:2 500 000. Вместе с Атласом они образуют постоянно развивающуюся ГИС природных ресурсов России [*Рожков, Васенев, 2003*].

Специализированные федеральные ГИС, непосредственно связанные с анализом агроэкологического состояния земельных ресурсов России, развиваются в Министерстве природных ресурсов и Министерстве 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, Object-Land, Геополис, GeoMedia, SICAD/SD.

Для оперативного решения кадастровых задач на больших территориях можно использовать технологии фотограмметрической обработки данных дистанционного зондирования (ДДЗ) 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.

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-литогеоморфологического округа и почвенного района – тем самым, обеспечивая исходной информацией основные уровни природной классификации равнинных ландшафтов.

Модульная единица 3.4. Региональный уровень информационно-методического обеспечения агроэкологической оценки земель

Агроэкологическая оценка земель призвана решить следующие задачи на региональном уровне:

1) разработка, верификация и поэтапная детализация региональных систем агроэкологической систематизации земель – на основе уточненного природно-сельскохозяйственного районирования территории субъектов РФ;

2) составление региональных регистров (с указанием основных ареалов

распространения) агроэкологических групп и видов земель;

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

4) формирование региональных баз данных основных диагностических параметров оценки (ОДПО) агроэкологического состояния земель;

5) создание региональных электронных атласов агроэкологического состояния земель, структурированных по 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.

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 основу составляют сопряженные с соответствующими базами данных тематические пакеты следующих электронных карт и картосхем:

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

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

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

г) 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;

д) агроклимата – с районированием территории по среднемноголетнему количеству осадков, сумме активных температур, длительности вегетационного периода основных выращиваемых культур, агроклиматическим рискам растениеводства и степени неоднородности микроклимата;

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

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

з) 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.п.

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 [*Васенев и др., 2004; 2010; «Агроэкологическая оценка…», 2005*].

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

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:

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

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

(в) 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 3-хэтапную

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 культур и агротехнологий [*«Land evaluation…», 1993; Rossiter, 1995; Singer, Ewing, 2000*].

Типичная структура такой оценки приведена в принципиальной блок-схеме на рисунке 3.1 и состоит из следующих основных процедур:

а) выбор объекта оценки;

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

в-г) 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.);

д) интегральная оценка сложных объектов – на основе анализа результатов оценки их составных элементов;

е) визуализация результатов оценки в виде специально разрабатываемых форм-отчетов, графиков или картосхем.

Модульная единица 3.5 Задачи разработчика на региональном уровне

Первая задача, с которой сталкивается любой разработчик и пользователь автоматизированных систем оценки земель, состоит в однозначной функционально-экологической идентификации объектов.на включает в себя четыре принципиальные составляющие.

Почвенно- и/или ландшафтно-географическая координация объектов оценки (рис. 3.2) 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 автоматически воспроизводить его точную административно-хозяйственную привязку на всех выходных формах анализа и формировать соответствующие записи в агроэкологических паспортах и специализированных базах данных. 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 т.п.) 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.

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 оцени-

ваемых 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 (рис. 3.3).

Бланк ввода текущих значений почвенных характеристик

Бланк ввода значений почвенных характеристик

1.Область: Курская 2.Район: Льговский

3.Хозяйство: Нива 4.Поле: 2 (30)

5.Дата: 15.08.1996 6.Контуров: 2

7. Площадь участка: 1,5 9. Площадь средне эрод. почв: 0,3

8. Площадь слабо эрод. почв: 0,1 10. Площадь сильно эрод. почв: 1,1

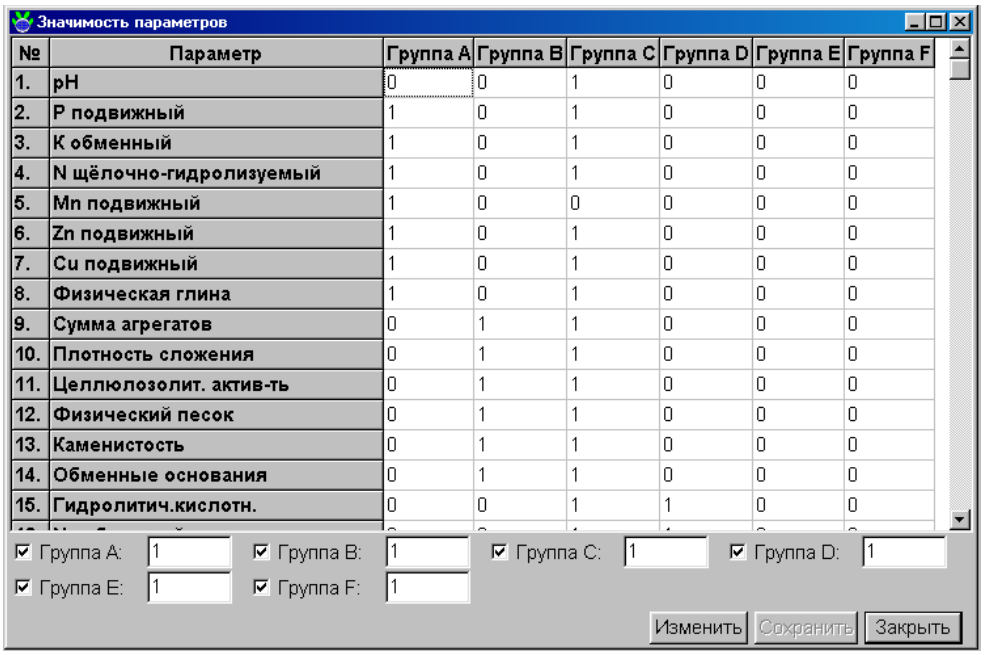
№	Параметр:	Ед.изм.	Контур № 1	Контур № 2
	Площадь:	га	70	80
	Длина границ:	км	8	4,2
	Тип почвы:		серые лесные супесчаные	серые лесные супесчаные
1.	pH	ед.	5,6	6,2
2.	P подвижный	мг/кг	84	263
3.	K обменный	мг/кг	113	66
4.	N щёлочно-гидролизуемый	мг/кг	87	56
5.	Mn подвижный	мг/кг	47	6
6.	Zn подвижный	мг/кг	2,93	2,75
7.	Cu подвижный	мг/кг	1,4	2,1
8.	Физическая глина	%	14	15
9.	Сумма агрегатов	%	36	36
10.	Плотность сложения	г/см^3	1,6	1,6
11.	Целлюлозолит. актив-ть	%	-	-
12.	Физический песок	%	86	85
13.	Каменистость	м^3/га	0	0
14.	Обменные основания	мэкв/кг	25	64
15.	Гидролитич.кислотн.	мэкв/кг	34	8
16.	Na обменный	%	-	-

Создать | Изменить | Сохранить | Удалить | Отмена | Закрыть

Рис. 3.2. Пример бланка текущих значений почвенных параметров для агроэкологической оценки земель [*Васенев и др., 2004; 2010*].

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

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



Значимость параметров

№	Параметр	Группа A	Группа B	Группа C	Группа D	Группа E	Группа F
1.	pH	0	0	1	0	0	0
2.	P подвижный	1	0	1	0	0	0
3.	K обменный	1	0	1	0	0	0
4.	N щёлочно-гидролизуемый	1	0	1	0	0	0
5.	Mn подвижный	1	0	0	0	0	0
6.	Zn подвижный	1	0	1	0	0	0
7.	Cu подвижный	1	0	1	0	0	0
8.	Физическая глина	1	0	1	0	0	0
9.	Сумма агрегатов	0	1	1	0	0	0
10.	Плотность сложения	0	1	1	0	0	0
11.	Целлюлозолит. актив-ть	0	1	1	0	0	0
12.	Физический песок	0	1	1	0	0	0
13.	Каменистость	0	1	1	0	0	0
14.	Обменные основания	0	1	1	0	0	0
15.	Гидролитич.кислотн.	0	0	1	1	0	0

Группа A: 1 Группа B: 1 Группа C: 1 Группа D: 1
Группа E: 1 Группа F: 1

Изменить Сохранить Закрыть

Рис. 3.3. Пример бланка интерактивного выбора функциональных факторов и диагностических параметров агроэкологической оценки земель в РАСКАЗ [*Васенев и др., 2004; 2010*]

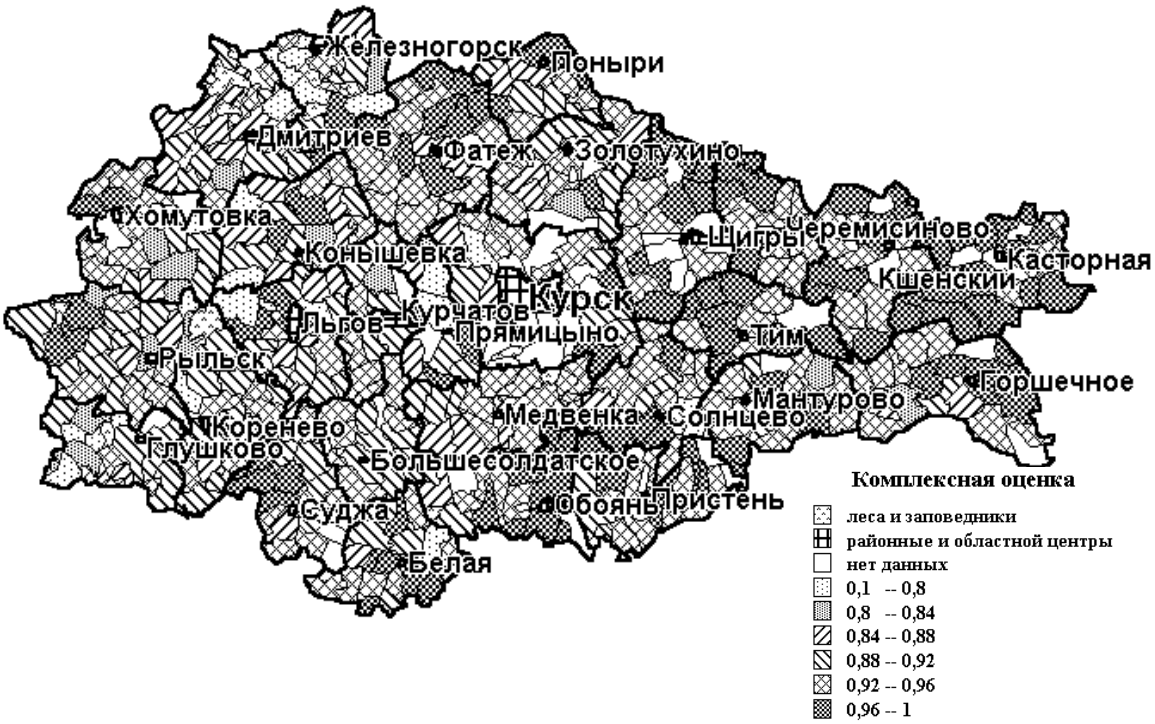


Рис. 3.4. Распечатка электронной картосхемы интегральной оценки агроэкологического состояния почв Курской области (Хахулин, Васенёв, 2003).

- использование для характеристики каждого из факторов обоснованно достаточного, но не избыточного набора реально доступных ОДПО;
- выбор рациональных (достаточно, но не избыточно информативных) шкал квантификации-ранжирования используемых ОДПО;
- разработка эффективного алгоритма анализа модели – с установлением оптимального метода интегрирования и интерпретации результатов;
- принятия 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 результатов оценки в виде тематических или синтетических электронных картосхем основных факторов и параметров агроэкологического состояния земель (рис. 3.4). 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.

Модульная единица 3.6 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 оно относится. 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 сельскохозяйственную территорию страны были созданы крупномасштабные почвенные и агрохимические карты нескольких туров обследования. При множестве частных замечаний (по качеству топосновы, детальности и точности картирования, отражению реальной неоднородности структуры почвенного покрова) они, как правило, достаточно 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 требований 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 использовать 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 (см. содержания элементов питания на рис. 3.6).

При оценке уровня соответствия земельного участка рассматриваемому варианту сельскохозяйственного землепользования обычно применяются гибко настраиваемые алгоритмы дерева решений и мультипликативной

оценки с элементами жесткого ограничения по лимитирующему фактору [*Козловский, 1987; 2003; Карманов, 1990; Rossiter, 1996; Singer, Ewing, 2000; Васенев, 2004; 2008; 2010*]. При агроэкологической типизации структур почвенного покрова и функционально-целевом зонировании землепользования особое внимание уделяется степени внутрипольного варьирования почвенного плодородия, тепловому и влажностному режимам почв – в зависимости от экспозиции и крутизны склона, преобладающих форм микрорельефа [*Сорокина, 2003*].

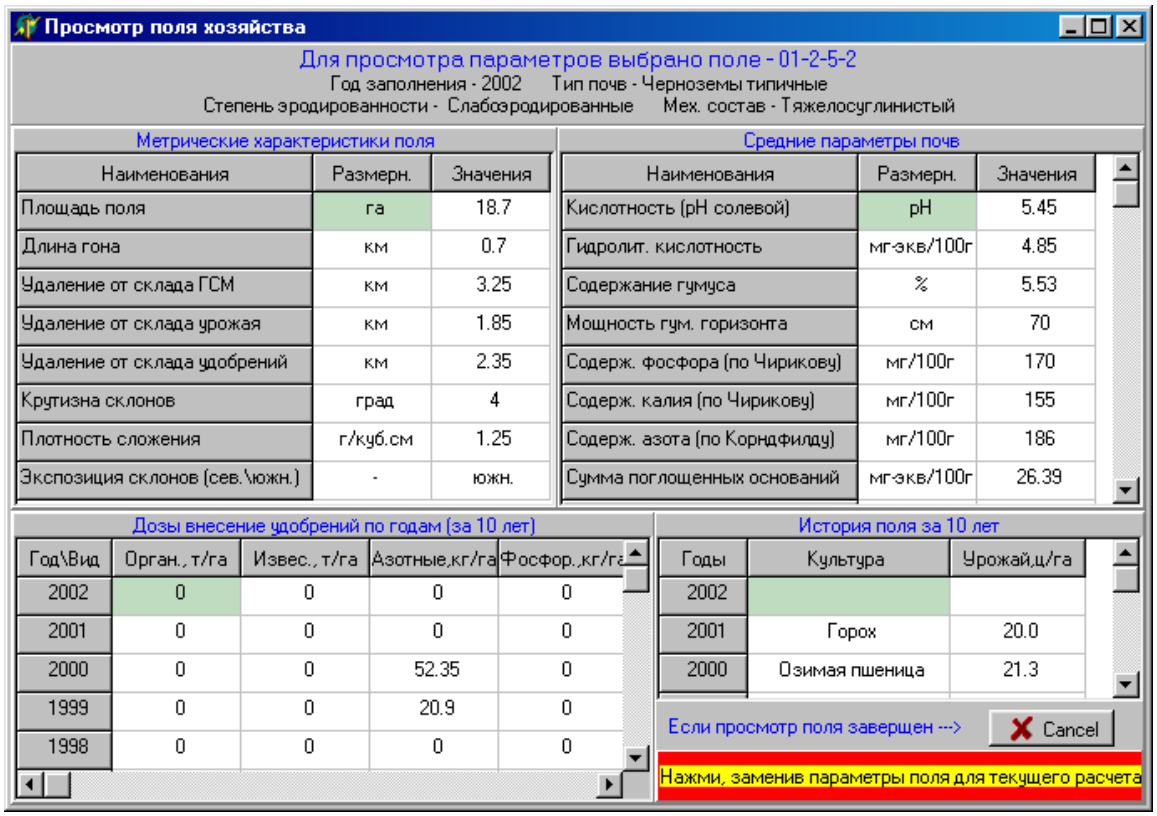


Рис. 3.6 Пример бланка ввода-корректировки текущих значений почвенных характеристик для агроэкологической оценки земель

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.

Вопросы для самоконтроля к модулю 3

1. Перечислите основные наиболее часто рассматриваемых почвенные агроэкологические функции?
2. Какие наиболее популярные (часто анализируемые) агроэкологические факторы оценки почв и земель вы запомнили?.
3. Как определяется агрономическая устойчивость показателей производительности или функциональности?
4. Что такое ОДП?
5. Как чаще всего организованы автоматизированные системы оценки агроэкологического качества пахотных почв и земель?
6. Для чего используются ОДПО?
7. Из скольки процедур состоит типичная структура сводного алгоритма агроэкологической оценки?
8. Чем определяются основные задачи конкретного варианта автоматизированной системы агроэкологической оценки земель?
9. Почему сейчас повышается актуальность мультипликативной оценки функционального качества и экологического состояния почв и земель, поливариантного прогнозирования их использования?
10. В чем отличие задач организации систем агроэкологической оценки на региональном и федеральном уровнях?
11. Что составляет исходную информационно-методическую (и картографическую) основу федерального уровня агроэкологической оценки земель?
12. Какие программные продукты используются в качестве ГИС инструментария для земельного кадастра РФ?
13. Что такое ДДЗ и как их использование в рамках специализированных земельных ГИС помогает решению широкого спектра задач?
14. Какие задачи решаются на региональном уровне агроэкологической оценки земель?
15. Что такое СППР и как они связаны с ИСС?
16. Какие этапы предусмотрены для настройки автоматизированных системы агроэкологической оценки количественных критериев физического и экономического соответствия земель различным вариантам и технологиям?

17. Что является основными задачами разработчика автоматизированной системы агроэкологической оценки ?
18. Каким образом создается нормативная база для локального уровня информационно-методического обеспечения агроэкологической оценки земель?

Примеры тестовых заданий к модулю 3

1. Данные по которым определяют агрономическую устойчивость показателей производительности это

а) дисперсия

б) доверительный интервал

в) коэффициент вариации

г) среднее

2. Что из перечисленного не относится к агроэкологическим функциям почв

а) продуктивность

б) влагопроводимость

в) связывание загрязнителей

г) плотность

3. Какая из функций почв обеспечивает поддержания благоприятных условий работы сельхоз машин

а) агрохимическая

б) гидрофизическая

в) магрофизическая

г) агроморфогенетическая

4. Что из предложенного является первым этапом оценки количественных критериев физического и экономического соответствия земель различным вариантам и технологиям их использования

а) формирование перечня основных диагностических показателей оценки

б) системный анализ агроэкологических требований основных выращиваемых культур

в) приведение шкал, нормативов и алгоритмов оценки в соответствие агроэкологическим требованиям культур.

г) включение в список показателей оценки показатели, рекомендованные ФАО

5. Автоматизированные системы оценки агроэкологического качества пахотных почв и земель все чаще последнее время организуются как

а) единый программный комплекс

б) набор независимых утилит

в) рамочное решение (framework)

г) нескольких линий программных продуктов под разные задачи

6. При агроэкологической типизации структур почвенного покрова для локального уровня информационно-методического обеспечения агроэкологической оценки земель особое внимание уделяется

а) тепловому и влажностному режимам почв

б) инсоляции

в) pH и содержанию органики

г) всем перечисленным факторам

7. Решению каких задач не помогает использование ДДЗ в рамках специализированных земельных ГИС

а) созданию тематических карт районирования и землеустроительного проектирования;

б) мониторингу агроэкологического состояния земель и оценке ущербов;

в) прогнозу урожайности и проблемных агроэкологических ситуаций.

г) составлению корректных баз данных редких почв РФ

8. В современной технологии ведения ГЗК земельные геоинформационные системы используется только для

а) агроэкологической оценки

б) ведения кадастровой карты

в) районирования

г) мониторинга земель

9. Чем обусловлена повышенная актуальность разработки специализированного геоинформационного обеспечения для федерального уровня агроэкологической оценки сельскохозяйственных земель

а) высокой динамикой текущей структуры использования земель,

б) экологическим состояниям сельскохозяйственных и маргинальных земель

в) медленным обновлением современной селекционно-сортовой, материально-технической и технологической базы сельскохозяйственного производства,

г) низким рыночным спросом на землю

10. Карты какого масштаба используются для регинальных ГИС, используемых в автоматизированных системах комплексной агроэкологической оценки земель

а) 1:10 000 – 1:50 000

б) 1:50 000 – 1:100 000

в) 1:100 000 - 1:200 000

г) 1:100 000 - 1:1000 000

11. Что такое СППР

а) система поддержки принятия решений

б) система позиционирования почвенных разрезов

в) среднемасштабный протокол проектирования решений

г) система проектирования поддержки регионов

12. Что из перечисленного не является этапом настройки автоматизированной системы агроэкологической оценки количественных критериев физического и экономического соответствия земель различным вариантам и технологиям использования к условиям конкретного региона:

а) формирование перечня основных диагностических показателей оценки;

б) системный анализ агроэкологических требований основных выращиваемых культур

в) приведение в соответствие шкал, нормативов и алгоритмов оценки ОДПО агроэкологическим требованиям выращиваемых культур и агротехнологий

г) верификация полученных данных по данным аналогичных систем

13. Функционально-экологической идентификация объектов анализа в системе их координации, принятая в данной системе оценки, не включает в себя такую составляющую:

а) почвенно- и/или ландшафтно-географическая координация объектов;

б) административно-хозяйственная организация

в) биолого-почвенная иерархическая организация объект

г) функциональная дифференциация решаемых оценочных задач

14. Первоочередное влияние на эффективность работы региональных автоматизированных систем агроэкологической оценки земель оказывает

а) использование для характеристики всех факторов обоснованно достаточного, но не избыточного набора реально доступных СППР

б) выбор рациональных избыточно информативных шкал квантификации-ранжирования используемых ФРС;

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

г) принятия во внимание известных закономерностей провинциально-генетического разнообразия почв

15. Обычно задача выбора наиболее значимых (лимитирующих) функциональных факторов и диагностических параметров агроэкологической оценки ложится на

а) создателя системы

б) саму систему

в) пользователя

г) зависит от данных

16. Совмещение баз данных с локальными геоинформационными системами анализируемых объектов позволяет получать результаты анализа в виде

а) интерактивных баз данных

б) электронных картосхем

в) файлов

г) интерактивных графиков

17. При отсутствии готовых районированных нормативов для локального уровня информационно-методического обеспечения агроэкологической оценки земель, делают следующее

а) максимально детализируется доступная нормативная информация

б) нормы разрабатываются де-ново специализированными институтами

в) берутся нормы из других регионов со сходными условиями

г) разработки прекращаются до появления норм

Учебный модуль 4. Оценка и прогнозирование антропогенного воздействия на почвы

Вы будете изучать

- основные виды загрязнения почв и агроландшафтов;
- диагностические показатели и шкалы оценки загрязнения почв тяжелыми металлами и радионуклидами;
- ПДК веществ в почвах и допустимые уровни их содержания по показателям вредности;
- схемы оценки почв сельхозугодий по степени загрязнения химическими веществами;
- наиболее распространенные виды деградации почв и ландшафтов;
- основные диагностические показатели деградации почв;
- чем обусловлено основное радиоактивное загрязнение сельскохозяйственных земель;
- агроэкологическую оценку деградации агроландшафтов и почв;
- нормы СанПиНа по загрязнению сельхоз продукции радионуклидами.

Цели модуля

- познакомить с основными видами загрязнения почв и агроландшафтов;
- дать представление о диагностических показателях и шкалах оценки загрязнения почв тяжелыми металлами и радионуклидами;
- объяснить наиболее распространенные виды деградации почв;
- показать основные диагностические показатели деградации почв.

После изучения модуля Вы сможете

- определять класс опасности по табличным данным;
- формировать региональные наборы диагностических показателей и шкал оценки загрязнения почв тяжелыми металлами и радионуклидами;
- рассчитывать коэффициент перехода радионулидов;
- давать комплексную оценку наиболее распространенных видов деградации почв и ландшафтов;
- определять допустимые пределы загрязнения почв радионуклидами;
- рассчитывать плотность загрязнение почв;
- осознать важность роли почв в миграции радионуклидов.

Ключевые слова: почва, деградация, загрязнение, агроландшафт, радионуклиды, тяжелые металлы, экологическая оценка почв, агроэкологическая оценка почв, СанПиН, виды загрязнения почв и агроландшафтов, коэффициент перехода радионулидов, диагностические показатели, экологическая опасность

Библиографический список

Основная литература

1. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий (под ред. В.И. Кирюшина и А.Л. Иванова). – М.: Росинформагротех, 2005. - 783 с.
2. Методика агроэкологической типизации земель в агроландшафте (информационно-справочные системы оценки их ресурсного потенциала и оптимизации базовых элементов систем земледелия) (под ред. И.И. Васенёва). М.: Россельхозакадемия, 2004. 80 с.

Дополнительная литература

1. Агроэкология (под ред. В.А. Черникова и А.И. Чекереса). М.: Колос. 2000. 535 с.
2. Кирюшин В.И. Агропочвоведение. – М.: КолосС, 2009.

Модульная единица 4.1. Экологическая оценка почв, загрязненных тяжелыми металлами

В зависимости от пути миграции химических веществ из почвы в сопредельные среды, различают четыре разновидности ПДК: (а) транслокационный

показатель, характеризующий переход вещества через корневую систему растений в зеленую массу и плоды; (б) миграционный воздушный показатель, характеризующий переход в атмосферу; (в) миграционный водный показатель, характеризующий переход вещества в водную среду; (г) общесанитарный показатель, характеризующий влияние вещества на самоочищающую способность почвы и микробоценоз.

Как оценивается экологическая опасность, возникающая вследствие устойчивых техногенных нагрузок?

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

1. Педохимическая индикация степени загрязнения почв химическим веществом (Глазовская, 1997) основана на коэффициенте концентрации $К_С$ (*6.1.1*):

$$К_С = С / С_Ф,$$

где С – концентрация вещества в загрязненной пробе, $С_Ф$ – фоновое содержание элемента в почве.

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

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

$$Z = \sum К_С - (n - 1), \qquad 4$$

где *$К_С$ – коэффициенты концентрации веществ > 1;*

n – число химических элементов с $К_С$ > 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, фактического содержания в почве токсикантов (табл. 4.1), их ПДК (таблица 4.2) и класса опасности токсикантов (табл. 4.3) («Агроэкологическая оценка…», 2005).

Таблица 4.1. 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
I. Допустимая	<16	Выше фонового, но ниже ПДК	Низкие 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 уровней загрязнения в почвах. Контроль за содержанием токсикантов во всех средах

Таблица 4.2. ПДК веществ в почвах и допустимые уровни их содержания по показателям вредности, мг/кг почвы с учетом фона («Агроэкологическая оценка…», 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
F	2,8	2,8	–	–
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
As	2	2	15	10
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	–	–	–

Таблица 4.3. 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, LD_{50} *, мг/кг	Менее 200	200…1000	Более 1000
Персистентность в почве, мес.	Более 12	6…12	Менее 6
ПДК в почве, мг/кг	Менее 0,2	0,2…0,5	Более 0,5
Миграционная способность	Есть	Слабая	Нет
Персистентность** в растениях, мес.	Более 3	1…3	Менее 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

* LD_{50} – летальная доза вещества, вызывающая при введении в организм гибель 50 % животных; ** персистентность – продолжительность сохранения биологической активности, обусловленная устойчивостью к разложению.

Модульная единица 4.2. Экологическая оценка почв, загрязненных радионуклидами

Чем обусловлено основное радиоактивное загрязнение сельскохозяйственных земель?

Радиоактивное загрязнение сельскохозяйственных земель РФ, главным образом обусловлено долгоживущими радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr, которые поступили в окружающую среду в результате крупных радиационных аварий на химкомбинате "Маяк" (Южный Урал) и на Чернобыльской АЭС, а также испытаний ядерного оружия. Являясь химическими аналогами К и Са, они ха-

рактеризуются высокой миграционной подвижностью, в значительных количествах накапливаются в сельскохозяйственной продукции и, как следствие, в организме человека (Фокин и др., 2005).

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

- оценку влияния ландшафтных и биогеохимических характеристик сельскохозяйственных угодий на перераспределение радионуклидов в компонентах агроэкосистем, что в значительной степени определяет степень опасности загрязнения;
- оценку загрязненных сельскохозяйственных угодий с точки зрения возможности получения продукции, соответствующей санитарно-гигиеническим нормативам.

Таким образом, при оценке последствий радиоактивного загрязнения должны учитываться два методологических подхода – санитарно-гигиенический и экологический. В рамках санитарно-гигиенического подхода к экологической оценке сельскохозяйственных угодий, загрязненных радионуклидами, решается задача возможности использования данных земель для получения продукции, соответствующей установленным нормативам. В основе санитарно-гигиенического подхода лежит соблюдение нормативов и принципов радиационной безопасности населения, проживающего на загрязненных радионуклидами территориях.

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

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

- показатели биологической подвижности радионуклидов в почвах (формы; коэффициенты распределения между твердой и жидкой фазами почв; показатели селективной сорбции);
- показатели подвижности радионуклидов в системе почва – растение (коэффициенты накопления или коэффициенты перехода);
- параметры переноса радионуклидов по животноводческим цепочкам (коэффициенты перехода, всасывания, выведения).

Таблица 4.4. Классификация агроэкосистем по миграционной подвижности радионуклидов (Фокин и др., 2005; «Агроэкологическая оценка…», 2005).

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

Для оценки и предотвращения негативного воздействия радиоактивно загрязненных продуктов питания на человека, а кормов – на сельскохозяйственных животных на основании СанПиН 2.3.2.1078-01 используются такие критерии как временно-допустимые уровни (ВДУ), допустимые уровни (ДУ) и

максимально допустимые уровни (МДУ) содержания радионуклидов в сельскохозяйственной продукции.

Как определяются допустимые пределы загрязнения почв радионуклидами?

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

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

Экологическая оценка сельскохозяйственных угодий, загрязненных радионуклидами, включает:

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

При проведении обследования почв сельскохозяйственных угодий на содержание радионуклидов руководствуются «Методическими указаниями по обследованию почв сельскохозяйственных угодий, продукции растениеводства на содержание тяжелых металлов, остаточных количеств пестицидов и радионуклидов» (1995).

Плотность загрязнения почв радионуклидами – запас радионуклидов в слое почве на единицу площади, определяется по формуле

$$\sigma = (C \cdot h \cdot S \cdot d) \cdot 10^{-3},$$

где: σ – плотность загрязнения, кБк/м;

C – концентрация радионуклида, Бк/кг;

h – глубина отбора, см;

S = 1 м^2– площадь, на которую рассчитывается плотность загрязнения;

d – удельная масса почвы, г/см;

10^{-3} – коэффициент пересчета от Бк/м^2 на кБк/м^2.

Таблица 4.5. Агроэкологическая оценка деградации агроландшафтов и почв («Агроэкология», 2000; «Агроэкологическая оценка…», 2005).

Показатели	Степень деградации				
	0	1	2	3	4
Увеличение площади эродированных почв, % в год	< 0,5	0,6-1,0	1,1-2,0	2,1-5,0	>5,0
Площадь обнаженных пород, %	0-2	3-5	6-10	11-25	> 25
Глубина размывов и водороин, см	< 20	21-40	41-100	101-200	> 200
Расчлененность оврагами, км/км^2	< 0,1	0,1-0,3	0,4-0,7	0,8-2,5	> 2,5
Площадь подвижных песков, %	0-2	3-5	6-15	16-25	> 25
Глубина пресных (<1 г/л) почвенно-грунтовых вод, м	> 1,0	1,0-0,8	0,8-0,6	0,6-0,3	< 0,3
Глубина минерализованных (>3 г/л) почвенно-грунтовых вод, м	> 7	5,1-7,0	3,1-5,0	2,0-3,0	< 2
Длительность затопления, мес.	< 3	4-6	7-12	13-18	> 18
Проективное покрытие пастбищ, % от зонального	> 90	71-90	51-70	10-50	< 10
Увеличение равновесной плотности пахотного горизонта, % исходного	< 10	11-20	21-30	31-40	> 40
Межагрегатная пористость, см^3/г	> 0,2	0,11-0,2	0,06-0,1	0,02-0,05	< 0,02
Внутриагрегатная пористость, см^3/г	> 0,3	0,26-0,3	0,2-0,25	0,17-0,19	< 0,17
Коэффициент фильтрации, м/сут.	> 1,0	0,3-1,0	0,1-0,3	0,01-0,1	< 0,01
Каменистость, % покрытия	< 5	6-15	16-35	36-70	> 70
Уменьшение мощности А+В, %	< 3	3-25	26-50	51-75	> 75
Уменьшение запасов гумуса, %	< 10	11-20	21-40	41-80	> 80
Сработка торфа, мм/год	< 1	1-2,5	2,6-10	11-40	> 40
Потери почвенной массы, т/га в год	< 5	6-25	26-100	101-200	> 200

Градация почв по содержанию ^{137}Cs и ^{90}Sr включает 5 групп.

Для оценки перехода радионуклидов из почвы в растения используют:

- коэффициент накопления (КН) как отношение концентрации радионуклидов в растениях (Бк/кг) к концентрации радионуклидов в почве (Бк/кг);
- коэффициент перехода (или коэффициент пропорциональности (КП) – отношение концентрации радионуклидов в растениях (Бк/кг) к плотности загрязнения почвы на единицу площади (кБк/м^2).

Коэффициент перехода используют в качестве интегрального показателя при классификации агроэкосистем по миграционной подвижности радионуклидов (табл.4.4).

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

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

II – суглинистые (среднесуглинистые почвы);

III – глинистые (тяжелосуглинистые и глинистые почвы).

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

Модульная единица 4.3. Экологическая оценка деградации агроландшафтов и почв

Деградация агроландшафта подразумевает негативные изменения, выражающихся в снижении или утрате способности выполнять функции воспроизводства ресурсов и среды и социально-экономические функции («Агроэкологическая оценка…», 2005).

Виды деградации агроландшафтов различаются в зависимости от природы процессов (физическая, гидрологическая, геохимическая, биологическая).

С чем связаны основные виды деградации почв?

Основные виды деградации почв (табл. 4.5) определяются локальным сочетанием неблагоприятных условий почвообразования и выделяются аналогично видам деградации агроландшафта:

- физическая (переуплотнение, эрозия, дефляция и др.);

- заболачивание;
- физико-химическая (подкисление, подщелачивание, снижение поглотительной способности и буферности, вторичное засоление, осолонцевание);
- загрязнение вредными веществами;
- биологическая (уменьшение содержания органического вещества, численности и видового состава биоты; снижение биологической активности, почвоутомление).

5

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ К МОДУЛЮ 4

1. Как оценивается экологическая опасность, возникающая вследствие устойчивых техногенных нагрузок?
2. Что собой представляет коэффициент концентрации загрязняющих веществ?
3. Согласно каким категориям загрязнения оцениваются почвы сельскохозяйственных угодий?
4. Чем обусловлено основное радиоактивное загрязнение сельскохозяйственных земель?
5. Какие методологические подходы учитываются при оценке последствий радиоактивного загрязнения почв?
6. Какие показатели характеризуют миграционную подвижность радионуклидов в агроэкосистемах?
7. Как определяются допустимые пределы загрязнения почв радионуклидами?
8. Что представляет собой деградация агроландшафтов?
9. Назовите основные виды деградации агроландшафта.
10. С чем связаны основные виды деградации почв?

Примеры тестовых заданий к модулю 4

1. Коэффициент концентрации КС измеряется в:

а) моль^2 б) моль/л

в) моль^2/л^2 г) безразмерная величина

2. Если Z=25, а количество загрязняющих элементов равно трем, сколько из них могут иметь коэффициент концентрации «очень сильный» или выше

а) 0 б) 1 в) 2 г) 3

3. Если проводится обязательный контроль за содержанием веществ с лимитирующим водным миграционным показателем, то уровень загрязнения, как минимум

а) допустимый б) умеренно опасный

в) высоко опасный г) невероятно опасный

4. Какие изотопы обеспечивают основное радиоактивное загрязнение сельскохозяйственных земель РФ

а) ^{60}Co и ^{238}Pu б) ^{242}Cm и ^{147}Pm

в) ^{137}Cs и ^{90}Sr г) ^{232}U и ^{238}Pu

5. Плотность загрязнения почв радионуклидами обратно пропорциональна

а) глубине отбора

б) площади, на которую рассчитывается плотность загрязнения

в) удельной массе почвы

г) ни чему из указанного

6. В качестве критерия для группировки минеральных почв по коэффициентам перехода используют

а) pH почв

б) плотность почв

в) гранулометрический состав почв

г) процент содержания органического вещества

7. К причинам деградации почв не относятся

а) переуплотнение б) заболачивание

в) избыточное содержание органики

г) загрязнение вредными веществами

8. Среди показателей агроэкологической оценки деградации агроландшафтов к химическим показателям моно отнести

а) коэффициент фильтрации

б) сработку торфа

в) уменьшение мощности А+В

г) уменьшение запасов гумуса

9. Выделяют следующее количество степеней деградации агроландшафта в зависимости от степени выраженности показателя :

а) 2 б) 3 в) 4 г) 5

Учебный модуль 5. Моделирование поведения веществ в воздушной среде

Вы будете изучать

- уровни аппроксимации при построении математической модели;
- типы атмосферных режимов;
- как скорость накопления полютанта зависит от атмосферного давления;
- способы оценки влияния полютантов на прохождение солнечного света;
- как полютанты и осадки взаимно влияют друг на друга;
- пути потерь полютантов атмосферой в результате влажного, сухого осаждения и седиментации;
- прогнозирование и оценку восходяще/нисходящих перемещений выброса;
- способы оценки максимальной концентрации и дальности выброса исходя из класса стабильности атмосферы;
- применение моделей закрытого бокса для моделирования поведения полютанта в воздушной среде;
- различия в описании множественных точечных источников эмиссии и площадных источников;
- подходы к описанию распространения выбросов на морями и сложным рельефом.

Цели модуля

- дать базовые представления о законах перемещения вещества в воздушной среде;
- показать важность уровня выбросов, и скорости их депонирования;
- обсудить влияние различных погодных условий на формат распространения полютанта;
- дать представление о механизмах удаления полютантов;
- показать алгоритмы расчета поведения полютанта в воздушной среде;
- показать на примере расчета максимальной концентрации и дальности выброса основные этапы работы с современными физическими моделями;
- дать представление о сложной природе перемещения полютанта в воздушной среде, вследствие высокого динамизма множества факторов ее определяющих;
- изучить работу моделей закрытого бокса и принципы траекторынх моделей на примере распространения полютантов в воздушной среде;

- кратко ознакомить с имеющимися моделями распространения воздушных выбросов, для крайних и комплексных условий.

После изучения модуля Вы сможете

- описать базовые представления о законах перемещения вещества в воздушной среде;
- показать важность не только уровня выбросов, но и скорости их депонирования;
- обсудить влияние различных погодных условий на формат распространения полютанта;
- дать представление о механизмах удаления полютантов;
- показать базовые алгоритмы расчета поведения полютанта в воздушной среде;
- показать на примере расчета максимальной концентрации и дальности выброса основные этапы работы с современными физическими моделями;
- дать представление о сложной природе перемещения полютанта в воздушной среде, вследствие высокого динамизма множества факторов ее определяющих;
- изучить работу моделей закрытого бокса и принципы траекторынх моделей на примере распространения полютантов в воздушной среде;
- кратко ознакомить с имеющимися моделями распространения воздушных выбросов, для крайних и комплексных условий.

Ключевые слова:

Антицикклон, влажное осаждение, выброс, высота смешения, детерминированные модели, изобара, класс стабильности амтосферы, коэффициент диффузии, коэффициент вымывания, лабильность, лагранжев подход, мутность, модель закрытого блока, множественные точечные источники, сухое осаждение, турбулентный поток, траекторные модели, циклон, фотометрия, фотохимической бокс-модели, шлейф

Библиографический список

Основная литература

1. Vallero DA, Isukapalli SS, Zartarian VG, Mccurdy TR, Mckone T, Georgopoulos P, et al. Modeling and predicting pesticide exposures.Chapter 44. In: Krieger R, editor. Hayes handbook of pesticide toxicology, vol. 1. New York (NY): Elsevier Science; 2010. pp. 995e1020.
2. Schrenk HH, Heimann H, Clayton GD, Gafafer WM,Wexler H. Air pollution in Donora, PA, Public Health Bulletin 306.Washington (DC): US Public Health Service; 1949.

Дополнительная литература

1. Godish T. Air quality. 2nd ed. Boca Raton (FL): Lewis Publishers;1991.
2. Hanna SR, Drivas PJ. Guidelines for use of vapor cloud dispersion models. New York: American Institute of Chemical Engineers; 1987.
3. Knap AH, editor. The long-range atmospheric transport of natural andcontaminant substances. Hingham (MA): Kluwer Academic Press;1989.
4. Kramer ML, PorchWM. Meteorological aspects of emergency response. Boston (MA): American Meteorological Society; 1990.
5. Puttock JS, editor. Stably stratified flow and dense Gas dispersion New York: Oxford University Press; 1988.
6. Sandroni S, editor. Regional and long-range transport of air pollution. New York: Elsevier Science Publishers; 1987

Модульная единица 5.1 Основные подходы к моделированию поведения веществ в воздушной среде

Модели, в целом, нужны для представления сложной системы понятным способом. Они принимают много форм, начиная «с концептуальных моделей», которые объясняют способ, которым система работает, включая все факторы и параметры того, как, например, загрязнитель перемещается в воздухе

после его выброса. Концептуальные модели - первый и важнейший шаг в определении факторов, которые будут влиять на то, где химикат, вероятно, будет найден в окружающей среде и таким образом, они должны разрабатываться, для помощи в указании основных источников данных, необходимых для адекватной оценки текущих проблем окружающей среды. В целом разработка модели требует двух основных шагов: Во-первых, должна быть определена модель объекта исследования и связанных с ним процессов. Во вторых, в граничных условиях модели должны быть учтены влияния процессов выходящих за пределы модели и являющихся для нее окружением. Ученые часто разрабатывают «физические» или «динамические» модели, чтобы оценить ожидаемое местоположение вещества, в результате перемещения, при заданных условиях, но в намного меньшем масштабе. Например, американское Агентство по охране окружающей среды (EPA) использует камеры или даже целые тестовые здания в натуральную величину, чтобы смоделировать поведение загрязнителей в закрытом помещении. Как и у всех моделей, точность динамических моделей определяется степенью, до которой фактические условия могут быть смоделированы и качеством используемой информации.

Численные модели применяют математические выражения, для аппроксимации системы. Есть три типа термодинамических систем

1. Изолированные системы, в которых ни вещество, ни энергия не пересекает границы системы (т.е. никакая работа не совершается над системой).
2. Закрытые системы, в которых энергия может обмениваться со средой, но вещество не пересекает границу
3. Открытые системы, в которых и вещество и энергия свободно, обмениваются через системные границы с окружающей средой.

По-настоящему изолированные системы крайне редки. На самом деле большинство микро-экосистем открыто, но с некоторыми упрощениями, определенные их подсистемы можно рассматривать, как закрытые.

Статистические модели включают в себя модели дисперсии загрязнителя, такие как лагранжевые модели, которые рассматривают перемещение контрольного объема от источника до местоположений приемника. Они часто подразумевают использование идеализированного Распределения Гаусса от точки выброса, т.е. считается что концентрации загрязнителя нормально распределена в вертикальном и в горизонтальном направлении от источника. Ла-

гранжевый подход крайне характерен для моделирования атмосферных выбросов полютантов. Однако недавние модели, основанные на лагранжевом подходе, стали включать описания сложной турбулентности. Стохастические модели - это статистические модели, которые предполагают, что события, затрагивающие поведение химиката в окружающей среде, случайны, таким образом, такие модели основаны на вероятностях. Они обычно принимаются в моделировании воздействий воздушных загрязнителей на человеческий организм.

Детерминированные модели используются, когда физические, химические, и другие процессы достаточно исследованы, чтобы быть их физическое выражение было напрямую включено в модель перемещения и поведения химикатов. Это очень сложные модели для разработки, т.к. каждый процесс должен быть представлен рядом алгоритмов в модели. Кроме того, отношения между отдельными системами, такие как их кинетика и массовые балансы, тоже должны быть включены в модель. Таким образом средство моделирования должно «параметризовать» каждое важное событие после выброса загрязнителя в окружающую среду. Довольно популярны сейчас гибридные модели, использующие и статистические и детерминированные подходы, которые применяются, например, когда одна часть системы является более случайной, в то время как у другой части есть очень четкое физическое описание принципа действия. Есть много моделей для описания перемещения химикатов через единственную экологические среду, но все чаще и чаще, экологи и инженеры начали разрабатывать «мультимедийные модели», т.е. «многосредные». В них модели разделены на отсеки, которые помогают предсказывать поведение и изменения в химикатах, когда они перемещаются в пределах и между различными средами

Модульная единица 5.2 Основы метеорологии для моделирования загрязнения воздушной среды

Воздушные загрязнители достигают мест своего оседания, путем прямого транспорта и трансформаций в атмосфере (рисунок 27.1). Местоположение загрязняемого объекта относительно источников и атмосферные процессы напрямую влияют на итоговую концентрацию загрязнителя, и в итоге, с учетом «чувствительности» объекта к этим концентрациям, определяет эффект от

загрязнения. Местоположение, высота, и продолжительность выброса, а также количество выпущенного загрязнителя, также важно. Ряд возможных воздействий атмосферы на поведении загрязнителей, прежде всего крупномасштабные эффекты, будут рассмотрены в этой главе, а также несколько возможных путей воздействия загрязнителей на атмосферу.

Типы ветровых режимов

Если перемещение воздуха мимо непрерывного источника загрязнения будет относительно медленным, то концентрации загрязнителя в шлейфе, перемещающемся по ветру, будут намного выше, чем при более быстром перемещении мимо источника. Обычно источники достаточно долговременны. Однако концентрации полютанта может расти даже при значительном воздушным движении, если в течение долгого времени, увеличивается количество источников загрязнения.

Системы с низким и высоким давлением имеют существенные различия в типах ветрового режима. Как правило, воздух движется в направлении центра низкого давления в нижних слоях атмосферы, отчасти из-за трения поворота ветра в сторону низкого давления. Хотя ветра очень недалеко от центра, как правило слабы, дальше от центра они становятся умеренными, что приводит к увеличению скорости воздухообмена. Минимумы часто сопровождаются облачностью, которая перерастает в осадки. Облачность приводит к минимизации динамики атмосферной стабильности от дня к ночи. Средние горизонтальные скорости ветра и восходящих вертикальных потоков, приводят к тому что воздухообмен (т.е. полное перемещение воздушных объемов относительно изучаемого местоположения) в районах низкого давления довольно активен.

Системы с высоким давлением – являются полной противоположность систем с низким давлением. Поскольку ветра направлены из центра высокого давления, опускающийся воздух из вышележащих слоев атмосферы компенсирует горизонтальной перенос масс.

Воздух высокого давления направляющийся вниз одновременно приводит к восходящим потокам, выдавливая часть более легкого воздуха вверх. Т.к. вертикальные перемещения воздушных масс относительно слабы, небо при высоком давлении обычно ясное, обуславливая максимальную радиацию — днем и максимальные теплопотери ночью, тем самым создавая экстремумы стабильности, т.е очень стабильные ночные условия и крайне нестабильные ночные. Области высокого давления обычно занимают большие территории, и не смотря на свою относительную лабильнсть, перемещаются довольно медленно. Ветра на обширных территориях высокого давления обычно слабые,

что хорошо видно в восточной части рисунка 5.1. Таким образом воздухообмен в областях высокого давления обычно значительно ниже, чем в областях низкого.

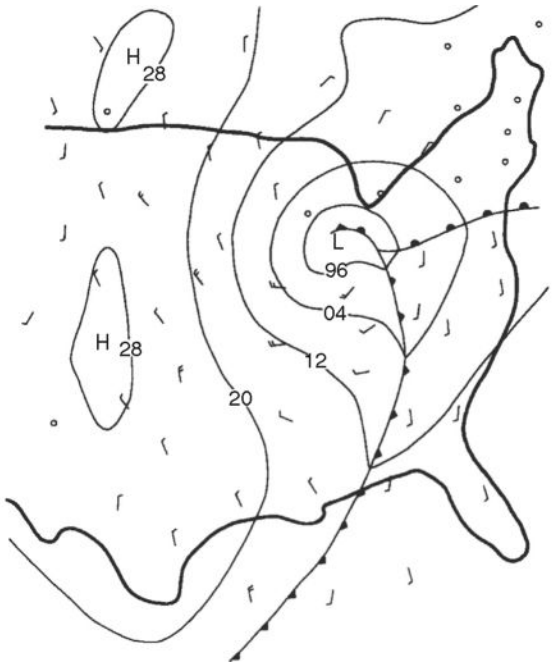


Рис. 5.1. Контуры - изобары атмосферного давления. Строка с треугольниками - холодный фронт; строка с полукругами - теплый фронт; строка и с треугольниками и с полукругами - закрытый фронт, то есть холодный фронт, который догнал теплый фронт. Направление ветра указано стрелкой; скорость ветра составляет 10 узлов для 1 зубца, 5 узлов для половины зубца. Н, центр высокого давления; L, центр циклона.

Время от времени уровень воздухообмена становится очень низким. Такое отсутствие воздушного движения обычно происходит в слабом градиенте давления около центра антициклона (т.е. высокого давления). Если у антициклона будет теплое ядро, то, вероятно, будет очень мало перемещения воздушных в районе центра области(штиль). В подобных условиях ветры очень слабы. Небо обычно безоблачно, способствуя ночным теплопотерям с поверхности.

Модульная единица 5.3 Эффекты полютантов на атмосферу

Очевидные эффекты загрязнителей на атмосферу включают в себя увеличенный ТМЧ, которые уменьшают видимость и уменьшают поступлениесолнечного излучения и увеличение газообразных составляющих загрязнителя, которые в свою очередь поглощают длинноволновую радиацию и повышают температуру поверхности. Однако это не единственные эффекты, оказываемые загрязнителями на атмосферу.

Мутность

Ослабление солнечного излучения было изучено Маккормиком и его партнерами с использованием фотометрии солнечного света, в длине волны 0.5мкм. Соотношение солнечной радиации на уровне грунта к ее абсолютному входящему значению в диапазоне длин волн в районе 0.5мкм достигает 0.5 в при чистом воздухе, и падает до 0.2 — 0.3 в загрязненных областях, т.о., интенсивность освещения может быть уменьшена на целых 50% воздушным загрязнением. Делая измерения с самолета на различных высотах может быть определена вертикальная составляющая загрязненности воздуха. Коэффициент мутности является хорошим диагностическим показателем, для оценки загрязненности атмосферы аэрозолем. Предполагая, что гранулометрический состав взвеси 0:1 — 10мкм и плотность нахождения частиц в воздухе, может быть оценено общее количество частиц. Аналогично и количество частиц на кубический метр. Из-за низкой цены и простоты метода фотометрия солнца крайне удобный инструмент для проведения сравнительных анализов по всему миру.

Осадки

В зависимости от концентрации загрязнитель может иметь диаметрально противоположные эффекты на процесс формирования осадков. Добавление всего нескольких частиц, которые будут служить центрами кристаллизации для формирования ледяного ядра, приводит к объединению переохлажденных водных капель, вызывая рост ледяных частиц, приводящий к тому, что часть из них становится достаточно большими, для того чтобы начать падение уже в виде осадков. Пример этого – искусственное провоцирование выпадения осадков путем выброса с самолетов частиц йодида серебра. При этом

если одновременно будет выброшено слишком много таких частиц, то большинство из них не соберет на себя достаточно капель для того, чтобы выпасть в виде осадков. Этот пример демонстрирует нам, что эффекты загрязнения воздуха ТМЧ будут совсем не линейными.

Существует ряд признаков, хотя довольно спорных, об увеличении выпадении осадков с наветренной стороны от крупных городов с пригородами. В качестве объяснения предлагаются такие причины как, увеличение вертикального движения воздушных масс над городами и добавление большого количества ТМЧ и влаги с выбросами из города.

Туманы

Как упомянуто в предыдущем разделе, увеличенное число ядер для начала кристаллизации в виде ТМЧ в загрязненных городских атмосферах может вызвать плотные персистентные туманы. Формирование тумана напрямую зависит от влажности воздуха и в некоторых случаях, эта избыточная влажность обусловлена эмиссией влаги в результате производственных процессов. Одновременно с этим в сильно урбанизированных районах может наблюдаться и низкая атмосферная влажность вследствие отсутствия растительности и быстрой потери дождевой воды через ливневые коллекторы. Кроме того, чуть более высокие температуры в городских зонах понижают относительную влажность.

Солнечное излучение

В начале прошлого века потеря ультрафиолетового света с некоторых территорий городов и пригородов из-за плотного угольного дыма представляла серьезную проблему из-за уменьшения естественного синтеза витамина D человеком, что приводило к частым рахитам на данной территории. Недавние, измерения смога Лос-Анджелеса показали, что потери в ультрафиолетовом спектре намного большие, чем в спектре видимого света. Это происходит и из-за поглощения озоном длин волны меньше, чем 0:32мкм, и аналогичных потерь из-за поглощения диоксидом азота в диапазоне 0.36 — 0.4 мкм. Плотный смог уменьшает ультрафиолетовое излучение на целых 90%.

Механизмы удаления

За исключением крайне мелкодисперсных твердых частиц (0.2мкм или меньше), которые могут оставаться в воздухе в течение долгого времени и не очень высоко реакционно способны газов, таких как угарный газ, большинство

переносимых по воздуху загрязнителей в конечном счете удаляется из атмосферы в результате прямой седиментации, реакции с другими веществами или сухого или влажного накопления.

Седиментация

Частицы меньше, чем 20мкм рассматриваются как рассеивающиеся подобно газам и эффекты связанные со скоростью их осаждения, обычно игнорируются. У частиц, с диаметром больше 20мкм, скорости выпадения в осадок находятся в диапазонах средних скоростей движения воздушных масс и этот процесс происходит довольно часто и должен приниматься во внимание. Зависимость скорости осаждения абсолютно сферических тел от размера частицы графически изображена на рисунок 27. Частицы в диапазоне от 20 до 100 мкм, предположительно, рассеиваются подобно газам, со скоростью падения центра масс, соответствующей скорости выпадения.

Рассеивание можно оценить, вычитая z(t) из эффективной высоты места выброса, где z(t) является гравитационной скоростью выпадения частиц, и *t*, в секундах, равна *x/u*, где *x* - подветренное расстояние от источника в метрах, и *u* - скорость ветра. Подобный подход называют *наклоненной шлейфовой моделью.* Модель может быть адаптирована, для учета уменьшения интенсивности источника с ростом расстоянием от источника, дабы учесть частицы, удаленные из воздуха.

Для частиц в диапазоне от 20 до 100мкм, отложение твердых частиц *w* на землю может быть рассчитано как

$$w = v_g C(x, y, z)$$

где концентрация частиц в воздухе C было измерено на высоты над землей z.

Частицы, с диаметром более 100мкм, проходят сквозь атмосферу так быстро, что у турбулентных потоков практически нет шансов успеть рассеять их. Для расчета траектории таких частиц используют баллистический подход.

Химические преобразования веществ

Преобразования вследствие химических реакций по всей длине конуса выноса часто рассматривают как функцию с экспоненциальной зависимостью от времени. Концентрацию C(t) полученную как функцию от времени прохождения *t*, оценивают, относительно концентрации C в том же самом месте но без учета потерь, по формуле

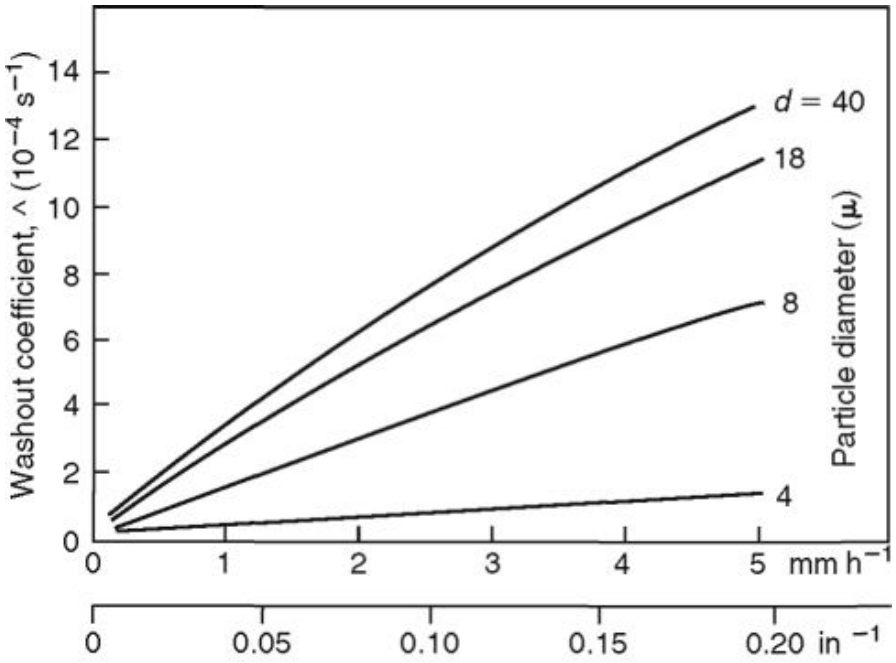


Рис 5.2 Типичные значения коэффициентов вымывания как функция от уровня интенсивности осадков и диаметра частиц.

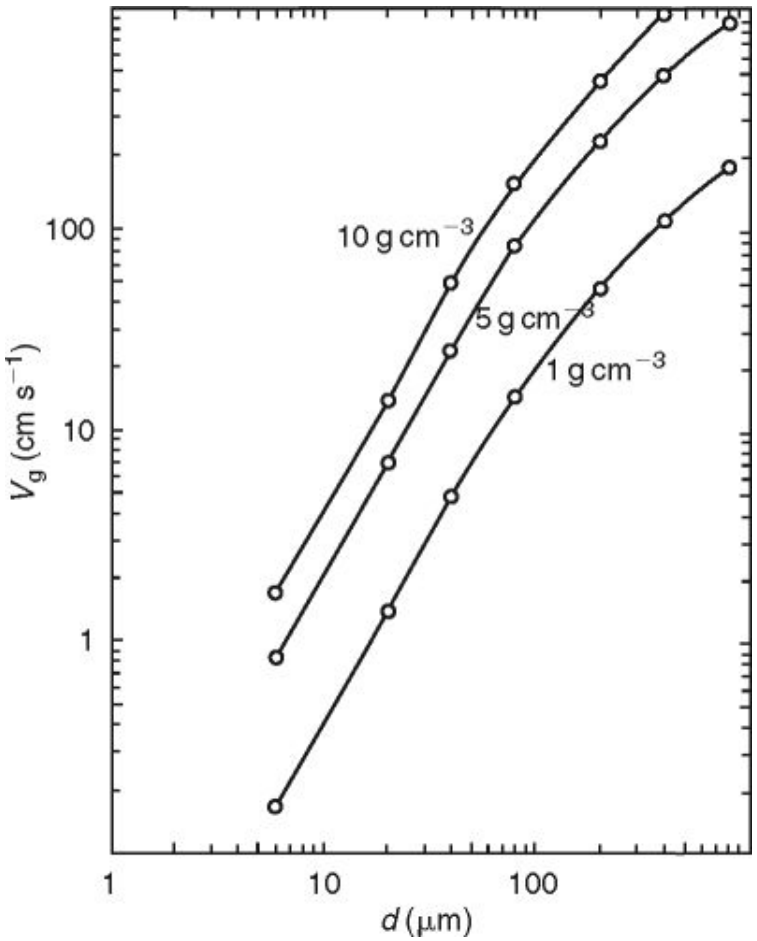


Рис. 5.3. Скорость падения 5 сферических частиц как функция диаметра частицы и плотности

$$\frac{C(t)}{C} = \exp-(0.693t/L)$$

где L – время полураспада загрязнителя в секундах. Время полураспада - время, требуемое для разложения 50% загрязнителя.

Сухое осаждение

Хотя это не объясняет физическую природу процесса удаления ТМЧ из воздуха, скорость осаждения используется для того чтобы учитывать потери ТМЧ в результате столкновения с растительностью у поверхности или в результате химических реакций.. Примерами (в сантиметрах в секунду) могут является скорости сухого осаждения для двуокиси серы, 0.5 — 1.2; озона, 0.1 — 2.0; соединения йода, 0.7 — 2.8; а для углекислого газа данный процесс можно вооще не учитывать.

Влажное осаждение

Очистка воздуха от твердых частиц или загрязняющих газов может происходить в результате прохождения воздушных масс через облака (растворение во влаге облаков) или ниже облаков (вымывание с осадками). Коэффициент потерь загрязнителя в результате вымывания (коэффициент вымывания) W может быть определены как

$$W = \frac{k\rho}{C}$$

где k - концентрация загрязнителя во время осадков в микрограммах на грамм; $\boldsymbol{p}$ - плотность воздуха, который составляет приблизительно 1200 гм^3; и C – концентрация загрязнителя в воздухе до очистки в микрограммах на кубический метр. Макмахон и Денисон опубликовали таблицу коэффициентов вымывания, полученных эмпирическим способом . Значения для различных загрязнителей колеблются в диапазоне от 100 до более чем 4000. Эти значения являются функцией от размера частицы и интенсивности осадков.

Процесс очистки в результате влажного осаждения можно также рассматривать как экспоненциальную функцию затухания:

$$C(t) = C(0)e^{-\Lambda t}$$

где *C(t)* - концентрация в микрограммах на кубический метр на момент времени *t* в секундах, а *C(0)* концентрация в нулевой момент времени, и Δ - коэффициент вымывания за секунду.

Подобный подход может быть применен и к газообразным загрязнителям. К сожалению для них известно много меньше эмпирически измеренных коэффициентов, но существует подход для расчета Δ в указанном выше уравнении:

$$\Lambda = 10 \times 10^{-5} J^{0.53}$$

Где J это интенсивность осадков в миллиметрах за час.

Модульная единица 5.4 Моделирование и прогнозирование загрязнения воздуха

Перед тем как ввести в строй новые производства или активнее развернуть существующие, без вреда окружающей среде, желательно оценить их воздействие на качество воздуха еще до ввода в эксплуатацию, вместо того, чтобы создавать дополнительные формы контроля и тратиться на их поддержание. Потенциальное загрязнение обычно оценивается с помощью имитационных моделей качества воздуха. На данный момент существует большое количество разнообразных моделей. Их обычно отличают по типу источника, загрязнителю, преобразованиям и возможным типам удаления загрязнителя, расстоянию и усредненному времени транспорта. Мы даже не будем пытаться перечислить все существующие модели в данном курсе, т.к. скорее всего новые типы моделей появились просто за время создания данного курса.

В ее самой простой форме модель требует двух типов вводимых данных: информации об источнике или источниках, включая уровень выброса загрязняющих веществ и метеорологические данные, такие как скорость ветра и его турбулентность. Модель математически представляет транспорт и рассеяние загрязнителя, и ее потенциальные химические и физические преобразования в процессе удаления. Результат предсказания модели - воздушная концентрация загрязнителя в течение периода определенного времени, обычно в определенных пределах местоположения приемника.

Оценки воздействия крайне востребованы, для определения того, на сколько данная деятельность отвечает существующим нормативным требованиям в данной области.

Причины восходящего движения выбросов

Газы выходя из труб, обычно поднимаются выше, т.к. они имеют более низкую плотность, чем окружающий воздух (повышение летучести) или из-за того, что уже имеют достаточно высокий импульс, чтобы дать газам подняться сильно выше труб (поднимающий импульс). Повышение летучести иногда вызывают *тепловым поднятием*, т.к. наиболее распространенная причина более низкой плотности - более высокая температура. Исключения - выбросы газов более высокой плотности, чем окружающий воздух что приводит к перемещение масс воздуха вниз, которое будет рассмотрено далее. Чтобы оценить эффективную высоту шлейфа выноса, используются уравнения Бриггса. Скорость ветра *u* в описанных далее уравнениях измеряется или рассчитывается как предполагаемая скорость ветра в физической вершине места выброса.

Перемещение масс воздуха по нисходящей траектории

Опускание части полютантов ниже высоты выброса в результате вырывания части потока вихревыми движениями моделируется при помощи значения *h`* (вместо физической высоты выброса *h)* h`- несколько меньше, чем реальная высота выброса, в случаях, когда скорость выброса газа *в 1,5 раза* меньше чем скоростью ветра *u* (все величины в метрах в секунду):

$$h' = h \text{ for } \quad v_s > 1.5u$$

$$h' = h + 2d[(v_s/u) - 1.5] \quad \text{for } v_s < 1.5u$$

где *d* - внутренний диаметр эмитирующего объекта. Этот *h`* в дальнейшем будет использован в уравнениях летучести и моментального восходящего потока выброса. Если нисходящее движение не рассматривается, *h`* заменяют *обычной высотой выброса h*.

Параметры летучести потока

Для большинства расчетов восходящего движения шлейфа выброса необходим расчет значение параметра летучести потока *F* ($м^4$ $с^{-3}$):

$$F = g v_s d^2 (T_s - T)/(4T_s)$$

$$F = 2.45 v_s d^2 (T_s - T)/T_s$$

где g - ускорение свободного падения, T_s- температура газа в Кельвинах, T - температура окружающего воздуха.

Расчет летучести восходящего потока выброса при нестабильно — нейтральных погодных условиях

Итоговая эффективная высота шлейфа выброса *H,* в метрах, является суммой высот места выброса и высоты на которую поднимется выброс в результате восходящего движения. В случаях высокой летучести, горизонтальное расстояние, x_f от места выброса, до места максимального возвышения в результате восходящего движения, приблизительно равно $3{,}5x^*$, где x^* горизонтальное расстояние, в километрах, на котором восходящая атмосферная турбулентность начинает доминировать над нисходящей.

Для нестабильных и нейтральных ситуаций, и для F меньше чем 55, *H,* в метрах и x_f, в километрах, рассчитываются следующим образом,

$$H = h' \times 21.425 F^{3/4} \Big/ u \quad x_f = 0.049 F^{5/8}$$

Для F, равного или большего 55, *H* и x_f равны

$$H = h' \times 38.71 F^{3/5} \Big/ u \quad x_f = 0.119 F^{2/5}$$

Для стабильных ситуаций параметр устойчивости s вычисляется как

$$s = g(\Delta\theta/\Delta z)/T$$

где $\Delta\Theta/\Delta z$ - изменение в потенциальной температуре с высотой.

В случае устойчивых состояний, и наличия ветра, *H* и x_f рассчитываются следующим образом:

$$H = h' \times 2.6[F/(us)]^{1/3} \quad x_f = 0.00207 u s^{-1/2}$$

В условиях отсутствия ветра H считается как

$$H = h' \times 4 F^{1/4} S^{-3/8}$$

При устойчивых условиях, самое низкое значение уравнения

$$H = h' \times 21.425 F^{3/4} \Big/ u \quad x_f = 0.049 F^{5/8}$$

обычно берется в качестве эффективной высоты выброса.

Возвышение выброса для расстояний меньших, чем расстояние максимального возвышение выброса может быть рассчитано по формуле

$$H = h' \times 160F^{1/3}x^{2/3} \Big/ u$$

где x - расстояние источника до приемника(места выпадения),в километрах. Если эта высота превышает максимальную эффективную высоту выброса, первую заменяют второй.

Если температура газа в момент выброса будет ниже или только немного выше температуры окружающей среды, то повышение шлейфа выброса в результате импульса выброса будет больше, чем из-за его летучести. Тогда для нестабильных и нейтральных условий H рассчитывает как .

$$H = h' \times 3dv_s/u$$

Это уравнение лучше всего применять, когда соотношение v_s/u превышает 4. Так как основной вертикальный импульс шлейф выброса получает практически над источником выброса, горизонтальное расстояние до максимального возвышения выброса, принимают равным нолю.

Для шлейфов выброса слабой летучести при стабильных погодных условиях максимальная высота возвышения в результате импульса выброса рассчитывается как

$$H = h' \times 1.5\left[\left(v_s^2 d^2 T\right)/\left(4T_s u\right)\right]^{1/3-1/6}$$

Существует довольно специфический набор условий при которых вклад в поднятие выброса в результате теплового расширения и вследствие импульса полученного при выбросе будут примерно равны. В таких случаях используют другой набор уравнений. Для нестабильных или нейтральных условий и F меньшем 55,

$$(T_s - T)_c = 0.0297T_s v_s^{1/3} \Big/ d^{2/3}$$

Для F равном или большем, чем 55,

$$(T_s - T)_c = 0.00575T_s v_s^{2/3} \Big/ d^{1/3}$$

Для стабильных погодных условий.

$$(T_s - T)_c = 0.01958Tv_s s^{1/2}$$

Максимальные концентрации полютанта как функция от скорости ветра и стабильности

Для примера возьмем Q = 0.37, h = 20, d = 0.537, Vs= 20, и Ts= 350 и рассчитаем максимальное превышение выброса, используя уравнения приведенные выше, максимальные концентрации на уровне земли тогда будут соответствовать концентрация показанным на рисунке 5.22, рассчитанные как функции от скорости ветра и класса стабильности атмосферы согласно Гауссовким моделям Пасквиля — Гиффорда

Максимальные концентрации – будут совпадать для классов A, B, и C наблюдаемых при скоростях ветра 1,5 — 2,0 м $с^{-1}$. Максимумы для класса устойчивости D обнаруживаются в пределах u =2.5 $мс^{-1}$. Из-за конкурирующих эффектов ослабления ветра и более низкими эффективными высотами выброса при более высоких скоростях ветра, концентрации со скоростью ветра изменяются крайне мало. Для классов E и F концентрации почти одни и те же, но значительно меньше, чем для нестабильных и нейтральных случаев.

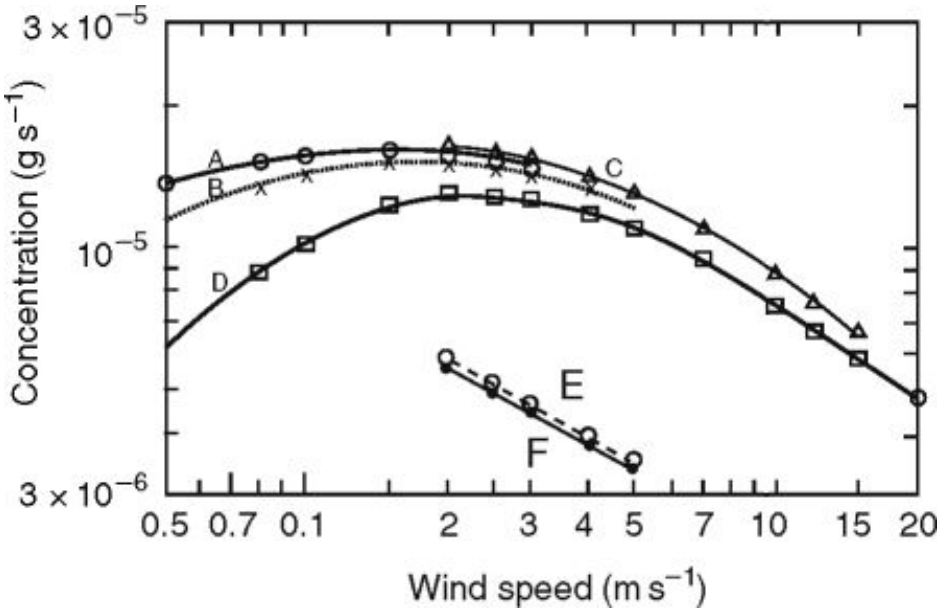


Рис. 5.4. Максимальная концентрация полютанта на нулевой высоте как функция скорости ветра и категории устойчивости по Пасквилю

Модульная единица 5.5 Методы моделирования загрязнения воздуха

Гауссовские методы хороши для оценок концентраций слабо реактивно-способных загрязнителей в пределах 20км от точечных источников.

Настоятельно рекомендуется использовать локальные измерения колебания ветра, чтобы оценить горизонтальное и вертикальное распространение выброса загрязнителя, выпущенного из точечного источника.

В дополнение к Гауссовским методам моделирования, обсужденным выше, рассмотрим четыре других метода.

Модель закрытого бокса

Модели, которые предполагают однородное, смешивание по всему изучаемому объему, трехмерно, особенно полезны для оценки концентраций при первом приближений. Для установившихся, стабильных уровней эмиссии и атмосферных условий, без учета полютантов, которые попали в воздух от других источников, концентрации полютанта будут рассчитываться следующим образом

$$\chi = \Delta x q_a / (z_i u)$$

где x - концентрация при устойчивом состояния, Δx - расстояние, на котором имеет место эмиссия, q_a- уровень эмиссии, z_i – высота смешения, и u - средняя скорость ветра через вертикальную «стенку» бокса.

В случаях когда существует добавочная концентрация полютанта собранная ветром с наветренной стороны, обозначаемая x_b, высота смешения растет со временем до уровня, имеющего среднюю концентрацию x_a, *рассчитываемую из* уравнение неразрывности

$$\delta\chi/\delta t = \left[\Delta x q_a + u z_i(\chi_b - \chi) + \Delta x(\Delta z_i/\Delta t)(\chi_a - \chi)\right]/\Delta x z_i$$

Которое является базисом для городской фотохимической бокс-модели(ФБМ).

Предполагая, что основные источники высокой концентрации полютанта на месте загрязнения источники с подветренной стороны, особенно близкорасположенные, вклад в итоговую концентрацию полютанта от локальных источников области может быть вычислен, используя расчет темпа вертикального роста, а не однородное вертикальное смешивание с учетом уровня эмиссии каждой точки выброса с наветренной стороны. Изменениями уровня эмиссии в результате боковых ветров пренебрегают. Расширение по вертикали обычно рассчитывается с использованием Гауссовского вертикального роста

Вертикальная составляющая среднего турбулентного потока - z равна $w'x'$. Предполагая, что турбулентный поток пропорционален градиенту концентрации, мы можем сказать, что в направлении от более высокой к более

низкой концентрации, полный коэффициент диффузии *K* может быть определен как

$$\overline{w'\chi'} = -K(\delta\chi/\delta z)$$

Изменение концентрации во времени может быть записан как

$$\frac{\delta\chi}{\delta t} + \left(\overline{u}\frac{\delta\chi}{\delta x} + \overline{v}\frac{\delta\chi}{\delta y} + \overline{w}\frac{\delta\chi}{\delta z}\right) = \frac{\delta}{\delta x}K_x\frac{\delta\chi}{\delta x} + \frac{\delta}{\delta y}K_y\frac{\delta\chi}{\delta y} + \frac{\delta}{\delta z}K_z\frac{\delta\chi}{\delta z} + S$$

где выражение в круглых скобках в левой части описывает адвекцию. Выражение справа описывает коэффициенты диффузии по трем направлениям, *Kx, Ky* и *Kz* (где *Kx* направлен по ветру, *Ky* - соответствует горизонтальному встречному ветру и *Kz*, соответствует вертикальному встречному ветру), и *S* представляет эмиссию. Это уравнение – базис для градиентной транспортной модели, которая может работать со случаями переменного ветра и комплексными значениями коэффициентов диффузии. Векторные скорости $\bar{u}$, $\bar{v}$, и $\overline{w}$ (где $\bar{u}$ компонент скорости по направлению ветра, $\bar{v}$ – горизонтальный компонент встречного ветра и $\overline{w}$, вертикальный компонент встречного ветра), и концентрации рассматривается во времени и пространстве на ранее заданных предельных шкалах. Колебания во времени и по расстоянию меньшие этих пределов, рассматриваются как турбулентность и включаются в коэффициент диффузии.

Градиентную транспортную модель оптимально использовать для случаев, когда масштабы турбулентности, относительно малы по сравнению с объемами загрязнителя. Поэтому данная модель будет лучше всего работать для случаев непрерывных линейных и площадных выбросов на уровне земли, таких как автомобильные выбросы в городах, и к постоянным или единоразовым источникам с большой площадью не высоко от уровня земли. Такие модели не подходит для точечных источников на возвышении, особенно для участков где шлейф еще не достиг больших площадей. Чаще всего для них используются расчетные, а не аналитические подходы.

Ошибки в адвекции могут полностью исказить коэффициенты диффузии. Увеличение случайных ошибок с каждым последующим шагом вызывает числовую нестабильность (или искажение). Высшего порядка дифференциальные методы используются, чтобы избежать этого искажения, но они могут

привести к резким градиентам, которые могут привести к появлению отрицательных концентраций в вычислениях. Многие численные нестабильности (искажения) могут быть преодолены с помощью схемы вторичного-импульса, которая учитывает импульсы распределений вместо отдельный точечных загрязнителей. При применении градиентных методов переноса, горизонтальная диффузия часто игнорируется, но колебания в вертикальной диффузии должны быть аппроксимированы

Траекторные модели

В ее наиболее распространенной форме модель траектории описывает перемещение вертикальной колонны, с квадратным поперечным сечением, пересекающим землю, на средней скорости ветра, с загрязнителями, добавляемыми к основанию столба, поскольку они произведены каждым местоположением, по которому проходит столб. Подходы к обработке вертикальной дисперсии варьируется среди моделей от тех, которые предполагают непосредственное вертикальное смешивание всюду равномерно по столбу и теми, которые предполагают вертикальную дисперсию, используя вертикальный коэффициент *Kz* с подходящим профилем.

Моделирование единственной парцеллы воздуха и того как она перемещается вперед позволяет моделировать химические реакции происходящие в парцелле. Еще одним преимуществом траекторных моделей является то, что только одна траектория требуется для оценки концентрации в заданной конечной точке. Это сводит к минимуму расчет, потому что требуется известная концентрация только на ограниченном числе точек, например, на станциях мониторинга качества воздуха. Надо не забывать, что скорость и направление ветра в верхней и нижней части колонки различны, колонка перекошена по вертикали. Тем не менее, для вычислительных целей, колонка обычно предполагается вертикальной и перемещается со скоростью и в направлении ветра у поверхности. Это вполне приемлемо для городского моделирования в дневное время, когда ветры относительно равномерным по всей нижней атмосфере.

Траекторные модели различного вида используются для моделирования дальнего транспорта, т.к. необходимо моделировать в течение всего суточного циклы, в котором значительный отклонения направления ветров происходит в ночное время.

Моделирование нереактивно-способных загрязнителей

В оценке сезонных или ежегодных концентраций от точечных источников могут браться кратчайшие прямые расстояния, вместо попыток объединения коротких интервалов, при почасовом моделировании. Частый кратчайшее

расстояние берется до расположения отбора метеорологических данных находящейся по направлению ветра, с аналогичной скоростью ветра и атмосферного класса устойчивости, называемого Массивом Устойчивости (STAR). Модель длительных производственных выбросов(Industrial Source Complex Long Term) - ISCLT является моделью этого типа и часто используется, чтобы оценить соответствие нормативным требованиям, где концентрации составили в среднем более чем 1 год (но не короче составляющие в среднем времени) или дольше. Дальнейшее упрощение может быть достигнуто, определив единую эффективную скорость ветра для каждой устойчивости — комбинации сектора направления ветра, домножением на $1/u$ каждого класса скорости ветра для каждого такого направления ветра — комбинации устойчивости. Делаются вычисления для каждого сектора, с предположением, что частота направления ветра однородна для каждого сектора.

Единичные источники: краткосрочное воздействие

Гауссовские методы расчёта выброса были довольно полезны для определения максимального воздействия единичных источников, которые на плоском ландшафте, находятся в пределах 10 — 20 км от источника. ISCST модель обычно используют для проверки нормативных требований. Поскольку комбинация условий, которая производит высокие концентрации в течение множества часов, не может быть с готовностью определена по большому спектру исходных размеров, обычно, чтобы вычислить воздействие источника за каждый час года для большого количества приемников на определенных радиальных расстояниях от источника для 36 секторов(по 10° каждый). Усреднение и анализ может продолжаться, до тех пор пока данные продолжают поступать, после завершения моделирования года, самые высокие и вторые по высоте концентрации за подходящие времена усредняются, за 3 и 24 ч. Часто, используют погодные данные из аэропортов, как основной источник данных для такого моделирования, экстраполируя поверхностную скорость ветра, на высоту выброса, используя ветровой профиль по высотам, который рассчитывается исходя из класса стабильности атмосферы, который также определяется по поверхностным данным. Хотя среднее почасовое направление ветра в вершине выброса и уровне шлейфа, вероятно, будет отличаться от такого на поверхности, это обычно игнорируют, потому что почасовые изменения в направлении ветра на уровне шлейфа выброса очень близко и сонаправлены поверхностным изменениям ветра. Не смотря на то, что истинный максимум концентрации может произойти в несколько отличном направлении от вычисленного, его величина будет близка к расчетной.

Множественные точеные источники и области эмиссии

В оценке концентраций из площадных источников важно знать, мы имеем дело с одним источником, окруженным областями нулевой эмиссии или это один источник с областями непрерывной но переменной эмиссии.

Если приемник в пределах области источника, или если уровни эмиссии не варьируются заметно от одного источника области до другого, по большей части области моделирования, может использоваться гипотеза узкого шлейфа для рассмотрения изменений в уровнях эмиссии из каждого источника области в наветренном направлении. Вычисления проводятся, как будто от серии бесконечных линейных источников вносимых боковым ветром, уровень эмиссии которых рассчитывается исходя из уровня эмиссии области находящейся непосредственно с наветренной стороны от приемника.

Вместо того, чтобы рассчитывать изменение эмиссии с расстоянием в направлении против направления ветра от приемника, можно упростить используя уровни площадной эмиссии исходя только из площади эмиссии, в котором находится приемник. Тогда концентрация C рассчитывается как

$$C = Gq_a/u$$

где q_a- уровень площадной эмиссии, u - средняя скорость ветра за период моделирования, и постоянная G зависит от устойчивости, эффективной высоты эмиссии источников и особенностей загрязнителя.

Накапливающиеся полютанты

Модель Fugitive Dust Model (FDM)[57] была сформулирована, чтобы оценить концентрации твердых полютантов, а также накопление от выбросов переносимой по воздуху пыли. Она имеет значительно улучшенный описательный механизм процесса накопления по сравнению с описанными ранее моделями. Она рассчитает массу удаленного из выброса полютанта по ходу его перемещения ветром. Вторичный перенос частиц, вызванный поднятием с поверхности более сильными ветрами, также рассматривается этой моделью. На данный момент модель применима только для выбросов на высотах 20 м или ниже над уровнем земли.

Распространение полютантов над водной поверхностью

Модель Offshore and Coastal Dispersion (OCD) была разработана, чтобы моделировать рассеивание и транспорт выброса от прибрежных точечных источников до приемников на суше или воде. Модель оценивает надводную дисперсию при помощи статистики колебания ветра в горизонтальном и верти-

кальном направлении, измеренных в надводной точке выпуска. Модель страдает от нехватки данных, т.к. приходиться делать оценки надводной дисперсии, используя только данные перепада температур между водой и воздухом. Изменения, имеющие место при дисперсии, рассматривают вдоль береговой линии и в любой точке, где возможны перепады высот.

Распространение полютанат по сложному ландшафту

Усилия по разработке моделей для сложных ландшафтов американскими исследователями EPA, использующими физическое моделирование, и в аэродинамической трубе и полевые измерения на трех объектах, привели к разработке Сложной Модели Дисперсии вдоль Ландшафта Плюс Алгоритмов для Нестабильных ситуаций (CTDMPLUS). Модель описывает распространение полютанта вдоль комплексного ландшафта плюс вычисление концентраций в нестабильных условиях. Ландшафт называется комплексным в ситуация когда есть места потенциального отложения полютанта выше точки выброса. Используя метеорологические условия и модели ландшафта, модель вычисляет высоту разбиения потока о ландшафт. Выбросы, с высотами ниже высоты этого потока, имеют тенденцию обходить точку разбиения; выбросы выше имеют тенденцию повышаться обходя преграду сверху. Поскольку распределение вычисляется из статистики флуктуаций, метеорологические измерения, должны обеспечить очень точные данных для модели, соответственно требуется использования высокоточных и дорогих инструментов. Меж тем модель является единственным способом расчета для сложных ландшафтов.

Вопросы для самоконтроля к модулю 5

1. Почему по-настоящему изолированные системы крайне редки?
2. Для чего вообще нужны математические модели природы?.
3. Что является финальным результатом экотоксикологических изысканий?
4. Всегда ли низкая облачность является признаком высокого давления?
5. Почему области низкого давления относительно малы по сравнению с областями высокого давления?
6. Что такое ТМЧ? Какое отношение они имеют к аэрозолям
7. Почему увеличение числа ТМЧ в выбросе ведет уменьшению вероятности выпадения осадков ?

8. Каким образом частый смог в некоторой местности моет влиять на качество костной ткани у местного населения?
9. Частицы какого диаметра на столько тяжелы, что практически не поднимаются вверх в результате восходящих турбулентных потоков?
10. Возможно ли влажное осаждение если высота выброса сильно ниже высоты облаков?
11. Какой набор данных требует для работы эмитационная модель в простейшем своем варианте?
12. При каких условиях происходит опускание полютантов ниже высоты выброса?
13. Что такое эффективная высота шлейфа?
14. Чему будет равно горизонтальное расстояние до максимального возвышения выброса если свой основной импульс масса полютанта получает прямо над местом эмиссии?
15. Что такое парцелла?
16. В каких моделях используется такой параметр как высота смешения?
17. В каких случаях используют Fugitive Dust Model?
18. Какие модели используются для расчета движения над сложным рельефом?

Примеры тестовых заданий к модулю 5

1. Концентрации полютанта для установившихся, стабильных уровней эмиссии и атмосферных условий, без учета дополнительных полютантов будет обратно пропорциональна

а) расстоянию, на котором имеет место эмиссия

б) уровню эмиссии

в) средней скорости ветра

г) концентрации полютанта

2. Для каких условий наилучшим образом подходят Гауссовские методы оценки концентраций?

а) слабо реактивно-способных загрязнителей в пределах 20 км точечных источников

б) слабо реактивно-способных загрязнителей за пределами 20 км точечных источников

в) реактивно-способных загрязнителей в пределах 20 км точечных источников

г) реактивно-способных загрязнителей за пределами 20 км точечных источников

3. Основным преимуществом Fugitive Dust Model (FDM) является

а) более высокая точность расчета концентрации полютанта

б) уникальное описание полета твердых частиц в турбулентном потоке

в) учет влияния пылевых частиц на состояние полютанта

г) описательный механизм процесса накопления

4. Гибридные модели используются для систем

а) абсолютно гомогенных

б) крайне неоднородных, с явными границами внутри

в) с высокой динамикой

г) антропогенных

5. Что из перечисленного не относится к термодинамическим типам систем

а) проходные б) изолированные

в) открытые г) закрытые

6. При создании модели, что еще помимо параметров самого моделируемого объекта нам необходимо учесть

а) размеры объекта

б) историю развития объекта

в) влияющие на объект пограничные эффекты

г) количество составляющих его подсистем

7. Более высоких уровней загрязнения стоит ожидать в областях с

а) низким давлением б) высоким давлением

в) переменным давлением г) постоянным давлением

8. Было отмечено, что наличие антициклонов может приводить к экстремумам загрязнение, даже в тех местах, где нет серьезных источник выбросов. Каким образом такое возможно?

а) вследствие длительных промежутков времени без активных ветров

б) вследствие коротких промежутков времени без слабых ветров

в) вследствие длительных промежутков времени без слабых ветров

г) вследствие коротких промежутков времени без слабых ветров

9. Какие перемещения воздушных масс преобладают в областях с высоким давлением

а) горизонтальные и вертикальные

б) горизонтальные

в) вертикальные

г) ветра нет вообще

10. Мелкодисперсные частицы какого размера могут длительное время оставаться в воздухе

а) 5 мкм или меньше

б) 1 мкм или меньше

в) 5 мкм или меньше

г) 0.2 мкм или меньше

11. Частицы какого размера на столько велики, что турбулентное движение частиц не может поддерживать их в воздухе

а)100 мкм или больше

б) 50 мкм или больше

в) 20 мкм или больше

г) 1 мкм или больше

12. От каких двух параметров зависит скорость влажного осаждения частиц по Макмахону и Денисону

а) скорости частицы и интенсивности осадков

б) размера частицы и интенсивности осадков

в) скорости частицы и размера капли осадков

г) размера частицы и размера капли осадков

13.Как отличается значение h` от реальной высоты выброса

а) всегда немного ниже

б) всегда немного выше

в) примерно одинаковы

г) отношение сильно зависит от времени

14. Если температура газа в момент выброса будет ниже или только немного выше температуры окружающей среды, то основной причиной повышение шлейфа выброса будет

а) его летучесть

б) турбулентные движение воздуха

в) сила тяжести

г) импульс выброса

15. К чему приводят конкурирующие эффекты ослабления ветра и более низкие эффективные высоты выброса при более высоких скоростях ветра?

а) скорости ветра в зависимости от концентрации изменяются слабо

б) скорости ветра в зависимости от концентрации изменяются сильно

в) концентрации в зависимости от скорости ветра изменяются слабо

г) концентрации в зависимости от скорости ветра изменяются сильно

Заключение к курсу

Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС)— это термин, предложенный Международной ассоциацией по оценке воздействия на окружающую среду (IAIA, International Association for Impact Assessment). ОВОС предназначена для выявления характера, интенсивности и степени опасности влияния любого вида планируемой хозяйственной деятельности на состояние окружающей среды и здоровье населения.

Согласно философии ОВОС сама оценка воздействия должна быть получена еще до начала самого воздействия, т.е. носить превентивный характер. В большинстве случаев этого невозможно достичь без активного использования методов математического моделирования.

Модели, в целом, нужны для представления сложной системы понятным способом. Они принимают много форм, начиная «с концептуальных моделей», которые объясняют способ, которым система работает, включая все факторы и параметры того, как, например, загрязнитель перемещается после его выброса. Численные модели применяют математические выражения, для аппроксимации системы и обычно основаны на множестве допущений. Статистические модели часто подразумевают использование идеализированного нормального распределения вещества, т.е. считается, что концентрации загрязнителя нормально распределена в вертикальном и в горизонтальном направлении от источника выброса, что свою очередь встречается крайне редко, а потому требует большого количества допущений и подходов для приведения ситуации к идеализированной. Детерминированные модели используются, когда физические, химические, и другие процессы достаточно исследованы, чтобы быть их физическое выражение было напрямую включено в модель перемещения и поведения химикатов. Довольно популярны сейчас гибридные модели, использующие и статистические и детерминированные подходы, которые применяются, например, когда одна часть системы является более случайной, в то время как у другой части есть очень четкое физическое описание принципа действия.

Курс сконцентрирован на проблеме моделирования перемещения полютантов в различных средах, но для раскрытия этой темы необходимо сначала дать представление о том, что может являться загрязняющим веществом, что невозможно сделать без экотоксикологии.

В 1978 г. на конференции Международного научного комитета по проблемам окружающей среды было принято уточненное определение экотокси-

кологии как «междисциплинарного научного направления, связанного с изучением токсических эффектов действия химических веществ на живые организмы, преимущественно на популяции организмов и биоценозы, входящие в состав экосистем. Она изучает источники поступления вредных веществ в окружающую среду, их распределение и превращение в окружающей среде, действие на живые организмы. Практическими результатами исследований являются разработка рекомендаций и проведение правовых, технологических, медицинских и санитарно-гигиенических мероприятий по контролю и снижению уровня загрязнений, что соответствует философии ОВОС. Рассмотренные в курсе процессы поступления, распространения и превращения загрязняющих веществ в окружающей среде очень сложны и представляют собой самостоятельный раздел экотоксикологии подходы которого, особо важный для дела моделирования в ОВОС.

Случай попадании полютантов в грунты и почвы следует рассматривать с двух сторон, с одной стороны почвы являются самостоятельным биокостным телом с огромным количеством экосистемных функций и таким образом важны для ОВОС сами по себе. С другой стороны, основной функцией почв с практической точки зрения для людей была и остается способность почв быть средой для производства урожая сельскохозяйственными культурами. Таким образом становится очевидно, что наравне с рассмотрением нанесением повреждения полютантом почве как таковой, необходимо отдельное рассмотрение подходов к оценке рисков воздействия загрязняющих веществ на агроценозы, что и было проделано в нашем курсе.

Одной из идей положенных в систему организации курса, помимо попытка разностороннего освещения проблемы моделирования в ОВОС, является постепенное усложнение материала по ходу ознакомления с ним студента. Поэтому в качестве последнего модуля было решено представить материалы по теме моделирования поведения веществ в воздушной среде. Если предыдущие темы концентрировались в основном на подходах формирования моделей, правильном их подборе и использовании, то модуль «Моделирование поведения веществ в воздушной среде» посвящен математической составляющей курса. Помимо прочего этому способствует и тот факт, что модели распространения вещества в воздушной среде на данный момент являются наиболее полно развитыми и неоднократно верифицированными.

Мы надеемся, что наш курс «Математическое моделирование и прогнозирование при проведении экологического проектирования и ОВОС» был полезен для вас и материалы представленные в курсе подтолкнут вас к дальнейшему развитию и становлению как эколога.

Глоссарий

Атрибутивная информация - информация, характеризующая качественные и количественные характеристики пространственного объекта, например таксационные описания для выделов, поквартальные итоги для кварталов, ГУЛ для лесхозов или лесничеств.

Агроэкологическая оценка почв - это сопоставление требований сельскохозяйственных культур к условиям произрастания с агроэкологическими условиями конкретной территории. По сути агроэкологическая оценка земель – это оценка их плодородия, при которой, устанавливают насколько выгодно возделывать ту или иную культуру на определенной территории.

Аддитивное действие — такой тип комбинированного действия химических веществ, при котором их совместный эффект равен сумме эффектов каждого из веществ при изолированном воздействии на организм

Агропромышленный комплекс (АПК) — крупнейший межотраслевой комплекс, объединяющий несколько отраслей экономики, направленных на производство и переработку сельскохозяйственного сырья и получения из него продукции, доводимой до конечного потребителя. Это совокупность отраслей экономики страны, включающая сельское хозяйство и отрасли промышленности, тесно связанные с сельскохозяйственным производством, осуществляющие перевозку, хранение, переработку сельскохозяйственной продукции, поставку ее потребителям, обеспечивающие сельское хозяйство техникой, химикатами и удобрениями, обслуживающие сельскохозяйственное производствобиопродуктивности

Геоинформационная система (ГИС) — система сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных данных и связанной с ними информации о необходимых объектах.Понятие геоинформационной системы также используется в более узком смысле — как инструмента (программного продукта), позволяющего пользователям искать, анализировать и редактировать как цифровую карту местности, так и дополнительную информацию об объектах

Деградация почв — это совокупность процессов, которые приводят к изменению функций почвы, количественному и качественному ухудшению её свойств, постепенному ухудшению и утрате плодородия.ДДЗ

Загрязнение — это привнесение в окружающую среду или возникновение в ней новых, обычно не характерных физических, химических или биологических агентов, или превышение их естественного среднемноголетнего уровня в различных средах, приводящее к негативным воздействиям

Концептуальная модель— это модель, представленная множеством понятий и связей между ними, определяющих смысловую структуру рассматриваемой предметной области или её конкретного объекта.

Комплексный ландшафт - ландшафт называется комплексным в ситуация когда есть места потенциального отложения полютанта выше точки выброса

Летучесть - показатель, обычно зависящий от температуры, характеризующий скорость,с которой жидкость превращается в пар. В идеальном случае, горючие материалы должны иметь высокую летучесть, а смазочные материалы - низкую.

$ЛД_{50}$ – летальная доза вещества, вызывающая при введении в организм гибель 50 % животных

Максимально допустимые уровни (МДУ) - в пищевых и фуражных продуктах, в почве и других объектах, устанавливаемые на основании результатов изучения токсичности препаратов для различных организмов. При содержании в продуктах питания пестицида в количествах, превышающих МДУ, такие продукты в пищу использовать не разрешается

Материальная кумуляцией - накопление массы яда в организме называют

ОБУВ - ориентировочный безопасный уровень воздействия загрязняющего атмосферу вещества

Полютанты - один из видов загрязнителей, любое химическое вещество или соединение, которое находится в объекте окружающей природной среды в количествах, превышающих фоновые значения и вызывающие тем самым химическое загрязнение

Полураспад - промежуток времени, в течение которого распадается половина данного количества ядер радиоактивного изотопа (которые превращаются в другой элемент или изотоп). Измеряется только период полураспада, так как полного распада не происходит.

Преде́льно допусти́мая концентра́ция (ПДК) — утверждённый в законодательном порядке санитарно-гигиенический норматив. Под ПДК понимается такая концентрация химических элементов и их соединений в окружающей среде, которая при повседневном влиянии в течение длительного времени на организм человека не вызывает патологических изменений или заболеваний, устанавливаемых современными методами исследований в любые сроки жизни настоящего и последующего поколений.

Радионуклиды — нуклиды, ядра которых нестабильны и испытывают радиоактивный распад. Большинство известных нуклидов радиоактивны (стабильными являются лишь около 300 из более чем 3000 нуклидов, известных науке). Все нуклиды, имеющие зарядовое число, равное 43 или 61 или большее 82, радиоактивны; соответствующие элементы называются радиоактивными элементами. Существуют радионуклиды (главным образом бета-неустойчивые) и с другими зарядовыми числами (от 1 до 42, от 44 до 60 и от 62 до 82).

Распределения Гаусса - распределение вероятностей, которое в одномерном случае задаётся функцией плотности вероятности, совпадающей с функцией Гаусса:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\, e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}},$$

где параметр μ — математическое ожидание (среднее значение), медиана и мода распределения, а параметр σ — среднеквадратическое отклонение (σ^2 — дисперсия) распределения. Таким образом, одномерное нормальное распределение является двухпараметрическим семейством распределений.

Токсикометрия - измерение токсичности. Установление причинно-следственных связей между действием химического вещества на организм и развитием того или иного заболевания, эти задачи решаются в ходе экспериментальных исследований на животных, изучении случаев острых и хронических отравлений человека, эпидемиологических исследований среди популяции, подвергшейся действию токсиканта.

Тяжёлые металлы — группа химических элементов со свойствами металлов (в том числе и полуметаллы) и значительным атомным весом либо плотностью. Известно около сорока различных определений термина тяжёлые металлы, и невозможно указать на одно из них, как наиболее принятое. Соответственно, список тяжёлых металлов согласно разным определениям будет включать разные элементы. Используемым критерием может быть атомный вес свыше 50, и тогда в список попадают все металлы, начиная с ванадия, неза-

висимо от плотности. Другим часто используемым критерием является плотность, примерно равная или большая плотности железа (8 г/см3), тогда в список попадают такие элементы как свинец, ртуть, медь, кадмий, кобальт, а, например, более легкое олово выпадает из списка. Существуют классификации, основанные и на других значениях пороговой плотности (например — плотность 5 г/см^3) или атомного веса. Некоторые классификации делают исключения для благородных и редких металлов, не относя их к тяжёлым, некоторые исключают нецветные металлы (железо, марганец).

Турбулентность — явление, заключающееся в том, что при увеличении скорости течения жидкости или газа в среде самопроизвольно образуются многочисленные нелинейные фрактальные волны и обычные, линейные различных размеров, без наличия внешних, случайных, возмущающих среду сил и/или при их присутствии

Твердые мелкодисперсные частицы (ТМЧ) - частицы твердого вещества, обнаруживаемые в выбросах, и образующие аэрозоль, с диаметром менее 200мкм.

Экотоксикология - представляет собой междисциплинарное научное направление, изучающее действие вредных химических веществ, находящихся в окружающей среде, на живые организмы и их популяции, входящие в состав экосистем, — от микроорганизмов до человека.

Эмиссия - излучение, выделение элементарных частиц (ионов, позитронов и т. п.) какими-либо твёрдыми или жидкими телами под воздействием нагрева, электрического или электромагнитного поля или потока быстрых частиц

Фотометрия — общая для всех разделов прикладной оптики научная дисциплина, на основании которой производятся количественные измерения энергетических характеристик поля излучения**.**

Экотоксиканты - – это экологически опасные факторы химической природы, которые способны долгое время сохраняться, мигрировать и накапливаться в ее биотических и абиотических компонентах. В концентрациях, превышающих естественный природный уровень, экотоксиканты оказывают токсическое воздействие, как на окружающую среду, так и на здоровье человека.

.

Учебное издание

Ярославцев Алексей Михайлович,
Мешалкина Юлия Львовна,
Васенев Иван Иванович

Математическое моделирование и прогнозирование при проведении экологического проектирования и ОВОС

Учебное пособие

Издается в редакции составителей
Корректура составителей

Подписано в печать 2015 г. Формат 60x84 $^{1}/_{16}$
Усл. печ. л. Тираж экз. Заказ .

Издательство