

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«АЛТАЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

КАФЕДРА ПОЧВОВЕДЕНИЯ И АГРОХИМИИ

Е.Г. Пивоварова

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
В КЛАССИФИКАЦИИ ПОЧВЕННЫХ СИСТЕМ**

Учебное пособие

Под общей редакцией доктора сельскохозяйственных наук,
профессора Г. Г. Морковкина

Барнаул 2020

Рецензенты:

к.с.-х.н., главный специалист отдела земельных правоотношений и обеззараживания ФГБУ ЦНМВЛ *Б.В. Жандаров*.

к.с.-х.н., доцент кафедры природопользования и геоэкологии Института географии ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет» *Н.Б. Максимова*.

Математическое моделирование в классификации почвенных систем: учебное пособие / составитель **Е. Г. Пивоварова**; под общей редакцией доктора сельскохозяйственных наук, профессора Г. Г. Морковкина. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2020. – 71 с. – Текст: непосредственный.

В учебно-теоретическом издании излагаются основы системного анализа в почвенных и геохимических исследованиях. Рассмотрены принципы построения математических моделей, баз данных и геоинформационных систем. Дана характеристика структуры и функций основных классов математических моделей, которые используются для описания процессов в агрономических и агроэкологических системах. Для закрепления навыков математического моделирования почвенных и агроэкологических систем предложены алгоритмы разработки количественных моделей центральных образов региональных почв и качественных моделей таксономической группировки почв. В качестве текущего и итогового контроля за освоением материала по каждому разделу предложены контрольные вопросы и задания.

Предназначено для лабораторных и практических занятий в рамках учебной научно-исследовательской работы студентов по курсу «Математическое моделирование агрономических и агроэкологических систем» по направлению подготовки 35.03.04 Агрономия, и 35.03.03 Агрохимия и агропочвоведение, 35.03.05. Садоводство, бакалавр, а также по курсу «Математическое моделирование и анализ данных» по направлению подготовки 35.04.04 Агрономия, и 35.04.03 Агрохимия и агропочвоведение, 35.04.05. Садоводство, 35.04.01 Лесное дело, магистр.

Рекомендовано к изданию методической комиссией агрономического факультета ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ (протокол № 3 от 12.11.2020 г.).

© Пивоварова Е.Г., 2020

© ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Раздел I. Математическое моделирование агроэкологических систем	5
1.1. Современное состояние вопроса в области математического моделирования агроэкологических систем	5
1.2. Основы прикладного системного анализа	7
1.3. Этапы системного анализа.	13
1.4. Классификация моделей. Структура динамических моделей	17
Раздел II. Теоретические основы объекта моделирования	20
2.1. Классификационные единицы почв как объект математического моделирования	20
2.2. Особенности эколого-генетической (факторной) классификации почв СССР, 1977	25
2.3. Субстантивная классификация почв в России	27
2.4. Численная классификация почв	32
Раздел III. Алгоритм разработки региональных эталонов почв	35
3.1. Информационный анализ	36
3.2. Разработка количественной модели «региональных эталонов» почв на примере 21 почвенного района Алтайского края	41
3.3. Алгоритм разработки качественной модели диагностики региональных почв	53
3.4. Логический анализ и построений информационно-логического уравнения	57
3.5. Оптимизация и оценка математических моделей	59
3.6. Решение теоретических и практических задач классификации почв на основе разработанных моделей	62
Библиографический список	65
Приложения	68

Введение

В естественных науках, в том числе и в почвоведении отмечается общая тенденция математизации результатов исследования. Если раньше использование статистических методов ограничивалось применением их для обработки экспериментальных данных, то сегодня – большое количество работ посвящено математическому моделированию и использованию полученных моделей для решения практических задач (Пивоварова и др., 2019, 2020). Математическое моделирование почвенных свойств и процессов относительно молодое научное направление, которое начало развиваться в середине 60-х годов в связи с появлением и разработкой методов моделирования сложных динамических систем. Математические модели могут быть построены для разных целей. Моделирование сложных биогеоэкологических объектов и процессов высвечивает пробелы в наших знаниях об исследуемой системе и, в связи с этим, помогают в планировании новых наблюдений и экспериментов.

Несмотря на чрезвычайную сложность почвы, как объекта моделирования, последние десятилетия — это направление в почвоведении активно развивается. Множество известных в настоящее время математических моделей в почвоведении можно разделить на три большие группы: эмпирические, полуматематические и теоретические модели. Наиболее распространенными являются эмпирические модели, разработанные на основе огромного экспериментального материала и позволяющие выявить закономерности изучаемого явления.

В предлагаемом учебном пособии рассматриваются качественные и количественные математические модели, дается теоретическое обоснование и алгоритмы определения понятий «центральный образ почвы», «таксономический вес признака», «классификационные границы» почвенных групп. Система центральных образов региональных эталонов почв позволяет решать различные научные и агрономические задачи: мониторинг агрохимического состояния почв, разработки региональной классификации почв и оценки их экологического состояния (Соколов, 2004).

Цель пособия - дать необходимые знания по методологии системного анализа и основам математического моделирования в почвенных и агроэкологических исследованиях. Пособие состоит из введения и трех глав. В первом разделе изложены общие принципы прикладного системного анализа, рассмотрены структура и функции математических моделей (частично цитируется по Кошелевой Н.Е., 1997). Во втором разделе обсуждаются проблемы классификации почв и подходы к их моделированию, а также дана характеристика основных классификационных систем почв России (частично цитируется по Самофаловой И.А., 2012). В третьей главе дан алгоритм информационно-логического анализа моделирования (частично цитируется по Пузаченко Ю.Г. и др., 1970) региональных эталонов почв, качественных и количественных моделей для обоснования и диагностики классификационных групп, а также методы оценки прогнозирующей способности и точности полученных моделей.

Раздел I. Математическое моделирование агроэкологических систем

1.1. Современное состояние вопроса в области математического моделирования агроэкосистем

Современные представления о почве как об открытой саморегулируемой системе способствовали развитию нового подхода в изучении почв, основанного на принципе кибернетичности (обратных связей), и разработке методов управления почвенным плодородием путем оптимизации его факторов. В качестве информационной формы, характеризующей состояние антропогенно-измененных почв, используют агроэкологическое моделирование, в основе которого лежит концепция «моделей плодородия почв». В настоящее время предлагаются математические модели плодородия, разработанные на основе различных методов: корреляционно-регрессионного (Абрамов, Салова, 1998), балансового (Шатилов, и др. 1996) и информационно-логического (Бурлакова, 1984; Крупкин, и др., 1999). На основе этих моделей предлагается унифицированная схема оценки плодородия почв с учетом региональных и агроэкологических условий. Данные модели используются для обоснования механизма регулирования устойчивости агроэкосистем и достижения почвами параметров эталона, устранения лимитирующих факторов, создания мощного гомогенного пахотного слоя и др.

Для условий Предалтайской почвенной провинции разработан ряд информационно-логических моделей урожайности основных культур (яровая пшеница, сахарная свекла, многолетние травы, кукуруза) возделываемых в черноземной (Бурлакова, и др., 1990). Данные модели успешно используются при бонитировке почв и оптимизации минерального питания растений. С помощью этих моделей можно сконструировать «эталон» плодородия почв исследуемого региона, т.е. составить статистически обоснованную совокупность оптимальных агрономически значимых почвенных свойств. Для современного уровня земледелия в условиях черноземной зоны Алтайского края установлены оптимальные уровни содержания в почве нитратного азота, подвижного фосфора и обменного калия для основных возделываемых культур (Пивоварова, Бурлакова, 2002).

Структура этих моделей позволяет выявить факторы, оказывающие наибольшее влияние на изменение изучаемых свойств и определяющие их устойчивость и динамику, а также понять режимы функционирования различных сторон почвенной системы. Актуальность разработки таких моделей диктуется необходимостью осуществления комплексной оценки качества почв и контроля за изменением их плодородия под влиянием сельскохозяйственной деятельности. Использование прогнозных моделей существенно упрощает и удешевляет осуществление агроэкологического мониторинга почв и координатного земледелия, базирующихся на геоинформационных технологиях.

Теория и методология моделирования биогеоценотических объектов достаточно глубоко разработаны и представлены в работах А.А. Роде (1971), А.С. Фрида (1974), А.А. Ляпунова (1981), В.А. Рожкова (1989), Л.Л. Шишова,

Д.Н. Дурманова, И.И. Карманова (1991). В соответствии с методическим требованием, сформулированным Ляпуновым А.А. (1981) для природных объектов большое значение имеет хорошо организованное взаимодействие между математическими и естественнонаучными знаниями.

На первом этапе должна быть сформулирована математическая задача, т.е. очерчены те исходные данные, которые необходимо иметь, для того, чтобы провести расчеты в соответствии с моделью. Для математического моделирования зональных эталонов почв Алтайского края необходимо определиться с выбором классификации, каталогизировать те факторы, которые определяют принципы группировки почв (например, генетический). Из многообразия почвенно-генетических, динамических и антропогенных факторов на основе современных представлений о генезисе и механизмах почвообразования необходимо отобрать наиболее значимые и доступные.

Вторым этапом является систематизация эмпирических данных для моделирования. Для того, чтобы обеспечить достаточно полный набор исходных данных, а также необходимую их точность и сопоставимость для различных моментов времени. В качестве экспериментальной базы моделирования зональных эталонов почв может служить архив данных крупномасштабного почвенного обследования территории Алтайского края, проводимого до 2000 гг. или систематические данные агрохимических обследований.

На следующем этапе является целесообразным в максимально доступной степени упростить математическую модель. Каждый моделируемый объект должен быть строго подчинен определенным пространственным и временным ограничениям, т.е. моделировать следует относительно автономный процесс, разыгрывающийся на определенной территории в течение определенного времени. Пренебрежение этими требованиями может привести к тому, что модель окажется далекой от действительности. В связи с этим, для решения конкретных практических задач необходим правильный выбор объектов моделирования, который может осуществляться на различном иерархическом уровне (Шишов и др., 1987). В данном случае в основу положено почвенно-географическое районирование Алтайского края (Почвы Алтайского края, 1959) в соответствии с которым выделяется 44 почвенных района, отличающихся особенностями климатических, литологических и почвенных факторов.

Мысль о построении рядов моделей вполне естественна и высказывалась ранее (Гильманов, 1986). Основной принцип сводится к тому, что при моделировании объекта следует начинать его рассмотрение с возможно более далекого «расстояния» (с минимального угла зрения), на котором еще остается различимым тот минимум факторов и свойств объекта, без учета которого рассмотрение теряет смысл. Затем, осуществляя постепенное «приближение» к объекту, необходимо увеличивать «угол зрения», разрабатывая новые модели всякий раз, когда становятся «различимыми» более мелкие свойства или структуры объекта. Учет более «тонкой» структуры объекта дает возможность получить более точную модель, которая включает в себя особенности поведения модели меньшего угла зрения. Следовательно, создаваемый при таком постепенном «приближении» к объекту ряд моделей должен обладать свойством соответ-

ствия: набор свойств модели меньшего угла зрения должен вкладываться в набор свойств модели любого из больших углов зрения. Аналогичный подход использовал А.С. Фрид (1974) предложив иерархическую классификацию моделей. В соответствии с этим подходом региональные эталоны почвенных районов могут быть объединены в региональные эталоны почвенных зон (подзон).

Заключительным этапом является сопоставление природных явлений и расчетов и выяснение причины возможных расхождений. Здесь могут быть довольно разнообразными ситуации: либо что-то не учтено или неправильно учтено в общей схеме явления, либо недостаточно хорошо выбраны те или другие параметры модели, либо, наконец, недостаточно полны, либо недостаточно точны исходные данные.

Осмысление набора количественных моделей позволяет надеяться, что каждая модель может адекватно описывать ситуации, отличающиеся от тех, для которых были получены конкретные экспериментальные точки, т.е. надеяться хоть на какую то степень их предсказательности. Ценность моделирования в биогеоценологии не только в том, что оно может участвовать в решении практических задач, но и в том, что процесс моделирования позволяет ускорить «кристаллизацию» теоретических знаний из «пересыщенного» раствора экспериментальных и натуральных наблюдений. Однако, это достижимо только при системном подходе к моделированию.

1.2. Основы прикладного системного анализа

В почвоведении исследуются биогеосистемы - сложные природные или природно-техногенные образования, для которых присущи многокомпонентность, наличие множества связей с окружающей средой, разнообразие реакций на внешние воздействия. Для их описания в пространстве и времени используются фундаментальные законы и эмпирические зависимости. Известны законы, описывающие системы на качественном уровне - учение о биосфере В.И. Вернадского, теория этногенеза Л.Н. Гумилева, закон, определяющий функцию биосферы в системе солнечно-земных связей А.Л. Чижевского (Кошелева, 1997). Однако, во многих случаях требуются количественные оценки и прогнозы.

Так, управление продуктивностью ландшафтов (и, в частности, почвенным плодородием) требует от исследователя целостного восприятия и описания динамики различных форм биогенных элементов в почве. Можно, например, знать в деталях процессы нитрификации, денитрификации, азотфиксации, аммонификации и т.д., подробно изучить поглощение азота корневой системой и трансформацию его в растении, но такие разрозненные знания недостаточны для описания круговорота азота в почве. Для этого необходимы совместный анализ различных процессов и явлений, учет их взаимообусловленности и построение комплексной математической модели.

Методологическую основу такого рода исследований составляет прикладной системный анализ. Он позволяет адекватно описать динамику событий, происходящих в реальных природных объектах, учесть их строение и вза-

имосвязь отдельных компонентов. Системный подход важен при оценке множества вариантов функционирования системы в изменяющейся внешней среде. Для этого используются математические модели, которые служат абстрактными заменителями реальных объектов. Прикладной системный анализ дает возможность изучать комбинации влияющих факторов, прогнозировать состояния системы в зависимости от сочетания этих факторов, ставить эксперименты, которые часто невозможно или рискованно осуществить в природных условиях. Эксперимент проводится не с системой, а с моделью, которая количественно описывает изучаемую систему.

Вышеизложенное обусловило постепенное усиление системной ориентации во многих естественных науках в том числе в физической географии, геохимии ландшафтов и географии почв. Особенно заметные сдвиги в этом направлении появились в связи с развитием вычислительной техники и компьютерных средств обработки географической информации. В настоящее время системный подход к изучению географической оболочки в целом и ее отдельных компонентов прочно вошел в теорию и практику почвенных исследований.

Основоположником системного анализа является австрийский биолог фон Бергаланфи, который в начале 60-х годов выступил с *общей теорией систем*, претендующей на роль общей теоретико-методологической науки (цит. По Кошелевой Н.Е., 1997). Системные методы исследований быстро распространились на все сферы современной науки и техники и принесли безусловную пользу в решении ряда конкретных задач в биологии, системотехнике, психологии и других естественных науках. Ключевым во всем комплексе системных исследований является понятие *система*. Под системой понимают любую целостную совокупность элементов, находящихся во взаимодействии с окружающей средой и представляющих собой элемент в системе более высокого порядка; элементы системы, в свою очередь, являются системами более низкого уровня.

В определении понятия *система* используется другое основополагающее понятие - *элемент*. На множество-элементов системы не накладывается никаких ограничений, они рассматриваются как неделимые единицы анализа. Элемент, не имеющий даже одной связи с другими, не входит в рассматриваемую систему. Одни и те же элементы в зависимости от принципа объединения могут образовывать разные по свойствам системы. Поэтому системы определяются не только составляющими элементами, но и характеристиками *связей* между ними.

В отличие от систем неорганизованная совокупность объектов лишена каких-либо существенных черт внутренней структуры, связи между ее частями носят случайный характер.

Свойства неорганизованной совокупности совпадают с суммой свойств ее отдельных частей. Систему же характеризует наличие стабильных связей между элементами, которое порождает новые свойства, не присущие изолированным элементам.

Таким образом, отличительные признаки любой системы целостность и устойчивая структура, обусловленная связями между элементами. В системном исследовании среди всех элементов выделяются те, которые яв-

ляются системообразующими, т.е. обеспечивают свойство целостности системы. Любое представление объекта исследования в виде системы является относительным: объекты, принадлежащие определенному структурному уровню, могут рассматриваться и как системы, образованные из элементов более низких уровней, и как подсистемы, входящие в состав некоторой системы более высокого уровня. Иные цели и способы исследования могут привести к другому представлению того же объекта, в результате будет получена система с другим набором элементов. Это фундаментальное понятие системного анализа – *иерархическое строение систем* - можно пояснить на следующем примере (табл. 1).

Таблица 1. Уровни организации почв и почвенного покрова (по Фридланд, 1984)

Уровень	Описание уровня
i-3	элементарные почвенные частицы
i-2	агрегаты
i-1	генетические горизонты
i	почвы (почвенные индивидуумы)
i+1	элементарные почвенные ареалы
i+2	микро- и мезо- почвенные комбинации
i+3	почвенные районы, округа, страны

На самом низком уровне иерархии почвенных тел находятся элементарные почвенные частицы – минеральные или органические, - формирующие почвенные агрегаты. Генетические горизонты почвенного профиля во многих случаях различаются по агрегатному составу, но могут при этом выделяться и по другим признакам. Последовательность горизонтов с определенными свойствами характеризует тип генетического профиля почв.

Для обозначения минимального объема почвенного тела, позволяющего оценить пространственную изменчивость свойств почвы, используется понятие почвенного индивидуума. Строение профиля почвы используется в качестве одного из основных критериев, в соответствии с которыми выделяются таксономические группы почвенного покрова.

Все уровни организации почвенного покрова могут быть разделены на три группы, которые образованы территориальными почвенными единицами различного масштаба - от десятков метров до тысяч км. Первая состоит из простых, относительно гомогенных образований - элементарных почвенных ареалов (ЭПА). Под ЭПА понимают пространство, занимаемое какой-либо одной почвой, относящейся к классификационной единице наиболее низкого ранга и ограниченное другими ЭПА или непочвенными образованиями. Вторая группа объединяет микроструктуры и мезоструктуры. Для них характерно наличие многокомпонентного состава, единого для каждой микро- и мезоструктуры, определенное генетико-геометрическое строение и единая история развития. Третья группа включает районы и округа, а также страны. Для них характерны определенная, хотя и не одинаковая в разных частях геохимия почвенного покрова, и единство или сходство истории развития.

Для иерархических систем характерны три важнейших свойства:

- **каждый уровень иерархии имеет свой собственный язык**, то есть систему понятий, терминов и принципов. К примеру, понятие "устойчивость почв к техногенным кислотным воздействиям" лишено смысла на уровне отдельных почвенных агрегатов или минералов, каждый из которых по-своему взаимодействует с кислотами;

- **на каждом уровне иерархии происходит обобщение свойств объектов более низких уровней**. Закономерности, обнаруженные для последних, могут быть включены в объясняющую (функциональную) схему для объектов высшего уровня. Таким образом, описание на уровне i способствует объяснению явлений, имеющих место на уровне $i+1$;

- **связи между уровнями не симметричны**. Для функционирования объектов высшего уровня необходимо, чтобы "работали" объекты низшего уровня, но не наоборот.

Именно благодаря множеству взаимосвязанных элементов система противостоит *внешней среде*, во взаимодействии с которой система обычно проявляет все свои свойства. Поэтому нередко автономное описание системы оказывается недостаточным для объяснения законов ее функционирования: в системных исследованиях изучаемая система, как правило, рассматривается как часть другой системы, более высокого уровня.

Система, в отличие от простого множества элементов, обладает рядом системных признаков. Можно выделить следующие общие для любых систем особенности.

1. Принципиальная несводимость свойств системы к сумме свойств составляющих ее элементов и невыводимость из суммы свойств элементов свойства системы. Например, продуктивность биогеоценоза нельзя прогнозировать исходя только из особенностей отдельных его элементов: режима влажности и содержания биогенных элементов в почве. Продуктивность ценоза определяется еще и радиационным балансом, возрастным и видовым составом растительных сообществ, рельефом (экспозицией) и др.

2. Структурность системы, т.е. целесообразность связей между ее элементами. Благодаря этому можно описать систему путем определения ее структуры, т.е. комплекса связей и отношений. Последние обуславливают поведение системы через поведение ее отдельных элементов и свойства структуры. Структурность почвы как типичного системного объекта проявляется в том, что изменение какой-либо одной ее подсистемы обязательно скажется на других и, следовательно, приведет к изменению самой почвы. Например, дренаж - изменение водного и воздушного режима - приведет к изменению других основных свойств почвы.

3. Взаимозависимость системы и среды. Система формирует и проявляет свои свойства в процессе взаимодействия со средой, являясь при этом ведущим компонентом. Границы системы выбирают таким образом, чтобы окружающая среда влияла на происходящие в ней процессы, но чтобы сама система не могла оказывать активного воздействия на окружающую среду. Так, для естественной растительности метеорологические процессы являются внешними:

скорости физиологических процессов в растениях сильно зависят от погодных условий, но рост растений не оказывает заметного активного воздействия на погоду. Это свойство характерно только для «открытых систем». В закрытых (или относительно закрытых) системах, например в условиях теплицы ростовые процессы активно воздействуют на влажность, температуру и концентрацию углекислого газа в воздухе и сама "погода" становится частью системы. Интегральное действие на почву совокупности факторов внешней среды, как правило не аддитивно, осложнено явлениями монодоминантности, синергизма и антагонизма.

Монодоминантность возникает, если один из факторов, находясь либо в максимуме, либо наоборот, в минимуме, оказывает на систему столь сильное влияние, что подавляет действие всех остальных факторов. Однако в природе монодоминантность может иметь место только на весьма малых временных интервалах, для большинства природных процессов характерно полилимитирование, т.е. отсутствие одного постоянного лимитирующего фактора. Отсюда следует, что модели почвенных и ландшафтно-геохимических процессов должны содержать много параметров, характеризующих внешнюю среду. Модели биогеосистем, основанные на принципе монодоминантности, могут давать лишь краткосрочный прогноз, с увеличением интервала прогнозирования точность прогноза будет резко падать.

При действии на систему двух или более факторов возможно их взаимодействие. Это явление называется **синергизмом**. Например, высокий уровень залегания грунтовых вод и одновременно их высокая минерализация приводят к засолению почв.

Антагонизм - взаимокompенсация действия на систему двух или большего числа факторов. Например, влияние основных факторов почвообразования в таежной зоне, обуславливающее кислую реакцию среды в почвах, может быть в значительной степени скомпенсировано влиянием карбонатных почвообразующих пород.

4. Иерархичность: каждый компонент системы можно принять за систему более низкого уровня, а рассматриваемую систему - за часть более сложной (табл.1).

5. Множественность описания системы. Из иерархичности структуры системы вытекает возможность построения множества различных моделей, каждая из которых описывает определенный аспект. Отсюда понятно, почему одни и те же почвенные и ландшафтно-геохимические процессы представляются моделями разных классов.

Рассматривая различные аспекты строения и функционирования систем, можно строить их различные *классификации*;

- по происхождению;
- по описанию входных и выходных процессов;
- по типу связей между входными и выходными переменными;
- по типу управления.

Различают **материальные и абстрактные** системы. Материальные - это реально существующие в природе системы. Абстрактные системы являются от-

ражением материальных систем в сознании человека. К абстрактным системам относятся модели, гипотезы, теории, научные знания о системах. Важным под-типом абстрактных систем являются математические системы, в которых абстрактные математические объекты (скаляры, векторы, функции, функционалы и т.п.) связаны уравнениями, неравенствами и т.п.

В зависимости от относительной скорости изменения во времени выделяют *статические и динамические* системы. При малой скорости изменений состав и структуру системы на небольшом временном интервале можно считать постоянной. Например, структура биогеоценоза за декаду – статическая система, тогда как в течение года – динамическая. В процессе почвообразования почвенный покров претерпевает существенные изменения, но в течение 10-20 лет он может считаться неизменным.

Среди динамических систем по характеру функционирования выделяются *детерминированные и стохастические* (вероятностные). В первом случае поведение системы во времени полностью определяется исходным состоянием системы в начальный момент времени и ходом изменений состава и свойств внешней среды, воздействующей на систему. Система называется стохастической, если закон ее функционирования имеет вероятностный характер. При этом значения переменных системы в начальный момент времени и воздействия на нее извне позволяют установить лишь вероятностное распределение этих значений в последующие периоды времени.

По тесноте связи с внешней средой системы делятся на *открытые и замкнутые (закрытые)*. Все материальные системы в той или иной степени связаны с внешней средой потоками вещества и энергии, то есть являются открытыми. Замкнутых систем, не имеющих связей с внешней средой, в природе не существует. Однако это понятие используется в тех случаях, когда динамика системы определяется в основном ее внутренними закономерностями. Близким по смыслу к замкнутой системе является термин "автономная система".

В почвоведении предметом системного анализа является *почва или почвенный покров* которые представляет сложную биокосную систему. В почве происходят процессы взаимодействия литосферы, атмосферы, живого вещества, гидросферы. В процессе эволюции, а также при антропогенном воздействии происходят разнообразные изменения, которые в свою очередь определяются географическими закономерностями. Мощность почвы сравнительно невелика. Ее нижняя граница определяется глубиной расчленения рельефа, и соответственно, мощностью зоны свободного водообмена.

Почву можно разделить по "вертикали" на компоненты (генетические горизонты). Внутренние циклические потоки, и, в первую очередь, биологический круговорот веществ, определяют тесноту обратных геохимических связей между горизонтами, и следовательно, устойчивость системы. Ведущими, системообразующими для почвенного профиля являются вертикальные процессы переноса вещества и энергии, поэтому для него характерно наличие вертикальной структуры слоев. В свою очередь почвенный покров складывается из элементов по "горизонтали" - это на более или менее однородные по характеру почвообразовательных процессов ареалы. Нижнюю ступень этой иерархии об-

разуют *определенные таксономические группы* - наименьшие, связанные между собой системы, характеризующиеся однородностью взаимодействия основных элементов в пределах некоторого участка земной поверхности. По горизонтали почва захватывает территорию, на которой размещаются все элементы, обеспечивающие ее целостность.

Миграция веществ в почве идет во всех фазовых состояниях. Кроме того, каждый элемент (блок) системы и вся система в целом пронизаны живыми организмами, которые являются причиной биогенной миграции веществ. Миграционные потоки осуществляют связи между блоками горизонтами. Миграционные потоки разделяются на внутренние и внешние, циклические и направленные.

Открытость почв как элементов системы позволяет рассматривать их как подсистемы почвенного покрова (более сложной системы), а почвенный покров как элементы более сложных ландшафтно-геохимических систем. Элементарные геохимические ландшафты объединяются в каскадные ландшафтно-геохимические системы на основе анализа системоформирующих латеральных потоков вещества. В большинстве природных зон такие потоки формируются при водной миграции вещества с поверхностными, внутрисочвенными, подземными и речными водами.

1.3. Этапы системного анализа

Системный метод исследования, или системный анализ - это целенаправленное изучение сложного, многокомпонентного объекта, проводимое для прогноза его поведения при различных воздействиях и для выяснения возможностей улучшения функционирования этого объекта. Он ориентирует исследователя на раскрытие структуры изучаемого объекта, на выявление взаимосвязей между его компонентами и выработку стратегий эффективного управления.

Проникновение системного подхода в почвоведение диктовалось необходимостью упорядочения и осмысления множества новых данных, объективной потребностью в синтезе знаний. Разрозненные знания о структуре и функционировании отдельных элементов ландшафта - почв, природных вод, растений - стали недостаточными для описания и прогнозирования поведения и структурных перестроек биogeосистем.

Необходимость в обобщении географической информации возникла более чем столетие назад. Так, основоположник научного почвоведения В.В. Докучаев писал: "Не подлежит сомнению, что познание природы - ее сил, стихий, явлений и тел - сделало в течение XIX столетия такие гигантские шаги, что само столетие нередко называется веком естествознания, веком натуралистов. Но, всматриваясь внимательно в эти величайшие приобретения человеческого знания - приобретения, можно сказать, перевернувшие наше мировоззрение на природу вверх дном, ...нельзя не заметить одного весьма существенного и важного недочета... Изучались главным образом *отдельные* тела - минералы, горные породы, растения и животные, и явления, *отдельные* стихии - *огонь* (вулканизм), *вода*, *земля*, *воздух*, в чем, повторяем, наука достигла ... удивительных

результатов, но не их *соотношения*, не та *генетическая вековечная* и всегда *закономерная* связь, какая существует между силами, *телами и явлениями*, между *мертвой и живой* природой, между растительными, животными и минеральными царствами, с одной стороны, человеком, его бытом и даже духовным миром - с другой. А между тем именно эти *соотношения*, эти закономерные *взаимодействия* и составляют *сущность познания естества*, ядро истинной натурфилософии - лучшую и высшую прелесть естествознания".

В географии почв и геохимии ландшафтов элементы системного анализа стали использоваться еще в 40-50-е годы текущего столетия в работах А.А. Роде, Б.Б.Полынова. В его сегодняшнем виде системный подход утвердился в 70-е годы благодаря работам В.М. Фридланда о структуре почвенного покрова, М.А. Глазовской о ландшафтно-геохимических системах. Системная концепция лежит в основе формализованного описания миграционных процессов в биогеоценозах, балансово-геохимического метода расчета процесса соле-накопления в пойменных почвах, концептуальных моделей техногенной трансформации почвенно-геохимических процессов и свойств почв в районах добычи нефти, балансов макро- и микроэлементов в природных и природно-техногенных ландшафтах (Кошелева, 1997) и др.

Системный метод пока не является законченной теорией, базирующейся на единых фундаментальных принципах, аппарате и методологии. В зависимости от характера исследуемых проблем он может быть выполнен самыми различными способами, включая несложные расчеты, экспертные оценки и формальную логику. Часто системный анализ реализуется с помощью математических методов, однако за ним нельзя закрепить конкретные разделы математики. Специфика системного исследования определяется особыми принципами подхода к объекту изучения. В самом общем виде эта ориентация выражается в стремлении построить целостную картину объекта.

Как методология решения сложных проблем системный анализ предполагает определенную последовательность операций, которая состоит из выявления проблемы, поиска метода ее решения и реализации этого решения. При проведении исследований можно выделить *пять основных этапов*: постановка задачи, выявление способов достижения цели, структуризация системы, построение и исследование модели. На **первом этапе** системного анализа нужно определить цель и сформулировать проблему, которую собираются решать с помощью системного анализа. Прежде всего, нужно ответить на вопрос, в чем проявляются недостатки функционирования исследуемой системы или составляющих ее элементов и почему нельзя или что мешает изменить систему в нужном направлении без системного анализа.

Считается, что специалисты в данной предметной области лучше всех из практического опыта знают, как изменить состояние и поведение системы. Однако специалисту, не владеющему методами системного анализа, в сложных случаях трудно учесть все факторы, влияющие на конечный результат. Поэтому задачи, как правило, формулируются либо в общих, неконкретных выражениях, либо, наоборот, ставятся очень узкие задачи, не охватывающие проблему в целом. В результате полученные решения оказываются весьма далекими от оптимальных.

Примерами могут служить создание оросительных систем в Средней Азии, распашка целинных земель в Казахстане. В этих примерах при проектировании систем не были учтены весьма важные для их функционирования природные компоненты (не были включены грунтовые воды, подъем уровня которых в сочетании с их высокой минерализацией, привело к засолению и потере плодородия больших массивов орошаемых земель). Более того, недооценка возможных негативных последствий экологического характера отразилась и за пределами рассматриваемых систем: Аральское море – конечное звено в системе стока. Интенсивный забор воды на орошение из рек Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи вызвал нарушение водного баланса Аральского моря и понижение его уровня. Произошло значительное повышение солености водоема, отрицательно сказавшееся на гидробионтах, интенсивное развевание солей на осушенных участках моря, возникла опасность расчленения на отдельные изолированные части и исчезновения этого уникального водного объекта.

Таким образом, успех системного исследования во многом зависит от того, насколько тонко учтено равновесие между упрощением и усложнением задачи. Излишнее усложнение затрудняет моделирование - требуются фундаментальные исследования. При значительном упрощении задачи результаты будут тривиальны. Успех в значительной мере определяется опытом специалистов математиков, пониманием ими изучаемой проблемы, контактом со специалистами в данной предметной области.

На **втором этапе** системного анализа необходимо ответить на вопрос, какое именно звено или звенья в системе препятствуют достижению поставленной цели и в чем именно это выражается. В агросистемах действует закон минимума фактора. Он состоит в том, что в каждый момент времени воздействие ряда факторов неоднозначно. Наибольшее отрицательное влияние окажет фактор, являющийся минимальным относительно остальных (принцип Ю. Либиха). Следовательно, во всякий момент времени растение нуждается в регулировании одного лимитирующего фактора. Эта идея получила развитие в работах Де Вита и Пеннинга де Фриза, которые выделили и описали четыре уровня продуктивности агросистем. Однако при моделировании природных процессов целесообразно опираться на концепцию полилимитирования. На данном этапе необходимо наметить возможные способы улучшения функционирования системы и разработать комплекс мероприятий, направленных на достижение цели.

При наличии нескольких целей, что характерно для современных научных и практических проблем, следует установить последовательность приоритетов при удовлетворении той или иной цели. Очевидно, что цель можно достигнуть несколькими способами. Не все они одинаково экономичны и эффективны; они могут иметь различные ограничения на использование. Поэтому на следующих этапах исследований эти способы должны быть подвергнуты сопоставлению.

Цель **третьего этапа** - выявление структуры системы, состава ее элементов и связей между ними, установление внутреннего строения и свойств. Прежде всего определяют элементы системы и ее внешнюю среду исходя из того,

чтобы их взаимное влияние было минимальным. Такое деление в значительной мере зависит от постановки задачи, с ее изменением меняются границы системы, внешняя среда и первоначальный набор элементов. Затем определяются все существенные связи между системой и внешней средой. Остальные, слабо влияющие на функционирование системы связи из рассмотрения исключают.

Структуризация самой системы заключается в разделении ее на подсистемы и элементы. При моделировании компоненты системы должны быть выбраны таким образом, чтобы каждому из них была присуща относительная автономия, то есть чтобы внутренние связи в пределах каждой подсистемы были сильными, а взаимодействия между подсистемами - слабыми.

В ландшафтно-геохимических системах в первую очередь выделяют биотические и абиотические компоненты. Описание интересующих аспектов системы дается в словесной форме, широко применяются также графические способы - схемы, диаграммы, рисунки.

Когда внутреннее строение элемента не рассматривается, элементы системы можно представить моделями черных ящиков, в которых функционирование элементов описывается эмпирическими зависимостями между входом и выходом. Если поведение элемента описывается через поведение слагающих его компонентов, то этот элемент относится к разряду подсистем.

Четвертый этап - построение математической модели системы. Под моделью мы будем подразумевать набор формальных соотношений, которые воспроизводят определенные стороны, связи и функции исследуемого объекта. При этом модель всегда является упрощением реальной системы, так как обычно исследователя интересуют лишь отдельные стороны поведения системы. Другие стороны, если они слабо влияют на первые, не рассматриваются.

Существуют *эмпирические и функциональные* (механистические) модели. Главная задача эмпирических моделей - описать, не давая объяснения описываемому. Разработчик эмпирической модели всегда остается в пределах одного единственного i -го уровня организационной иерархии, где он и строит уравнения, связывающие между собой показатели, свойственные системе данного уровня.

Разработчик функциональной модели стремится описать поведение показателей, свойственных системе уровня i , пользуясь характеристиками подсистем уровня $i-1$. В функциональной модели эти два смежных уровня оказываются связанными отношениями, опирающимися на соответствующие гипотезы или допущения.

Подчеркнем, что эмпирическая модель практически свободна от ограничений, в то время как возможности функциональной модели (даже если она содержит хорошо регулируемые параметры) ограничиваются положенными в ее основу допущениями. Отсюда следует, что всегда можно построить такую эмпирическую модель, которая согласуется с опытными данными лучше, чем функциональная.

Описание поведения подсистемы уровня $i-1$ может быть чисто эмпирическим, то есть не содержать ни одного элемента, относящегося к подсистеме уровня $i-2$, а может быть и смешанным - эмпирико-функциональным и, следо-

вательно, включать параметры, свойственные подсистемам уровня $i-2$ и ниже. Отсюда видно, что любая функциональная модель в конечном счете уходит корнями в эмпиризм (Кошелева, 1997).

Таким образом, эмпирические модели служат для представления экспериментальных данных в компактном виде. При этом они не отражают внутреннего строения изучаемой системы и не объясняют реакций системы на внешние воздействия. Механистические модели содержат детальное описание процессов и взаимодействий, лежащих в основе изучаемого явления, и таким образом могут дать объяснение различным реакциям системы. Однако между этими двумя типами моделей нет четкой границы, т.к. любая теоретическая модель включает то или иное число эмпирических компонентов.

В основе любой модели лежит представление либо самой системы, либо ее подсистем или компонентов более низких уровней иерархии в виде эмпирических моделей черного ящика. Вопрос заключается в том, как построить такую модель, которая при минимальной сложности и детализации системы позволяла бы эффективно анализировать различные варианты ее функционирования и давать обоснованное решение проблемы.

При построении математической модели производится оценка параметров и проверка ее работоспособности, надежности и точности. На **пятом этапе** системного анализа проводится оценка различных сценариев развития системы при тех или иных воздействиях. Если стоит задача оптимального управления, анализируются альтернативные варианты управления системой и выбирается наилучший. На этом этапе проявляется важное преимущество системного анализа – возможность воспроизведения множества вариантов функционирования реальной системы с помощью математических моделей.

1.4. Классификация моделей. Структура динамических моделей

Модели классифицируют: по характеру моделируемых процессов и явлений, по математическому аппарату, применяемому для описания этих процессов и явлений, по сферам приложения моделей и т.д. Как уже говорилось, в самом общем виде математические модели делят на *описательные* (эмпирические) и *объяснительные* (механистические или физико-математические). Кажущиеся противоположными модели существуют в тесном единстве: в любой модели присутствуют и эмпирические, и механистические элементы. Это объясняется невозможностью построения модели только на теоретической основе, поскольку некоторые параметры приходится определять с помощью опытов, а адекватность модели оценивать экспериментальным путем.

По способности находить оптимальные решения аналитическими методами модели делятся на *оптимизационные* и *имитационные*. Оптимизационные модели позволяют найти такие значения переменных, характеризующих состояние геосистемы, которые обеспечивают оптимум (максимум, минимум) некоторой целевой функции. В качестве целевой функции могут выступать: максимальная продуктивность биоценоза, минимальный ущерб окружающей среде при реализации различных природопользовательских программ. Для получения

решения оптимизационной задачи система сильно упрощается, что может привести к недостоверности полученных результатов.

Этого недостатка лишены имитационные модели, которые позволяют описать состав, структуру и поведение изучаемой системы наиболее полно и адекватно. Оптимальное решение с помощью такой модели получают путем численных экспериментов при различных значениях параметров и переменных модели и последующего выбора наилучшего из рассмотренных вариантов. При большом количестве последних поиск оптимума становится очень трудоемкой задачей, приходится сокращать число анализируемых вариантов, что влечет за собой опасность исключения оптимального варианта.

По способности отражать поведение системы во времени модели делятся на *статические* и *динамические*. Статическая модель справедлива, когда система близка к равновесию. В динамических моделях обязательно учитывается изменение состояния системы во времени. Критериями для отнесения той или иной модели к одному из этих типов являются пространственная и временная детализация исследуемых процессов.

Среди динамических моделей выделяют *детерминистические* и *стохастические* модели. В детерминистических моделях входные и выходные переменные заданы в виде численных значений, а не в вероятностном виде. Однако, когда значение входящих в модель переменных однозначно определить нельзя, такой подход оказывается неправомерным.

В стохастических моделях присутствуют одна или несколько случайных переменных, заданных соответствующим законом распределения вероятностей. На выходе модели получают вероятностные характеристики искомой переменной математическое ожидание, дисперсию и др.

Стохастические модели эффективно описывают поведение систем, находящихся под влиянием трудно прогнозируемых погодных условий, например, динамику популяций, урожайность сельхозкультур и изреженность посевов при перезимовке, функционирование оросительных и дренажных систем и т.д.

На практике применение аппарата теории вероятностей сопряжено со значительными техническими трудностями. Поэтому на начальных этапах моделирования следует попытаться решить задачу, пользуясь детерминистической моделью. Если результаты окажутся удовлетворительными, то затрачивать усилия на разработку стохастической модели нецелесообразно.

И, наконец, в зависимости от сферы приложения выделяют *модели для исследований* и *модели для управления*. Принципиальных различий между моделью управления (инструментом прикладной науки) и исследовательской моделью (инструментом фундаментальной науки) нет. Но процесс моделирования и действия разработчика отличаются. При построении исследовательской модели, ориентированной на получение новых знаний об объекте, в нее включают мало проверенные гипотезы, которые могут оказаться ошибочными. К моделям же управления предъявляются совсем другие требования: знания и факты, используемые при моделировании, должны обладать достаточной достоверностью.

Основными элементами динамической модели являются *переменные*, значения которых зависят от времени. Они делятся на переменные состояния, переменные скорости, вспомогательные и управляющие переменные.

Переменные состояния (фазовые переменные) определяют состояние системы в любой момент времени. Это, например, содержание гумуса или концентрация микроэлементов в почве. В число переменных состояния желательно включать количественные характеристики или свойства системы, которые являются независимыми и поддаются измерению.

Независимость переменных означает, что ни одна из переменных не может быть численно определена через значения остальных. *Переменные скорости* - это характеристики, задающие темп или интенсивность протекания процессов в системе в данный момент времени. Причем понятие процессов здесь имеет широкое толкование: это и химические преобразования, и превращения, и физическое перемещение. Размерность этих переменных определяется отношением той или иной величины к единице времени. Примеры переменных скорости: интенсивность миграции элементов по почвенному профилю, темп роста, скорость поглощения питательных веществ из почвенного раствора и т.д. *Вспомогательные переменные* способствуют более глубокому пониманию объекта и упрощают сопоставление результатов расчета и наблюдений.

Управляющие переменные - это входные элементы модели, значения которых изменяются во времени независимо от поведения исследуемой системы. Так, медленно протекающие почвообразовательные процессы - это результат воздействия со стороны *внешней среды*. Это воздействие на определенных временных интервалах можно считать постоянным, хотя в принципе внешняя среда со временем претерпевает изменения. Величины, ее характеризующие, могут иметь характер переменных состояния (например, температура и влажность воздуха) или переменных скорости (например, солнечная радиация и ветер). Обычно внешняя среда находится за границами модели и, оказывая сильное воздействие на функционирование системы, от этой системы практически не зависит.

Константы и параметры - это не зависящие от времени количественные показатели и коэффициенты, включаемые в модель. Константы неизменны при варьировании условий эксперимента (например, плотность воды, число секунд в сутках). Значения параметров часто подвержены влиянию условий эксперимента, способа приготовления образца, метода лабораторного анализа и др. Иногда в модель включают малоизученные параметры, значения которых уточняются путем калибровки.

Целью динамического моделирования является построение дифференциальных уравнений, с помощью которых можно было бы прогнозировать значения всех переменных состояния в любой момент времени. В основе дифференциальных уравнений лежат фундаментальные законы природы - закон сохранения массы, закон сохранения энергии, термодинамические уравнения химических равновесий. Уравнения дополняются эмпирическими моделями отдельных почвенных микропроцессов, и таким образом составляется целостная модель, описывающая изучаемое явление (Кошелева, 1997).

Раздел II. Теоретические основы объекта моделирования

Классификация является философской основой и языком любой науки. Она выполняет роль информационной системы обобщающей многообразие свойств классифицируемых объектов до обозримых представлений и структур. Классификация почв предполагает организацию *знаний*, обобщение практического опыта, формализации представлений о многообразии почв страны (Герасимов, 1958; Иванова, 1960). Как информационная система классификация по положению почвы в ее системе, предназначена предсказать наибольшее число свойств. В настоящее время существует много почвенных классификаций и реферативных баз (Фридланд, 1982; Классификация ... 1977, 2004; Soil Taxonomy, 1999; World Reference Base..., 2006). Все их многообразие обычно делится на группы по принципам их построения. Как и в предшествующем варианте отечественной классификации, архетипы почв задаются «центральными образами», которые приводятся как последовательности генетических горизонтов.

При моделирование центральных образов или региональных эталонов почв важно понимать принципы группировки почв (классификация почв) и системы генетических горизонтов, по которым выделяются таксономические группы. Поэтому среди множества существующих классификаций надо выбрать те, которые отвечают задачам моделирования. Ниже дается характеристика наиболее распространенных классификаций, используемых в России и ее регионах. А на примере профильно-генетической классификации разбирается пример моделирования региональных эталонов почв Алтайского края.

2.1. Классификационные единицы почв как объект математического моделирования

В генетической базовой классификации не обойтись без трех основных понятий: «**центральный образ**», «**классификационные соседи**» и «**классификационные границы**». Центральный образ (наша традиционная типичная почва) нужен для изложения генетической концепции, для научного обоснования смысла выделения таксонов. Группирование и распределение центральных образов в классификационном пространстве создает структуру классификации. Классификационная граница между таксонами (обязательно количественная) устанавливается для формализации и объективизации процедуры выделения таксонов. Граница проводится по количественным грациям различных устойчивых характеристик диагностических признаков. Классификационные соседи — почвы, образующие периферию классификационного таксона и соседствующие через границу.

Объектом почвенной классификации является не почвенный покров, а абстрактная совокупность всех почв мира - универсум почвенной классификации, представляющий собой континуум с «разрежениями» и «сгущениями» (центральными образами). Границы между этими центральными образами размыты, все переходы имеют очень постепенный характер: классификационные соседи (почвы, образующие периферию двух соседних классов и соседствующие через

классификационную границу) оказываются ближе друг другу, чем каждый из них своему собственному центральному образу (рис.1).

Это противоречие, по-видимому, присуще всем почвенным классификациям. Вряд ли оно в принципе устранимо. Тот факт, что классификационные соседи могут быть ближе друг к другу, чем к своему центральному образу, заставляет признать некоторую условность генетического единства объектов, относимых к одному таксону. Генетически различными оказываются центральные образы таксонов, но не весь таксон в целом. Следовательно, не нужно заблуждаться по поводу возможности разработки такой классификации, где все члены одного класса ближе друг другу, чем к любым представителям другого класса. И не нужно доказывать неудачность классификационного решения, сравнивая соседей. Сравнить (для этой цели) нужно центральные образы. Сравнение всех включенных в сравниваемые группы объектов (и центральных образов, и соседей) позволяет лишь оценить целесообразность проведения между этими группами классификационной границы по тем или иным количественным значениям признака. При этом следует помнить, что любое решение остается условным и не снимает самой сути обсуждаемого противоречия (Сokolov, 2004).

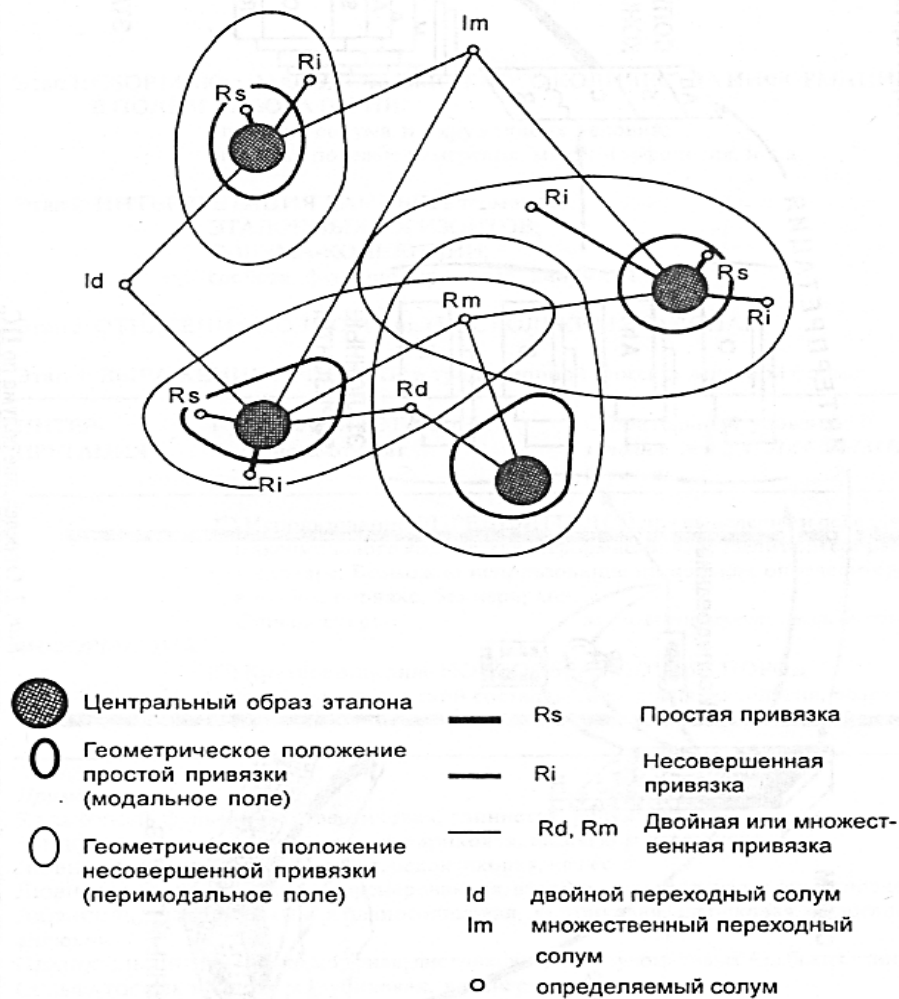


Рис. 1. Схема классификационных объектов почв (Почвенный справ..., 2000).

При классификации почв в принципе невыполнимо требование, которое считается обязательным для численных и формальных классификаций: разделение генеральной совокупности на такие классы, все члены которых ближе друг другу, чем к любым объектам другого класса. Часто именно так формулируется главная цель классификации. В отношении почвенной классификации достижение этой цели в принципе невозможно.

Необходимо различать два понятия: объект построения классификации и объект идентификации почв по уже имеющейся классификации. Построение классификации осуществляется на основе центральных образов почв, а идентификация почв (в том числе автоматизированная) должна осуществляться на основе условного минимального объекта — индивидуума (для процедуры распознавания образа, для идентификации конкретных объектов в рамках уже имеющихся классификаций).

Все таксоны классификации — категории абстрактные. Они не имеют физического воплощения. Объект идентификации — всегда совершенно конкретный объект. Процедура идентификации — определение соответствия данного конкретного объекта той или иной абстрактной классификационной категории. Она должна быть строго алгоритмизирована. Сегодня разговор о базовой классификации вышел за рамки теоретических приоритетов.

Как показывает специальный анализ, основной трудностью на пути создания субстантивных почвенных классификаций в последнее время стало стремление совместить в единой иерархической таксономической системе разделение почв по устойчивым **консервативным свойствам и динамическим показателям** — режимам. Это стремление — результат широко распространенных представлений о жесткой взаимообусловленности современных консервативных свойств современными режимами, об обязательном наличии строгой корреляции между консервативными свойствами и режимами. Специальные исследования этой проблемы, которые были выполнены ранее Соколовым И.А., Таргульяном В.О. (1978) привели к оформлению представлений о понятиях: «почва-память», «почва-отражение» и «почва-жизнь». Для дальнейшего обсуждения проблемы удобно ввести понятие (традиционное) «почва-профиль» — совокупность всех твердофазных признаков почвенного тела: и литогенных, и педогенных, и реликтовых, и устойчивых, и консервативных, т.е. почва-память и почва-отражение. Почва-жизнь — совокупность динамических почвенных свойств с малыми характерными временами (в первую очередь, водный и тепловой режимы). Почва-профиль и почва-жизнь в определенной (часто весьма существенной) мере взаимообусловлены. Вместе с тем между ними нет и теоретически быть не может жесткой корреляции. Почва-профиль — продукт элементарных процессов, действовавших с момента зарождения почвы до момента ее наблюдения, функция факторов, действовавших в течение всего этого периода и действующих в настоящее время. Почва-жизнь — результат, главным образом, сегодняшнего сочетания факторов почвообразования. Очевидно, разрабатывать базовую классификацию нужно как двухкоординатную (двухкомпонентную), состоящую из двух независимых друг от друга координат: профильно-генетической и процессно-режимной.

Некоторые рассуждения по поводу **выбора диагностических признаков и определения их таксономического веса** изложены в работе И.А. Соколова (2004). Так, основаниями для подбора диагностических признаков он считает наши представления о почвенных процессах. Чем более общим является процесс, тем выше его «таксономический вес». Только такой подход может обеспечить построение классификации, отвечающей главной цели, которая была сформулирована выше. Выбор диагностических признаков осуществляется в соответствии с этим принципом. Среди всего разнообразия почвенных свойств при этом отбираются наиболее существенные, определяющие почву как самостоятельное природное тело, порожденное почвообразовательным процессом, т.е. свойства, генетически обусловленные. Таким образом, на этом, по сути дела доклассификационном уровне, в классификацию входит представление о генезисе почвы. Оно входит на уровне парадигмы науки.

По-видимому, это не единственный реальный способ первоначального отбора классификационно значимых свойств. Подчеркнем, что представление о генезисе почвы входит в классификацию собственно почв только в опосредованном виде, критериями диагностики являются исключительно сами свойства, но не представления об их происхождении.

Характеристика факторов почвообразования не входит в число диагностических признаков собственно почв, так как объектом классификации является почва как самостоятельное естественно-историческое тело (а не ландшафт, не экосистема). Таково условие данной классификации. Это ни в коей мере не принижает самостоятельного значения различного рода факторных или экологических классификаций. Более того, базовая классификация может использоваться как основа для любых группировок (классификаций) почв на экологических (факторных) принципах.

И.А. Соколов сформулировал некоторые дополнительные соображения **по поводу «взвешивания» признаков** (2004). В целях большей устойчивости классификационных решений большим таксономическим весом обычно обладают признаки, характеризующиеся большим характерным временем. Определение таксономического веса признаков может проводиться так же на основании их взаимообусловленности — чем сильнее влияет наличие признака на все остальные характеристики (в том числе и на генезис), тем больше его таксономический вес. При взвешивании признаков обычно учитывается степень его соответствия современной ландшафтной обстановке. Максимальный вес обычно придается признакам, которые ей не противоречат (почва-отражение).

Реликтовые признаки (почва-память) имеют меньший таксономический вес. Универсален ли этот принцип? По-видимому, нет. В настоящее время эта традиция вступила в противоречие с фактом полигенеза большинства почв. Многие свойства, считавшиеся современными, в действительности должны рассматриваться как реликтовые. Достаточно напомнить хорошо установленный факт литогенности и/или реликтовости текстурной дифференциации почв ледниковых и перигляциальных областей. Эта проблема требует специальной проработки.

Один и тот же признак в разных объектах может иметь разный таксономический вес. Это очевидно, так как основанием является не только сам признак, но и его генетическая обусловленность и его генетическая роль. Например, степень разложения органического вещества в органогенных почвах может учитываться на более высоком уровне, чем в почвах органоминеральных. Среди признаков, имеющих в почвенном профиле, могут быть унаследованные от прошлых эпох почвообразования, предшествующих процессу отложения почвообразующих пород (педогенные минералы, фрагменты бывших органогенных горизонтов и т. п.). Таксономический вес этих признаков примерно соответствует литогенным.

Все почвенные характеристики делятся на диагностические, по которым проводится идентификация объектов, и дополнительные, которые могут быть присущи объектам, но не являются обязательными, делящими почвы в рамках иерархической системы. На основе дополнительных характеристик может осуществляться разделение почв вне иерархической классификации.

Все многообразие классификаций почв можно разделить **на общие и прикладные**. В *общей классификации* почвы рассматриваются как природные (или природно-антропогенные) тела и группируются по принципу их сходств и различий независимо от возможностей их использования для каких-либо определенных целей. Среди общих классификаций выделяются петрографические, химические, литологические, биологические и др., учитывающие максимальное количество свойств почв. В эту группу входят и генетические классификации, в которых учет максимального количества свойств почв соединяется с их генетической интерпретацией (В.М. Фридланд, 1981).

Прикладные классификации рассматривают почвы с точки зрения возможности их использования для определенных целей, а также способов их изменения. Эти классификации объединяют результаты научных исследований почв и практический опыт их многообразного использования. В отличие от общих и особенно естественных классификаций число прикладных классификаций (группировок) может быть значительным. Количество прикладных классификаций определяется формами использования почв, качеством сельскохозяйственных и лесных культур, способами улучшения почв, развитием сельскохозяйственной и иной техники и технологии, изменением набора и сортов возделываемых культур, появлением новых аспектов человеческой деятельности, в той или иной степени зависящих от почв. Прикладные классификации должны пользоваться выделами естественной генетической базовой классификации, что определяет ее огромное практическое значение.

Существует еще одна проблема классификации почв. Несмотря на наличие классификации почв мира, в каждой стране продолжает создаваться своя (одна или несколько) **национальная классификация**. Классификации почв разрабатываются практически в каждой республике на территории бывшего Советского Союза и России. Все почвы индивидуальны, неповторимы и строго географичны. Предусмотреть в общих классификациях все реальное разнообразие местных особенностей почв и почвенного покрова практически невозможно, да и не нужно. А для местных условий может оказаться важным учесть та-

кие особенности, которые не учитываются в обобщающих классификациях. По-видимому, существование местных (**региональных**) **классификаций** полезно. Нужно только, чтобы они не противоречили общим классификациям, а основывались на них и их дополняли, приспособляли общие классификационные решения к местным условиям. В этом случае местные классификации будут вписываться в глобальные и государственные, и не будут препятствовать общему учету и планированию использования почвенных ресурсов. В связи с этим математическая модель «центрального образа» почвы и ее регионального эталона могут существенно отличаться. *Разработка математических моделей на основе региональных эмпирических данных позволяет создать модели, учитывающие не только региональные особенности почв, но и имеющих прикладное значение для их диагностики и мониторинга экологического состояния почв региона.*

При разработке моделей «центрального образа почв» имеет значение уровень организации системы и теоретическая основа классификационной системы. В зависимости от принципов классификации будет меняться вид математической модели, несмотря на то, что факторы, включенные в модель, будут одними и теми же.

2.2. Особенности эколого-генетической (факторной) классификации почв СССР

Для выявления структуры разрабатываемой модели «центрального образа почвы», состава ее элементов и связей между ними, установления внутреннего строения и свойств необходимо иметь четкое представление о принципах и теоретических основах классификации. Официально утвержденной и действующей в настоящее время является «Классификация и диагностика почв СССР» (1977). В ней систематизировано около 80 типов почв, которые сгруппированы в зонально-экологические группы (таежно-лесные, лесостепные, степные, сухостепные и др.). Зонально-экологические группы характеризуются типом растительности, суммой активных температур почвы на глубине 20 см, длительностью отрицательных температур на той же глубине и коэффициентом увлажнения.

Внутри зонально-экологических групп почвы разделяются на биофизико-химические группы по био-физико-химическим свойствам (гуматные, фульватные, засоленные и др.) и на ряды по условиям увлажнения (автоморфные, гидроморфные, полугидроморфные, пойменные, аллювиальные). Система таксономических единиц действующей классификации почв в России была установлена Межведомственной комиссией по номенклатуре, систематике и классификации почв при Академии наук СССР в 1958 году на основании обобщения материалов, накопленных научными и производственными учреждениями в области классификации почв.

Основной таксономической единицей классификации является генетический тип почв, установленный еще В.В. Докучаевым. *Тип почв* – это группа почв, которая развивается в однотипно сопряженных биологических, климати-

ческих и гидрологических условиях и характеризуется ярким проявлением основного процесса почвообразования при возможном сочетании с другими процессами. Характерные черты почвенного типа определяются:

- 1) однотипностью поступления органических веществ, их превращения и разложения;
- 2) однотипным комплексом процессов разложения минеральной массы и синтеза минеральных и органоминеральных новообразований;
- 3) однотипным характером миграции и аккумуляции веществ;
- 4) однотипным строением почвенного профиля;
- 5) однотипной направленностью мероприятий по повышению и поддержанию плодородия почв.

В настоящее время к этому необходимо добавить однотипность почвенных режимов. Данное определение почвенного типа предполагает, что одновременно с разработкой классификации почв на генетической основе должна проводиться типизация и группировка главных почвенных свойств и процессов.

Подтипы почв – группы почв в пределах типа, качественно отличающиеся по проявлению основного и налагающегося процессов почвообразования и являющиеся переходными между типами. При выделении подтипов учитывают процессы, связанные как с подзональной, так и с фациальной сменой природных условий.

Роды почв – группы почв в пределах подтипа, особенности которых определяются комплексом местных условий (состав почвообразующих пород, химизм грунтовых вод, вертикальная и латеральная миграция и аккумуляция веществ и др.).

Виды почв – группы почв, в пределах рода, различающиеся свойствами, обусловленными степенью развития почвообразовательных процессов (уровень гумусированности, мощность гумусовых и элювиальных горизонтов и др.).

Разновидности почв – группы почв, в пределах вида, различающиеся по гранулометрическому составу поверхностных горизонтов.

Разряды – группы почв, в пределах разновидности, различающиеся генезисом и свойствами почвообразующих пород.

Номенклатура почв. Номенклатура классификации сохранена традиционной, берущей начало от работ В.В. Докучаева. В основу научной номенклатуры почв В.В. Докучаев и Н.М. Сибирцев положили русские, в основном цветочные народные названия (черноземы, подзолы и др.) или экологические и ландшафтные (тундровые, луговые). При выделении фациальных подтипов были использованы термины, характеризующие различия в тепловом режиме (теплые, холодные); названия родов характеризуют определенные свойства почв (солонцеватые, карбонатные и др.); названия видов – степень проявления определенных свойств (малогумусированные, среднемощные и др.). Разновидности называют в соответствии с классификацией почв по гранулометрическому составу (песчаные, суглинистые и т.д.); разряды – по свойствам и генезису почвообразующей породы (моренный суглинок, лессовидный суглинок и др.).

Полное название почв производится с учетом их таксономических уровней, начиная с типа. При этом если таксоны более низкого уровня характери-

зуются свойствами вышестоящего, то их названия опускаются. Например: чернозем (тип) типичный (подтип) обычный (род из названия опускается), а если карбонатный (род в названии остается), среднегумусный (вид), среднесуглинистый (разновидность) на тяжелом лессовидном суглинке (разряд).

Диагностика. Высшие таксоны классификации диагностируются на основании качественных признаков профиля и по условиям почвообразования. Данные химических анализов, производимые для характеристики «центральных образов» архетипов почвенных таксонов, не носят жесткого ограничительного характера. Количественные критерии привлекаются при оценке климатических условий почвообразования для выделения фациальных подтипов, а также для разделения почв на виды и разновидности. Основным предметом диагностики является почвенный профиль с более или менее определенным для каждого таксона набором почвенных горизонтов. Это создает определенные трудности при диагностике в полевых условиях и мониторинге за состоянием почв их изменением под действием естественных и антропогенных факторов.

2.3. Субстантивная классификация почв в России

«Классификация...» (1977) выполнив свою положительную роль в развитии отечественного почвоведения и практике ведения почвенно-картографических работ, со временем перестала соответствовать современному объему знаний и представлений о генезисе и географии почв страны. Стремление дополнить классификацию новыми почвенными выделами, в том числе антропогенно-преобразованными, устранить несовершенства и устаревшие положения, привести в соответствие с современным уровнем аналитической базы обусловило необходимость составления новой классификации, построенной на субстантивно-генетических принципах.

Впервые для страны была разработана классификация антропогенно-преобразованных почв, доработан систематический список почвенных типов и подтипов в связи с новыми границами страны, разработана система генетических горизонтов. В основу этой классификации положены субстантивно-генетические принципы, в соответствии с которыми «разделение почв проводится в связи с оценкой их диагностического профиля, как совокупности горизонтов, отражающих в своих свойствах процессы, которые их сформировали». Авторами классификации разработана система естественных и аграрно-преобразованных типо-диагностических горизонтов и признаков, позволяющих выделить почвы на типовом и подтиповом уровнях. В классификации приведены более конкретные определения таксономических единиц по сравнению с существующими. Всего выделено на территории России 172 типа почв.

В предложенной классификации, в отличие от действующей «Классификации и диагностики почв СССР» 1977 г., не учитывались факторы почвообразования, которые длительное время, использовались в качестве диагностических, что обострило дискуссии по этой проблеме. При этом почвы потеряли «прописку» – географическое местоположение. Кроме того, вызывают дискус-

сии и классификационные построения авторов как на типовом и подтиповом уровнях, так и на более высоких - отдел, ствол (Приложение 1).

В 2004 году вышло исправленное и дополненное издание этой классификации под названием «Классификация и диагностика почв России», а в 2008 году вышел «Полевой определитель почв России», который представляет краткий вариант «Классификации и диагностики почв России» (2004), рассчитанный на использование в полевых условиях. Полевой определитель отличается от исходного варианта классификации 2004 г. включением новых горизонтов, а также изменением определений некоторых ранее выделенных горизонтов. В виде специального раздела представлена систематика непочвенных техногенных поверхностных образований.

Под почвенными горизонтами понимаются субгоризонтальные слои, различающиеся по морфологическим и аналитическим показателям. Свойства горизонтов определяются происхождением (генезисом), поэтому их называют генетическими. Генетические горизонты включают в себя как естественные, так и антропогенно-преобразованные. Последние являются результатом сочетания природных процессов и деятельности человека, что позволяет учесть в единой классификации естественные и антропогенно-преобразованные почвы. Система взаимосвязанных генетических горизонтов образует почвенный профиль, на основании которого проводится диагностика и классификация почв.

В качестве принципов, положенных в основу классификации авторы декларируют принципы генетичности, историчности, воспроизводимости, открытости, изменчивости и стабильности, сочетания объективности и субъективности, иерархичности. При этом они подчёркивают, что профилно-генетический подход отграничивает данную классификацию от семейства других генетических классификаций, в том числе от факторно-экологических, учитывающих в качестве диагностических показателей условия и факторы почвообразования, а также современное функционирование почв. Классификация предусматривает выделение восьми таксономических категорий: стволов, отделов, типов, подтипов, родов, видов, разновидностей и разрядов (Приложение 2).

Ствол – высшая таксономическая единица, отражающая разделение почв по соотношению процессов почвообразования и накопления осадков. В классификации выделены четыре ствола.

К стволу *постлитогенных* почв относятся почвы, в которых почвообразование осуществляется на сформировавшейся минеральной почвообразующей породе и существенно не нарушается отложением свежего материала. К ним относятся практически все зональные почвы, изучаемые в курсе географии почв. В почвах *синлитогенного* ствола почвообразование протекает одновременно с осадконакоплением, что находит отражение в профиле почв (аллювиальные и вулканические почвы). Ствол *первичного почвообразования* представлен одним отделом почв (слаборазвитых), развитие которых ограничивается молодостью, активным осадконакоплением, препятствующим непрерывному почвообразованию. Ствол *органогенных* почв объединяет почвы, профиль которых (весь или его большая часть) состоит из торфа различной степени разложения и ботанического состава. Каждый ствол делится на несколько отделов.

Отдел – группа почв, характеризующаяся единством основных процессов почвообразования, формирующих главные черты почвенного профиля. В большинстве случаев сходство почв отдела проявляется в специфике средней части профиля (срединные горизонты). Например, все типы отдела альфегумусовых почв характеризуются наличием иллювиального альфегумусового горизонта; типы отдела глеевых почв объединяются по наличию глеевого горизонта и т.д. Исключения составляют почвы, в которых специфика профиля определяется органическим или гумусовым горизонтом.

Тип – основная таксономическая единица в пределах отдела, характеризующаяся единой системой основных генетических горизонтов и общностью свойств, обусловленных сходством режимов и процессов почвообразования. При диагностике типа, как правило, не учитываются почвообразующая порода и горизонты, переходные к ней, а типы почв определяются сочетаниями различных поверхностных и подповерхностных горизонтов при неизменности срединного горизонта, диагностического для данного отдела.

Подтип – таксономическая единица в пределах типа, отличающаяся качественными модификациями основных генетических горизонтов, которые отражают наиболее существенные особенности почвообразовательных процессов и эволюции почв. Предлагаемый подход к выделению подтипов исключает использование для их диагностики количественных показателей, которые в «Классификации и диагностике почв СССР» служили разделительными признаками при обособлении подтипов в типах серых лесных, чернозёмов, каштановых и некоторых других почв. Среди подтипов различаются типичные, соответствующие центральному образу типа; переходные, отражающие переходы между типами или отделами; процессно-эволюционные, отражающие специфику миграции и аккумуляции веществ в связи с особенностями современных почвенных режимов, а также результаты естественной или антропогенной эволюции почв.

Род – таксономическая единица в пределах подтипа, определяемая степенью насыщенности основаниями почвенного поглощающего комплекса, присутствием в профиле карбонатов, гипса и химизмом засоления.

Вид – таксономическая единица, отражающая количественные показатели степени выраженности признаков, определяющих тип, подтип, а иногда и род почв. Основные принципы выделения видов остались теми же, что и в «Классификации и диагностике почв СССР» 1977 года. Однако, в отличие от этой классификационной системы, в которой видовые показатели соответствовали определенным типам почв, в классификации почв РФ 2004 года предлагаются более общие критерии их идентификации, которые применимы для многих типов почв.

Разновидность – таксономическая единица, отражающая разделение почв по гранулометрическому составу (по верхнему горизонту 0-30 см), каменистости и скелетности почвенного профиля (до почвообразующей породы). Скелетность определяется как суммарное содержание частиц размером >2 мм в верхнем горизонте в % от массы горизонта. В почвах, развитых на неоднородных (слоистых) породах, предлагается выделять 2-3-ярусные гранулометрические разновидности.

Разряд – таксономическая единица, группирующая почвы по характеру почвообразующих и подстилающих пород, а также мощности мелкозёмистого почвенного профиля, по литологической прерывистости горизонтов.

Пример названия почвы в системе таксономических единиц классификации 2004 года. **Ствол:** постлитогенные почвы; **отдел:** аккумулятивно-гумусовые; **тип:** агрочерноземы глинисто-иллювиальные; **подтип:** типичные; **род:** насыщенные; **вид:** маломощные, средне гумусированные; **разновидность:** среднесуглинистые; **разряд:** на лессовидных суглинках.

Полное название почвы: *агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный насыщенный маломощный, средне гумусированный среднесуглинистый на лессовидных суглинках.*

Генетические горизонты служат основой классификации почв и могут называться диагностическими. Новая система горизонтов основана на предложениях В.М. Фридланда (1982, 1986), а также материалах Почвенного института имени В.В. Докучаева и Межведомственной комиссии по классификации и диагностике почв за период 1980-2003 гг. Диагностические функции выполняют те генетические горизонты, которые содержат комплекс свойств, наиболее адекватно отражающих информацию о генезисе, эволюции и экологии центральных единиц классификации – генетических типов почв. На основе комбинации генетических горизонтов в профиле производится идентификация типов почв.

Диагностического значения не имеют:

- поверхностные образования: лесная подстилка или опад, очес, степной войлок, дернина (все эти образования залегают на гумусовом горизонте);
- подгоризонты с разной степенью выраженности свойств диагностических горизонтов (BT1, BT2, BT3; AU, AU2 и др.);
- зоны перехода между соседними диагностическими горизонтами, а также между нижней границей почвенного профиля и почвообразующей породой.

Нижняя граница почвенного профиля, как объекта диагностики, определяется в каждом конкретном случае по исчезновению признаков почвообразования. Диагностика горизонтов проводится на основании морфологических и полевых аналитических показателей, при необходимости уточняется лабораторными анализами. Количественные параметры горизонтов, морфометрические, аналитические в большинстве случаев нежесткие, а «плавающие».

Жесткие количественные рубежи используются в тех случаях, когда морфологических показателей недостаточно для разграничения горизонтов. Например, по договоренности, в качестве границы между торфяными горизонтами и торфяной залежью (органогенной породой) принята глубина 50см от поверхности. В случае присутствия в профиле нескольких органических и гумусовых горизонтов диагностическое значение придается одному из них, имеющему наибольшую мощность; остальные рассматриваются как генетические признаки. **Агрогоризонты** являются производными нескольких естественных горизонтов или представляют собой преобразованную верхнюю часть одного мощного естественного гумусового или органогенного горизонта, отличаясь структурой и сложением.

Верхние горизонты естественных почв включают органические, органо-минеральные и минеральные, которые в основном соответствуют современным процессам почвообразования. Возможно присутствие в профиле несколько органических и гумусовых горизонтов с разной степенью разложения или гумификации органического материала. В этом случае диагностическое значение придается одному горизонту, имеющему лучшее выражение и наибольшую мощность. К группе верхних горизонтов относятся солончаковый и стратифицированные, образующиеся вследствие аккумуляции на поверхности почвы минерального материала. Под органогенными горизонтами залегают элювиальные горизонты, характеризующиеся выносом вещества и различающиеся по механизмам элювирования и составу остаточных продуктов.

Агрогенно-преобразованные (агрогоризонты) отличаются от естественных горизонтов структурной организацией, вещественным составом, водно-физическими и другими свойствами. Агрогенная трансформация стирает многие естественные свойства и приводит к появлению новых агрогоризонтов, спектр которых отличается от выбора естественных верхних горизонтов.

Срединные горизонты в общем виде соответствуют традиционному горизонту В и частично термину *subsoil* зарубежных классификаций. Срединные горизонты сформированы процессами аккумуляции и/или трансформации вещества, они представляют наиболее консервативные элементы профиля, значимые при диагностике отделов.

Глеевый горизонт может занимать любое положение в профиле, формируясь либо непосредственно под органогенным горизонтом, либо в средней или нижней части профиля. Далее следует горизонт представленный материнскими и подстилающими породами.

Структурная организация основных диагностических горизонтов в классификации 2004 года представлена ниже. В приложении 3 приведены индексы и названия горизонтов по «Классификации почв России» 2004 года и соответствующие им индексы и названия горизонтов по «Классификации и диагностике почв СССР» 1977 года.

Диагностика почвенных таксонов производится по строению почвенного профиля; авторы определили свою классификацию как субстантативно-генетическую. Почвенный профиль рассматривается как совокупность типодиагностических горизонтов. Авторы классификации подчёркивают, что, диагностика производится не по наличию или отсутствию одного горизонта, а по их совокупности. Диагностика горизонтов производится преимущественно на основании морфологических признаков; лабораторные определения используются для уточнения классификации.

Оценка значения данной классификации имеет два аспекта: теоретический и практический. Значение субстантивной классификации почв России с теоретических позиций, то есть с точки зрения отражения почвы как самостоятельного естественно-исторического тела, существенно возросло, а для практического пользования она существенно усложнилась, хотя появились и полезные изменения для практики. В числе таковых, прежде всего, значительно усовершенствованная диагностическая система горизонтов и признаков почв (Прило-

жение 2). Важным конкретным решением является выделение подзолистых и дерново-подзолистых почв на уровне типов, достигшее логического завершения разделение текстурно-дифференцированных и альфегумусовых почв на уровне отделов и выделение соответствующих типов.

Принцип идентификации почв на основании их собственных генетически обусловленных свойств отграничивает профильно-генетическую (субстантивную) классификацию от эколого-генетической, учитывающей в качестве диагностических критериев факторы почвообразования и современное функционирование почв. Использование субстантивного подхода к диагностике почв позволяет объединять в единые таксоны почвы с одинаковыми морфогенетическими свойствами независимо от их возможной пространственной разобщенности и экологической приуроченности.

Новая классификация допускает включение в нее новых, ранее не описанных и не изученных почв без нарушения целостности классификационной системы, что особенно актуально в отношении антропогенно-преобразованных почв, быстро образующихся в результате антропогенной эволюции.

2.4. Численная классификация почв – как объективный метод группировки почв

Впервые Хоул и Хиронака в 1960 г. сделали ряд попыток расположить почвенные таксоны на числовой основе и применили простой метод ординат к семейству и катенам Майами и к 25 наиболее характерным почвам мира, описанным в «Седьмом приближении» (Soil Survey Staff, 1959). Они построили трехмерную модель, приближающуюся к их многомерному объекту. Электронные компьютеры дали возможность развить новую, или численную, таксономию, определенную Снитом и Сокалом в 1962 г. следующим образом: «Численная оценка близости или сходства таксономических единиц и организация их в таксоны на основании этого сходства» (цитирую по Самофалова, 2012). Симпсоном кратко сформулировал недостатки такого подхода следующим образом:

1. Измерение только сходных признаков влечет огромную потерю информации.
2. Выбор, измерение и кодирование многих характеристик чрезвычайно субъективно.
3. Многие различные характеристики должны войти в таксономическую классификацию. Можно ли все их ввести в компьютер?

Тем не менее успехи численной классификации почв подтверждают идею Уайтхеда: «Классификация необходима. Но если вы не можете перейти от классификации к математике, ваши рассуждения не многого стоят». Другим преимуществом использования компьютера в почвенной классификации является возможность хранения данных в течение долгого времени и их накопление. Дарвиновская теория эволюции, Линнеевская классификация организмов и почвенные классификации до последнего времени не имели связи с математикой. Более поздняя таксономия, напротив, имеет подлинно количественную ос-

нову. Саркар, Бидвелл и Маркус в 1966 г. пользовались компьютером для тщательного отбора свойств для почвенной классификации, Арклей в 1968 г. оценивал факторы и переменные по их общности с другими свойствами, используя аккумулятивный анализ (Самофалова, 2012).

Йенни, Салем и Уоллис в 1968 г. предложили первую количественную оценку общего состояния уравнения факторов в генезисе почв. Они выяснили, что некоторые свойства почв (в том числе урожайность культуры в вегетационных опытах) коррелируют с состоянием факторов местообитания, где были взяты образцы независимо от существования палеопочвенных признаков.

В конце 20-го начале 21-го века численная таксономия почв развивается благодаря доступности высокоскоростных компьютеров и растущему интересу к количественному представлению почвенных данных. В сравнении с классификациями других природных объектов построение классификации почв особенно трудно, поскольку почва является сложным континуальным объектом, в характеристику которого входят многочисленные внешние и внутренние признаки, включая и динамические. Изменение каждого из них в пространстве и во времени происходит в различных направлениях с неодинаковыми градиентами. Полнота, комплексность и формализованность численных классификаций позволяют на количественной основе оценивать качество и согласование почвенных классификаций и диагностики почв в любой из них. Это способствует совершенствованию теории классификации почв.

В результате математической обработки описаний почв в системе информационной базы классификации были определены дальнейшие задачи работы над классификацией почв:

- 1) с большей ответственностью проводить описание почв;
- 2) разработать методы, учитывающие различную значимость признаков для определения таксономического уровня почв;
- 3) найти систему информативных признаков, обосновывающую минимальный обязательный набор почвенных свойств при описании почвенного типа;
- 4) разработать подходы, позволяющие анализировать как отдельные генетические горизонты, так и морфологический профиль в целом (как систему почвенных горизонтов).

В тоже время разработка численных классификаций и совершенствование методов их создания по отношению к проблеме создания генетической почвенной классификации должны рассматриваться как задача вспомогательная и/или дополнительная (И.А. Соколов, 2004). Математические методы иногда пытаются применить для «проверки» правильности выделения таксономических уровней в генетических классификаций. Классификационные уровни в генетической классификации выделены по иным правилам, и то, насколько они соответствуют или не соответствуют логике формального разделения на основе машинной обработке диагностических признаков, в лучшем случае может помочь в диагностике выделенных групп, но не доказать или опровергнуть правильность или неправильность самой структуры классификационного разделения.

Разработка численных классификаций представляет собой важную самостоятельную научную проблему. Это определяет планирование исследований в области классификации почв. Необходимо одновременное самостоятельное и взаимодополняющее развитие обоих направлений: генетического (с использованием автоматизированных подходов как вспомогательных) и математического (не подменяющего генетический). Основными направлениями использования математических подходов и электронно-вычислительной техники в решении классификационной проблемы: **разработка численных целевых и региональных классификаций**; установление в их рамках **количественных диагностических показателей**; определение классификационной принадлежности **вновь изученных почв (распознавание образа)** в рамках любых классификаций; хранение и оперативная выдача информации.

Сегодня разговор о базовой классификации вышел за рамки теоретических приоритетов. Некоторые авторы (Рожков и др., 2015) предлагают вместо классификации использовать информационную систему (INFOSOIL), которая представляет собой фиксированный набор почвенных показателей и предназначена для построения целевых классификаций почв. Автор предлагает методы численной классификации для автоматизированного построения группировок на многомерных выборках эмпирического материала с описаниями профилей почв (Рожков, 1989). В зависимости от объема исходных данных могут быть выполнены необходимые оценки информативности признаков и качества разбиения, **формализованы правила распознавания новых почв и др. т.е. генератора** (машины) почвенных классификаций заданного назначения.

При этом предлагается два подхода. Первый использует концепцию информационной базы классификаций (Шишов и др., 1987; Рожков, 2015). Вторым подходом предполагается работа с “Классификацией и диагностикой...” (2004), объединенной с “Полевым определителем почв” (2008), ее анализ и синтез средствами, разработанными для МЕРОНа и методами численной классификации. Такой подход позволяет адаптировать ее реальные возможности и обеспечить доступ к алгоритмическим средствам, предусмотрены интерфейсы с создаваемой Почвенно-географической базой данных, с Государственным реестром почвенных ресурсов, с Почвенной картой в масштабе 1 : 2500000. (Рожков и др., 2016) предлагает для классификации (или собственно таксономии) использовать многомерные статистические методы и пересекающийся с ними по составу алгоритмов кластер-анализ.

Основа этой базы – алгоритм распознавания центральных образов. Но этот образ имеет региональные особенности поэтому единый образ, например, для черноземов обыкновенных, без учета провинциальных черт будет не точным или вообще искаженным. Поэтому наряду с центральным образом необходим региональный количественный эталон, позволяющий однозначно идентифицировать почву.

В работе Валеевой А.А. и др., (2013) идентификация (кластеризация) региональных таксонов осуществлялась многомерными статистическими методами. Вначале были построены дендрограммы по 6 свойствам гумусового горизонта: мощность, содержание гумуса, обменных оснований, илистой фракции,

физической глины, рН водной вытяжки. Дендрограмма рассчитывалась методом Варда с использованием Евклидова расстояния. Начальные центры классов задавались через одинаковые интервалы в ранжированном ряду. В качестве переменных, для которых проводили анализ, выбраны показатели, которые соответствуют той классификации на основе которой они идентифицируются. При этом, основаниями для подбора диагностических признаков являются субъективные представления о почвенных процессах. Чем более общим является процесс по мнению авторов, тем выше его «таксономический вес». Выбор диагностических признаков осуществляется в соответствии с этим принципом. При этом отбираются наиболее существенные генетически обусловленные свойства почв. Так профильно-генетическая классификация по современным представлениям дифференцирует серые лесные почвы по следующим признакам: содержание гумуса, сумма поглощенных оснований, содержание илистой фракций и физической глины, реакция среды (рН водной вытяжки) в гумусовом горизонте. Именно они и были выбраны для определения таксономического веса признаков и выбора главной компоненты.

Аналогичные задачи можно решить используя **информационно-логический метод**. Данный метод основан на теории информации, имеет ряд преимуществ перед статистическими методами. Он более универсален, не требует линейности, метричности, позволяет анализировать процессы и явления непосредственно в природной обстановке. Преимущества информационно-логического метода, перед статистическими заключаются в том, что он позволяет построить оптимальную классификацию явлений и параметров для данного исследования, выявить главные и второстепенные факторы, определяющие данное явление, исключить параметры, связанные с явлением косвенно (в результате взаимосвязи с некоторым третьим явлением).

Раздел III. Алгоритм разработки региональных эталонов почв

Необходимо различать два понятия: объект построения классификации и объект идентификации почв по уже имеющейся классификации. Построение классификации осуществляется на основе образов почв, а идентификация почв (в том числе автоматизированная) должна осуществляться на основе условного минимального объекта — индивидуума (для процедуры распознавания образа, для идентификации конкретных объектов в рамках уже имеющихся классификаций). Все таксоны классификации — категории абстрактные. Они не имеют физического воплощения. Объект идентификации — всегда совершенно конкретный объект. Процедура идентификации — определение соответствия данного конкретного объекта той или иной абстрактной классификационной категории. Она должна быть строго алгоритмизирована.

Систематизирование почв обычно осуществляется на “типичных представителях” — **центральных образах** таксонов, которые представляют некоторую совокупность индивидуальных почв, отвечающих тому или иному таксону. Необходимость создания статистического “образа” типа (подтипа, рода и т.д.)

почв и идентификация почв на основе сравнения свойств изучаемой почвы со свойствами почвы эталона или путем сопоставления свойств изучаемой почвы со статистически полученным «образом» почв обсуждалось в 80-х гг. XX в. (Ливеровский, и др., 1973). Основной причиной, ограничивающей создание статистического образа, авторы указывали количественный недостаток материала. Материалы массовых почвенных обследований крупномасштабного картирования могут служить для этой цели. Последние туры обследований осуществлялись в 1980-90 гг., однако для разработки центральных образов (эталонных) почв это не имеет принципиального значения. Для мониторинга за современным состоянием почв необходим любой момент начальной «точки отсчета». Этой точкой может быть период освоения целинных земель или любой другой.

Таким образом, разработка количественных критериев характеризующих «центральные образы» почв осуществляется на основе региональных объектов. Из-за того, что факторы почвообразования неоднородны как на всей территории страны, так и в отдельных регионах, в разных почвенно-климатических условиях формируются, свои типичные представители - «центральных образов» (региональные эталоны почв). Согласно почвенно-географическому районированию на территории Алтайского края выделено 7 зон и 44 почвенных района, для каждого из которых необходима разработка собственных статистических центральных образов почв (эталонных).

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определить таксономический вес признаков региональных почв на примере одного из почвенных районов Алтайского края в соответствие с профильно-генетической (1977) и субстантивной (2004) классификациями почв.

2. На основе информационного анализа разработать количественным критерии для характеристики «центральных образов» зональных и агрогенных почв.

3. Разработать качественные информационно-логические модели «центральных образов» для диагностики естественных и антропогенных почв исследуемого района.

Таким образом, будут объединены концепция А.И. Соколова о базовой классификации и «центральных образах» почв с подходом Рожкова В.А. определяющим численную классификацию как основу разделения почв на группы в зависимости от ее назначения. А именно, будет дано обоснование классификационных групп по профильно-генетической классификации почв СССР – (1977).

3.1. Основы информационного анализа

В основу информационно-логического анализа положены представления об измеримости информации, передаваемой изучаемому явлению как от одного параметра, так и от их совокупности (Пузаченко, Мокшин, 1969). Главное преимущество данного метода сформулировал Г. Кастлер : "Как статистика, так и теория информации имеет дело о разнообразием элементов некоторой совокупности, но их подход к задачам совершенно различен. Статистика рассматривает

разнообразии как зло и пытается выяснить, что же можно все-таки утверждать или сделать, несмотря на разнообразие. Теория информации рассматривает разнообразие как положительное явление, без которого такие операции, как отбор, связь, спецификация, были бы невозможны; эта теория стремится выяснить, чего можно достичь благодаря некоторой степени разнообразия" (Цит. По Пузаченко, 1970).

Основными параметрами информационного анализа являются коэффициент эффективности передачи информации между изучаемыми параметрами (оценивающий тесноту связи между фактором и явлением) и специфичные (наиболее вероятные) состояния функции для определенных состояний аргумента (Пузаченко и др., 1969, 1970). На основе специфичных состояний функции можно разработать количественную математическую модель явления (например, таксономической группы почв) в зависимости от состояния морфологических и/или физико-химических свойств почвы.

Алгоритм информационно-логического анализа и пример его использования в почвоведении впервые изложены в работах Ю.Г. Пузаченко и др. (1969, 1970). Адаптация данного алгоритма к решению поставленных задач, т.е. разработке региональных эталонов почв в соответствие с определенной классификацией изложена ниже. Объектом почвенной классификации является не почвенный покров, а абстрактная совокупность всех почв мира - универсум почвенной классификации, представляющий собой континуум с «разрежениями» и «сгущениями» (центральными образами). Границы между этими центральными образами размыты, все переходы имеют очень постепенный характер: классификационные соседи (почвы, образующие периферию двух соседних классов и соседствующие через классификационную границу) оказываются ближе друг другу, чем каждый из них своему собственному центральному образу (Соколов, 2004). В почвенных исследованиях представляет интерес возможность выявления объективных критериев классификации явлений, в том числе и самих почв, обладающих большим разнообразием показателей.

Поскольку генетические свойства почв являются функцией тех почвообразовательных процессов, которые протекают в почвах, в данной части работы мы их обозначим как явление А. Если обозначить свойство почв (например, мощность гумусового слоя) через А, то каждое состояние этого свойства можно выразить через $a_1, a_2, a_3 \dots a_k$, или в общей форме через a_i . Таким образом, если А обозначает весь диапазон варьирования свойства почвы, то a_i обозначает отдельный ранг варьирования в конкретной таксономической группе и горизонте. Не зная закономерностей изменения А, мы можем принять, что появление a_i есть случайное событие; тогда частоты появления каждого ранга $A=a_i$ есть оценка условной вероятности $p(a_1), p(a_2) \dots p(a_k) = p(a_i)$. Вероятность $p(a_i)$ находится по формуле $P_{ai} = \frac{n_{ai}}{N}$ где n - число случаев появления a_i , N - общее число наблюдений. Эмпирическое распределение сопряженных данных удобно представлять в форме таблицы (табл.2), в нее же вносятся и промежуточные параметры информационного анализа.

Таблица 2 - Распределение экспериментальных данных в однофакторном информационном анализе

Фактор, (Тип, подтип почвы)	Явление, свойство почвы (мощность горизонтов А+АВ)				n_{bj}	P_{bj}	$H(A/b_j)$	$J(A/b_j)$	$P_{bj} \cdot J(A/b_j)$
	Номер ранга								
	1	2	3	4					
	Ч^B	1	5	30					
Ч^O	1	6	24	0	31				
C_3	0	4	3	4	11				
C_2	3	10	8	4	25				
n_{ai}	5	25	65	10	N=105				

Примечание: C_2 – серые лесные почвы; C_3 – темно серые лесные почвы; Ч^O – черноземы оподзоленные; Ч^B – черноземы выщелоченные.

Наше суждение о той или иной таксономической группе в какой-то мере неопределенно. Величину этой неопределенности можно оценить количественно. Она обозначается как $H(A)$ для явления A или $H(B)$ для явления, фактора, параметра B и определяется по формуле $H(A) = -\sum P_{ai} \cdot \log_2 p_{ai}$. Смысл этой формулы можно изложить так: неопределенность появления разных значений мощности гумусового слоя равна сумме произведений вероятности появления каждого ранга $p(a_i)$ на двоичный логарифм этой же вероятности. Максимального значения неопределенность явления достигает при равновероятности всех его состояний. Единица измерения неопределенности называется "бит".

Изучаемое явление (свойство) является функций от множества почвенных макро и микропроцессов, это проявляется в существующей зависимости между свойствами почв в определенных горизонтах и типом (подтипом) почвы. Если изучается зависимость явления A от параметра (фактора) B , например, мощность гумусового горизонта от типа, подтипа почвы, необходимо учесть также и неопределенность фактора B , которая находится таким же образом по условной вероятности появления каждого ранга $p(b_j)$. Обозначение b_j показывает, что число рангов B может быть произвольным и отличаться от числа рангов явления A . Для каждого ранга B мы составляем свое распределение явления A . В этом случае вероятность рангов a_1, a_2, \dots, a_k в каждом ранге B обозначается через $p(a_i/b_j)$. Для каждого b_j можно рассчитать неопределенность $H(A/b_j)$, которая равна - $H(A/b_j) = -\sum P_{ai/b_j} \cdot \log_2 P_{ai/b_j}$.

Если между явлением A и B существует зависимость, то $H(A) \neq H(A/b_j)$. Разность этих величин служит мерой того, насколько наше суждение об A при b_j становится более определенным, чем при значении только распределения A . Эта мера обозначается как $J(A/b_j)$ и называется информацией об A , содержащейся в b_j . Эта информация не всегда положительна. Количество информации, поступающей от параметра B к явлению A , оценивается как сумма $\sum P_{b_j} \cdot J(A/b_j)$, т.е. сумма произведений вероятности ранга b_j на количество информации, содержащееся в этом ранге, и обозначается через $T(A,B)$.

Значение $T(A,B)$ зависит не только от связи между A и B , но и от величины их неопределенностей. Чем больше неопределенность фактора, тем большее количество информации передается к явлению.

Для устранения влияния величины $H(B)$ вводится коэффициент эффективности передачи информации фактором B к явлению A : $K_{эфф}(A/B) = \frac{T(A/B)}{H(B)}$. Во

всех последующих таблицах, A - обозначает свойство почвы, одним из факторов (параметром), влияние которого устанавливалось в нашей работе, является тип, подтип почвы (рис. 2). Величина $T(A,B)$ никогда не может быть больше минимального значения одной из сопоставляемых неопределенностей:

$$T(A,B) \leq [H(A) + H(B)].$$

Поэтому величина коэффициента передачи информации максимальна, когда от параметра передается к явлению количество информации, равное минимальной неопределенности. Наибольшее значение (ведущий фактор) **имеет параметр с наибольшим коэффициентом $K_{эфф}$** . Таким образом, при помощи $K_{эфф}$ можно установить степень влияния каждого параметра на изучаемое явление и расположить их в строгой последовательности относительно друг друга. По своему смыслу этот показатель соответствует понятию «таксономический вес признака» (Соколов, 2004).

Информационный анализ количественной зависимости почвенных признаков от принадлежности к определенной таксономической группе позволяет определить таксономический вес признаков, а набор количественных критериев может служить характеристикой «центрального образа» зональной почвы (или группы почв) и определять ее «классификационные границы», Специфичные (наиболее вероятные) состояния почвенных признаков – параметры информационного анализа определяются по отношениям условных вероятностей. Полученный интервал количественных изменений почвенных признаков для каждого зонального эталона – представляет собой **классификационные границы центрального образа**.

Результаты наглядно показывает таблица распределения условных вероятностей мощности по подтипам почв 21 почвенного района (табл. 3). Под условным распределением понимают отношение частоты встречаемости данного ранга функции (мощности) к частоте встречаемости данного ранга параметра (подтип почвы). Например, в черноземах оподзоленных мощность 40-50 см встречается в 78,9 % случаев в черноземах выщелоченных в 77,4 %, а темно серых и серых лесных почвах в 32,0 и 27,3 %, соответственно.

В результате выявления подобных условных распределений, по существу, устанавливаются области значений параметра, в пределах которых изучаемое явление по отношению к параметру устойчиво, или инвариантно. Отношение условных вероятностей определяется по формуле:

$$k = \frac{p(a_i/b_j)}{p_{a_i}}$$

Таблица 3 - Зависимость мощности гумусового горизонта (A+AB, A₁+A₁A₂) от принадлежности к определенной таксономической группе

Тип (подтип) почвы	№ ранга	Условные вероятности (с) мощности гумусового горизонта для каждого ранга				$p(b_j)$	$J(A/b_j)$ бит
		№ ранга					
		1	2	3	4		
		мощность гумусового горизонта, см					
		<30,0	30,1-40,0	40,1-50,0	>50,1		
Ч ^о	1	0,026	0,132	0,789	0,053	0,362	0,437
Ч ^в	2	0,032	0,193	0,774	0	0,295	0,543
С ₃	3	0	0,363	0,273	0,364	0,105	-0,121
С ₂	4	0,120	0,400	0,320	0,160	0,238	-0,392
$p(a_i)$		0,048	0,238	0,620	0,095	1,000	
						N=105	
		Отношение условных вероятностей (с) рангов мощности гумусового горизонта					
Ч ^о	1	0,552	0,553	1,274	0,552	0,361	0,437
Ч ^в	2	0,630	0,812	1,248	0	0,295	0,543
С ₃	3	0	1,527	0,439	3,822	0,105	-0,121
С ₂	4	2,526	1,679	0,516	1,682	0,238	-0,392

$H(A)=1,4521$ бит, $T=0,2133$ бит, $K_{эф}=0,113$.

Данный показатель используют для установления взаимной специфичности состояний. Связь признается направленной в сторону того состояния, для которого k наибольшее. Если величины k для соседних рангов близки, то в решении задачи создается неопределенность - специфичны оба ранга. Если, два таких состояния изолированы друг от друга рангом с меньшим k - специфичным является именно то, промежуточное состояние. В результате этой простой операции выделяются области стабилизации явлений, или объективная типологически однородная ситуация (в табл. 1 эти специфичные состояния подчеркнуты). Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее вероятная мощность гумусового горизонта в черноземах оподзоленных и выщелоченных составляет 40-50 см, в темно серых лесных более 50 см, а в серых лесных 30-40 и менее см.

Величина информации $J(A/b_j)$, передаваемая каждым состоянием, тем больше, чем более оно определено. Зная состояние параметра, можно судить о состоянии явления. Наибольшее количество информации поступает по каналу от b_1 и b_2 , это говорит о том (табл.2), что в черноземах, выщелоченных и оподзоленных распределение по мощности вполне определено, чего нельзя сказать о серых лесных почвах (по каналам связи b_3 и b_4). Величина поступающей по этим каналам информации -0,392, -0,121, по сути – дезинформация. Это означает, что внутри этих подтипов мощность гумусового горизонта существенно варьирует.

Имея величину информации для каждого ранга, характер связи явления с параметром в целом можно оценить, как сумму средневзвешенных частных значений информативности. Общая информативность связи явления с данным параметром есть $T(A,B) = \sum_j p(b_j) \cdot J(A/b_j)$. Так, величина T для связи мощ-

ность – подтип почвы равна 0,2133 бит (см. табл. 2). Связь есть величина измеримая и ее значение в каждом частном случае зависит от величин неопределенностей сопоставляемых явлений. Поэтому при определении значимости параметра для данного явления необходимо определить величину коэффициента эффективности передачи информации (эффективность канала связи):

$$K_{\text{эфф}}(A, B) = \frac{T(A, B)}{H(B)},$$

где явление B рассматривается как передатчик информации, а явление A - как приемник.

Величина $T(A, B)$ никогда не может быть больше минимального значения одной из сопоставляемых неопределенностей. Наибольшее значение (ведущий фактор) имеет параметр с наибольшим коэффициентом $K_{\text{эфф}}$. Таким образом, при помощи $K_{\text{эфф}}$ можно установить степень влияния каждого параметра на изучаемое явление и расположить их в строгой последовательности относительно друг друга.

Однако, поскольку сами параметры могут также быть связаны между собой, то необходимо выявить размеры информации, поступающей по совместным каналам связи. Для этого строят каналы связи к изучаемому явлению от двух и большего числа параметров (обычно достаточно двух).

При разработке модели классификационного таксона — это особенно важно, поскольку проявление некоторых почвообразовательных процессов наиболее выражено не абсолютным (дискретным значением) свойства, а его дифференциацией в профиле почв, и это важно отразить в моделируемом объекте. Таким образом, информационный анализ объекта осуществляется по **двухфакторному алгоритму**: свойство почвы – как функция генетического типа, подтипа/генетического горизонта.

При построении двухфакторного канала связи, по существу, рассматривается передача информации от всех наблюдавшихся сочетаний состояний (рангов) двух факторов $J(A/b_j, c_g)$, а совместная информация $T(A; B, C)$ определяется как сумма средневзвешенных $T(A; B, C) = \sum p(b_j, c_g) \cdot J(A/b_j, c_g)$, где J – информативность связи A с C и D , а T - количество информации, поступающей к A от C и D одновременно. Точка с запятой отделяет явление от параметров. В рис. 4. показано построение совместного канала связи от двух факторов: подтипа почвы и генетического горизонта.

3.2. Разработка количественной модели «региональных эталонов» почв на примере 21 почвенного района Алтайского края

Для того чтобы получить генеральную совокупность свойств почв исследуемого района на основе материалов крупномасштабного обследования АлтайНИИГипроземом за период 1983-1985 гг. разрабатывается база данных в формате Excel (рис. 2,3). Объем выборочное совокупности должен быть не менее 50 объектов (разрезов, описанием гранулометрических и физико-химических свойств почв). После того как получены базы данных приступают к их систематизации. Можно первоначально разделить почвы по типам (подтипам), разместив данные о них на разных страницах Excel-файла, или произвести разноску экспериментальных переменных по алгоритму изложенному ниже (рис. 4).

Механич. состав почв совхоз Новый путь Благовещенского р-на [Режим совместимости] - Excel

ФАЙЛ ГЛАВНАЯ ВСТАВКА РАЗМЕТКА СТРАНИЦЫ ФОРМУЛЫ ДАННЫЕ РЕЦЕНЗИРОВАНИЕ ВИД

Буфер обмена Шрифт Выравнивание Число

Р31

ВЕДОМОСТЬ
 результатов механического анализа образцов почв по генетическим горизонтам (по Качинскому)
 по совхозу Новый путь Благовещенского района, Алтайского края

Обозначение горизонта	Глубина взятия образца в см	Содержание фракций в %% от абс. сухой почвы ¹							Гигроскопическая влажность в %	Потеря от обработки в %	частицы <0,01 мм	частицы >0,01 мм	Индекс почвы	Наименование механического состава почвы ²
		1-0,25 мм	0,25-0,05 мм	0,05-0,01 мм	0,01-0,005 мм	0,005-0,001 мм	менее 0,001 мм	сумма фракций менее 0,01 мм						
4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
A1	2-12	14,2	29	23,5	6,5	6,3	20,5	33,3					C ^{OC} ₂₋₂	C
A1A2	25-35	14,5	32,8	23,4	4,9	7,1	17,3	33,3						C
B	45-55	14,2	32,2	22,7	4,7	5,7	20,5	30,9						C
BC	65-75	13	31,6	23,8	4	6,7	20,9	31,6						C
Ск	140-150	14,7	40,9	18,6	4,2	5,6	16	25,8						Л
Ап	0-5	6,3	27	26,1	8,5	10,4	21,7	40,6					vЧ ^{Ю2} _{2c}	C
	5-22	6,6	26	27,1	7,6	12	20,7	40,3						C
AB	27-37	6,8	29,7	24,5	7,4	10,1	21,5	39						C
B	44-54	6,4	26,6	26,4	6,4	10,1	24,1	40,6						C
BCк	65-75	6,4	61,7	12,9	3	7,2	8,8	19						C

Готово

все серые лесные черноземы южные лугово-черноземные

16:40 17.12.2018

Рис. 3. Вид базы данных гранулометрических свойств почв

Явление Фактор, Тип (подтип) почвы / горизонт		содержание гумуса, %					$n_{c,d}$	$P(c,d)$	$H(A/c,d)$	$J(A/c,d),$ <i>бит</i>	$J(A/c,d) \cdot P(c,d)$
		< 3,0	3,1-5,0	5,1-7,0	7,1-9,0	> 9,0					
		Номер ранга									
		1	2	3	4	5					
$\underline{Ц}^*$	A	.		☒..	☒..	☒	34				
	AB	.					1				
$\underline{Ц}^o$	A	..	..	☒..	□	□.	33			
	AB		.				1				
C_3	A ₁	☒	..	..	□	□	30			
	A ₁ A ₂	.	..	.	..	..	14			
C_2^*	A ₁**	□	..	..		..	14			
	A ₁ A ₂	..	.	.	.	.	6			
n_{ai}		25	10	28	31	32	N=126	$T(A;C,D) = \sum J(A/c,d) \cdot P(c,d)$ $H(C,D) = \sum P_{(c,d)} \log P_{(c,d)}$ $H(A) = \sum P_{(ai)} \log P_{(ai)}$			

Примечание: *Почвы: - C_2 –серые лесные почвы; C_3 –темно серые лесные; $\underline{Ц}^o$ – чернозем оподзоленный; $\underline{Ц}^*$ – чернозем выщелоченный.
 **Горизонты: A₁ – гумусово-элювиальный; A₁A₂ – переходный; A- гумусово-аккумулятивный; AB – переходный гумусовый.

Рис. 4. Распределение эмпирических данных в двухфакторном информационном анализе

Так, зональными почвами 21 почвенного района Алтайского края (Почвы..., 1959) в соответствии с эколого-генетической классификацией (1977) являются; 1) черноземы выщелоченные; 2) черноземы оподзоленные; 3) темно серые лесные и 4) серые лесные почвы, которые занимают 70-78 % от общей площади. Для выявления связей между таксономическими единицами почв (на уровне типа, подтипа) и свойствами почвы составляли таблицы условных распределений значений (мощности гумусового горизонта, взятых с шагом в 10 см). Параметрами в данном случае являются качественные объекты (тип, подтип почвы), построенные в генетически сопряженный ряд по степени проявления основного и сопутствующего почвообразовательного макропроцесса, номер ранга присваивается по мере убывания дернового и нарастания подзолистого процесса (черноземы выщелоченные - черноземы оподзоленные - темно серые лесные - серые лесные почвы).

В ряду генетически сопряженных почв 21 почвенного района (чернозем выщелоченный – чернозем оподзоленный – темно серая лесная – серая лесная) – специфика таксономических единиц (подтипов почв) и диагностика их эталона проявляется не только и не столько таксономическим различием в гумусовом горизонте, сколько в профильном изменении большинства генетических свойств этих почв. Это обусловлено тем, что на ряду с дерновым процессом в этих почвах в той или иной степени проявляется подзолистый процесс, свидетельством проявлением, которого может служить признаки элювиирования в профиле почв. Поэтому наряду с гумусовым (гумусово-элювиальным) горизонтом, специфичные состояния были определены и в переходном или элювиально-иллювиальном горизонте (АВ – в черноземах, и А₁А₂ – в серых лесных почвах). В таблицах 3-11 представлены результаты 2-х факторного информационного анализа совместного канала связи от двух факторов: подтипа почвы и генетического горизонта.

Таблица 4. Зависимость содержания гумуса (ранг/%) от принадлежности к определенной таксономической группе и генетическому горизонту

Тип (подтип) почвы	Генетический горизонт	Отношение условных вероятностей (<i>k</i>) рангов содержания гумуса (F)					<i>p</i> (<i>c,d</i>)	<i>J</i> (A/ <i>c,d</i>) бит
		1	2	3	4	5		
		<3,0	3,1-5,0	5,1-7,0	7,1-9,0	>9,0		
Ч ^в	Ап	0	0	0,407	2,393	3,112	0,148	1,031
	АВ	1,255	1,495	1,224	0,434	0,173	0,143	0,375
Ч ^о	Ап	0	0,174	1,332	2,485	1,974	0,182	0,513
	АВ	1,408	2,096	0,332	0,176	0	0,181	0,973
С ₃	Ап	0	0,301	1,151	1,839	2,436	0,053	0,482
	А ₂ В	0,486	1,991	1,899	0	0	0,047	0,976
С ₂	Ап	0,389	1,725	2,533	0	0	0,119	0,960
	А ₁ А ₂	4,035	0,398	0	0	0,214	0,119	1,507
<i>p</i> (<i>f_i</i>)		0,206	0,301	0,157	0,148	0,186	N=209	

$$H(A)= 2,2712 \text{ бит}, T=0,844 \text{ бит}, K_{\text{эф}}=0,293.$$

Таблица 5. Зависимость содержания обменного калия (ранг/мг на 100 г почвы) от принадлежности к определенной таксономической группе и генетическому горизонту

Тип (подтип) почвы	Генетический горизонт	Отношение условных вероятностей (k) рангов содержания обменного калия (G)				$p(c,d)$	$J(A/c,d)$ бит
		1	2	3	4		
		<5,0	5,1-10,0	10,1-15,0	>15,0		
Ч ^в	Ап	0,166	1,154	1,924	0,742	0,149	0,405
	АВ	1,669	0,642	0,478	0	0,1498	0,394
Ч ^о	Ап	0,885	1,309	0	0	0,184	0,561
	АВ	1,958	0,483	0	0	0,179	0,688
С ₃	Ап	0	1,086	2,692	6,266	0,053	0,053
	А ₂ В	1,149	0,663	1,644	2,552	0,044	-0,2641
С ₂	Ап	0,206	1,194	2,370	3,678	0,121	-0,091
	А ₁ А ₂	1,138	0,955	1,185	0	0,121	0,167
$p(g_i)$		0,386	0,502	0,067	0,044	N=207	

$H(A)= 1,4883$ бит, $T=0,3468$ бит, $K_{эфф}=0,121$.

Таблица 6. Зависимость реакции почвенного раствора (рНв) от принадлежности к определенной таксономической группе и генетическому горизонту

Тип (подтип) почвы	Генетический горизонт	Отношение условных вероятностей (k) рангов рНв (L)				$p(c,d)$	$J(A/c,d)$ бит
		1	2	3	4		
		<5,0	5,1-5,5	5,6-6,0	>6,0		
Ч ^в	Ап	0	0,408	1,887	4,070	0,147	0,397
	АВ	0,796	0,735	1,554	0,903	0,147	0,066
Ч ^о	Ап	0,211	0,973	1,765	0,719	0,186	0,352
	АВ	1,841	0,932	0,543	0,367	0,180	0,206
С ₃	Ап	0,373	1,611	0,625	1,274	0,052	0,324
	А ₂ В	2,058	1,265	0	0	0,047	0,815
С ₂	Ап	1,482	1,619	0,	0	0,119	0,872
	А ₁ А ₂	1,811	1,215	0,275	0	0,119	0,494
$p(l_i)$		0,243	0,395	0,291	0,071	N=210	

$H(A)= 1,8148$ бит, $T=0,389$ бит, $K_{эфф}=0,135$.

Таблица 7. Зависимость содержания глинистой фракции (менее 0,01 мм) от принадлежности к определенной таксономической группе и генетическому горизонту

Тип (подтип) почвы	Генетический горизонт	Отношение условных вероятностей (k) рангов глинистой фракции (R)				$p(c,d)$	$J(A/c,d)$ бит
		№ ранга					
		1	2	3	4		
		содержания глинистой фракции, %					
		<35,0	35,1-45,5	45,6-55,0	>55,0		
Ч ^B	Ап	0,494	0,544	<u>1,401</u>	1,079	0,184	0,340
	АВ	0,606	0,836	<u>1,336</u>	0,442	0,149	0,350
Ч ⁰	Ап	0	0,799	<u>1,369</u>	1,266	0,157	0,504
	АВ	0,392	1,081	<u>1,111</u>	<u>1,142</u>	0,116	0,160
С ₃	Ап	0,741	<u>2,043</u>	0,699	0	0,061	0,417
	А ₁ А ₂	<u>2,506</u>	1,379	0,524	0	0,054	0,207
С ₂	Ап	<u>2,226</u>	1,050	0,500	0,389	0,143	-0,170
	А ₁ А ₂	<u>2,005</u>	1,286	0,419	1,458	0,136	-0,158
$p(r_i)$		0,149	0,272	0,476	0,103	N=147	

$H(A)=1,7682$ бит, $T=0,2032$ бит, $K_{\text{эфф}}=0,069$.

Таблица 8. Зависимость содержания илистой фракции (менее 0,001 мм) от принадлежности к определенной таксономической группе и генетическому горизонту

Тип (подтип) почвы	Генетический горизонт	Отношение условных вероятностей (k) рангов илистой фракции (Z)				$p(c,d)$	$J(A/c,d)$ бит
		1	2	3	4		
		содержания илистой фракции, %					
		<25,0	25,1-35,5	35,6-45,0	>45,0		
		Ч ^B	Ап	0,681	0,429			0,466	1,945	0,184	0,238
АВ	0,251		<u>4,116</u>	0,558	1,592	0,149	-0,045
Ч ⁰	Ап	0,879	0,493	1,055	<u>1,369</u>	0,156	0,058
	АВ	0,973	<u>1,999</u>	1,442	0,617	0,115	-0,134
С ₃	Ап	<u>1,634</u>	0	0	0,388	0,061	1,095
	А ₂ В	<u>1,608</u>	0	0	0,438	0,054	1,055
С ₂	Ап	1,400	0	<u>1,753</u>	0,332	0,143	0,575
	А ₁ А ₂	1,470	0	<u>1,841</u>	0,175	0,136	0,714
$p(z_i)$		0,544	0,088	0,082	0,286	N=147	

$H(A)=1,5981$ бит, $T=0,3343$ бит, $K_{\text{эфф}}=0,115$.

Таблица 9. Зависимость содержания суммы поглощенных оснований (ранг/мг-экв на 100 г почвы) от принадлежности к определенной таксономической группе и генетическому горизонту

Тип (подтип) почвы	Генетический горизонт	Отношение условных вероятностей (k) рангов содержания суммы поглощенных оснований (S)					$p(c,d)$	$J(A/c,d)$ бит
		1	2	3	4	5		
		содержания суммы поглощенных оснований, мг-экв. на 100 г почвы						
		<25,0	25,1-30,0	30,1-35,0	35,1-40,0	>40,0		
Ч ^В	Ап	0	0	0	1,192	3,199	0,148	1,759
	АВ	0,153	1,249	2,695	1,986	0,114	0,148	0,431
Ч ^О	Ап	0,124	0	0,943	1,945	2,331	0,182	0,842
	АВ	1,000	2,343	0,629	0,647	0,093	0,182	0,604
С ₃	Ап	0,432	0	2,713	1,118	1,288	0,053	0,543
	А ₂ В	1,426	1,934	1,195	0	0	0,048	0,733
С ₂	Ап	1,901	1,703	0,955	0	0	0,119	0,746
	А ₁ А ₂	3,802	0,773	0	0	0	0,119	1,497
$p(s_i)$		0,210	0,258	0,168	0,081	0,282	N=209	

$H(A)=2,2187$ бит, $T=0,9165$ бит, $K_{\text{эфф}}=0,318$.

Таблица 10. Зависимость содержания валового азота (ранг/%) от принадлежности к определенной таксономической группе и генетическому горизонту

Тип (подтип) почвы	Генетический горизонт	Отношение условных вероятностей (k) рангов содержания валового азота (W)						$p(c,d)$	$J(A/c,d)$ бит
		1	2	3	4	5	6		
		содержания валового азота, %							
		<0,20	0,21-0,25	0,26-0,30	0,31-0,35	0,36-0,40	>0,40		
Ч ^В	Ап	0	0	0	0,667	1,105	3,010	0,151	1,710
	АВ	1,256	1,329	2,598	0,667	0	0,215	0,151	0,341
Ч ^О	Ап	0,157	0,361	0,471	1,628	2,257	2,105	0,185	0,496
	АВ	1,539	2,357	0,766	1,178	0	0	0,169	0,697
С ₃	Ап	0,272	0	0	3,754	3,117	1,818	0,053	0,573
	А ₂ В	1,197	2,062	1,790	0	1,715	0	0,048	0,412
С ₂	Ап	0,719	1,924	2,507	0,826	1,372	0,267	0,121	-0,033
	А ₁ А ₂	2,995	0	0	0	0	0	0,121	2,258
$p(w_i)$		0,334	0,146	0,112	0,048	0,058	0,3	N=206	

$H(A)=2,2579$ бит, $T=0,8377$ бит, $K_{\text{эфф}}=0,291$.

Таблица 11. Зависимость содержания подвижного фосфора (по Чирикову) от принадлежности к определенной таксономической группе и генетическому горизонту

Тип (подтип) почвы	Генетический горизонт	Отношение условных вероятностей (k) рангов содержания подвижного фосфора (Q)				$p(c,d)$	$J(A/c,d)$ бит
		1	2	3	4		
		Содержание подвижного фосфора, мг/100 г почвы					
		<15,0	15,1-20,0	20,1-25,0	>25,0		
Ч ^B	Ап	2,356	1,241	0,284	0	0,149	0,754
	АВ	0,527	0,789	1,420	1,336	0,149	0,075
Ч ⁰	Ап	1,387	1,840	0,231	0,326	0,184	0,466
	АВ	0,548	0,567	1,785	1,232	0,179	0,130
С ₃	Ап	1,475	1,271	0,399	0,753	0,053	0,173
	А ₂ В	0,451	1,165	1,467	0,921	0,044	0,105
С ₂	Ап	0,649	0,979	0,881	1,490	0,121	0,064
	А ₁ А ₂	0,325	0,139	1,585	2,154	0,121	0,497
$p(q_i)$		0,246	0,286	0,227	0,241	N=207	

$H(A)=1,9951$ бит, $T=0,314$ бит, $K_{\text{эфф}}=0,109$.

Таблица 12. Зависимость величины гидролитической кислотности от принадлежности к определенной таксономической группе и генетическому горизонту

Тип (подтип) почвы	Генетический горизонт	Отношение условных вероятностей (k) рангов гидролитической кислотности (V)				$p(d,c)$	$J(A/d,c)$ бит
		1	2	3	4		
		Величина гидролитической кислотности, мг-экв./100 г почвы					
		<4,5	4,6-5,0	5,1-5,6	>5,61		
Ч ^B	Ап	1,045	2,229	0,970	0,455	0,045	-0,004
	АВ	2,089	1,115	0	0	0,045	1,247
Ч ⁰	Ап	0,474	0,218	2,640	1,238	0,231	0,176
	АВ	0,745	0,435	0,565	1,769	0,231	0,316
С ₃	Ап	0,886	0,709	0,616	1,447	0,070	0,163
	А ₂ В	0,975	1,561	1,358	0,637	0,0640	-0,083
С ₂	Ап	1,169	1,873	0,543	0,637	0,160	0,081
	А ₁ А ₂	1,726	1,625	0	0,264	0,154	0,717
$p(v_i)$		0,410	0,128	0,147	0,314		

$H(A)=1,8389$ бит, $T=0,2976$ бит, $K_{\text{эфф}}=0,109$.

На начальных этапах классификации почв основаниями для подбора **диагностических признаков** (явление *A* в информационном анализе) являются наши представления о почвенных процессах (Соколов, 2004). Чем более общим является процесс, тем выше его «таксономический вес». Только такой подход может обеспечить построение классификации, отвечающей главной цели, которая была сформулирована выше. Выбор диагностических признаков осуществляется в соответствии с этим принципом. Среди всего разнообразия почвенных свойств при этом отбираются наиболее существенные, определяющие почву как самостоятельное природное тело, порожденное почвообразовательным процессом, т.е. свойства, генетически обусловленные. По-видимому, это единственный реальный способ первоначального отбора классификационно значимых свойств. Однако, при оценке значимости свойств почв не исключен определенный субъективизм. Тем более, что представление о генезисе почвы входит в классификацию почв только в опосредованном виде, критериями диагностики являются исключительно сами свойства, но не представления об их происхождении.

Характеристика факторов почвообразования не входит в число диагностических признаков собственно почв, так как объектом классификации является почва как самостоятельное естественно-историческое тело (а не ландшафт, не экосистема). Вместе с тем некоторые характеристики, которые должны рассматриваться как «факторные», традиционно включаются в почвенные диагностические признаки (унаследованные от пород характеристики минералогического и гранулометрического состава, характер подстилающих пород, глубина грунтовых вод и т. п.). Но таксономический вес «литогенных» почвенных свойств, как правило, ниже, чем свойств, имеющих почвенно-генетическую природу. В ряде случаев может учитываться хозяйственная и экологическая значимость признака (например, в агроэкологической классификации).

Коэффициент эффективности передачи информации $K_{эфф}$ по своему смыслу отражает тесноту связи фактора и явления и поэтому может служить для оценки таксономического веса классификационных признаков (чем больше $K_{эфф}$ - тем больший таксономический вес имеет признак). Результаты информационного анализа выборочной генеральной совокупности почв **21 почвенного района** (темно-серых лесных почв и тучных оподзоленных черноземов Предсалаирской равнины) показали (табл.13), что по классификации СССР (1977г.) наибольшим таксономическим весом обладают следующие свойства: сумма поглощенных оснований S, (0,3186); содержание гумуса, (0,2934); содержание азота валового, (0,2905); рНв (0,1351); содержание обменного калия K_2O , (0,1208), так как они все имеют наиболее высокий коэффициент эффективности передачи информации $K_{эфф}$. Невысоким таксономическим весом обладает: содержание фракций менее 0,001мм, (0,1150); мощность гумусового слоя, (0,1132); содержание подвижного фосфора, (0,1094); гидролитическая кислотность Нг (0,1085); содержание фракций менее 0,01 мм (0,0690). Эти свойства имеют низкий коэффициент эффективности передачи информации.

Таблица 13. Коэффициент эффективности передачи информации $K_{эфф}$ (степень связи) между свойствами почв 21 почвенного района* и таксономическими единицами /генетическими горизонтами (A, A₁, A₁A₂, AB)

Свойства	Коэффициент эффективности передачи информации $K_{эфф}$.	
	Классификация 1977г	Классификация 2004г
Мощность, A+AB, см	0,1132	0,1963
Гумус, %	0,2934	0,2556
pH _v	0,1351	0,1228
Hг, мг.эв/100г	0,1085	0,1188
S, мг.экв/100г	0,3186	0,2753
P ₂ O ₅ , мг/100 г	0,1094	0,1247
K ₂ O, мг/100 г	0,1208	0,1028
Азот валовой, %	0,2905	0,2685
Содержание фракций менее 0,001мм, %	0,1150	0,1228
Содержание фракций менее 0,01мм, %	0,0690	0,1105

*-район темно-серых лесных почв и тучных оподзоленных черноземов Предсалаирской равнины, зона выщелоченных и оподзоленных черноземов и темно-серых лесных почв.

По классификации почв РФ (2004г.) наиболее высокий коэффициент эффективности передачи информации отмечается у таких свойств как сумма поглощенных оснований S, (0,2753); содержание азота валового (0,2685); гумуса (0,2556); мощности гумусового слоя (0,1963); содержания подвижного фосфора (0,1247); pH_v и содержания фракций менее 0,001 мм (0,1228). Низкий коэффициент эффективности передачи информации имеет гидролитическая кислотность (0,1188); содержание фракций менее 0,01 мм (0,1105); и содержание обменного калия (0,1028).

По мнению А.И. Соколова (2004): «в целях большей устойчивости классификационных решений большим таксономическим весом обычно обладают признаки, характеризующиеся большим характерным временем. Определение таксономического веса признаков может проводиться так же на основании их взаимообусловленности — чем сильнее влияет наличие признака на все остальные характеристики (в том числе и на генезис), тем больше его таксономический вес».

При взвешивании признаков обычно учитывается степень его соответствия современной ландшафтной обстановке. Максимальный вес обычно придается признакам, которые ей не противоречат (почва-отражение). Реликтовые признаки (почва-память) имеют меньший таксономический вес. Один и тот же признак в разных объектах может иметь разный таксономический вес. Это очевидно, так как основанием является не только сам признак, но и его генетическая обусловленность и его генетическая роль. Например, степень разложения органического вещества в органогенных почвах может учитываться на более высоком уровне, чем в почвах органоминеральных. Среди признаков, имеющих в почвенном профиле, могут быть унаследованные от прошлых эпох почвообразования, предшествующих процессу отложения почвообразующих пород. Таксономический вес этих признаков примерно соответствует литогенным.

Таблица 14. Специфические свойства почв различных подтипов (горизонтов) региональных эталонов почв 21 почвенного района, классификация СССР 1977 года.

Свойства	Размерность специфических состояний, метрическое значение (ранг)							
	ц ⁰		ц ^в		C ₂		C ₃	
	Ап	АВ	Ап	АВ	Ап	А1А2	Ап	А1А2
S, <u>мг.экв/100г</u>	>40,1(5)	25,1-30,0(2)	>40,1(5)	30,1-35,0(3)	<25,0-30,0(1,2)	<25,0(1)	30,1-35,0(3)	25,1-30,0(2)
Гумус, %	7,1-9,0(4)	3,1-5,0(2)	7,0-9,1(4,5)	3,1-5,0(2)	3,0-7,0(2,3)	<3,0(1)	>9,1(5)	3,1-7,0(2-3)
Азот валовой, %	0,36-0,41(5,6)	0,21-0,25(2)	>0,41(6)	0,26-0,30(3)	0,26-0,30(3)	<0,20(1)	0,31-0,35(4)	0,21-0,25(2)
<u>pH_s</u>	5,6-6,0(3)	<5,0(1)	5,6-6,1(3,4)	5,6-6,0(3)	5,1-5,5(2)	<5,0(1)	5,1-5,5(2)	<5,0(1)
Мощность, А+АВ, см	40-50(3)		40-50(3)		30-40(2)		>50(4)	
<u>Hг, мг.эв/100г</u>	5,1-5,6(3)	>5,7(4)	4,6-5,0(2)	<4,5(1)	4,6-5,0(2)	<4,5(1)	>5,7(4)	4,6-5,0(2)
P ₂ O ₅ , мг/100 г	16,1-21,0(2)	21,1-26,0(3)	<16,0(1)	21,1-26,0(3)	<26,1(4)	<26,1(4)	<16,0(1)	21,1-26,0(3)
K ₂ O, мг/100 г	5,1-10,0(2)	<5,0 (1)	5,1-15,0 (2,3)	<5,0(1)	>15,1(4)	5,1-10,0(2)	>15,1(4)	10-15(3)
Содержание фракций менее 0,001мм, %	>45,1(4)	25,1-35,0(2)	>45,1(4)	25,1-35,0(2)	35,1-45,0(3)	35,1-45,0(3)	<25,0(1)	<25,0(1)
Содержание фракций менее 0,01мм, %	45,1-55,0(3)	45-55,1(3)	45,1-55,0(3)	45,1-55,0(3)	35,0-45,0(2)	25,0-35,0(2)	<25,0(1)	<25,0(1)

Специфические состояния свойств почв в соответствие с подтипом и генетическим горизонтом почвы обобщены в таблице № 14. Набор этих параметров представляет собой характеристику региональных эталонов почв **21 почвенного района** по классификации СССР 1977 года. Так, региональный эталон чернозема оподзоленного 21 почвенного района характеризуется мощностью гумусового горизонта 40-50 см, содержанием гумуса в пахотном горизонте 7,1-9,0 %, которое резко снижается в подпахотном АВ до 3,1-5,0%, слабокислая реакция среды рНв 5,6-6,0 в подпахотном горизонте сменяется менее кислой рНв 5,0. Характер изменения содержания фракции физической глины в профиле почв характеризуется равномерным распределением - 45,1-55,0 %, в отличие от фракции ила, которая в подпахотном (элювиально-гумусовом) горизонте снижается до 25,1-35,0 %. Содержание обменного калия в пахотном горизонте составляет 5,1-10,0 мг/100 г почвы и уменьшается в подпахотном до уровня менее 5,0 мг/100 г почвы. Содержание подвижного фосфора напротив с глубиной увеличивается с 16,1-21,0 до 21,1-26,0 мг/100 г почвы, что может свидетельствовать об агроистощении почв в отношении фосфора. Следует отметить, что по большинству свойств чернозем оподзоленный не отличается от чернозема выщелоченного, что было учтено в новой классификации (2004), где эти подтипы не разделяются и объединены в типе черноземов глинисто-иллювиальных.

3.3. Алгоритм качественной информационно-логической модели диагностики региональных почв

Для построения информационно-логической модели региональных эталонов почв необходимо провести информационный анализ простых (однофакторных) связей тип, подтип почвы – свойство, таксономический признак; генетический горизонт – таксономический признак. Причем в качестве явления (функции) в данной задаче выступает таксономическая группа почв. Именно это явление мы моделируем, и именно это явление мы будем прогнозировать по полученной информационно-логической модели.

Для выявления связей между таксономическими группами и содержанием гумуса в почве составляли таблицы условных распределений значений содержания гумуса, взятых с шагом в два процента, в зависимости от каждого параметра. Параметры разбиваются на ранги, величина шага которых определяется минимальным его значением, допустимым, как природой признака, так и способами его описания. Конец каждого класса по содержанию гумуса меньше начала следующего на величину, равную точности измерения. Алгоритм информационного анализа обобщен и представлен в табл. 15.

Информационный анализ, являющийся лишь первым шагом в обработке материала, позволяет установить форму логической зависимости явления от рассматриваемого набора параметров. Эта задача решается с применением функций многозначной логики.

Таблица 15 – Алгоритм информационного анализа зависимости «таксономическая группа – содержание гумуса в Апах горизонте»

Явление Фактор, содержание гумуса в гор. Апах, %	Тип (подтип) почвы						n _{bi}	P _{bi}	H(A/bi)	J(A/bi)	
	C ₂	C ₃	Ч ^о	Ч ^р	Номер ранга	Ч ^р					
	Номер ранга										
	1	2	3	4							
Менее 3,0	2 1 <u>4,1596**</u>	0 0 0	0 0 0	0 0 0	3 0 0	4 0 0	2	0,0191	0	1,8706	
3,1-5,0	13 <u>0,8125</u> <u>3,3798</u>	1 0,0625 0,6497	2 0,125 0,3421	0 0 0	2 0,125 0,3421	0 0 0	16	0,1537	0,8684	1,0022	
5,1-7,0	10 0,4544 <u>1,8902</u>	2 0,0908 0,9439	8 0,3635 0,9947	2 0,0908 0,3046	8 0,3635 0,9947	2 0,0908 0,3046	22	0,2114	1,6762	0,1944	
7,1-9,0	0 0 0	2 0,0741 0,7703	14 0,5184 <u>1,4186</u>	11 0,4073 1,3662	14 0,5184 1,4186	11 0,4073 1,3662	27	0,2595	1,2974	0,5732	
Более 9,0	0 0 0	5 0,1350 1,4032	14 0,3784 1,0356	18 0,4865 <u>1,6329</u>	14 0,3784 1,0356	18 0,4865 1,6329	37	0,3558	1,4261	0,4445	
n_{ai}	25	10	38	31	104						
P_{ai}*	0,2404	0,0962	0,3654	0,2981							
										K(A,B) = 0,264 H(A) = 1,8706 H(B) = 2,0338	

* - Вероятность встречаемости каждого ранга таксона в генетически взаимосвязанном ряду в целом.

**Подчеркнуты специфические значения.

Данные таблицы 15 позволяют оценить величину информации, передаваемую как каждым состоянием (рангом) параметра, так и параметром в целом. Информация, передаваемая каждым состоянием (рангом) параметра, оценивается на основе сопоставления общей неопределенности при заданном состоянии признака (Пузаченко, и др., 1970). Величина информации равна уменьшению общей неопределенности явления, которое происходит, если известно состояние параметра. Тогда $J(A/b_j) = H(A) - H(A/b_j)$, где $H(A) = -\sum P_{(a_i)} \log P_{(a_i)}$ - неопределенность явления А. Она вычисляется, как это видно из формулы, суммированием произведений частот на их двоичный логарифм по вертикальным рядам. $H(A/b_j) = -\sum P(A/b_j) \log P(A/b_j)$ - условная неопределенность А при известном В, она находится так же, как $H(A)$, но суммированием по горизонтальным строчкам.

Величина информации, передаваемая каждым состоянием, тем больше, чем более определено, зная состояние параметра, можно судить о состоянии явления. Например (табл. 15), при содержании гумуса в Апах горизонте 3,1-5,0% с вероятностью 0,81 можно утверждать, что эта почва относится к таксономической группе серых лесных почв и вероятность ошибки утверждения $p(e)$ приближается к $1 - p(a_i/b_j) = 0,19$. Следовательно, определенность таксономической группы почв при знании содержания гумуса увеличивается и это увеличение отражается на величине информации (1,00). Неопределенность внутри этого диапазона содержания гумуса незначительная (0,87). Напротив, при содержании гумуса в почве 7,0-9,0 % в горизонте Апах увеличивается неопределенность (1,29), а вероятность того, что почва принадлежит к таксономической группе черноземов оподзоленных значительно ниже (0,52).

На основе полученных условных распределений можно установить взаимную специфичность состояний, выявить состояние явления (таксономическую группу), наиболее характерное для каждого состояния (ранга) параметра. Для этого рассчитывают коэффициент связи k (по Генесу, 1967) - отношение условной вероятности и общей вероятности для каждого ранга явления (a_i) по

каждому параметру (b_j):
$$k = \frac{P(a_i / b_j)}{P_{a_i}} .$$

Связь от $p(b_j)$ признается направленной в сторону того состояния, для которого коэффициент k наибольший. Если величины этих коэффициентов для соседних рангов близкие, то решение задачи неопределенно, так как оба ранга в равной мере соответствуют данному параметру. Если два таких состояния изолированы одно от другого состоянием (рангом) с меньшим k , то специфично именно это - промежуточное состояние.

Так для содержания гумуса менее 3,0, 3,0-5,0 и 5,0-7,0 % специфичным (наиболее вероятным является 1 ранг изучаемого явления – это таксономическая группа серых лесных почв. При содержании гумуса 7,0-9,0 % наиболее вероятный 3 ранг – черноземов оподзоленных и при содержании гумуса более 9,0% - 4 ранг (черноземов выщелоченных).

Таблица 16. Специфические состояния и коэффициенты передачи информации таксономических групп почв для каждого состояния параметров (свойств почв и их горизонтов)

Фактор	Состояние фактора	Специфические состояния функции					
		Тип, подтип почвы, горизонт Ап			Тип, подтип почвы, горизонт АВ		
		Состояние функции	ранг	К _{эфф}	Состояние функции	ранг	К _{эфф}
Мощность, А+АВ, см	Менее 30	С2	1	0,148			
	31-40	С2	1				
	41-50	Ч ^о -Ч ^в	3-4				
	Больше 50	С3	2				
К ₂ О, мг/100 г	Менее 5,0	Ч ^о	3	0,168	Ч ^о	3	0,088
	5,1-10,0	Ч ^о -Ч ^в	3-4		С2	1	
	10,1-15,0	С2-С3	1-2		С2-С3	1-2	
	Больше 15,1	С3	2		С3	2	
S, мг.экв/100г	Менее 25,0	С2	1	0,390	С2	1	0,233
	25,1-30,0	С2	1		С3	2	
	30,1-35,0	С3	2		Ч ^в	4	
	35,1-40,0	Ч ^о	3		Ч ^в	4	
	Больше 40,1	Ч ^о -Ч ^в	3-4		Ч ^о -Ч ^в	3-4	
Содержание фракций менее 0,01; %	Менее 35,0	С2	1	0,127	С3	2	0,093
	35,1-45,0	С3	2		С2	1	
	45,1-55,0	Ч ^в	4		Ч ^в	4	
	Больше 55,1	Ч ^о	3		Ч ^о	3	
Содержание фракции менее 0,001; %	Менее 25,0	С2-С3	1-2	0,236	С2	1	0,131
	25,1-35,0	Ч ^в	4		Ч ^о	3	
	35,1-45,0	С2	1		С2	1	
	Больше 45,1	Ч ^в	4		Ч ^в	4	
рН _в	Менее 5,0	С2	1	0,248	С3-Ч ^о	2-3	0,095
	5,1-5,5	С2-С3	1-2		С2	1	
	5,6-6,0	Ч ^о -Ч ^в	3-4		Ч ^в	4	
	Больше 6,1	Ч ^в	4		Ч ^в	4	
Гумус, %	Менее 3,0	С2	1	0,261	С2	1	0,181
	3,1-5,0	С2	1		С3-Ч ^о	2-3	
	5,1-7,0	С2	1		С3	2	
	7,1-9,0	Ч ^о	3		Ч ^в	4	
	Больше 9,1	Ч ^в	4		С2	1	
Азот валовой, %	Менее 0,20	С2	1	0,229	С2	1	0,179
	0,21-0,25	С2	1		Ч ^о	3	
	0,26-0,30	С2	1		Ч ^в	4	
	0,31-0,35	С3-Ч ^о	2-3		С2	1	
	0,36-0,40	С3	2		С3	2	
	Больше 0,41	Ч ^в	4		Ч ^в	4	
Нг, мг-экв/100г	Менее 4,5	С2	1	0,107	Ч ^в	4	0,18
	4,6-5,0	Ч ^в	4		С2	1	
	5,1-5,5	Ч ^о	3		С3	2	
	Больше 5,6	Ч ^о	3		Ч ^о	3	
Р ₂ О ₅ , мг/100 г	Менее 15,0	Ч ^в	4	0,112	Ч ^о	3	0,032
	15,1-20,0	Ч ^о	3		С3	2	
	20,1-25,0	С2	1		Ч ^о	3	
	Больше 25,1	С2	1		С2	1	

Примечания: С2 – серая лесная; С3 – темно-серая лесная; Ч^о – чернозем оподзоленный; Ч^в – чернозем выщелоченный.

В таблицах 15 специфичное состояние таксономической группы в каждом условном распределении подчеркнуто. Распределение этих специфичных состояний в совместных каналах связи показывает характер взаимодействия параметров. Имея величину информации для каждого ранга, характер связи явления с параметром в целом можно оценить, как сумму средневзвешенных частных значений информативности. Общая информативность связи явления с данным параметром есть $T(A,B) = \sum J(A/b_j) \cdot P_{b_j}$ (Кастлер, 1960). Так, величина T для связи содержания гумуса с таксономической группой почв равна 0,5384 бит. Связь есть величина измеримая и ее значение в каждом частном случае зависит от величин неопределенностей сопоставляемых явлений. Поэтому при определении значимости параметра для данного явления необходимо определить величину коэффициента эффективности передачи информации (эффективность канала связи):

$$K_{эфф}(A,B) = T(A,B) / H(B),$$

где явление B рассматривается как передатчик информации, а явление A – как приемник. Величина $T(A, B)$ никогда не может быть больше минимального значения одной из сопоставимых неопределенностей: $T(A,B) \leq [H(A) + H(B)]$. Поэтому величина коэффициента передачи информации максимальна, когда от параметра передается к явлению количество информации, равное минимальной неопределенности. Наибольшее значение (ведущий фактор) имеет параметр с наибольшим коэффициентом K . Таким образом (табл. 16), при помощи $K_{эфф}$ можно установить степень влияния каждого параметра на изучаемое явление и расположить их в строгой последовательности относительно друг друга. В нашем случае имеем следующую последовательность в горизонте $A(A_1)$ по $K_{эфф}$: сумма поглощенных оснований – 0,390, содержание гумуса в горизонте A_p – 0,261, рНв – 0,248, содержание фракции ила – 0,236, содержание валового азота – 0,229, мощность гумусового горизонта ($A+AB$) – 0,148, содержание обменного калия – 0,168, физической глины – 0,127. Количество информации, передаваемое от свойств гидролитическая кислотность и содержание подвижного фосфора так мало, что фактически связи между этими двумя явлениями нет.

3.4. Логический анализ и построений информационно-логического уравнения

Для выявления зависимости между рядом параметров и явлением можно пользоваться некоторыми функциями m -значной логики, которые наиболее часто встречаются при изучении реальных моделей (Коуэн, 1966). Логическая функция дизъюнкции $A = B \vee C$ означает, что значение функции A равно максимальному значению одного из аргументов. Логическая функция конъюнкции $A = B \wedge C$ означает, что значение функции A равно минимальному значению любого аргумента.

Нелинейное произведение $A = B \boxtimes C$ показывает, что значение функции есть среднеарифметическое из суммы аргументов, округленное до целого.

Построение совместного и частных каналов связи между явлением и параметрами, по существу, аналогично лабораторному опыту с вычленением от-

дельных факторов. Достоинство обсуждаемого метода в том, что он позволяет анализировать непосредственно природную обстановку. Информационный анализ, являющийся лишь первым шагом в обработке материала, позволяет установить форму логической зависимости явления от рассматриваемого набора параметров. Эта задача решается с применением функций многозначной логики.

Сравнительно редко встречается логическая функция равнозначности (коммутативного или некоммутиативного умножения): $A = B \sim C$. Любая из приведенных логических функций, кроме функции равнозначности (Пузаченко, Мошкин, 1969), обладает для каждого из аргументов специфичным каналом связи и специфичным отношением значений функций T . На основании специфичности структуры канала связи можно распознать характер взаимодействия параметров. Так, для логической функции дизъюнкции характерно, что минимальная информативность соответствует рангу параметра с направлением связи в область наименьшего значения явления (функции), а максимальная информативность - рангу параметра с направлением связи в область максимального рангового значения функции, явления (пример табл. 8). Для логической функции конъюнкции характерно, что соотношение между мерами информативности и направлениями связи обратно дизъюнктивному (пример табл. 5). К логической функции нелинейного произведения относятся функции, у которых состоянию наименьшей информативности соответствует направление связи (специфичность) в область средних ранговых значений функции (явления), а максимальная информативность наблюдается у состояний, связь от которых направлена к минимальному или максимальному ранговому значению (пример табл. 9).

При взаимодействии параметров по логической форме равнозначности в частных каналах вообще не обнаруживается информации, а направления связи бессистемно разбросаны по отношению к любому, состоянию аргумента без какой-либо линейной тенденции. В совместных каналах связи двух таких параметров обнаруживается значительная информация и направления связи имеют линейный характер. Выявление этой функции возможно лишь на основе анализа совместного канала связи.

В сложных логических функциях от нескольких аргументов отношения между последними могут иметь самый различный характер. При этом большое значение имеет не только логический характер связи между аргументами, но и положение их относительно друг друга. Эти положения определяются по значению коэффициента эффективности передачи информации K . На первом месте по степени влияния на явление стоит аргумент с наибольшим значением K (в нашем примере – сумма поглощенных оснований в горизонте $A_{\text{пах}}$, на втором, отделяясь от первого скобкой, аргумент с меньшим значением коэффициента K и т.д.). Два аргумента с одинаковыми или близкими значениями коэффициентов скобкой не разделяются. В соответствии с этим правилом мы можем расположить параметры (факторы), определяющие принадлежность к определенной таксономической группе почв, опуская пока знаки логических операций, следующим образом:

$$ТП = S^A (\Gamma^A, pНв^A (Ил^A, S^{AB}, Nв^A, (\Gamma^{AB}, Nв^{AB} (Нг^{AB}, K_2O, M (Ил^{AB}, P_2O_5^A, Нг^A));$$

Рассмотрение направлений связи в реальных каналах позволяет предположить, что содержание ила в горизонте А связано с остальными параметрами по логической функции дизъюнкции (минимальная информация приходится на состояние с направлением связи в область наименьшего рангового значения аргумента). Логическая связь большинства остальных факторов, соответствует форме нелинейного логического произведения (минимальная информация характерна для специфичных состояний в направлениях связи к средним рангам функции, максимальная - к состояниям с направлениями связи или к наибольшим, или к наименьшим ранговым значениям функции). Наиболее неопределенна оценка формы логической связи между параметрами $Nв^{AB}$, $Нг^{AB}$, K_2O^A . Здесь минимальная информация падает на состояния, связь от которых направлена к минимальным ранговым значениям функции, максимальная информация приходится на область наибольших значений функции. Такое соотношение заставляет предположить дизъюнктивный характер связи. Однако невысокое значение информации, не позволяет считать дизъюнктивную связь безусловной. Следует отметить, что такая дизъюнктивная связь возникает как искажение нелинейной связи под давлением господствующей дизъюнктивной связи и в результате сильной взаимозависимости параметров. Поэтому приходится допускать возможность как дизъюнктивной, так и нелинейной связи и в дальнейшем при проверке соответствия подобранной логической функции действительным данным выбирать из этих гипотез наилучшую. В отношении характера связи между большинством факторов с полной определенностью устанавливается форма нелинейного логического произведения. Таким образом, логическая функция, описывающая зависимость таксономических групп почв от их физико-химических свойств почвы, может иметь следующий вид:

$$ТП = S^A \boxtimes (\Gamma^A \boxtimes pНв^A \boxtimes (Ил^A \wedge S^{AB} \boxtimes Nв^A \boxtimes (\Gamma^{AB} \boxtimes Nв^{AB} \wedge (Нг^{AB} \boxtimes K_2O^A \boxtimes M \boxtimes (Ил^{AB} \boxtimes P_2O_5^A \boxtimes Нг^A));$$

где ТП – ранг типа почвы; S, Γ , $pНв$, M_{A+AB} , K_2O , P_2O_5 , $Nв$, Ил, ФГ, Нг – ранг типа (подтипа) почвы в зависимости от по содержанию суммы поглощенных оснований, содержания гумуса, реакции водной вытяжки, мощности гумусового горизонта, содержания подвижного калия, содержания подвижного фосфора, содержания валового азота, содержания илистой фракции, содержания физической глины, гидролитической кислотности, соответственно.

A, AB – наименование горизонта по классификации 1977 года;

\boxtimes - знак логической функции нелинейного произведения

\wedge - знак логической функции конъюнкции.

3.5. Оптимизация и оценка математических моделей

В полученную модель вошли все проанализированные факторы, однако математическое моделирование предполагает оптимизацию полученных моделей - на объектах, не вошедших в выборочную совокупность, при ее разработке. Упрощение полученных моделей производилось путем удаления наименее

значимых почвенных признаков, т.е. признаков имеющих наименьший таксономический вес. В связи с этим окончательная версия модели (для классификации почв СССР (1977) имеют следующий вид:

$$ТП = S^A \boxtimes (\Gamma^A \boxtimes pH_v^A \boxtimes (Ил^A \wedge S^{AB} \boxtimes N_v^A)).$$

Для диагностики реальных почв необходимо, метрические значения свойств перевести в ранговые (используя специфичные состояния таксономических единиц) и подставить в формулу, результат округляется до целого ранга, которому и соответствует определяемая почва (табл. 17).

Для оценки полученных математических моделей были выбраны 14 разных почвенных разрезов с их индивидуальными физико-химическими свойствами. В эту выборку должны войти различные почвы из генетического ряда, для которого разрабатывалась модель. Сравнивали фактический ранг (по морфологическому описанию) и расчетный - по модели (табл. 18). Безошибочный прогноз полученной модели составляет 50 %, а с ошибкой в один ранг прогнозирующая способность модели увеличивается до 85 %.

Достоверность модели можно оценить с помощью параметрических критериев (двух-выборочный t-тест с различными дисперсиями – Excel). Поскольку фактическое значение критерия Стьюдента (0,77) меньше, чем теоретическое (1,68) – нулевая гипотеза не опровергается и это значит, что различия между фактическими и расчетными значениями незначительны.

Корреляция между фактическими и расчетными значениями может также дать оценку точности полученной модели: максимальная точность соответствует полному совпадению теоретических и фактических значений (коэффициент корреляции $r=1,0$). Коэффициент корреляции между прогнозными и фактическими ранговыми значениями определяемых почв равен 0,76, что свидетельствует об их существенной корреляции.

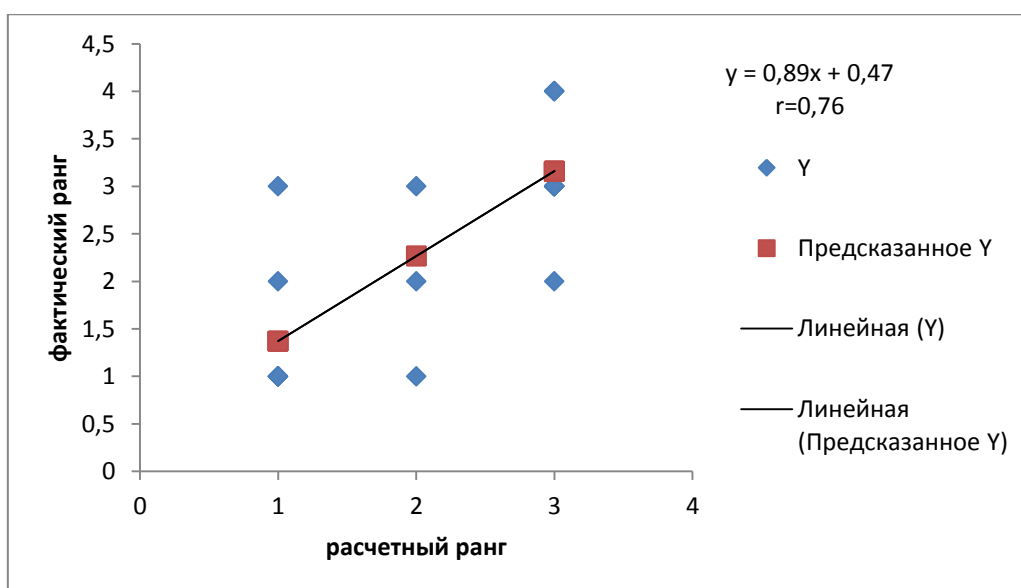


Рис. 5. График зависимости фактических и расчетных (прогнозируемых) значений рангов

Таблица 17. Проверка прогнозирующей способности модели

Индекс почвы	Фактический ранг почвы	№ разреза	Глубина обзора образца	Мощность, А+ВВ, см		рН		Нг, мг.зв./100г		S, мг.зв./100г		P ₂ O ₅ , мг.зв./100г		K ₂ O, мг.зв./100г		Гумус, %		N валовой, %		Содержание фракций менее 0,001, %		Содержание фракций менее 0,01, %		Расчетный ранг
				ранг	ранг	ранг	ранг	ранг	ранг	ранг	ранг	ранг	ранг	ранг	ранг	ранг	ранг	ранг	ранг	ранг	ранг			
C _{2-2c}	1	55	0-20	37	1	5,0	1	2,8	1	32,5	2	20,7	1	6,0	3-4	3,9	1	0,13	1	22,6	1-2	48,4	4	1
			27-37			5,4	2	3,15	4	28,8	2	21,5	3	4,0	3	2,6	1	0,12	1	25,0	1-2	46,6	4	
C _{1-2c}	1	177	0-22	32	1	5,0	1	4,02	1	22,0	1	27,1	1	7,0	3-4	3,4	1	0,18	1	17,9	1-2	24,9	1	1
			22-32			5,1	2	3,85	4	22,8	1	27,1	1	8,0	1	3,4	2-3	0,18	1	15,4	1	23,8	2	
C _{1-3c}	2	61	1-21	50	3-4	5,7	1	4,55	4	33,8	2	21,9	1	45,0	2	7,4	3	0,39	2	17,2	1-2	44,0	4	2
			40-50			5,2	2	5,95	3	25,0	1	23,9	3	27,0	2	4,5	2-3	0,21	3	17,8	1	44,0	4	
Ч ^{ОЗ} _{1г}	3	16	0-20	41	3-4	5,1	1	8,75	3	46,3	3-4	20,7	1	5,0	3-4	8,5	3	0,45	4	28,0	4	60,0	3	3
			30-40			5,7	2	2,45	4	38,8	4	17,0	2	4,0	3	3,6	2-3	0,20	1	37,4	1	63,3	3	
Ч ^{ОЗ} _{2г}	3	18	0-20	42	3-4	5,4	1	4,55	4	40,8	3-4	15,6	3	6,6	3-4	7,6	3	0,36	2	15,8	1-2	35,2	2	3
			32-42			4,6	2-3	4,9	1	26,0	2	18,4	2	8,0	1	2,4	1	0,14	1	26,9	3	38,9	1	
Ч ^{ВЗ} _{2г}	4	187	0-27	41	3-4	5,4	1	4,9	4	43,2	3-4	20,5	1	12,0	1-2	7,8	3	0,41	4	16,0	1-2	32,1	1	3
						5,5	2	2,1	4	27,6	2	30,0	1	7,7	1	2,9	1	0,15	1	22,8	1	34,9	2	
↓Ч ^{ОЗ} _{3г}	3	13	0-20	45	3-4	4,6	1	12,6	3	23,8	1	3,8	4	5,0	3	6,3	1	0,28	1	18,6	1-2	43,4	2	1
						4,3	2-3	10,8	3	13,8	1	5,0	3	6,0	1	2,6	1	0,14	1	16,0	1	41,6	1	
↓Ч ^{ОЗ} _{1г}	3	241	0-20	40	1	5,2	1	5,6	3	40,0	3	14,6	4	4,0	3	7,9	3	0,46	4	15,6	1-2	39,1	2	2
						5,1	2	3,85	4	25,2	2	21,5	3	4,0	3	2,9	1	0,15	1	26,3	3	38,5	1	
↓Ч ^{ВЗ} _{1г}	4	215	2-13	30	1	6,4	1	4,2	1	39,5	3	14,9	4	10,0	1-2	6,5	1	0,46	4	20,2	1-2	36,6	2	2
						6,8	2	2,02	4	27,7	2	12,8	3	11,0	1-2	4,3	2-3	0,28	4	25,3	3	38,7	1	
↓C _{2-2c}	1	277	0-20	32	1	5,5	1	3,15	1	26,4	1	35,4	1	6,0	3-4	3,6	1	0,21	1	15,7	1-2	31,9	1	1
						5,5	2	2,8	4	24,8	1	33,3	1	5,0	3	2,9	1	0,15	1	17,4	1	30,9	2	
C _{2-2a}	1	9	0-20	30	1	5,1	1	3,3	1	21,6	1	29,3	1	11,0	1-2	2,5	1	0,14	1	13,2	1-2	26,8	1	1
			20-30			5,0	2-3	3,2	4	16,8	1	36,5	1	10,0	1	2,4	1	0,10	1	19,9	1	27,9	2	
C _{1-2c}	2	225	0-20	32	1	5,2	1	5,6	3	42,4	3-4	14,9	4	9,0	3-4	8,2	3	0,36	2	12,9	1-2	37,5	2	3
			22-32			5,0	2-3	5,3	2	29,2	2	16,1	2	4,0	3	5,2	2	0,22	3	24,4	1	41,3	1	
↓C _{3-2c}	2	11	0-21	32	1	5,2	1	3,7	1	24,4	1	27,9	1	8,0	3-4	5,1	1	0,20	1	16,0	1-2	30,8	1	1
			22-32			5,2	2	3,7	4	25,2	2	30,0	1	7,0	1	3,7	2-3	0,19	1	16,2	1	31,3	2	
Ч ^{ОЗ} _{2г}	3	662	0-10	41	3-4	5,3	1	5,3	3	38,8	3	20,7	1	8,0	3-4	7,7	3	0,39	2	16,6	1-2	43,0	2	2
			30-40			5,8	2	2,3	4	29,3	2	31,9	1	8,0	1	2,3	1	0,18	1	24,8	1	39,5	1	

Таблица 18. Ранговые выражения таксономических групп почв исследуемого района

№разреза	Классификация почв СССР 1977 года				
	фактическое	расчетное	Без 1 скоб-ки	Без 2 ско-бок	Без 3 ско-бок
55	1	1	1	1	1
177	1	1	1	1	1
61	2	2	2	2	2
16	3	3	3	3	3
18	3	3	3	3	3
187	4	3	3	3	3
13	3	1	1	1	1
241	3	2	2	2	2
215	4	2	2	2	2
277	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1
225	2	3	3	3	3
11	2	1	1	1	1
662	3	2	2	2	2
		50	50	50	50
		85	85	85	85

3.6. Решение теоретических и практических задач классификации почв на основе разработанных моделей

Проблемы классификации почв сформулировал И.А. Соколов (2004). Он обратил внимание на то, что при классификации почв в принципе невыполнимо требование, которое считается обязательным для численных и формальных классификаций: разделение генеральной совокупности на такие классы, все члены которых ближе друг другу, чем к любым объектам другого класса. Часто именно так формулируется главная цель классификации. Основные понятия: «центральный образ», «классификационные соседи» и классификационные границы, не вызывают дискуссии. Группирование и распределение центральных образов в классификационном пространстве создает структуру классификации. Классификационная граница между таксонами (обязательно количественная) устанавливается для формализации и объективизации процедуры выделения таксонов. Граница проводится по количественным градациям различных устойчивых характеристик диагностических признаков. Однако методические вопросы выделения «центральных образов» и классификационных границ до сих пор не решены, существуют несколько подходов (Соколов, 2004; Рожков, 2016), но отсутствуют более и ли менее обоснованные методы (Sokal, 1963; Розова, 1986; Павлинов, 2009).

Не существует также объективной процедуры оценки таксономического веса признаков (Соколов, 2004). При этом неравнозначность признаков является одним из самых мощных постулатов таксономии (Пузаченко, 1977; Сокал, 1967). Теоретические подходы к оценке таксономического веса признаков ос-

нованы на постулатах: а) свойства групп могут быть отражены в признаках; б) отношения между группами могут быть отражены в отношениях между таксонами, которые операционально сводятся к сходственным отношениям. Поэтому выбор предпочтительной системы (классификации), означает выбор (взвешивание) признаков и сходственных отношений. Классификационная система естественна, если она отражает определённые отношения между объективными группами, учитываемые заданными критериями.

Методологически эта задача сводится к оценке (взвешиванию) признаков и выбору главного признака (свойства), по которому по которому внутри группировки (таксона) оценивается сходство объектов. Данную концепцию взвешивания можно назвать также «взвешиванием сходства». Задача классификатора состоит в том, чтобы правильно выявить главные признаки, т.е. правильно определить и отразить сущность каждой отдельной группы. Все эти задачи были решены с помощью параметров информационно-логического анализа:

1. $K_{эфф}$ – позволил оценить таксономический вес признаков таксона (тип, подтипа) и выбрать главный и второстепенные признаки (табл. 13). В соответствии в профильно-генетической классификацией (1977) максимальный таксономический вес имеют - содержание гумуса ($K_{эфф}=0,2934-0,2556$), валового азота ($K_{эфф} 0,2905-0,26850$) и сумма поглощенных оснований ($K_{эфф}=0,3186-0,2753$). Эти признаки отражают интенсивность основного почвообразовательного процесса (дернового) в почвах 21 почвенного района.
2. В качестве параметра, который характеризует сходство признака внутри таксона, является количество информации, передаваемое по определенному каналу связи (внутри таксона) - $J(A/b_j)$. Анализ данных параметров по основным признакам (имеющим максимальный таксономический вес) показал (табл. 4-12), что наибольшее сходство внутри таксонов характерно для черноземов выщелоченных и серых лесных почв ($J(A/b_j)=1,05-2,25$ бит). В группе темно серых лесных почвах максимальное сходство отмечается по характеру распределения ила в профиле почв ($J(A/b_j)=1,99$ бит в Апах, и $J(A/b_j)=1,05$ бит в А₂В). Внутри таксономической группы черноземов оподзоленных по большинству свойств отмечается значительная неопределенность, а количество информации, поступающей по данному каналу связи не превышает 0,058-0,681бит.
3. На основе специфичных состояний были определены классификационные границы основных типов и подтипов почв 21 почвенного района (табл. 14) по всем свойствам: черноземов выщелоченных и оподзоленных, темно серых и серых лесных почв. Анализ полученных закономерностей позволяет делать несколько важных выводов. Так, классификационные границы по основным признакам (содержание гумуса, валового азота и суммы поглощенных оснований) для черноземов выщелоченных и оподзоленных почти полностью совпадают. Это может свидетельствовать об искусственном (не обоснованном) разделении этих групп. На самом деле, в субстантивной классификации (2004) эти подтипы объ-

единены в тип черноземов глинисто-иллювиальных. Классификационные границы таксонов по содержанию подвижного фосфора в различных горизонтах свидетельствуют о более высоком уровне содержания подвижного фосфора в подпахотном горизонте по сравнению с пахотным. Такая закономерность не характерна для черноземов, где аккумулятивный характер распределения в профиле биогенных элементов является отличительной чертой. Полученные отклонения можно объяснить процессами агрогенной трансформации, в результате которой происходит истощение пахотного горизонта в отношении фосфора.

4. На основе установленных классификационных границ таксономических групп внутри почвенного района можно проводить долгосрочный мониторинг за агрохимическим и агроэкологическим состоянием почв. Их изменение за определенный период времени свидетельствует о направленности основных почвообразовательных процессов (например, агрогенного) и может свидетельствовать как об истощении почв по некоторым признакам, так и о прогрессивных изменениях (окультуривание).
5. Близость классификационных соседей по многим признакам создает определенные трудности в диагностике почв. В разработанных для этой цели качественных информационно-логических моделях включены не все признаки, а только те которые позволяют однозначно определить принадлежность почвы к определенной таксономической группе. Это выясняется на этапе оптимизации модели: если второстепенный признак не влияет на конечный результат, его исключают из модели.

Система полученных количественных и качественных моделей региональных эталонов для каждого почвенного района можно идентифицировать как региональную классификацию почв Алтайского края. Это является очень важным моментом, поскольку позволяет учесть для местных условий такие особенности, которые не учитываются в обобщающих классификациях. Существование региональных классификаций полезно: они сохраняются и в будущем. Они не противоречат общим классификациям, а основываясь на них, дополняют и приспособливают общие классификационные решения к местным условиям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абрамов, Н.В. Оптимальные параметры факторов плодородия чернозема выщелоченного в северной лесостепи Западной Сибири / Н.В. Абрамов, Е.В. Салова // Почвоведение. – 1998. - № 10. – С. 1250-1255.
2. Арманд, А.Д. Самоорганизация и саморегулирование географических систем. / А.Д. Арманд - М.: Наука, 1988. – 259 с.
3. Бурлакова, Л.М. Плодородие алтайских черноземов в системе агроценоза. / Л.М. Бурлакова– Новосибирск: Наука, 1984. – 194 с.
4. Бурлакова, Л.М. Плодородие почв Алтайского края: Учеб. Пособие / Л.М. Бурлакова, В.А. Рассыпнов Изд-во: Алтайский СХИ. – Барнаул, 1990. – 80 с.
5. Булгаков, Д.С. Эталоны плодородия почв / Д.С. Булгаков, Ю.А. Славный // Химия в сельском хозяйстве. – 1996. - № 5. – С. 15-18.
6. Валеева, А.А. Численная классификация серых лесных почв Волжско-Камской лесостепи / А.А. Валеева, А.Б. Александрова, Г.Ф. Копосов // Материалы Всероссийской научной конференции II Ковалевские молодежные чтения «Почва как базовый компонент наземных экосистем». – Новосибирск: изд-во «Окраина», 2013 – С. 56-57.
7. Гильманов, Т.Г. Построение и анализ моделей экосистем. / Т.Г. Гильманов, Н.И. Базилевич // Вопросы географии. Вып. 127. 1986. С. 55-96.
8. Герасимов, И.П. Три научных направления в разработке общих вопросов классификации почв и их взаимной связи /И.П. Герасимов, Е.Н. Иванова // Почвоведение. – 1958. - № 11. – С. 1-18.
9. Иванова, Е.Н. Классификация почв СССР / Е.Н. Иванова, Н.Н. Розов // Докл. советских почвоведов к 7 Междунар. конгр. В США. – М., 1960. – С. 280-293.
10. Копосов, Г. Ф. Количественный подход к классификации серых лесных почв / Г. Ф. Копосов, А. А. Валеева, А. Б. Александрова // Почвоведение, 2014. - № 10. - с. 1177–1183.
11. Кошелева, Н.Е. Моделирование почвенных и ландшафтно-геохимических процессов: Учебное пособие. / Н.Е. Кошелева - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. 109 с.
12. Крупкин, П.И. Совершенствование способов бонитировки почв (на примере Красноярского края) / П.И. Крупкин, В.В. Топтыгин // Почвоведение, 1999. - № 12. С. 1481-1490.
13. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов. И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. – Смоленск: Ойкумена. 2004. – 342 с.
14. Классификация и диагностика почв СССР / В.В. Егоров, В.М. Фридланд, Е.Н. Иванова, и др. – М: Колос, 1977. – 223 с.
15. Классификация почв и агроэкологическая типология земель: учебное пособие / В.И. Кирюшин. – Спб.: Издательство «Лань», 2011. – 288 с.
16. Ливеровский, Ю.А. О принципах почвенно-профильной и почвенно-генетической терминологии / Ю.А. Ливеровский, И.А. Соколов, В.О. Таргульян // Почвоведение. 1973. № 5. С. 114–124.

17. Ляпунов, А.А. О математическом моделировании в проблеме "Человек и биосфера" / А.А. Ляпунов // Моделирование биогеоэкологических процессов: сборник статей / Акад. наук СССР, Ин-т агрохимии и почвоведения. - М.: Наука, 1981. - С.5-29.
18. Образцов А.С. Системный метод: применение в земледелии. / А.С. Образцов М.: ВО Агропромиздат, 1990. - 303 с.
19. Павлинов И.Я. Две концепции взвешивания в систематике: взвешивание признаков и взвешивание сходства / И.Я. Павлинов // Русский орнитологический журнал 2009, Том 18, .С. 1187-1204.
20. Пивоварова, Е.Г. К вопросу о динамике элементов-биофилов в почвах лесостепи и предгорий Алтайского края / Е.Г. Пивоварова , Л.М. Бурлакова // Доклады II Международной научно-практической конференции Тяжелые металлы, радионуклиды и элементы-биофилы в окружающей среде (16-18 октября 2002 г): в 2 т. / Семипалатинск: Изд-во Семипалатинского гос. ун-та имени Шакарима, 2002. - Т. 1- С. 293-297.
21. Пивоварова, Е.Г. Решение вопросов пространственной и временной вариации агрохимических свойств почв с помощью информационно-логического анализа / Е.Г. Пивоварова // Агрохимия. 2006. № 8. С. 77-84.
22. Пивоварова, Е.Г. Моделирование агрохимических свойств в почве учебно-методическое пособие по курсу «Методы агрохимических исследований» / Е.Г. Пивоварова - Барнаул, 2015. 57 с.
23. Пивоварова, Е.Г. Математические модели региональных эталонов в агрохимическом мониторинге почв / Е.Г. Пивоварова, Е.В. Кононцева, Ж.Г. Хлуденцов, И.П. Аверьянова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2019. - № 8 (178). - С. 54-62.
24. Пивоварова, Е.Г. Региональные эталоны почв как индикаторы агрогенной трансформации их агрохимических свойств / Е.Г. Пивоварова, Л.А. Федченко // Аграрная наука - сельскому хозяйству: сборник материалов: в 2 кн. / XV Международная научно-практическая конференция (12-13 марта 2020 г.). – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2020. – Кн. 1. – С. 282-284.
25. Почвы Алтайского края. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. - 381 с.
26. Полевой определитель почв России. - М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. – 182 с.
27. Пузаченко, Ю.Г. Мошкин А.В. Информационный метод изучения распространения заболеваний./ Ю.Г. Пузаченко, А.В. Мошкин // Итоги науки, серия мед. географ., - вып.3. - М., изд. ВИНТИ. 1969. –С. 5-71.
28. Пузаченко Ю. Г. Возможности применения информационно-логического анализа при изучении почвы на примере ее влажности / Ю.Г. Пузаченко, Л.О. Карпачевский, Н.А. Взнуздаев // Закономерности пространственного варьирования свойств почв и информационно-статистические методы их изучения. – Москва: Наука, 1970. – С. 103-121.
29. Пузаченко, Ю.Г. Пространственно-временная иерархия геосистем с позиции теории колебаний / Ю.Г. Пузаченко // Вопросы географии, 1985. - № 127. - С.53 - 70.
30. Пузаченко Ю.Г. Топологические основания выделения систем в географических науках / Ю.Г. Пузаченко, В.С. Скулкин // Вопр. Геогр., 1977. – Вып. 104. – С. 37-54.

31. Розова С.С. Классификационная проблема в современной науке/ С.С. Розова - Новосибирск, 1986. - 223с.
32. Роде А.А. Система методов исследования в почвоведении / А.А. Роде Новосибирск, «Наука», 1971. - 92 с.
33. Рожков, В. А. Почвенная информатика / В. А. Рожков // ВАСХНИЛ, Почв. ин-т им. В. В. Докучаева. - М. : Агропромиздат, 1989. – 219 с.
34. Рожков, В. А. INFOSOIL – информационно-справочная система по классификации и распознаванию почв России / Рожков В. А., С. В. Рожкова, П. В. Кравец, Д.Е. Конюшков // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2015. - Вып. 79. - С. 3-22.
35. Рожков, В. А. Концепция генератора (машины) классификации почв / Рожков В. А. /- Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2016. - Вып. 85. - С. 115-130.
36. Самофалова, И.А. Современные проблемы классификации почв: учебное пособие. / И.А. Самофалова; М-во с.-х. РФ, ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА. – 2012. – 175 с.
37. Сокал Р.Р. Современные представления о теории систематики / Р.Р. Сокал // Журн. общ. биол. 1967. – Т. 28. – С. 658-674.
38. Соколов, И.А. Теоретические проблемы генетического почвоведения / И.А. Соколов – Новосибирск, 2004. – 296 с.
39. Таргульян, В.О. Структурный и функциональный подход к почве: почва-память и почва-момент / В. О. Таргульян, И. А. Соколов // Математическое моделирование в экологии. — М.: Наука, 1978. — С. 17—33.
40. Фрид, А.С. Математическая модель как метод изучения корневого поглощения веществ растениями / Фрид А.С. // Агрохимия, 1974. - № 3. – С. 122-131.
41. Словарь-справочник по агропочвоведению. / Под редакцией В.Д. Иванова. – Воронеж: Центр духовного возрождения Черноземного края, 1999. – 392 с.
42. Фридланд, В.М. Основы профильно-генетического компонента базовой классификации почв / В.М. Фридланд // Почвоведение, 1981. - № 6. – С. 106 - 118.
43. Фридланд, В.М. Основные принципы и элементы базовой классификации почв и программа работы по ее созданию / В.М. Фридланд – М.: 1982. – 149 с.
44. Шатилов, И.С. Моделирование агрохимического состояния плодородия почвы и питания растений / И.С. Шатилов, А.Д. Силин, Н.А. Полев // Химия в сельском хозяйстве, 1996. - № 5. – С. 13-15.
45. Шишов, Л.Л. Критерии и модели плодородия почв. / Л.Л. Шишов, Д.Н. Дурманов, И.И. Карманов - М.: Агропромиздат, 1987. – 308 с.
46. Soil Taxonomy. A Basic system of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Second edition. USDA./ Washington D. C., 1999. – 869 p.
47. Sokal R.R. The Principles of Numerical Taxonomy / R.R Sokal., P.H.A. Sneath. - San Francisco, 1963.: 359 P.
48. World Reference Base for Soil Resources 2006. A framework for international classification, correlation and communication. Food and Agricultural Organization of the United Nations. / Rome., 2006.- 128 p.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Индексы стволов и их наименования

(Полевой определитель почв России, 2008)

- A** – Ствол: Органогенные почвы
- B** – Ствол: Синлитогенные почвы
- C** – Ствол: Постлитогенные почвы
- D** – Ствол: Слаборазвитые почвы
- E** – ТПО и выходы горных пород

Индексы отделов и их наименования

- AA** – Отдел: Торфяные почвы
- AB** – Отдел: Торфоземы
- BA** – Отдел: Аллювиальные почвы
- BB** – Отдел: Вулканические почвы
- BC** – Отдел: Стратифицированные
- CA** – Отдел: Текстурно-дифференцированные почвы
- CB** – Отдел: Альфегумусовые почвы
- CC** – Отдел: Железисто-метаморфические почвы
- CD** – Отдел: Структурно-метаморфические почвы
- CE** – Отдел: Криометаморфические почвы
- CF** – Отдел: Палево-метаморфические почвы
- CG** – Отдел: Криогенные почвы
- CH** – Отдел: Глеевые почвы
- CI** – Отдел: Аккумулятивно-гумусовые почвы
- CJ** – Отдел: Светлогумусовые аккумулятивно-карбонатные почвы
- CK** – Отдел: Щелочно-текстурно-дифференцированные почвы
- CL** – Отдел: Галоморфные почвы
- CM** – Отдел: Гидрометаморфические почвы
- CN** – Отдел: Органо-аккумулятивные почвы
- CO** – Отдел: Элювиальные почвы
- CP** – Отдел: Литоземы
- CQ** – Отдел: Абраземы
- CR** – Отдел: Агроабраземы
- CS** – Отдел: Агроземы
- CT** – Отдел: Турбоземы
- CU** – Отдел: Хемоземы

Структурная организация горизонтов в классификации

(Полевой определитель почв России, 2008)

1. Поверхностные гумусовые и органогенные горизонты:

- AУ** – серогумусовый,
- AJ** – светлогумусовый,
- AU** – темnogумусовый,
- AO** – грубогумусовый.
- АН** – перегнойно-темnogумусовый,

H – перегнойный,
AK – криогумусовый,
O – подстилично-торфяной.
W – гумусово-слаборазвитый,
T – торфяной,
RU – стратифицированный темногумусовый.
TO – олиготрофно-торфяной,
TE – эутрофно-торфяной,
RY – стратифицированный серогумусовый,
RJ – стратифицированный светлогумусовый.
TJ – сухоторфяной

2. Элювиальные горизонты

E – подзолистый,
EL – элювиальный,
BEL – субэлювиальный,
AEL – гумусово-элювиальный,
SEL – солонцово-элювиальный

3. Срединные горизонты:

BHF – альфегумусовый,
BT – текстурный,
BI – глинисто-иллювиальный,
BCA – аккумулятивно-карбонатный,
CAT – текстурно-карбонатный,
ASN – темносолонцовый,
BSN – солонцовый,
BFM – железисто-метаморфический,
BM – структурно-метаморфический,
BMK – ксерометаморфический,
CRM – криометаморфический,
CRH-гумусово-криометаморфический,
BPL – палево-метаморфический,
CR – криогенный,
V – слитой,
TUR – турбированный,
BAN – охристый.

4. Гидрогенные горизонты

G – глеевый
Q – квазиглеевый
F – рудяковый
ML – мергелистый

5. Галоморфные горизонты

S – солончаковый
SS – солончаковый сульфидный

6. Антропогенно-преобразованные горизонты:

P – агрогумусовый
PU – агротемногумусовый
PB (PC) – агроабразионный
PT – агроторфяной
PTR – агроторфяно-минеральный

Корреляция генетических горизонтов почв по двум классификациям

Классификация почв России 2004 г.		Классификация почв СССР 1977 г.	
Индекс	Название горизонта	Индекс	Название горизонта
1	2	3	4
Органогенные			
О	Подстилочно-торфяной	А0	Лесная подстилка
ST	Степной войлок	АД	Степной войлок
PL	Моховой очес	Оч	Моховой очес
Т	Торфяной	Т	Торфяной
ТО	Торфяной олиготрофный	Т	Торфяной
ТЭ	Торфяной эутрофный	А ТП	Торфяно-перегнойный
Н	Перегнойный	АП	Перегнойный
ТJ	Сухоторфяной	Т	Торфяной
Поверхностные органо-минеральные			
АО	Грубогумусовый	А0А1	Грубогумусовый
АТ	Грубогумусовый оторфованный	А0А1	Грубогумусовый оторфованный
АУ	Серогумусовый	А1	Гумусово-элювиальный
AU	Темногумусовый	А	Гумусово-аккумулятивный
AJ	Светлогумусовый	А	Гумусовый
АН	Перегнойно-темногумусовый	АП	Перегнойный
АК	Криогумусовый		-
W	Гумусово-слаборазвитый		-
RU	Стратифицированный темногумусовый		-
RY	Стратифицированный серогумусовый		-
RJ	Стратифицированный светлогумусовый		
Подповерхностные элювиальные			
Е	Подзолистый	А2	Подзолистый
EL	Элювиальный	А2	Подзолистый
SL	Осолоделый	А2	Осолоделый
AEL	Гумусово-элювиальный	А1А2	Гумусово-элювиальный
BEL	Субэлювиальный	А2В	Элювиально-иллювиальный
SEL	Солонцово-элювиальный	А1А2	Гумусово-элювиальный
Срединные			
BHF	Альфегумусовый	Bhf	Иллювиально-гумусово-железистый
BH	Иллювиально-гумусовый	Bh	Иллювиально-гумусовый
BF	Иллювиально-железистый	Bf	Иллювиально-железистый
BFM	Железисто-метаморфический	В	Иллювиальный
BT	Текстурный	В	Иллювиальный
BL	Лессивированный	В	Иллювиальный
BI	Глинисто-иллювиальный	В1	Иллювиальный переходный
BM	Структурно-метаморфический	В2	Иллювиальный
BMK	Ксерометаморфический	В1	Иллювиальный переходный
BСА	Аккумулятивно-карбонатный	Bk	Иллювиально-карбонатный
CRM	Криометаморфический	В	Иллювиальный
CR	Криогенный		-

CRH	Гумусово-криометаморфический		-
BPL	Палево-метаморфический	B	Иллювиальный
BAN	Охристый	B	Иллювиальный
CAT	Текстурно-карбонатный	Bк	Иллювиально-карбонатный
BSN	Солонцовый	B1	Солонцовый
ASN	Темносолонцовый		-
V	Слитой	B	Иллювиальный
TUR	Турбированный		-
Типодиагностические			
S	Аккумулятивно-солевой, солончаковый	Cs	Иллювиально-солевой
GS	Аккумулятивно-гипсовый	Cг	Иллювиально-гипсовый
SS	Солончаковый сульфидный		-
G	Глеевый	G	Глеевый
GO	Глеевый окисленный	G	Глеевый
Q	Крипто-глеевый, квазиглеевый, гидрометаморфический	G	Глеевый
F	Рудяковый		-
ML	Мергелистый		-
Агрогенно-преобразованные горизонты (АПГ)			
PY	Агросветлогумусовый	Апах	Пахотный
PU	Агротемногумусовый	Апах	Пахотный
PP	Подпахотный	Апах	Пахотный
PT	Агроторфяной	Апах	Пахотный
PH	Перегноный	Апах	Пахотный
P	Агрогумусовый	Апах	Пахотный
PB (PC)	Агрообразивный	Апах	Пахотный
PTR	Агроторфяно-минеральный	Апах	Пахотный
X	Химически-загрязненный		-
Почвообразующие породы			
C	Рыхлая почвообразующая порода	C	Почвообразующая порода
CLM	Рыхлая кора выветривания		
R	Плотная порода	C	Почвообразующая порода
D	Подстилаящая порода	D	Подстилаящая порода

Учебно-теоретическое издание

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
В КЛАССИФИКАЦИИ ПОЧВЕННЫХ СИСТЕМ**

Учебное пособие

Составитель Е.Г. Пивоварова

Под общей редакцией доктора сельскохозяйственных наук,
профессора Г. Г. Морковкина

Подписано в печать 13.11.2020 г. Формат 60*84/16.
Бумага для множительных аппаратов. Печать ризографная.
Гарнитура «Times New Roman». Усл. печ. л. 5,3. Уч.-изд. л. 3,6.
Тираж 50 экз. Заказ № 7.

РИО Алтайского ГАУ
656049, г. Барнаул, пр. Красноармейский, 98,
тел. 203-299