

ТЕКТОЛОГИЯ ПОЧВЕННОЙ МЕГАСИСТЕМЫ (ОБЩНОСТЬ ОРГАНИЗАЦИИ И АНАЛИЗА ДАННЫХ)*

© 2009 г. В. А. Рожков, Е. Б. Скворцова

Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 119017, Пыжевский пер., 7

e-mail: rva39@mail.ru

Поступила в редакцию 30.12.2008 г.

Рассмотрены основные представления о всеобщей организационной науке – тектологии. Некоторые принципы тектологии использованы для демонстрации общности методов формализованного анализа данных на разных уровнях организации почвенной мегасистемы, представленной разномасштабными визуальными образами от микроморфологического шлифа до почвенной карты, и соответствующими им атрибутивными показателями. Показано, что визуальная и атрибутивная составляющие микроморфометрических исследований по структуре и методам анализа не отличаются от таковых в картографической организации и анализе данных. Процедуры классификационных решений обладают особенно широкой общностью и являются универсальным средством организации и анализа эмпирических данных и построения гипотез. Они включают, наряду с приложением многомерного статистического анализа, количественные методы свертки информационного пространства, построение систем информативных признаков, построение иерархических или ординатных структур почвенных объектов и т.п. Современные информационные технологии: базы данных, ГИС, мощное математическое обеспечение – позволяют существенно продвинуть идеи тектологии для повышения результативности теоретических и прикладных исследований в почвоведении.

ВВЕДЕНИЕ

В почвах и почвенном покрове существуют фрактально изоморфные картины, которые, различаясь масштабами, сохраняют подобную информацию и могут обрабатываться общими методами [17–19]. К числу таких картин относятся изображения почвенного покрова, отдельных почвенных профилей, микроморфологических шлифов и др. В совокупности эти картины составляют почвенную мегасистему, визуализирующую представление о почвенной организации на различных масштабных уровнях. Онтологической основой для изучения такой системы могут служить тектология и тектологический подход. *Тектология* – всеобщая организационная наука – концепция построения общей теории организации и структуры систем, разработанная русским ученым А.А. Богдановым в начале прошлого века. Согласно этой концепции законы организации систем едины для любых объектов, вещественных и духовных, благодаря чему возможно их изучение в обобщенной форме. Теоретические построения А.А. Богданова в последнее время переживают второе рождение, однако в почвоведении пока остаются малоизвестными. Поэтому считаем возможным привести и обсудить несколько наиболее ярких цитат из недавних переводов его работ.

Тектология утверждает, что “у человечества нет иной деятельности, кроме организационной, нет иных задач кроме организационных, и … не может и не должно быть иной точки зрения на жизнь и мир кроме организационной” [2, с. 71]. Назначение тектологии заключается в преодолении ограниченных возможностей, “жизненного несовершенства или противоречий специализации…”, позволяющих решать лишь частные задачи, чтобы “всеобъемлющий опыт и гениальность на практике не заменялась традицией и шаблоном” [4, с. 56]. Тектология основывается на обобщении опыта научного и эмпирического знания в различных отраслях человеческой деятельности – в организации внешних сил природы, человеческих возможностей и опыта, связывая их воедино. И в технике, и в науке ряд величайших открытий, едва ли не большинство из них, сводится именно к *перенесению методов* за пределы тех областей, где они первоначально были выработаны [4, с. 51]. Тектология утверждает, что “всякий научный вопрос возможно ставить и решать с организационной точки зрения, чего специальные науки либо не делают, либо делают не систематически, подсознательно и лишь в виде исключения. Организационная точка зрения вынуждает ставить и новые научные вопросы, каких не способны наметить и определить, а тем более решить нынешние специальные науки” [4, с. 80]. “Основная идея тектологии … заключается в единстве строения и развития самых различных систем (комплекс-

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 07-04-00248а.

сов)... независимо от того конкретного материала, из которого они состоят. Это системы любых уровней организации – от атомных и молекулярных до биологических и социальных” (А.Л. Тахтаджан, цит. по [3]).

Тектология явилась предшественницей и предпосылкой общей теории систем (OTC), системного анализа, кибернетики, синергетики, вновь вос требованных основ современной экономики. Это видно при сопоставлении следующих рассуждений ученых разных поколений. “Разве допустимо, чтобы одни и те же законы были применены к сочетаниям астрономических миров и биологических клеток, живых людей и эфирных волн, научных идей и атомов энергии?.. Математика дает решительный и неопровергимый ответ: да” (Богданов, 1925, цит. по [5]). Тектологические основы синергетики позволяют “...рассматривать с единых позиций явления совершенно различной, казалось бы, природы, до сих находившиеся под наблюдением различных дисциплин”. (Г. Хакен, цит. по [6]). В настоящее время синергетика, как в недалеком прошлом OTC и особенно кибернетика, переживает настоящий бум: многочисленные публикации в специальной серии “Синергетика – от прошлого к будущему”, переиздание классических трудов И. Пригожина и И. Стенгерса, периодика, научные семинары и др. Идеи синергетики нашли отклик и в почвоведении [11, 12].

Всеобщность положений тектологии прекрасно иллюстрируется опытом земледелия. Так, агрономическая наука непосредственно связана с организацией землепользования, и уровень организованности последнего отражает целесообразность и эффективность деятельности агрокомплексов в цепной связи централизованной структуры агропромышленного комплекса. Уровень организованности комплексов характеризуется аналитической (тектологической) суммой (система земледелия + продуктивность + рентабельность и т.п.) – она тем выше, чем более превосходит сумму эффективности производства входящих в нее частей. Отдельные категории тектологии напрямую заимствованы из земледелия. Так, “закон наименьших” – аналогия закона минимума Ю. Либиха; подбор (сионим – отбор) – выбор возделываемых культур, сортов, системы удобрений, и пр.; биорегулятор – механизм двойного регулирования (в кибернетике – обратная связь) – буферность почвы и соотношение затраты–урожай; растение ингрессионно связано с почвой, но двойная норма высева не дает двойного урожая и др.

“Идея целостности может утвердиться в любой науке лишь тогда, когда исследованием отдельных частей подчинено исследованию целого, когда это целое витает перед взором исследователя как предпосылка. Утверждению подобного

подхода к исследованию частей в географии в огромной степени способствовало учение В.В. Докучаева. Он писал, что все элементы, образующие природный комплекс: вода, воздух почвы, растительный и животный мир – теснейшим образом переплетены друг с другом, и в принципе невозможно рациональное управление ими, если постоянно не иметь в виду “всю, единую, цельную и нераздельную природу, а не отрывочные ее части” [10, с. 71].

Цель данной статьи заключается, наряду с общим знакомством с некоторыми вопросами тектологии, в демонстрации общности методов формализованного анализа данных на разных уровнях организации почвенной мегасистемы, представленной разномасштабными визуальными образами (от микроморфологического шлифа до почвенной карты) и соответствующими им атрибутивными показателями.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данной статье по аналогии с визуальным методом исследования географических образов [7]¹ структура почвенной мегасистемы представлена “картинными” образами: микроморфологическими шлифами, морфологическим образом профиля, схемой структуры почвенного покрова (**СПП**), космическим снимком и почвенной картой некоторой местности (рис. 1). На рис. 1 рядом с изображением шлифа приводится схема дифференциации почвенного покрова специально, чтобы показать близость их визуальных образов, уже априорно допускающая общность возможных методов обработки. Контуры дистанционных снимков и почвенных карт также могут характеризоваться аналогично контурам пор и другим элементам микростроения почвы в шлифах. За каждым контуром на перечисленных визуальных образах закреплена соответствующая атрибутивная информация. Естественно, она различна для каждого образа, однако для всех представляется реляционной структурой.

Предварительный взгляд на перечисленные почвенные визуальные (или картинные) образы позволяет наметить определенную общность их представлений, которая требует своей формальной фиксации. Удачным опытом оказался под-

¹ Географический образ – это устойчивые пространственные представления, которые формируются в результате какой-либо человеческой деятельности... Они являются, как правило, компактными моделями определенного географического пространства (или географической реальности)...

Традиционная география... опирается на ряд исходных постулатов, сформированных в течение тысячелетий. Один из них – это доминирование в географических исследованиях и демонстрации их результатов визуальных методов... визуальные методы по-прежнему могут быть одним из наиболее эффективных способов исследования в географии [7].

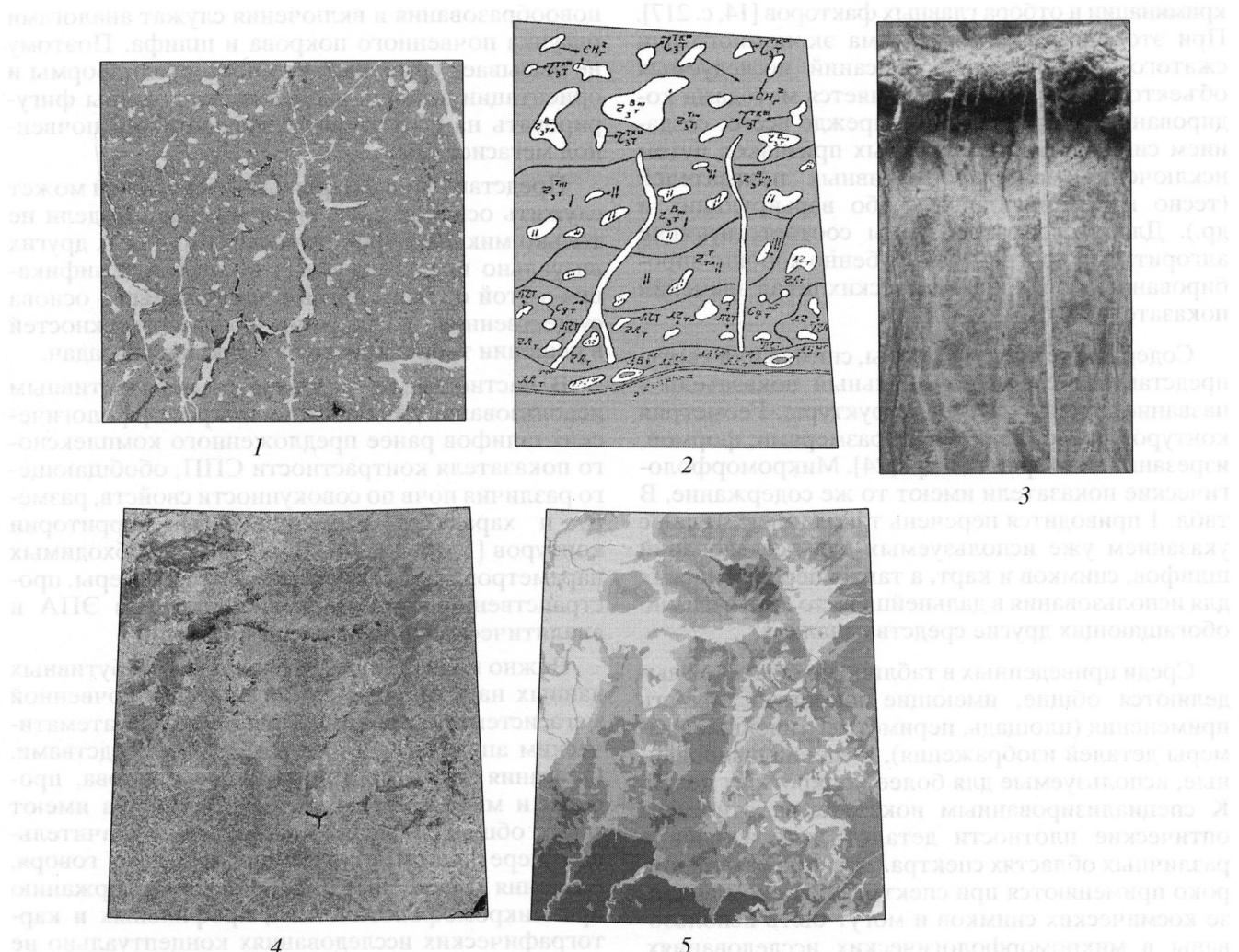


Рис. 1. Визуальные образы почвенной мегасистемы: 1 – микроморфологический шлиф (серая лесная почва, гор. В2); 2 – схема внутриландшафтной дифференциации почвенного покрова (по рисунку из книги Б.П. Ахтырцева и В.Д. Соловченко, 1984, цит. по [4]); 3 – почвенный профиль (дерново-подзолистая суглинистая почва на покровных суглинках); 4 – космический снимок Landsat листа №-38 Пенза–Саранск Государственной почвенной карты М 1 : 1000000; 5 – Государственная почвенная карта М 1 : 1000000 лист №-38 Пенза–Саранск.

ход, при котором данные о рассмотренных объектах организуются в качестве слоев специализированной геоинформационной системы [18, 23].

ОРГАНИЗАЦИЯ И АНАЛИЗ ДАННЫХ

Как правило, визуальные образы сопровождаются атрибутивными данными – легендами, содержательными описаниями шлифов, контуров и др. При этом в общем виде они формализуются

$$D_f = \{M_f; X_f; f = 1 \dots 12\},$$

где D_f – базы данных для f -го уровня; M_f – визуальная база данных (шлифы, аэрокосмические снимки, карты); X_f – атрибутивная база данных.

Базы данных и автоматизированные информационные системы в качестве информационных

моделей предметной области [8] естественно рассматривать как результат организации почвенных данных [16]. На ранних этапах развития автоматизированных информационных систем внимание к разработке баз данных было проявлено и в микроморфологических исследованиях [25].

Анализ данных многомерными статистическими методами, средствами кластер анализа и др. также следует считать организационными методами тектологии, поскольку решение задач в тектологии неотрывно от “гармоничной организации наличных данных” [4, с. 258].

Организация процесса анализа данных, извлекаемых из базы данных X_f , как автоматически управляемой последовательности статистических процедур, позволяет решать различные задачи классификации и группировки данных, задачи дис-

кriminalизации и отбора главных факторов [14, с. 217]. При этом возникает проблема экономного или сжатого представления описаний исследуемых объектов, которое осуществляется методами кодирования, аппроксимации, прежде всего, созданием системы информативных признаков путем исключения малоинформационных показателей (тесно коррелирующих, слабо варьирующих и др.). Для этого разработаны соответствующие алгоритмы и программы, особенно хорошо апробированные для арифметических шкал значений показателей [16].

Содержание контура почвы, снимка или карты представляет собой номинальный показатель – название почвы, контура, структуры. Геометрия контуров представляется их размерами, формой, изрезанностью границ и др. [24]. Микроморфологические показатели имеют то же содержание. В табл. 1 приводится перечень таких показателей с указанием уже используемых для исследований шлифов, снимков и карт, а также перспективных для использования в дальнейшем, то есть взаимно обогащающих другие средства анализа.

Среди приведенных в таблице показателей выделяются общие, имеющие широкую область применения (площадь, периметр и линейные размеры деталей изображения), и специализированные, используемые для более конкретных целей. К специализированным показателям относятся оптические плотности деталей изображения в различных областях спектра. Эти показатели широко применяются при спектрональном анализе космических снимков и могут быть использованы в микроморфологических исследованиях, однако они мало подходят для формализации картографических образов.

Существует также ряд потенциально широко профильных показателей, которые пока не получили должного внимания. Это различные показатели формы и ориентации деталей изображения. В настоящее время основная область их применения – микроморфологические исследования. Микроморфологи широко используют показатели изометричности $I = D/L$ (где S – площадь, P – периметр, D и L – поперечный и продольный габариты контуров пор в плоскости шлифа) и округлости $R = 4\pi S/P^2$ и ориентации (угол отклонения длинной оси детали от вертикали). В картографии также проводят оценку формы контуров по соотношению их площади и периметра (коэффициент расчленения элементарного почвенного ареала по В.М. Фридланду), однако ориентация контуров в характеристике элементарного почвенного ареала не учитывается. Также мало используется показатель изометричности или вытянутости контуров, определяемый по соотношению их продольных и поперечных габаритов. То же относится и к рисунку профиля почвы: фрагменты горизонтов,

новообразования и включения служат аналогами рисунка почвенного покрова и шлифа. Поэтому не вызывает сомнений, что показатели формы и ориентации деталей изображения должны фигурировать на всех уровнях визуализации почвенной мегасистемы.

Представленный перечень показателей может служить основой для создания общей модели не только микроморфологических, но и всех других визуально представляемых объектов. Унификация в этой области организации данных – основа существенного расширения круга возможностей в решении теоретических и прикладных задач.

В частности, представляется перспективным использование для описания микроморфологических шлифов ранее предложенного комплексного показателя контрастности СПП, обобщающего различия почв по совокупности свойств, размеру и характеру размещения на территории контуров [1, 16, 19, 24]. В качестве необходимых параметров при этом учитываются размеры, пространственное распределение контуров ЭПА и аналитические почвенные показатели.

Важно подчеркнуть, что анализ атрибутивных данных на всех уровнях организации почвенной мегасистемы осуществляется единым математическим аппаратом и программными средствами. Описания структуры почвенного покрова, профиля и микроморфологического шлифа имеют много общего, и ряд их показателей в значительной мере дополняет друг друга. Иначе говоря, различия конкретных баз данных по содержанию при микроморфологических, профильных и картографических исследованиях концептуально не отличаются ни по моделям данных, ни по алгоритмам обработки данных.

В качестве примера рассмотрим кластеризацию контуров в двух сильно отличающихся по масштабу изображениях: мелкомасштабной карте и почвенном шлифе.

На рис. 2 представлена карта природно-сельскохозяйственного районирования России. Предметами кластеризации являются контуры природно-сельскохозяйственных провинций. Атрибутами для построения дендрограммы послужили описания контуров районирования (осадки за год, сумма эффективных температур, коэффициент увлажнения, коэффициент биопродуктивности). На рис. 3. показан фрагмент почвенного шлифа из пахотного горизонта агрочернозема южного. Предметами кластеризации послужили почвенные поры, заметно различающиеся по форме. Атрибутами дендрограммы являются показатели округлости (R) и изометричности (I).

В обоих примерах визуализируется иерархическая структура совокупности исследуемых объектов (провинции и поры), отражая их сходство и внутреннюю группировку.

Таблица 1. Показатели, характеризующие микроморфологические, картографические и фотоизображения

Показатели деталей изображения	Область применения			
	микроморфология	аэрокосмические снимки	СПП	картографические образы
Содержание, название	+	±	+	+
Площадь детали (S)	+	+	+	+
ΣS /общая площадь шлифа (поля зрения)	±	—	—	—
Площадь включений в детали (S_b)	±	±	+	—
Число включений в детали	±	—	+	±
Средний диаметр детали	+	+	+	+
Максимальный диаметр детали	+	+	+	+
Минимальный диаметр детали	+	+	+	+
Длинная ось/короткая ось	+	±	+	+
Периметр детали (P)	+	+	+	+
Максимальная ось описанного эллипса	±	—	—	—
Минимальная ось описанного эллипса	±	—	—	—
Проекции X/Y описанного прямоугольника	±	—	—	—
Длина описанного прямоугольника (габарит L)	+			
Ширина описанного прямоугольника (габарит D)	+			
Радиус описанной окружности (R_{max})	+	—	—	—
Радиус вписанной окружности (R_{min})	+	—	—	—
R_{max}/R_{min}	+	—	—	—
Округлость $4\pi S/P^2$	+	—	+	+
Изометричность D/L	+			
Максимальный ферет диаметр	+	—	—	—
Минимальный ферет диаметр	+	—	—	—
Координата центра на ось X	±	±	±	±
Координата центра на ось Y	±	±	±	±
Ориентация (угол отклонения длинной оси от вертикали)	+	—	+	—
Номер класса	—	+	+	+
Кластер	—	±	±	±
Плотность голубого	±	+	—	—
Плотность зеленого	±	+	—	—
Плотность красного	±	+	—	—
$S_i \times$ средняя оптическая плотность	+	+	—	±

Примечания: + – показатель обычно используется; — не используется; ± – может использоваться.

Важно подчеркнуть, что рассуждения в терминах почвенного покрова и микростроения почвы можно и нужно понимать в более широком смысле. Так, для карт СПП это могут быть компоненты ландшафта, категории земель или составляющих их показателей, а для почвенных шлифов – отдельные агрегаты, новообразования, включения и другие микроморфологические образы. Для методической общности все они могут быть заменены словом “объекты”.

Картографическое представление СПП в тектологии определяется как *дегрессия*, означающая закрепление в пространстве и времени полученных в *эгрессивном* процессе результатов исследований территории. Дендрограммы или другие виды представления структуры множества объектов помогают выдвигать гипотезы о рациональном делении этого множества на классы (группы). Выделение таких классов осуществляется на основе критериев качества деления путем сечения вычислитель-

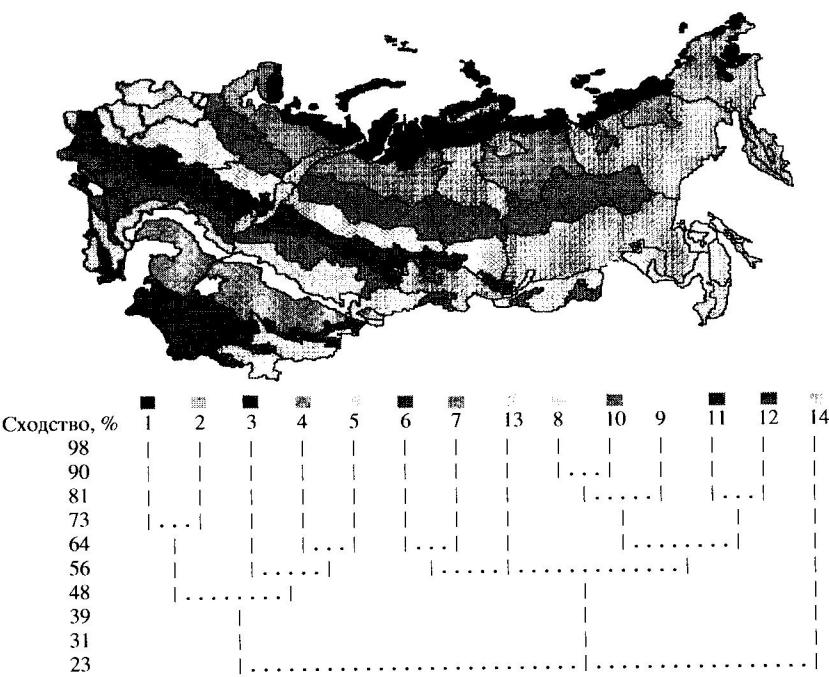


Рис. 2. Карта природно-сельскохозяйственного районирования СССР и дендрограмма сходства изображенных на карте провинций.

ных графов по ребрам наименьшего сходства (или, что то же самое, максимума расстояния). В этом проявляется тектологический “закон наименьших” – деление по наиболее “слабому звену”. Результаты такого деления на шлифе и карте выражаются выделением соответствующего контура – визуальной дигрессии. Формальная фиксация выделенных классов объектов осуществляется средствами дискриминантного анализа.

Дискриминантный анализ позволяет исследовать отношения и, в том числе, включение контуров и таксонов, комплексов почв. В задачах, когда заданы классы объектов (почв, образцов и т.п.), описанных несколькими показателями, этот вид многомерного статистического анализа реализует несколько тектологических свойств и процессов: дает оценку организованности комплекса, определяет тектологические границы, критерий их достоверности (закон наименьших или минимума) и др. В общем виде дискриминантная функция имеет вид:

$$L = MS^{-1},$$

где M – вектор средних значений признаков; S^{-1} – матрица, обратная ковариационной матрице признаков.

Она описывает гиперплоскость в пространстве признаков, на которой максимизированы расстояния между заданными классами объектов комплекса. В результате вычисляются проекции этих объектов на разделяющую плоскость, кото-

рая визуализирует отношения между объектами классов. В итоге возможны следующие отношения классов (контуров) (рис. 4).

Класс I включает класс II: $I \cup II$ – интервал (2, 3) входит в (1, 5); класс I пересекается с классом III: $I \cap III$ – интервал (1, 5) частично перекрывает (4, 6); класс IV не имеет отношений с другими (7, 8).

Мера существенности различий классов оценивается расстоянием Махаланобиса (Хоттelingа), которому соответствует определенное значение критерия Фишера (F со степенями свободы f_1, f_2): в рассмотренном примере, очевидно, что достоверно отличаются только классы I и IV.

В научной литературе достаточно примеров анализа атрибутивных почвенных данных. Сложилась вполне унифицированная последовательность этапов такого анализа в классификационной постановке, как наиболее широко охватывающей возможности извлечения информации из эмпирического материала [22]. Обработка микроморфологических шлифов не отличается от приемов и методов, используемых в исследований других почвенных объектов. Так, на рис. 5 показаны группы пор, выделенные методами автоматической классификации объектов по совокупности количественных признаков [16]. В качестве классификационных признаков приняты показатели округлости (R) и изометричности (I).

Количественные данные по этим показателям подвергали кластер-анализу для выявления классов пор, близких по геометрическим свойствам

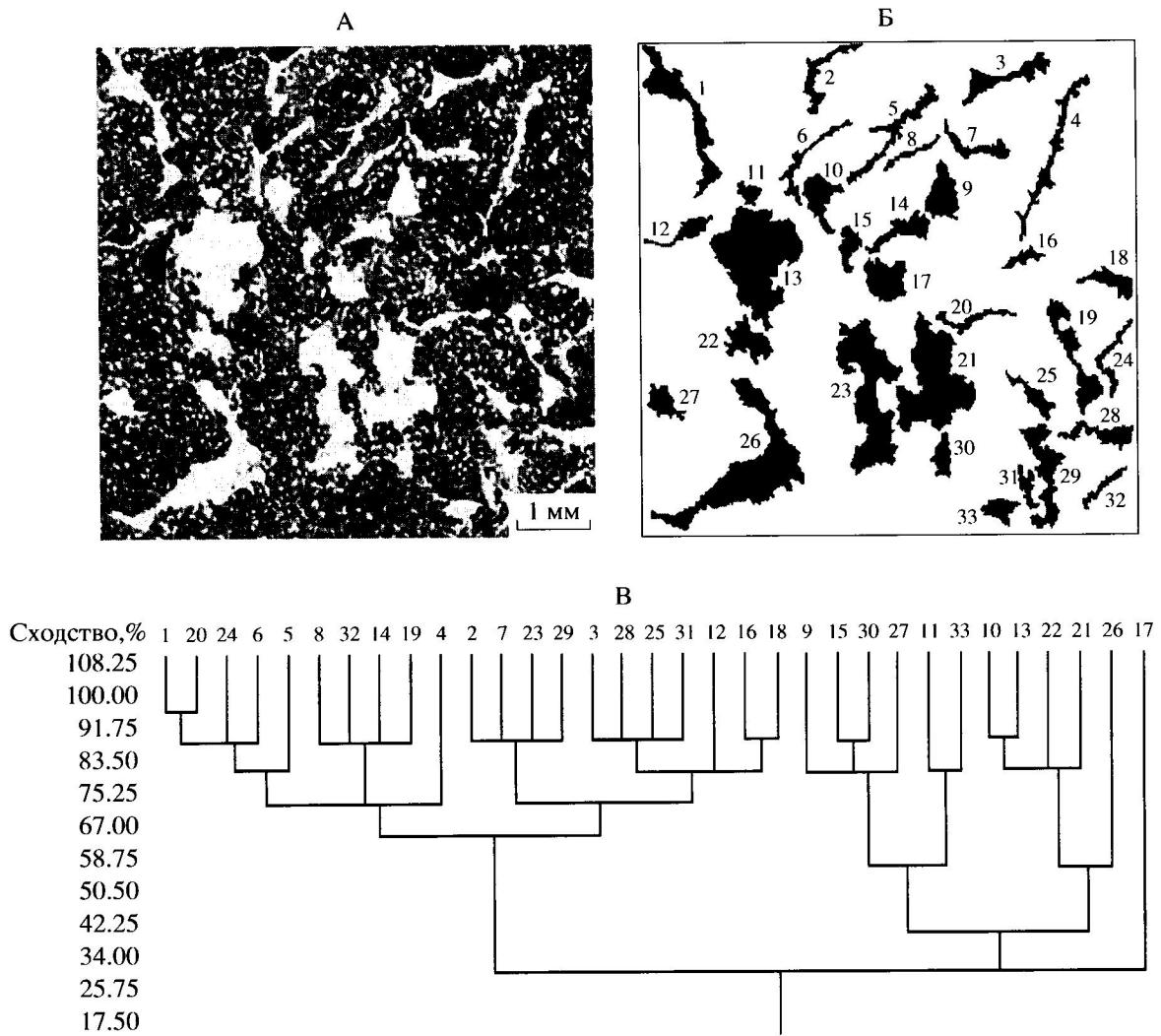


Рис. 3. Разнообразие почвенных макропор в шлифе (А), на фотограмме (Б) и на дендрограмме сходства макронпор по форме (В). Цифрами обозначены номера пор в исследованной выборке.

(численная таксономия или распознавание без обучения). Сформированные таким образом классы пор оценивали на достоверность различия и вычисляли систему дискриминантных функций, которые служат диагностирующими моделями и могут быть использованы для классификации (распознавания) новых объектов. В развернутом выражении линейная дискриминантная функция (ЛДФ) имеет вид:

$$l_{1,2} = a_0 + \sum_{k=1}^2 a_k x_k = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2.$$

где a_i – коэффициенты дискриминантной функции; x_i – значение признаков почв.

Система ЛДФ для выделенных трех классов порового пространства показана в табл. 2. В правой части таблицы показаны интервалы числовых

значений проекций многомерных объектов (здесь – формы пор, описанные двумя показателями) на гиперплоскость, выражаемую ЛДФ. Для первого класса пор интервал значений проекций составляет $(-234, -121)$; для второго типа $(-102, 0)$. Интервалы близки, но не пересекаются, следовательно, новые поры будут классифицироваться однозначно. Но останутся неопределенными типы, для которых проекции будут в интервале $(-121, -102)$ и т.п.

Таким образом, и визуальная и атрибутивная составляющие микроморфологических исследований ни по структуре, ни по методам анализа не отличаются от таковых в картографической организации и анализе данных. Внедрение средств многомерной статистики и кластер анализа обеспечивает методологическую общность этих визуальных составляющих почвенной мегасистемы,

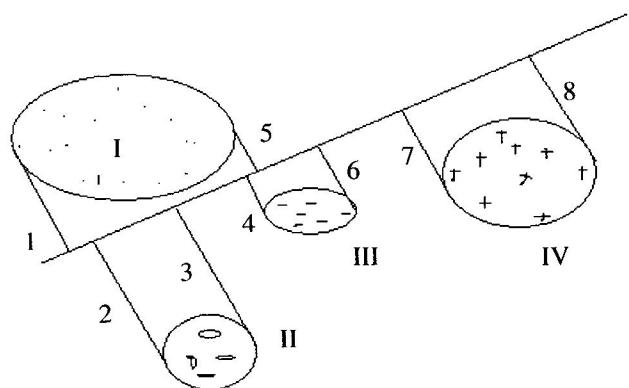


Рис. 4. Схематическое изображение проекций исследуемых объектов на разделяющую плоскость при линейном дискриминантном анализе. I–IV – номера классов объектов. 1–8 – номера границ интервалов, занимаемых проекциями классов объектов на разделяющую плоскость.

что непосредственно отвечает тектологической теории.

Аналогичными формальными средствами исследуются генетические горизонты, профили и таксономические подразделения почв. ЛДФ служат диагностирующими моделями разных почвенных объектов.

Так, ЛДФ, разделяющая гор. A2 автоморфных и A2g полугидроморфных дерново-подзолистых почв, имеет вид [21]:

$$la, g = -51.4d - 303.8D - 1.6\Pi + 7.9B + 8.9W,$$

где d – плотность твердой фазы почвы; D – объемная масса; Π – общая пористость; B – содержа-

ние воздуха; W – влажность. Степень различий между горизонтами достаточно велика ($F = 3.4$ при $f_1 = 5$ и $f_2 = 3$) – интервалы проекций на ЛДФ составляют для первой почвы 601.1–612.2, для второй – 582.9–595.3.

Различия между профилями почв (на примере подтипов каштановых и светло-каштановых почв) можно проследить по пяти наиболее информативным (из 25-и) показателям [18]. Разделяющая ЛДФ имеет вид:

$$lk_{ск} = 52.4 + 11.9x_1 + 0.65x_2 + 62.2x_3 + x_4 - 0.07x_5,$$

где x_1 – содержание гумуса в гор. А пах, %; x_2 – глубина нижней границы гумусового горизонта, см; x_3 – содержание валового азота в гор. В1, %; x_4 – количество обменного Са в гор. В2, мг-экв; x_5 – содержание ила в гор. В2, %. Проекции на ЛДФ средних значений этих показателей для каштановых почв составила 6.22, для светло-каштановых – 30.6, то есть проекции достаточно далеко разведены на цифровой оси.

Приведенные примеры демонстрируют реальную общность постановки задач и формальных средств их решения на микро- и макроуровнях почвенной мегасистемы.

В заключение отметим, что общая схема анализа данных почвенной мегасистемы может быть представлена следующим образом (рис. 6).

Ограниченнность объема статьи не позволяет дать более развернутое представление об идеологии и методах, объединяющих все разделы почвоведения на основе тектологии. В частности, не охвачена тема создания системы информативных признаков, существенно оптимизирующих иссле-

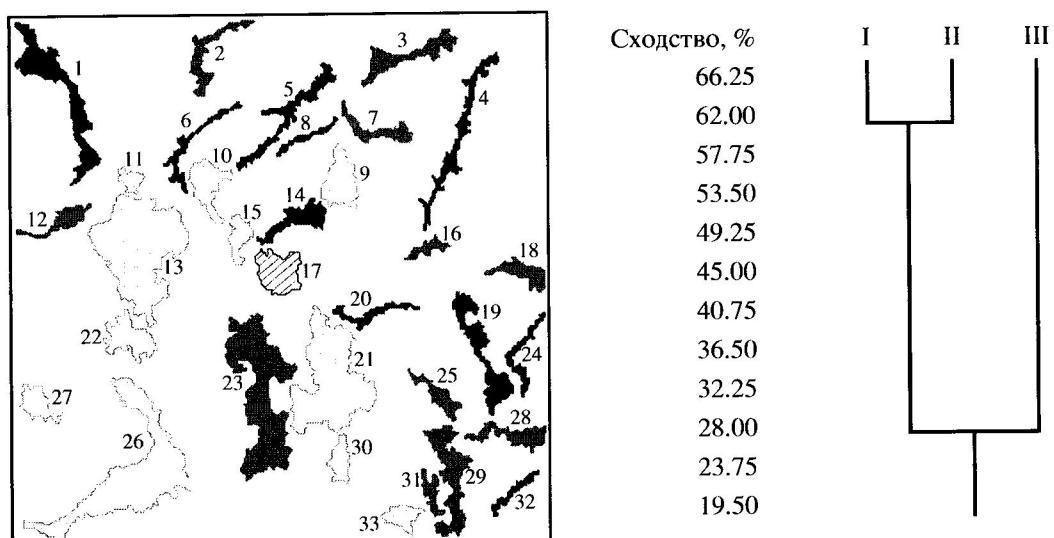


Рис. 5. Группировка макропор по классам формы: I – слабовытянутые изрезанные (светло-серые контуры); II – вытянутые изрезанные (серые контуры); III – сильновытянутые изрезанные (черные контуры). Среднее внутриклассовое сходство $Sint = 72$; среднее межклассовое сходство $Sbet = 39$. Пора № 17 не принадлежит к выделенным классам. Цифрами обозначены номера пор в исследованной выборке.

Таблица 2. Линейные дискриминантные функции

№ сравниваемых классов		Критерий Фишера, F	Степень свободы, f_2	Коэффициент ЛДФ			Проекции объектов в классах на разделяющую плоскость			
							класс i		класс j	
класс i	класс j			a_0	a_1	a_2	min	max	min	max
1	2	22.5	18	-20.5	-35.7	-38.8	-234	-121	-102	0
1	3	86.9	18	-39.4	-39.7	-59.5	-453	-339	-171	0
2	3	42.3	19	-32.6	-26.7	-43.8	-142	-101	-76	0

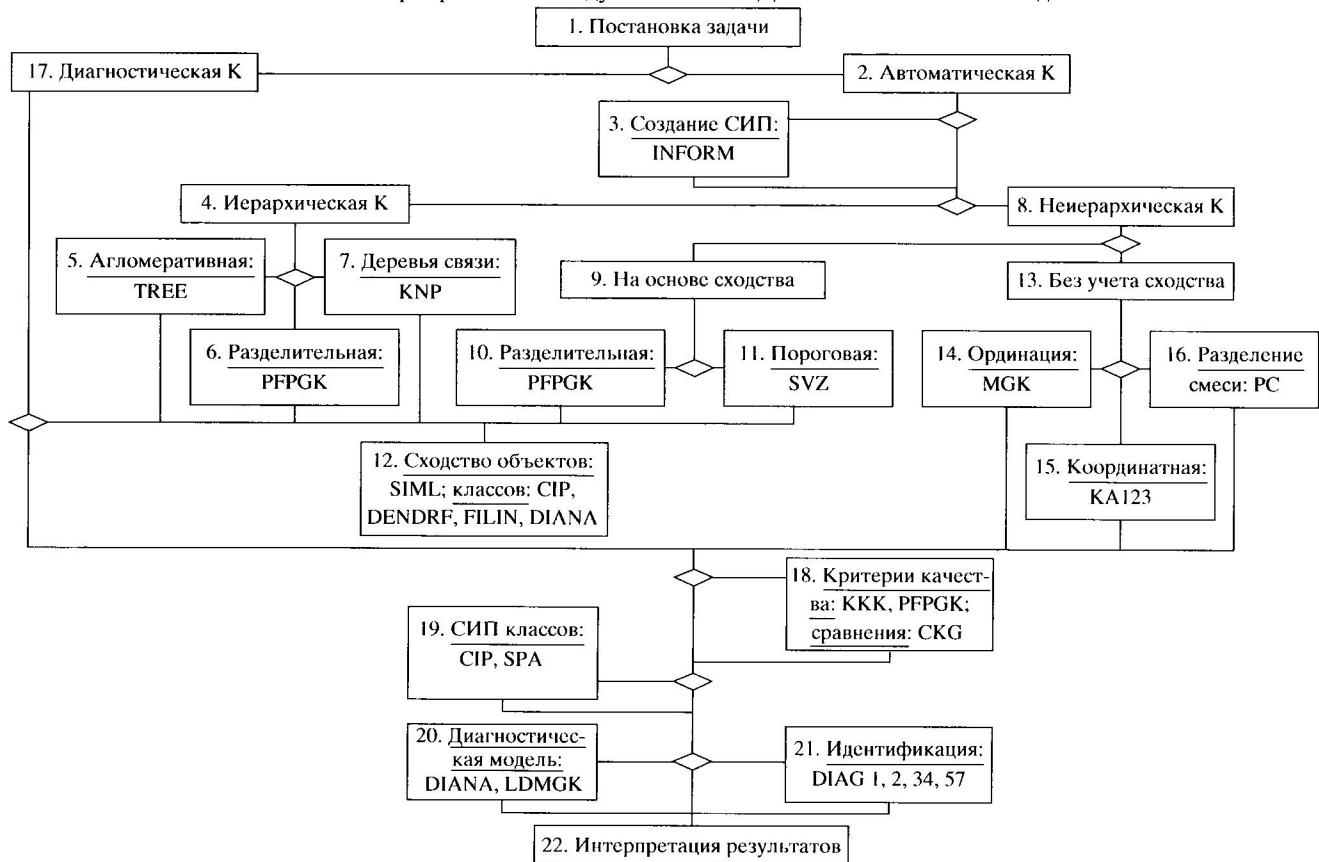
дования и их стоимость, подходы к количественной оценке качества и сравнения разных классификаций, наконец, построения исчерпывающих формализованных классификаций в заданном пространстве признаков.

Перспективой развития идей тектологии является, прежде всего, полная формализация описаний и анализа почвенных данных, автоматизация принятия решений в условиях неопределенности и решения многокритериальных задач на основе современных информационных технологий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, приведенные результаты иллюстрируют и подтверждают общность методов представления исходных данных и методов их формализованной обработки на всех уровнях организации почвенной мегасистемы: от микроморфологии порового пространства, профиля до мелкомасштабных почвенных карт. Общим является концептуальное представление самой мегасистемы, включающее визуальную (снимки, карты) и атрибутивную базы данных. Совместно с математическим обеспечением задач анализа

Основные программные модули ППП ПЕДОКЛАСС по типам задач

**Рис. 6.** Общая схема и программное обеспечение анализа данных почвенной мегасистемы.

данных они образуют модель почвенной мегасистемы, которая демонстрируется на задачах классификации почвенных объектов любого уровня организации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белобров В.П. О новом подходе к оценке контрастности почвенного покрова // Почвенные и агрохимические исследования с применением ЭВМ. М., 1981. С. 50–59.
2. Богданов А.А. Тектология. Всеобщая организационная наука. Кн. 1. М.: Экономика, 1989. 304 с.
3. Богданов А.А. Тектология. Всеобщая организационная наука. Кн. 2. М.: Экономика, 1989. 304 с.
4. Богданов А.А. Тектология. Всеобщая организационная наука. М.: Финансы, 2003. 496 с.
5. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Основания синергетики. Человек, конструирующий себя и свое будущее. М.: КомКнига, 2007а. 232 с.
6. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Синергетика: Нелинейность времени и ландшафты коэволюции. М.: КомКнига, 2007б. 272 с.
7. Замятин Д.Н. Метагеография: пространство образов и образы пространства. М.: Аграф, 2004. 512 с.
8. Мартин Дж. Организация баз данных в вычислительных системах. М.: Мир, 1980. 662 с.
9. Мостеллер Ф., Тьюки Дж. Анализ данных и регрессия. М.: Финансы и статистика, 1982. 317 с.
10. Мукитанов Н.К. От Страбона до наших дней (эволюция географических представлений и идей). М.: Мысль, 1985. 237 с.
11. Никитин Е.Д. Общие закономерности сложных систем // Синергетика. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. Т. 3. С. 337–344.
12. Никитин Е.Д. Философское почвоведение и синергетика // Синергетика. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. Т. 4. С. 300–311.
13. Новый энциклопедический словарь. М.: Большая Российская энциклопедия, РИПОЛ КЛАССИК, 2004. 1456 с.
14. Плескунин В.И., Воронина Е.Д. Теоретические основы организации и анализа выборочных данных в эксперименте. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1979. 232 с.
15. Роде А.А. Подзолообразовательный процесс. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1937. 454 с.
16. Рожков В.А. Почвенная информатика. М.: Агропромиздат, 1989. 222 с.
17. Рожков В.А. Формализация описаний и анализа СПП // Пространственно-временная организация почвенного покрова: теоретические и прикладные аспекты. СПб.: Изд. дом ЛГУ, 2007. С. 18–22.
18. Рожков В.А., Скворцова Е.Б. ГИС почва: от макро- до микроуровня. Экспериментальная информация в почвоведении: теория и пути стандартизации. Тр. Всеросс. конф. М.: Моск. ун-та, 2005. С. 144–145.
19. Рожков В.А., Скворцова Е.Б. Подходы и методы изучения почвенных контуров // Пространственно-временная организация почвенного покрова: теоретические и прикладные аспекты. Сб. мат-лов междунар. науч. конф. СПб, 2007. С. 115–117.
20. Рожков В.А., Симакова М.С., Юшкевич С.Х. Таксономический анализ почв методами численной классификации // Почвоведение. 1988. № 5. С. 7–14.
21. Рожков В.А., Смейян Н.И. Опыт численной классификации некоторых почв Белоруссии // Почвоведение. 1984. № 3. С. 5–13.
22. Скворцова Е.Б., Калинина Н.В. Микроморфометрические типы строения порового пространства целинных и пахотных суглинистых почв // Почвоведение. 2004. № 9. С. 1114–1125.
23. Скворцова Е.Б., Рухович Д.И., Королева П.В. Составление картосхем порового пространства почв с помощью геоинформационных и микроморфометрических технологий // Почвоведение. 2006. № 11. С. 1352–1362.
24. Сорокина Н.П. Методология составления крупномасштабных агроэкологически ориентированных почвенных карт. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2006. 160 с.
25. Norris J.M., Cumpson S.W., Sleeman J.R. A storage retrieval system for micromorphological description of soil // Soil Techn. Nap. 1971. № 3 Р. 487–491.