

А.К. ЧЕРКАШИН

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия, akcherk@irnok.net

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ УЧЕНИЯ О ГЕОСИСТЕМАХ

Обсуждаются достижения и проблемы учения о геосистемах В.Б. Сочавы, его распространение за рубежом и развитие в направлении совместного использования концептуального, статистического и математического анализа в географии. Учение рассматривается в контексте общей теории систем и возможности применения других интертеорий, в единых системных терминах объясняющих свойства природы, хозяйства и населения территории. Базовым понятием является «структура», наводящая системный порядок на множестве элементов для обеспечения их организации и функционирования. Геосистемы различаются по типу интертеоретического описания элементов и их связей — сложные, функциональные, динамические, поведенческие, классификационные и др., а также по форме выражения: природные и интегральные геосистемы, метасистемы, моносистемы, полисистемы, геокомплексы, эписистемы, хорионы, холасистемы. Их свойства отражаются специальными математическими формулами дифференциальной геометрии расслоенных пространств. В частности, холасистемы целостности описываются как структуры поверхностей, заданных непрерывными функциями (многообразиями), огибающих в этих пространствах плоскости функций множества соседних слоев-моносистем (геомеров) и тем самым определяющих их попарную связанность и территориальную организацию полисистем (геохор) в единстве географической среды. Различные типы геосистем рассматриваются только как предметы, а не объекты географических исследований, что позволяет выбрать конкретные направления, модели и методы решения научных задач. Формализация накопленных геосистемных знаний подкрепляется концептуальными схемами в виде графов и графиков и материалами статистической обработки первичных и картометрических данных. В.Б. Сочава поставил задачу создания функционально-геомерной модели, чтобы отобразить важность геомеров в структуре геохор. Эту задачу предлагается обсудить в терминах ординалистской интертеории описания распределения геомов по значимости (встречаемости) в разных физико-географических областях Байкальской Сибири. Предполагается, что одна и та же проблема решается средствами разных интертеорий с использованием соответствующего математического аппарата. Разработка таких исследовательских средств соответствует различным направлениям совершенствования методов геосистемного анализа.

Ключевые слова: географические системы, определение понятий, интертеории моделирования, геосистемный анализ, функционально-геомерные модели, территория Байкальской Сибири.

A.K. CHERKASHIN

V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
664033, Irkutsk, ul. Ulan-Batorskaya, 1, Russia, akcherk@irnok.net

THE CURRENT STATE AND DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF THE GEOSYSTEM DOCTRINE

The achievements and problems of the V.B. Sochava's geosystem doctrine, its spread abroad and development towards the joint use of conceptual, statistical and mathematical analysis in geography are discussed. The doctrine is considered in the context of the general systems theory and the possibility of applying other intertheories that explain the properties of nature, economy and population of a territory in unified system terms. The basic concept is a "structure" that imposes a system order on a set of elements to ensure their organization and functioning. Geosystems differ in the type of intertheoretical description of elements and their relationships — complex, functional, dynamic, behavioral, classificational, etc., as well as in the form of expression: natural and integral geosystems, metasystems, monosystems, polysystems, geocomplexes, episystems, chorions, and holasystems. Their properties are reflected by special mathematical formulas of differential geometry of layered spaces. In particular, holasystems of integrity are described as structures of surfaces defined by continuous functions (manifolds), enveloping in these spaces

the planes of functions of a set of adjacent monosystem layers (geomeres) and thereby determining their pairwise connectivity and territorial organization of polysystems (geochores) in the unity of the geographical environment. Different types of geosystems are considered only as subjects, not objects of geographical research, which makes it possible to choose specific directions, models and methods for solving scientific problems. Formalization of accumulated geosystem knowledge is supported by conceptual schemes in the form of graphs and charts, and materials of statistical processing of primary and cartometric data. V.B. Sochava set the task of creating a functional-geomic model to reflect the importance of geomers in the structure of geochores. It is proposed to discuss this problem in terms of the ordinal intertheory of describing the distribution of geoms by significance (occurrence) in different physical-geographical regions of Baikal Siberia. It is assumed that the same problem is solved by means of different intertheories using the appropriate mathematical apparatus. The development of such research tools corresponds to different directions of improving the geosystem analysis methods.

Keywords: *geographical systems, definition of concepts, intertheories of modeling, geosystem analysis, functional and geomic models, territory of Baikal Siberia.*

ВВЕДЕНИЕ

Академик Виктор Борисович Сочава (1905–1978) хорошо известен своими научными работами в области физической географии и геоботаники, изучения ландшафтов сибирской тайги, тематического картографирования и системных исследований природы. На фоне мирового системного движения 1960-х гг. он первый в 1963 г. ввел в географическую науку термин «геосистема» [1] и наглядно продемонстрировал возможность его применения для формирования учения о геосистемах [2], сыгравшего важную роль в объединении отраслевых географических дисциплин и в становлении структурно-динамического ландшафтоведения и прикладной географии. Трудом учеников В.Б. Сочавы и его многочисленных последователей геосистемные представления прочно укоренились в географии, что отображено в серии обзорно-аналитических статей с описанием истории развития геосистемной парадигмы и приложения ее идей в различных направлениях географических исследований [3–7]. В публикациях В.Б. Сочавы [2, 8, 9] представлено много оригинальных и полезных суждений, опередивших свое время и интересных до сих пор с точки зрения постановки научных задач и определения путей их решения.

Геосистемный подход к изучению территорий параллельно и последовательно разрабатывался также учеными-географами европейских и латиноамериканских стран [10]. Термин «геосистема» на английском языке появился в 1967 г. (Д. Стодарт), на французском — в 1968 г. (Ж. Бертран) и на немецком — в 1967 г. (Е. Нефф). Во Франции эта концепция [11] формировалась для объединения отраслей физической географии. Ж. Бертран понимал геосистему как средство переосмысления географического подхода к ландшафту наподобие «русского ландшафтоведения». По его мнению, геосистема занимает место на стыке между природной средой и обществом, позволяя рассматривать окружающую среду в социальной перспективе [12]. Распространению учения о геосистемах способствовал Н.Л. Беручашвили в период своей работы во Франции [13, 14].

В Бразилии в 1980-х гг. пионером внедрения системной теории в географию был К.А. Монтейро [15]. Этому предшествовало его знакомство с публикацией Ж. Бертрана [11] и других авторов — создателей концепции системного анализа в физической географии. Большое влияние оказали переведенные работы В.Б. Сочавы [16, 17], в том числе в изложении бразильских географов и экологов [18, 19]. Учение о геосистемах признано концептуальной основой решения сложных проблем взаимодействия общества и природы в части оценки и анализа природных и антропогенных характеристик, выявления их взаимосвязей, диагностирования возникающих противоречий, междисциплинарного синтеза и практического приложения полученных географических знаний [15]. Через стремление к большей строгости обоснования результатов создавалась новая научная методология, базирующаяся на системном подходе и применении математических методов, названная «теоретической географией» [20].

В период становления геосистемное мышление конкурировало с количественным пространственным анализом, связанным с тенденцией математизации географии и использованием новых технологий сбора и обработки данных [21]. Количественный анализ связан с новым представлением о геосистемах, имея в виду географические информационные системы (ГИС).

Цель статьи — на основе формальных правил объяснить известные географические закономерности, относящиеся к учению о геосистемах, отразить потенциал развития учения в различных системных направлениях и, основываясь на собственных результатах исследований, дополнить прежние и обосновать новые понятия, модели и методы полигеосистемного анализа пространственных данных и знаний.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОСИСТЕМЫ

Статья В.Б. Сочавы 1963 г. [1] была посвящена определению понятий физической географии. Она и последовавшие за ней работы [2, 8, 9] постоянно цитируются в публикациях в нашей стране и за рубежом. Впервые появившийся в этой статье термин «геосистема» и его дефиниция вошли в учебники и справочные издания. Это системное понятие находится в развитии, используется при решении задач натурного изучения, картографирования и моделирования ландшафтов. Вместе с тем геосистема и связанные с ней концепты многими авторами ошибочно трактуются и неверно применяются в исследованиях, что обусловлено существованием тонкостей прочтения терминов, свойственных любой науке и передающихся в научной среде от одного поколения ученых к другому как культурное наследие. Необходимо не только знать определения, но и эффективно применять их на практике, используя старые и разрабатывая новые алгоритмы геосистемного анализа [22]. Для этого надо подходить к сформулированной проблеме с более высоких методологических позиций, предлагать ее собственные конструктивные решения.

Такая возможность появляется в связи с разработкой иерархической системы организации научных знаний [23], на метатеоретическом уровне представленной тремя независимыми секторами общесистемной (концептуальной), специальной (эмпирической) и формальной (математической) герменевтики — изучения средового контекста проявления законов жизни природы и общества. Каждый сектор эквивалентно выражает и передает научную информацию в разной форме. Феноменологический анализ и синтез осуществляют разделение и сложение функций интертеоретического объяснения и метатеоретического понимания смысла и значения явлений. География в разной степени проявляется в каждом секторе количественных и качественных исследований. Учение о геосистемах В.Б. Сочавой рассматривается с общесистемных позиций [2] с отображением знаний в виде карт, схем, графов и графиков, иллюстрирующих мысли ученого. Знания общего содержания дополняются натурными наблюдениями, приборными измерениями, экспериментальными исследованиями и статистической обработкой [24]. На базе эмпирических данных и концептуальных схем создаются математические модели и методы анализа пространственной информации. С использованием таких средств предлагаются и анализируются формулы для получения выводимых знаний. Три разных аналитических подхода не исключают, а дополняют друг друга, обеспечивая в комплексе основу для критики и тем самым устойчивое развитие географической науки по собственной траектории. Ключевым здесь является применение математического аппарата, перевод содержательного знания в символическую форму посредством абстрактного выражения законов и закономерностей.

За многие десятилетия содержание термина «геосистема» не претерпело существенных изменений [3] по сравнению с предложенным В.Б. Сочавой вариантом [2, с. 292]: геосистема — это «особый класс управляющих систем; земное пространство всех размерностей, где отдельные компоненты природы находятся в системной связи друг с другом и как определенная целостность взаимодействуют с космической сферой и человеческим обществом», т. е. с окружающей средой геосистемы. Дополнительно геосистемы подразделяются на геомеры и геохоры — гомогенные и гетерогенные, территориально однородные и неоднородные образования. В дефиниции явно учитывалось мнение Л. фон Берталанфи [25], который в своих работах по общей теории систем обобщил принципы целостности, организации, упорядоченности, изоморфизма и эквифинальности [26]. В своих системных исследованиях В.Б. Сочава в основном ориентировался на тектологию А.А. Богданова [27] — учения об условиях и перспективах создания всеобщей организационной науки изучения типов систем, проявляющихся в различных областях действительности, в многообразных и многоуровневых сферах познания. В.Б. Сочава [2] писал о необходимости создания географической тектологии как общего учения о геосистемах для заимствования у других наук методов и понятий, унификации их применения в различных географических дисциплинах в одинаковом смысле: структура, система, функция и др.

В данном В.Б. Сочавой определении геосистемы ключевыми являются слова «управление», «пространство», «размерность», «компоненты», «взаимодействие», «связь», «целостность», «окружение» и «среда». В нем отражено два общенаучных объяснения системы: как множества элементов и множества связей между ними, образующих целостность, а также как выражения информационных потоков и связей, когда в открытой для взаимодействия системе входной сигнал по некоторым правилам преобразуется в выходной сигнал [28]. В определении В.Б. Сочавы отражены географические особенности земных систем в их компонентном составе и факте взаимодействия природы и общества, влияния окружающей среды. В обобщенном смысле «компонент» трактуется как автономная подсистема, часть целого, однородная по характеристикам элементов различных геосфер. В такой интерпретации

компонентов определение геосистемы сильно ограничено по объему понятия. Оно соответствует моносистеме в трактовке В.С. Преображенского [29] и геомеру по В.Б. Сочаве [2]. В полигеосистеме (геохоре) «компонентами» уже становятся участки геомеров. В качестве компонентов в геосистему включаются экономические и социальные блоки, и она превращается в интегральную геосистему [6], в которой отображается многоуровневое взаимодействие всех составляющих природы, хозяйства и населения на фоне соответствующего по масштабу средового окружения. Здесь, рассматривая компоненты в качестве подсистем, постулируется иерархическое устройство геосистемы.

В приведенном определении геосистемы термин «системные» не нужен, поскольку в предложенном варианте дефиниция явно содержит круг определяемого по определяющему. В определение геосистемы напрямую не включено требование однородности, ее динамической изменчивости, полисистемности проявления, своеобразия системных качеств. Данное В.Б. Сочавой вербальное отображение объективно существующих геосистем является достаточно общим, выделенным из множества формулировок систем только связью с земной поверхностью, географической оболочкой и средой, что не позволяет судить о моделях и методах, необходимых для решения поставленных задач. По этой причине учение о геосистемах в прежнем и современном виде в основном представляет собой иллюстрацию к его обобщенному содержанию, на примерах демонстрирующую пространственно-земные связи через описание, характеризацию и сравнение территориальных объектов. Благодаря этому учение В.Б. Сочавы представлено реалистическими утверждениями о структуре, динамике и эволюции территорий с учетом характера соотношения компонентов природы [8, 15]. В итоге направления реализации геосистемного подхода прежде всего связаны с конкретными свойствами объектов исследований, определяющими выбор класса используемых системных моделей.

Теоретическое исследование начинается с определения системы в теоретико-множественных терминах общей теории систем сектора концептуальных знаний с дальнейшей ее интерпретацией в специальных географических понятиях [30] через выявление проблем, формулировку вопросов и постановку задач. Для любого определения необходимы так называемые семантические множители (примитивы, элементы смысла) — базовые понятия, содержание которых заранее известно. К ним относятся следующие термины: структура, существование, элемент, воздействие [30]. Структура означает некоторое правило (закон) упорядочения частей целого, которое через отношения задает это целое (целостность), тем самым ограничивая свободу частей их связями. Элементы — относительно самостоятельные части целого (типа атомов в составе молекул или фаций в структуре ландшафта). Структура элементов определяет систему — молекулу из атомов, геохору из геомеров как упорядоченных последовательностей разнотипных частей. В зависимости от состава элементов и заданных структур возникают системы разного рода. Структура всех систем образует универсальную систему (универсум, мир как целое). Математическая структура — это аналитическая функция F одной или нескольких независимых переменных (элементов) $x = \{x_i\}$, системная функция $F(x)$. В логике определения используются стандартные операции теории множеств (рис. 1): тождество ($A \equiv A$), отображение ($\Psi: A \rightarrow B$), объединение ($A \cup B$), пересечение ($A \cap B$), произведение ($A \times B$), принадлежность ($K \subset B$), включение элементов ($a \in A, b \in B$), разность — различие, сравнение ($A \setminus B, B \setminus A$) и дополнение до целого X ($X \setminus A$). В математическом анализе применяются средства теории функций, дифференциального и интегрального исчисления.

Воздействие отражает направленное влияние одной структуры (элементов, системы) на другую (см. рис. 1). Пара прямо противоположных воздействий формирует связь систем. Разность этих воздействий определяет действие одной системы на другую. Объединение разнонаправленных действий

есть взаимодействие. Структура связей системы рассматривается как организация, в частности, территориальная организация элементов географического пространства. Структура действий называется функцией, функционированием системы. Система, принадлежащая другой системе, считается подсистемой (компонентом, частью) системы по иерархии.

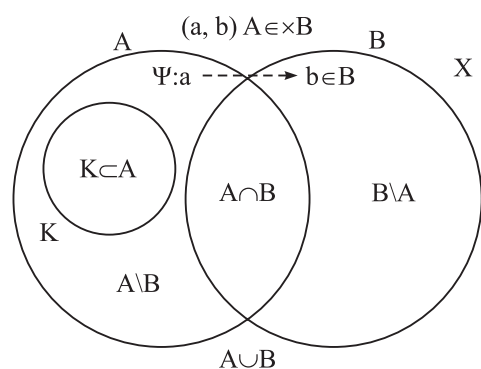


Рис. 1. Структура связи множеств A и B универсальной структуры X : взаимного воздействия $A \cup B$ с действиями $A \setminus B$ и $B \setminus A$, границей $A \cap B$, вложениями $K \subset A$ компонентов K , отображениями $\Psi: A \rightarrow B$ элементов $a \in A$ в $b \in B$ и их прямого произведения $(a, b) \in A \times B$ — парного сочетания.

Среда системы — это ее дополнение в универсуме систем данного рода. Пересечение систем считается общей частью и соответствует их границе. Изменение систем есть их различие, например, во времени или от места к месту. Изменения порождаются совокупным действием систем среды.

Разные формы независимого существования рассматриваются в качестве инвариантов — фундаментальных свойств, которые не меняются, сохраняются при различного рода преобразованиях во времени и пространстве, по любому направлению (пути) действия. Например, свойство истинности суждений при логических операциях или зональные качества геосистем разных местоположений в границах ареала типа природной среды. Общая инвариантность трактуется как качество, которое для всех, всегда и везде существует, сохраняется. Частная инвариантность — это свойство, сохраняющееся для систем определенного рода, тип которых определен этим свойством, например, отражен в физическом законе сохранения массы или энергии. Подчеркивается важность для географии концепции инвариантов и переменных состояний для понимания своеобразия поместных связей компонентов природы через обмен веществом и энергией, что основано на признании объективного существования физико-географических единиц [15].

Для системных функций $F(x)$ инвариантность существования означает постоянство их величины $F(x) = C = \text{const}$ во всей области допустимых значений переменных $x = \{x_i\}$. Это свойство представляет собой признак однородности системы, связанности и заменимости ее элементов [31]. Без принятия гипотезы гомогенности геосистемы невозможно судить о наличии связей ее элементов и границ, на которых характер этих связей меняется.

Уже первые опыты моделирования геосистем показали, что даже для решения одной задачи следует создавать несколько разных моделей и графов, отражающих как общие географические, так и специальные для геомеров и геохор закономерности [9]. В данном случае познание реальности становится многоаспектным, строящимся по принципу эпистемологического плюрализма из независимых и несводимых друг к другу форм знания и методов познания. Такое понимание приводит к интерпретации объектов как полисистем, представленной в работах В.П. Кузьмина, Ю.А. Урманцева, П.Г. Щедровицкого и других авторов. Полисистемность предполагает описание объекта как набора разнокачественных систем различного рода и соответственно наличие разных независимых теорий, изучающих законы специального типа [22, 30]. Л. фон Берталанфи в своем варианте общей теории систем признавал изоморфизм различных законов, управляющих функционированием системных объектов [32].

В географии приходится мыслить не системами вообще, а системами определенного рода, для каждой из которых разрабатываются соответствующие модели и методы. По правилам изоморфизма понятий и законов индусируются сквозные теории (интертеории), в специальных системных терминах математическими средствами описывающие природу и общество [30] как сложные системы-комплексы [33], функциональные системы [34], поведенческие системы [35] и т. д. Например, Н.Л. Берущавили [36] рассматривал поведение геосистем как раздел ландшафтоведения — этологию ландшафта. По мнению А.Г. Исаченко [37], всякий географический комплекс (ПТК) есть система — понятие более широкое (универсальное), родовое по отношению к комплексу.

Отмечается двойственность трактовки понятия «система». С одной стороны, оно используется для обозначения объектов (природная или хозяйственная система), а с другой — как способ описания, модель и метод изучения объектов. Это хорошо проявляется при противопоставлении объекта и предмета научных исследований. Часто геосистема рассматривается как объект изучения [38], но при полисистемной интерпретации объекта возникает вопрос, о какого рода системе идет речь. При такой предметной неопределенности в научных текстах теряется логика и смысл, что потребовало перестройки существующих знаний в соответствии с их полисистемной дифференциацией [30].

Принимая во внимание сделанные замечания, надо полагать, что геосистема — это частный аспект проявления в окружающей человека среде разнотипных гомогенных и гетерогенных иерархических структур элементов и компонентов реально и потенциально существующих, взаимодействующих и изменяющихся во времени и в пространстве объектов геоуниверсума. В этом определении в полной мере учитываются истины, зафиксированные в аксиомах учения о геосистемах [39]. Вместе с тем добавлено требование полисистемности географических объектов, предметной определенности, разнообразия их системных интерпретаций, многообразия типов их территориального проявления. Полисистемность определяет множественность свойственных геосистеме качеств: полимасштабность, многомерность, полиструктурность, мультифункциональность и др. В системах особого рода каждое качество трактуется по-своему. Благодаря полисистемному пониманию пространственных объектов открывается дорога в сектор математической географии.

РАССЛОЕНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Первоначально при решении поставленных В.Б. Сочавой задач учения о геосистемах [8, 9] мною применялись методы статистической обработки данных и имитационного моделирования результатов натурных исследований, которые никак не соответствовали требованиям получения доказательных знаний, что заставляло искать теоретические обоснования выявленных закономерностей. С этой целью создавалась концепция полигеосистемного анализа, разрабатывались методы решения обратных задач моделирования для выявления скрытых в наблюдаемых данных связей. Переосмысливалась роль формальных подходов, возникала необходимость привлечения еще не освоенных математических знаний — математического задела для фундаментальных исследований с ясным пониманием географического содержания используемых формул, опираясь на накопленные поколениями географов знания. Соответствующие выводы нашли отражение в упомянутой системе знаний [23], предлагающей методы решения задач на всех уровнях — интертеорий, моделей, понятий и исходных данных, где своеобразно проявляются математические идеи расслоения пространств. В частности, по мнению В.Б. Сочавы [9], необходимы модели, способные отобразить функциональную роль геомеров разных рангов во включающих их геохорах.

Организационная структура геосистемы-геохоры задается функцией $F(x)$ набора независимых переменных $x = \{x_i\} \in X$ в координатном пространстве $X = \{X_i\}$. В геометрическом смысле поверхность функции $F(x)$ считается многообразием, накрывающим (огibaющим) связи элементов в соседних геосистемах-геомерах, что обеспечивает пространственную целостность и связность геосистем, представление их в виде холасистемы (рис. 2).

Для любой выпуклой дифференцируемой функции $F(x)$ справедливо касательное преобразование Лежандра $F(x) \rightarrow F^*(a)$, переводящее функцию исходного набора переменных $x = \{x_i\}$ в функцию $F^*(a)$ двойственных переменных $a = \{a_i\}$ [23]. Таким образом функция $F(x)$ локально представляется уравнением касательной гиперплоскости (слоя, геомера) к поверхности $F(x)$, отражающей ситуацию $F(x_0)$ в окрестности точки $x_0 = \{x_{0i}\}$:

$$F(x) = a \cdot x + F^*(a) = \sum_{i=1}^n a_i x_i + F^*(a), \quad a_i = \frac{\partial F(x)}{\partial x_i}, \quad x_i = -\frac{\partial F^*(a)}{\partial a_i} \quad (1)$$

В случае подтвержденной линейной зависимости

$$F^*(x) = -\sum_{i=1}^n a_i x_{0i} + F(x_0) \quad (2)$$

справедливо билинейное уравнение для функции $f(y) = F(x) - F(x_0)$ относительных переменных $y = \{y_i\}$, $y_i = x_i - x_{0i}$ и $a = \{a_i\}$:

$$f(y) = a \cdot y = \sum_{i=1}^n a_i y_i = \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial y_i} y_i, \quad a_i = \frac{\partial f}{\partial y_i}, \quad f(y) = F(x) - F(x_0). \quad (3)$$

Эта универсальная функция, описывающая переменные состояния геосистем, в локальных координатах $y = \{y_i\}$ каждого слоя X_j выглядит одинаково, но по-разному ориентирована (см. рис. 2), что обеспечивает ее

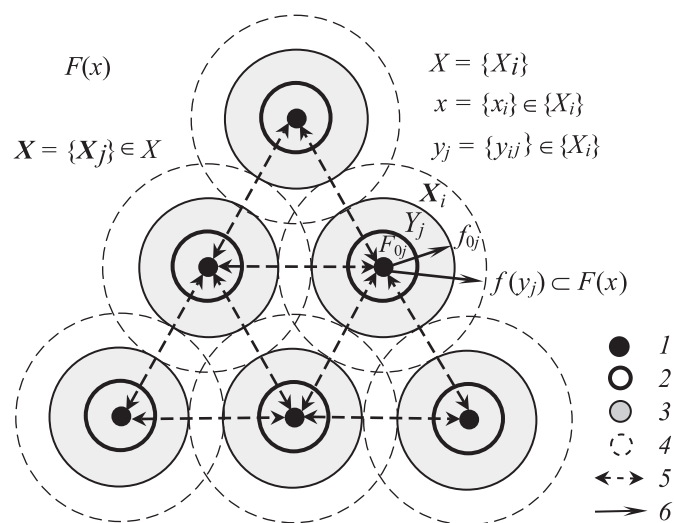


Рис. 2. Схема-модель территориальной структуры $F(x)$ географического объекта в признаковом пространстве $x = \{x_i\} \in X$ координат $X = \{X_i\}$ с полисистемным расслоением $X = \{X_j\} \in X$.

1 — центр $F_{0j} = F(x_{0j})$ слоя X_j со значением координат $x_{0j} = \{x_{0ij}\}$. Границы: 2 — эпицентра; 3 — области ядра Y_j слоя X_j ; 4 — периферии слоя X_j . 5 — структурные связи слоев; 6 — вектор касательной функции $f(y_j)$ относительных переменных $y_j = x - x_{0j}$.

преобразование-поворот внутри слоя и перенос между слоями. Дифференциальное уравнение в частных производных (3) имеет широкое применение в практике моделирования при правильном определении переменных и функций $F(x)$ в терминах x специальной интертеории [30, 33–35].

Формула (3) имеет смысл финслеровой метрики — некоторого расстояния между характеристиками факторов x_i и условий x_{0i} в каждом слое. Эта функция однородна $f(\beta y) = \beta f(y)$, т. е. ее вид не зависит от масштаба β величин y и в общем случае нелинейна, поэтому каждый слой имеет выпуклую или вогнутую поверхность с максимумом или минимумом значений. Например, для евклидовой метрики $f(y)$ для одномерного случая воронки $f(y) = a|x - x_{0j}|$ минимум достигается при $y = 0$, когда $f(y) = 0$, $F(x) = F(x_0)$, и факторное влияние x соответствует $x = x_0$ — модальным значениям (рис. 3). На графике выделяется несколько уровней $F_j(x) = f(y_j) + F(x_{0j})$, которые в проекции дают систему вложений, формирующих внутреннюю структуру слоя (см. рис. 2 и 3). Изменение величин x_{0j} и $F(x_{0j})$ по значению или масштабу смещает и трансформирует график $f(y) \rightarrow f(x - x_{0j}) + F(x_{0j})$ (см. рис. 3). Обратное преобразование сводит зависимость к типовому виду, что позволяет проводить метаанализ данных — учет различий среды и статистической неоднородности результатов исследований для увеличения точности выявления закономерностей [40]. Варьирование значений x_{0i} и $F(x_0)$, т. е. преобразование условий среды, рассматривается как управляющее воздействие, регулирование состояния геосистемы $F(x)$. Дискретное, скачкообразное изменение констант x_{0i} и $F(x_0)$ трактуется как признак эволюции геосистем.

Неизвестная функция $F(x)$ локально в слое X_j позиции $x_{0j} = \{x_{0j}\}$, $F_{0j} = F(x_{0j})$ отображается уравнением

$$F_j(x) = f(y_j) + F_{0j}. \quad (4)$$

Она принимает во внимание локальное отклонение $f(y_j) = f_j(y)$ от координат центра слоя $F_{0j} = F(x_{0j})$, которые, в частности, рассматриваются в качестве инвариантных характеристик состояния среды: при $f(y_j) \rightarrow 0$, $F(x) \rightarrow F(x_j) \rightarrow F_{0j}$ — эквифинальное состояние, соответствующее условиям среды. Действия $f(y_j) \sim y_j \sim A \setminus B$ относительных величин $y_j = x_j - x_{0j}$ (см. рис. 1) подразделяются на факторы $x_j \sim A$ и условия $x_{0j} \sim B$, на переменное $F_j(x) \sim A$ и инвариантное $F_{0j} \sim B$ состояния — изменчивую и устойчивую части. Уравнение (4) можно интерпретировать как преобразование $f(y_j): F(x_{0j}) \rightarrow F_j(x)$ системой потоков на входе $F(x_{0j})$ в потоки на выходе $F_j(x)$ [28].

Системная непрерывная функция $F(x)$ — огибающая — организует множество локальных функций $F_j(x)$ в структуру дискретного многообразия $F(x_{0j})$ по точкам x_{0j} (см. рис. 2). С.В. Калесник [41] обращал внимание на необходимость исследования географической оболочки $F(x)$ и составляющих ее ландшафтов $F_j(x)$ как единого целого. Он установил основные закономерности ее функционирования и развития, которые назвал законами $f_j(y): F(x_{0j}) \rightarrow F_j(x)$ — непрерывного обмена веществом и энергией, повторяемости процессов и явлений во времени и др. Главной движущей силой развития географической оболочки он считал борьбу $f(y_j) = F_j(x) - F_{0j}$ зональных F_{0j} и аazonальных $F_j(x)$ закономерностей.

На рис. 2 поверхность $F(x)$ следует воспринимать как выпуклую форму (рельеф), к которой «приклеены» касательные плоскости-слои X_j с функцией переменного состояния $f_j(y) = f(y_j)$, определяющей внутреннюю радиальную и орбитальную структуру слоя-гео-

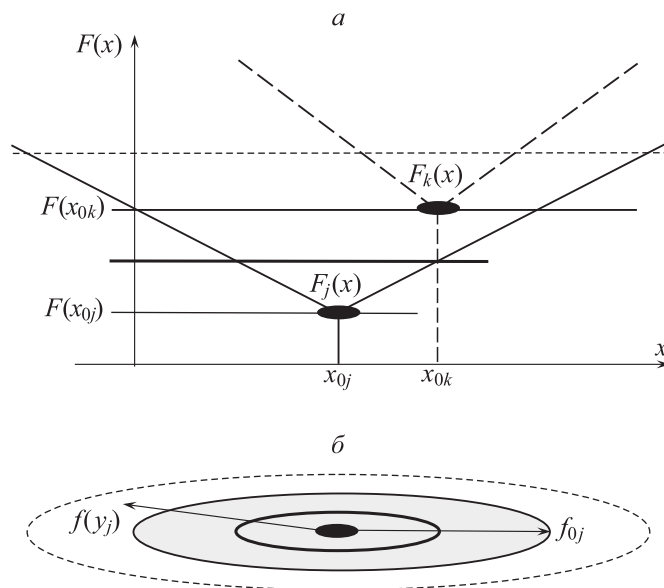


Рис. 3. Воронка зависимости $F_j(x) = a|x - x_{0j}| + F(x_{0j})$ (а) для двух разных моносистем j и k со средовыми смещениями $F(x_{0j})$ и $F(x_{0k})$ — позициями на поверхности многообразия $F(x)$ в точках x_{0j} и x_{0k} — и проекция $f(y_j)$, $y_j = x - x_{0j}$ зависимости $F_j(x)$ на касательную плоскость к этой поверхности (б).

Усл. обозначения — см. рис. 2.

мера. Параметры места касания $F_{0j} = F(x_{0j})$ задают базовые свойства геосистемы — режимные характеристики. Изменение $f(y_j)$ ограничено пределами $f_j(y) \leq f_{0j}$. Изображенная структура, следуя указаниям В.Б. Сочавы рассматривается двумя способами: как расслоенное пространство $X = \{X_j\} \in X$, состоящее из непересекающихся слоев X_j бесконечной протяженности с индивидуальным строением $f_j(y)$, а также в проекции $X \rightarrow F$ на рельефную поверхность F , соответствующую функции $F(x)$. Первый абстрактный вариант соответствует схеме полисистемного касательного представления признаков пространства, удобного для математического анализа. Второй вариант отображает реальную ситуацию с пересечением, контактными границами геосистем, обеспечивающими обмен веществом и энергией, — конкретное взаимодействие слоев в их проекции на F . Между слоями в абстрактном представлении контактов нет, они расслоены и независимы. Это идеальное качество распространено в математических дисциплинах, например, система независимых координат, векторов или функций. В ландшафте абстрактная структура приближается к наблюдаемой конкретной по мере завершения географического цикла рельефообразования, выравнивания поверхности многообразия $F(x)$, постепенного исчезновения латеральных градиентных связей.

Все слои X_j имеют типовую структуру — концентрический архетип, состоящий из центра $F_{0j} = F(x_{0j})$, $x_{0j} = \{x_{0jj}\}$, эпицентра, ядра Y_j слоя X_j , периферии за границей $f_j(y) = f_{0j}$ ядра (см. рис. 2). Эпицентр имеет открытую границу и по свойствам близок к центру $F(x_{0j})$, а, следовательно, к значениям функции $F(x)$ в окрестности x_{0j} . Ядро имеет постоянную границу $f_j(y) = f_{0j}$ — область определения функций $f_j(y)$ и $F_j(x) = f_j(y) + F(x_{0j})$, в которой они близки к организующей поверхности $F(x)$.

Периферия обеспечивает внешнюю связанность геосистем типа экотонных — переходных, пограничных, относительно узких участков территории между биомами природных зон в горах на верхней границе леса, между лесом и лугом на равнине. Например, трансконтинентальный бореальный экотон [42] — геосистема зональных границ, разделяющих бореальный (таежно-лесной) и суббореальный (лесостепной и степной) физико-географические пояса. Образцом внешне связанных, открытых геосистем также являются парагенетические и парадинамические комплексы Ф.Н. Милькова. При их выделении особое внимание уделяется контрастности внутренней структуры ландшафтных единиц и наличию системообразующего потока вещества и энергии между ними [43].

На периферии с расстоянием система несет все меньше информации о качествах центра, поэтому основные сведения о геосистеме содержатся и исследуются в границах ядра, где она понимается как моносистема-геомер, подлежащая выделению, типизации и классификации. Множество разнотипных независимых моносистем объединяются в полисистему-геохору, где они связаны отношением подобия через сходство универсальных функций $f_j(y) \rightarrow f(y)$, выраженных формулой (3). Между моносистемами в полисистеме отсутствуют контактные связи, поэтому в противовес классическому пониманию системы полисистема представляет собой антисистему, бессвязное в обычном смысле образование [30]. Связность обеспечивается только через отображение непересекающихся слоев [31], что лежит в основе комплексности сложных систем [22]. Сущность геокомплекса определяется связями природных компонентов через функциональное подобие их системных качеств, что обеспечивает сравнение объектов и индикацию их свойств.

В географии много моделей типа концентров и сетей их пространственных связей. Наиболее известная из них — модель изолированного государства фон Тюнена — система концентрических зон вокруг города-центра разнотипного использования земель убывающей интенсивности по направлению «центр — периферия» [44]. А.Ю. Ретеюм [45] считает, что мир сложных объектов имеет один и тот же концентрический план строения и состоит из так называемых хорионов — нуклеарных геосистем, в которые входят ядра и окружающие их поля. Функции ядра выполняют тектонические образования, отдельные формы рельефа, холмы, водоемы, сообщества растений и животных и др. Нуклеарный архетип нашел отражение в структурно-динамической модели эпифазии [2, 24], «материнский» центр которой представлен коренными геосистемами зонального типа, эпицентр — мнимокоренными фациями. Помимо них в ядро входят условно-коренные, а на периферию отнесены серийные модификации. Модель демонстрирует предположительный порядок смены одного переменного состояния другим при разрушении или восстановлении коренной структуры [9]. Нуклеарная концепция имеет общенаучное значение и является иллюстрацией архетипа концентрического строения слоев расслоенного пространства (см. рис. 2, 3), что позволяет выделять специальный класс систем, названных эписистемами. Они в действительности и в научных схемах состоят из ядра, несущего на периферию основные сведения о коренных и переменных состояниях геосистемы и, напротив, концентрирующего в себе внешние потоки вещества, энергии или информации. Кроме того, ядра — это важнейшие

части целостности, непосредственно принадлежащие структуре $F(x)$, которая содержит всю информацию о территории и ее различающихся гомогенных участках (слоях-геомерах).

Пространство расслоения $X = \{X_j\}$ (территория, физический или экономический ландшафт) на базе структуры $F(x_0)$ по координатам центров $x_{0j} = \{x_{0ij}\}$ превращается в расслоенное пространство частей (слоев) $X = \{X_j\} \in X$, существующих по законам $f_j(y) = f(y_j)$ с ограничениями по состоянию $F(x_{0j})$ и с пределами изменчивости f_{0j} . Системная функция целостности $F(x)$ индуцирует в узлах $F(x_0)$ соседские связности, внешние и внутренние связности (подобия) моносистем $f(y_j)$ (см. рис. 2, 3). Отметим, что не целостность является следствием связности, а структура связей (организация) происходит из целостности, которая схематично представляет собой графическую сеть $F(x)$, наброшенную на множество центров $F(x_0) \subset F(x)$.

Такая сеть наглядно воспроизводится в модели узловых районов, в теории центральных мест В. Кристаллера и А. Леша [46]. Сеть функционального районирования (сверху) обладает линейно-узловой территориальной организацией с взаимодействием (функционированием) элементов в районе и районов между собой. При таком индивидуальном районировании в целостные районы объединяются смежные местности разного типа. Их соседство не случайно, поскольку каждое место $F_j(x)$ производно от его расположения в целостной структуре $F(x_0)$ и функции $F(x)$ территории.

В природе сетевые структуры представлены в виде регматических сетей линеаментов — глобальных устойчивых сетей $F(x)$ ортогональных и диагональных поясов глубинных разломов, разбивающих земную кору на отдельные крупные блоки $F_j(x)$, — и экологических каркасов, поддерживающих экологическую стабильность территории и состоящих из наиболее ценных в природоохранном смысле участков Y_j (ядер), линейных транзитных зон (коридоров), что обеспечивают целостность $F(x)$ природного пространства, и окружающих их буферных зон [30]. Предлагается концепция структурной карты геосистем, направленная на системное объяснение свойств гетерогенных пространств $X = \{X_j\}$ как результата латеральных связей между пространственными элементами X_j — геомерами, выделенными диапазонами изменчивости природных градиентов и напряженностью латеральных потоков $f_j(y)$, наличием резких и постепенных границ [47]. Структурная карта $F(x)$ надстраивается над мозаикой слоев $F_j(x)$ традиционной ландшафтной карты, показывающей геосистемы дробного порядка.

Формально все это выражается в дифференциации пространства признаков $x \subset X = \{X_j\}$ на организационном многообразии $F(x)$. Появляется возможность разные геосистемные представления свести к единой математической форме, вокруг которой удастся сконцентрировать имеющиеся в различных разделах географии данные, знания и эмпирические обобщения.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОСИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

Для решения задачи создания функционально-геомерных моделей геосистем [9] используются ранговые распределения (РР) ординалистской интертеории, широко применяемые в различных отраслях науки, в том числе в географии [48]. Структура РР отражает упорядоченность элементов системы по значимости — частоты встречаемости площади геомеров на территории, людности городов и др. РР выражается зависимостью значимости $P(r)$ от ранговой позиции $r \geq 0$, увеличение которой влечет снижение $P(r) \rightarrow 0$. Элементами геосистемы в такой интерпретации являются ранговые позиции, а структура определяется функцией значимости и связностью через значимость разных позиций.

Исследуются РР встречаемости различных геомеров j в четырех физико-географических областях Байкальской Сибири: Южно-Сибирской горной $j = 1$, Байкало-Джугджурской горно-таежной $j = 2$, Среднесибирской таежно-плоскогорной $j = 3$ и Северо-Монгольской полупустынно-степной $j = 4$. На всей территории выделено 37 геомеров, относящихся к трем типам природной среды — гольцовому, таежному и степному, имеющим различную встречаемость и занимающим разную позицию в $P_j(r)$ по областям. Геомерная структура рассчитывалась [49] по сетке контуров геомеров ГИС-карты «Ландшафты юга Восточной Сибири» [50], исходное специальное содержание которой разработано В.С. Михеевым и В.А. Ряшиным под общей редакцией В.Б. Сочавы.

Кривые РР аппроксимируются степенным уравнением Ципфа $P_j(r) = P_{0j}r^{-\gamma_j}$ или экспоненциальной формулой Мотомуры—Уиттакера (P_{0j} и γ_j — константы):

$$a) P_j(r) = P_{0j} \exp(-\gamma_j r); \quad б) \ln P_j(r) = \ln P_{0j} - \gamma_j r. \quad (5)$$

Эти соотношения обеспечивают автомодельные связности $P_j(r) \rightarrow P_j(r+1)$ внутри ландшафтной области j и между областями $P_j(r) \rightarrow P_k(r)$, в частности, для (5): $P_j(r+1) = \exp(-\gamma_j)P_j(r)$ и

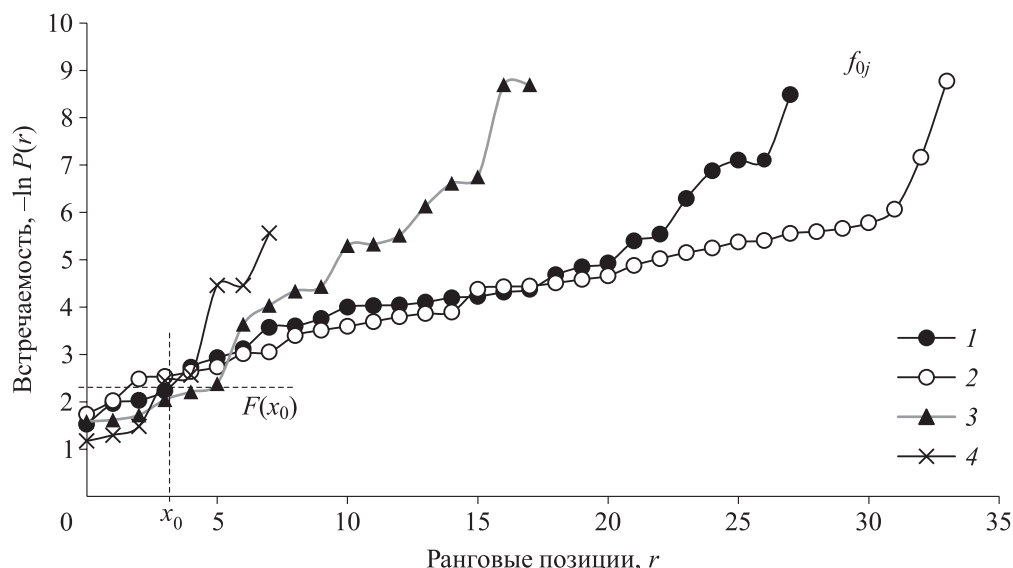


Рис. 4. Зависимость встречаемости $F_j(x) = -\ln P(r) = -\ln P_{0j} + \gamma_j r$ геомов от ранговых позиций $x = r$ со средовым смещением $F_j(x_0) = -\ln P_{0j}$ для разных j — физико-географических областей Байкальской Сибири.

Физико-географические области Байкальской Сибири: 1 — Южно-Сибирская горная, 2 — Байкало-Джунгурская горно-таежная, 3 — Среднесибирская таежно-плоскогорная, 4 — Северо-Монгольская полупустынно-степная.

$P_k(r) = P_{0k}(P_j(r)/P_{0j})^{\gamma_k/\gamma_j}$. Логарифмическое соотношение (56) дает лучшее приближение РР для разных областей (рис. 4). Оно приводится к виду (4) при $F_j(x) = -\ln P_j(r)$, $F_{0j}(x) = -\ln P_{0j}$, $a = \gamma_j$ линейной связи $F_j(x)$ в границах изменчивости $f_{0j} \leq f_j(y)$, которые индивидуальны для каждой области и изменяются дискретно примерно с интервалом в 5 или 10 позиций на шкале $x = r$ в направлении $j = 2 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 4$, что связано с уменьшением перепада высот на разных стадиях эволюции ландшафтов. За пределами $f_{0j} \geq f_j(y)$ линейная закономерность $F_j(x)$ нарушается.

В Байкало-Джунгурской горно-таежной области зависимость (56) соответствует уравнению $F_2(x) = -\ln P_2(r) = 2,19 + 0,126r$ ($R = 0,99$ — коэффициент корреляции). Она похожа на зависимость для Южно-Сибирской горной области ($j = 1$) $\ln P_1(r) = 1,97 - 0,136r$, что обеспечивает 85,7 % межобластной связности их геомных структур $\ln P_2(r) = 0,857 \ln P_1(r) - 0,406$ ($R = 0,97$). В этой области ($j = 1$) внутренние автомодельные связи удовлетворяют равенству $P_1(r+1) = 0,888P_1(r)$ ($R = 0,99$), т. е. на каждом шаге встречаемость снижается на 11,2 %. Доминирующими по площади (21,7 %) в области $j = 1$ являются геомы горно-таежных лиственничных лесов оптимального развития, в области $j = 2$ — то же, но ограниченного развития (17,5 %). Эти геомы соответствуют верхней по $P_j(r)$ границе ядра слоя ландшафтной территории, индицируют ее региональные характеристики. В Среднесибирской области ($j = 3$) индикаторами становятся зональные геомы южнотаежных темнохвойных лесов на возвышенностях (20,5 %), а в Северо-Монгольской области ($j = 4$) — подгорные и равнинные геомы разнотравно-крупнозлаковых степей (31,0 %). Связность геомных структур $j = 3$ и $j = 4$ отражает уравнение $\ln P_4(r) = 1,656 \ln P_3(r) + 1,054$ ($R = 0,92$) при $\ln P_3(r) = -0,886 - 0,426r$ ($R = 0,98$), $\ln P_4(r) = -0,615 - 0,662r$ ($R = 0,96$): коэффициенты наклона линий возрастают $\gamma_j = 0,426 \rightarrow 0,662$, ландшафты становятся более однородными по геомной структуре. Константы a и b этих соотношений $\ln P_j(r) = b + ar$ (58) связаны уравнением вида (2): $b(a) = -2,93a + 2,40$, где $x_0 = 2,93$, $F(x_0) = 2,40$ — координаты инвариантного центра пересечения линейных зависимостей, выявленных по областям (см. рис. 4). Эти соотношения образуют конгруэнцию — пучок связей одного функционально-геомерного слоя над многообразием $F(x)$ континентального объединения ландшафтов физико-географических областей Сибири как территориального целого. Векторные линии зависимостей в функционально-геомерной модели отображают функциональную роль горных и равнинных геомов регионального ранга, входящих в геохору региона Байкальской Сибири, а также разные стадии реструктуризации геомов в географическом цикле рельефообразования с увеличением наклона γ_j зависимостей (56) при сохранении инварианта $P_0 = \exp [-F(x_0)] = 0,0902$ (9,0 %), соответствующего позиции $x_0 \approx 3$ широко распространенных, однородных и близких по составу геомов светлых хвойных (лиственничных и сосновых) лесов по речным долинам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учение о геосистемах В.Б. Сочавы до сих пор имеет большое научное значение в плане постановки и определения путей решения географических задач и рассматривается с позиции глобального распространения его идей и их развития в различных тематических направлениях. С одной стороны, учение считается частью общей теории систем и совершенствуется вместе с соответствующей интертеорией, отражающей в обобщенных понятиях и терминах теории множеств явлений и процессов, происходящих в природе, хозяйстве и обществе, а с другой — количественно изучающей с применением математических методов пространственные закономерности в таких интегральных геосистемах, что по современным представлениям связано не только с природной средой, но и с экономикой, а также с жизнью общества. Прослеживаются три сектора геосистемной ориентации: концептуальный, эмпирический и математический анализ. Последний открывает новые возможности для формализации понятий, статистической обработки данных и теоретически обоснованного (доказательного) моделирования.

Выявленные достоинства и недостатки определения термина «геосистема» позволяют реструктурировать множество общесистемных понятий и продемонстрировать возможности их сквозного использования в географической науке, перейти от концептуальных схем к аналитическим уравнениям дифференциальной геометрии, что через процедуры расслоения дает возможность отобразить своеобразие геосистемного подхода как герменевтического способа познания связи объектов и их окружающей среды.

Установленная полисистемность объектов исследования позволяет их моделировать как системы разного рода, привлекая для решения поставленных задач понятия и законы различных интертеорий, совершенствование каждой из которых создает самостоятельное направление географической науки в теоретических и прикладных сферах деятельности. Кроме того, системы различаются по формам проявления. Традиционное восприятие геосистемы как взаимосвязанных и непрерывно проникающих друг в друга природных компонентов, существующих в географической среде, дополняется представлением об интегральных геосистемах; метасистемах, объединяющих объекты и их среду; моносистемах (типологических слоях) дифференциации территории на однородные непересекающиеся ареалы геомов; полисистемах, объединяющих моносистемы в гетерогенные образования (геохоры) или в систему независимых координатных слоев; геокомплексах функциональной связности разнотипных слоев (геомов); эписистемах, сочетающих в своем центре коренные и переменные состояния; хорионах, состоящих из ядра и окружающих полей; холасистемах целостности — структурах непрерывных функций (многообразий), накрывающих, огибающих в пространстве проявления функций множества соседних моносистем. Все их свойства выражаются математическими формулами.

Дополнительно типизация геосистем выполняется по ведущему компоненту (экосистемы, аквасистемы), фактору или свойству (гидрогенные и гидроморфные геосистемы), иерархическому уровню (локальные, региональные, планетарные), зональным признакам (степные, таежные) и т. д. Классификация геосистем осуществляется по сочетанию (прямому произведению) всех имеющихся системных качеств. В силу наличия множества классификационных признаков, разнообразия видов элементов и связей дать полное, исчерпывающее определение геосистемы не представляется возможным. Через доопределения следует уточнять задачи исследования, модели и методы их решения в выбранном направлении. Предлагается рассматривать разные типы геосистем как предметы изучения территориальных объектов географической оболочки, в различных системных аспектах, описывающих их свойства.

Поставленная В.Б. Сочавой задача создания особой функционально-геомерной модели решается в терминах ординалистской интертеории ранговых распределений по значимости (встречаемости) геомов в разных физико-географических областях Байкальской Сибири. Сравнительный статистический анализ позволяет рассчитать уникальные параметры распределения геомов по важности, выделить доминирующие геомы зонального типа в каждой области и инвариантную ранговую позицию всех геомных структур, соответствующую условиям широкого распространения светлохвойных лесов.

Полисистемный подход предполагает, что одна и та же задача может быть решена разными интертеоретическими методами с использованием отличающегося математического аппарата. Разработка таких исследовательских средств соответствует различным направлениям совершенствования методов геосистемного анализа на основе общего и предметного понимания геосистем в различных аспектах, формах и типах их объективного существования.

Работа выполнена за счет средств государственного задания Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (АААА-А21-121012190056-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сочава В.Б. Определение некоторых понятий и терминов физической географии // Доклады Ин-та географии Сибири и Дальнего Востока. — 1963. — Вып. 3. — С. 50–59.
2. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. — Новосибирск: Наука, 1978. — 319 с.
3. Semenov Y.M., Snytko V.A. The 50th anniversary of the appearance of V.B. Sochava's first article on the geosystem // Geogr. Nat. Resour. — 2013. — Vol. 34. — P. 197–200. — DOI: 10.1134/S1875372813030013
4. Ragulina M.V. The scientific legacy of V.B. Sochava, and future prospects of cultural geography // Geogr. Nat. Resour. — 2016. — N 1 (37). — P. 1–8.
5. Кузьмин С.Б. Методология геосистемных исследований в русле диалога естественных и гуманитарных наук // Общество. Среда. Развитие. — 2018. — № 1. — С. 112–122.
6. Бакланов П.Я. Геосистемный подход в географических исследованиях // Тихоокеанская география. — 2020. — № 1. — С. 7–12.
7. Ковалев Ю.Ю. Эволюция системного подхода в исследованиях геопространства // Изв. РАН. Сер. географическая. — 2021. — № 5 (85). — С. 773–784.
8. Сочава В.Б. Системная парадигма в географии // Изв. РГО. — 1973. — Т. 105, № 5. — С. 393–401.
9. Сочава В.Б. Учение о геосистемах: Мат-лы к VIII съезду географ. о-ва СССР. — Новосибирск: Наука, 1975. — 39 с.
10. Frolova M. From the Russian/Soviet landscape concept to the geosystem approach to integrative environmental studies in an international context // Landscape Ecology. — 2019. — Vol. 34. — P. 1485–1502. — DOI: 10.1007/s10980-018-0751-8.
11. Bertrand G., Tricart J. Paysage et geographie physique globale. Esquisse methodologique // Revue Geographique des Pyrenees et du Sud-Ouest. — 1968. — N 3 (39). — P. 249–272.
12. Bertrand C., Bertrand G. La naturaleza-artefacto, entre antropizaciyn y artializaciyn. La experiencia del sistema GTP (geosistema-territorio-paisaje) // Relaciyn entre la sociedad y el medio ambiente en geografia moderna. — Granada: Universidad de Granada, 2016. — P. 9–25.
13. Beroutchachvili N., Bertrand G. Le geosysteme ou “système territorial naturel” // Revue geographique des Pyrenees et du Sud-Ouest. — 1978. — N 2 (49). — P. 167–180.
14. Rougerie G., Beroutchachvili N. Geosystemes et paysages. Bilans et methodes. — Paris: Armand Colin, 1991. — 305 p.
15. Monteiro C.A.F. Geossistemas: a historia de uma procura. — Sao Paulo: Contexto, 2001. — 151 p.
16. Sochava V.B. O estudo de geossistemas // Metodos em Questao. — 1977. — N 16. — 51 p.
17. Sochava V.B. Por uma teoria de classificacao de geossistemas da vida terrestre // Biogeografia. — 1978. — N 14. — 23 p.
18. Mateo J.M., Da Silva E.V., Burgui M. O legado de Sochava: a teoria dos geossistemas na visao de Viktor Borisovich Sochava. — Fortaleza: Edicoes UFC, 2019. — DOI: 10.32474/oajess.2019.02.000147
19. Fumiya M.H. Geossistema de Sochava: teoria, perspectivas e meio ambiente. — Curitiba, Brasil: Editora CRV, 2022. — 198 p.
20. Christofolletti A. Perspectivas da Geografia. 2ª edicao. — Sao Paulo: DIFE, 1985. — 318 p.
21. Armond N., Afonso A.E. Geografia Teoretico — Quantitativa e a Teoria dos Geossistemas: por uma Geografia Fhsica integradora // XIV SBGFA — Simposio Brasileiro de Geografia Fisica Aplicada At: UFGD — Dourados — MS. — 2011. — Vol. 1 [Электронный ресурс]. — <https://www.researchgate.net/publication/301567070> (дата обращения 12.11.2024).
22. Черкашин А.К. Полисистемное моделирование. — Новосибирск: Наука, 2005. — 280 с.
23. Черкашин А.К. География, философия и математика: тождество противоположностей в системе научных знаний // Тихоокеанская география. — 2024. — № 3. — С. 5–22. — DOI: 10.35735/26870509_2024_19_1
24. Крауклис А.А. Проблемы экспериментального ландшафтоведения. — Новосибирск: Наука, 1979. — 233 с.
25. von Bertalanffy L. General system theory — A Critical Review // General Systems. — 1962. — Vol. VII. — P. 1–20.
26. von Bertalanffy L. General system theory: foundations, development, applications. — New York: G. Braziller, 1973. — 295 p.
27. Богданов А.А. Всеобщая организационная наука (тектология). — М.; Л., 1925. — Ч. 1. — 300 с.; 1927. — Ч. 2. — 268 с.
28. Месарович М., Такаха Я. Общая теория систем: математические основы. — М.: Мир, 1978. — 312 с.
29. Преображенский В.С. Беседы о современной физической географии. — М.: Наука, 1972. — 167 с.
30. Черкашин А.К. Полисистемный анализ и синтез. Приложение в географии. — Новосибирск: Наука, 1997. — 502 с.
31. Черкашин А.К., Распутин Е.А. Математико-статистический анализ геоизображений для изучения пространственной организации геосистем // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. — 2024. — № 5 (79). — С. 40–51. — DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.5.4
32. Общая теория систем // Философский словарь / Под ред. И.Т. Фролова. 4-е изд. — М.: Политиздат, 1981. — 445 с.
33. Черкашин А.К., Распутин Е.А. Комплексная география как направление теоретических исследований и моделирования // Географ. вестник. — 2022. — № 1 (60). — С. 6–22. — DOI: 10.17072/2079-7877-2022-1-6-22

34. Черкашин А.К., Солодянкина С.В. Функциональная география как направление теоретических исследований и моделирования // География и природ. ресурсы. — 2018. — № 2. — С. 181–190.
35. Лесных С.И., Черкашин А.К. Поведенческая география как направление теоретических исследований и моделирования // Географ. вестник. — 2023. — № 4 (67). — С. 6–26. — DOI: 10.17072/2079-7877-2023-4-6-26
36. Беручашвили Н.Л. Четыре измерения ландшафта. — М.: Мысль, 1986. — 182 с.
37. Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. — М.: Высш. шк., 1991. — 366 с.
38. Preobrazhenskiy V.S. Geosystem as an Object of Landscape study // GeoJournal. — 1983. — N 7 (2). — P. 131–134.
39. Сочава В.Б. Геотопология как раздел учения о геосистемах // Топологические аспекты учения о геосистемах. — Новосибирск: Наука, 1974. — С. 3–86.
40. Черкашин А.К. Особенности географического метаанализа // Географический вестник (Geographical bulletin). — 2021. — № 2 (57). — С. 6–21. — DOI: 10.17072/2079-7877-2021-2-6-21
41. Калесник С.В. Общие географические закономерности Земли. — М.: Мысль, 1970. — 283 с.
42. Коломыц Э.Г. Региональная модель глобальных изменений природной среды. — М.: Наука, 2003. — 371 с.
43. Мильков Ф.Н. Физическая география: современное состояние, закономерности, проблемы. — Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1981. — 400 с.
44. Каганский В.Л. Пространство в теоретической географии школы Б.Б. Родомана // Изв. РАН. Сер. географическая. — 2009. — № 2. — С. 1–10.
45. Ретеюм А.Ю. Земные миры. — М.: Мысль, 1988. — 268 с.
46. Дмитриев Р.В. Теория центральных мест: от статики к динамике. — М.: Изд-во Ин-та Африки РАН, 2023. — 204 с.
47. Хорошев А.В. Концепция структурной карты геосистем // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. — 2024. — № 4. — С. 55–67. — DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.4.5
48. Истомина Е.А., Черкашин А.К. Моделирование трансформации структуры и организации ландшафтных комплексов // Изв. РАН. Сер. геогр. — 2017. — № 1. — С. 124–136.
49. Черкашин А.К., Фролов А.А. Дискретный анализ пространственно-временной изменчивости геосистем Байкальской Сибири // Изв. РГО. — 2024. — № 3 (154). — С. 213–233. — DOI: 10.31857/S0869607124030044
50. Ландшафты юга Восточной Сибири. Карта м-ба 1:1 500 000 / Ред. О.П. Космакова, В.С. Михеев. — М.: ГУГК, 1977. — 4 л.

Поступила в редакцию 29.01.2025

После доработки 07.03.2025

Принята к публикации 10.03.2025