

А.К. ЧЕРКАШИН

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

ГЕОСИСТЕМЫ И ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ СРЕДА

Предлагается векторная модель соотношения геосистем и географической среды. На основе принципа Гаусса наименьшего принуждения (отклонения) формируется представление о геосистеме как множестве (слое) переменных состояний, минимально отличающихся от инвариантных характеристик состояния соответствующей им среды. Географическая среда как многообразие земных сред имеет рельефное выражение в виде интегрирующей и оценочной функции многих переменных. Географические характеристики геосистем складываются из постоянной средообусловленной векторной составляющей и свободного вектора азональной факторной изменчивости, выражающего меру принуждения (недетерминированности). Минимизация этого вектора относительно элементов многообразия среды приводит к дифференциальным уравнениям векторного геосистемного поля – представления географических данных и знаний в пространстве характеристик, локально обладающего универсальной симметрией, что позволяет сравнивать географические процессы и явления на единой основе. Выведенные соотношения объясняются свойствами известных географических моделей и понятий, находящихся в двойственной связи: объекты и предметы исследования, факторы и условия влияния, законы и закономерности взаимодействия и т. д. Выделяются и учитываются при расчетах по уравнениям внешняя (экзо-) и внутренняя (эндо-) среды. Результаты проиллюстрированы на примере преобразования пространственной информации, полученной методом комплексной ординации, с проверкой гипотезы средовой однородности и территориальной целостности участков темнохвойной тайги, находящихся на различных стадиях эндогенной динамики фаций субгидроморфного факторального ряда. Сделан вывод, что соотношения геосистем, их эндо- и экзо-среды следует принимать во внимание при обработке данных ландшафтных исследований, математическом моделировании и синтетическом картографировании территорий.

Ключевые слова: представление географических знаний, векторная модель, средовой подход, принцип Гаусса наименьшего отклонения, уравнения геосистемного поля, статистический анализ стационарных данных.

А.К. CHERKASHIN

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

GEOSYSTEMS AND THE GEOGRAPHICAL ENVIRONMENT

A vector model of the relationship between geosystems and the geographical environment is proposed. Based on Gauss's principle of least constraint (deviation), a representation of a geosystem is formed as a set (layer) of changed states that differ minimally from the invariant characteristics of the state of the corresponding environment. The geographical environment as a variety of terrestrial environments has a relief expression in the form of an integrating and evaluation function of many variables. Geographical characteristics of geosystems consist of a constant environment-dependent vector component and a free vector of azonal factor variability, which expresses the measure of constraint (nondeterminism). Minimization of this vector relative to the elements of the environment's diversity leads to differential equations of the vector geosystem field – a representation of geographical data and knowledge in the space of characteristics that locally has a universal symmetry, which allows us to compare geographical processes and phenomena on a single basis. The resulting relations are explained by the properties of the known geographical models and concepts that are in a dual relationship: objects and subjects of research, factors and conditions of influence, laws and regularities of interaction, and so on. External (exo-) and internal (endo-) environments are selected and taken into account when calculating the equations. The results are illustrated by the example of pre-formation of spatial information obtained by the method of complex ordination, with verification of the hypothesis of environmental homogeneity and territorial integrity of dark coniferous taiga sites at different stages of endogenous dynamics of facies of a subhydromorphic factor series. It is concluded that the relationships of geosystems and their endo- and exo-environments should be taken into account when processing landscape research data, mathematical modeling, and synthetic mapping of territories.

Keywords: representation of geographical knowledge, vector model, environmental approach, Gauss's principle of least constraint, geosystem field equations, statistical analysis of stationary data.

ВВЕДЕНИЕ

В системных исследованиях любой объект обычно изучается как открытая система определенно-го рода, взаимодействующая с окружающей средой. В географической науке такое представление осложняется особенностями географических процессов и явлений, когда геосистема рассматривается и как самостоятельный предмет комплексных исследований, и как ландшафтная среда существования и изменения других территориальных объектов [1, 2]. В итоге можно прийти к пониманию, что геосистема как изменчивый объект и геосистема как устойчивая среда — это слабо различающиеся понятия, требующие определения своей специфики и объяснения естественной логики их формирования и взаимодействия для последующей строгой математической формализации и теоретического обоснования.

Геосистема обычно рассматривается как пространственно-распределенный объект-система различного рода. Часто считают, что сами геосистемы представляют собой объекты изучения и картографирования, хотя правильнее понимать их как выражение разной системной интерпретации объективной реальности, средство ее предметного познания. При этом полагают, что все объекты погружены в соответствующую среду, о свойствах которой немного известно, поскольку она, по сути, представляет собой весь безграничный мир за вычетом данного объекта. По этой причине под средой понимают не все, а только непосредственное окружение — окружающую среду, напрямую влияющую на систему, в частности, географическую среду.

Средовое давление интересует представителей разных наук. Средовой подход получает распространение и формируется как междисциплинарный общенаучный метод познания единства объекта и среды [3–5]. Причем внешнюю неоднородную среду в разных науках образно называют «ландшафт»: экономический ландшафт, эпигенетический ландшафт в биологии, космический ландшафт в физике, где он носит название калибровочного поля. Особенности трактовки среды в разных отраслях знаний позволяют лучше понять смысл и содержание подразделений географической среды как внешнего фона геосистемных изменений.

Геосистема — это своеобразный географический «организм» со своим режимом функционирования, который по содержанию близок к представлению о процессе и результате индивидуального развития в локальной ландшафтной среде. При исследовании природных режимов особое значение придается изучению временной последовательности геосистемных процессов, когда под природными режимами подразумевается порядок смены функциональных временных состояний [6, 7].

Средовой подход в разных научных дисциплинах связывается с экологическим мышлением, ориентирующимся на исследование взаимодействия организмов или иных объектов с окружающей средой. При этом выделяются факторы и условия воздействия на объекты. Конструктивно понимание условий как не расходуемых организмом элементов среды [8]. Тогда среда воспринимается как устойчивая совокупность условий (инвариантов существования). Причем выделяются внешние и внутренние условия, когда отдельный организм иначе развивается в различной среде, а разные организмы по-своему реагируют на один набор факторов. Например, различные типы геосистем неодинаково распространены в одном высотном поясе. Тем самым подчеркивается, что в теории влияния факторов специально необходимо учитывать условия такого влияния географической экзосреды и генетической эндосреды. В модели функционирования эндосреда сопоставляется с эволюционным «генотипом» геосистемы, ее режимной предрасположенностью к направленным изменениям, а фенотип — это проявление ее внутренних качеств в конкретной экзосреде.

Необходимо теоретически объяснить причины сходства и различия географических явлений и их средовую детерминированность.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Термин «геосистема» ввел в отечественную географическую науку В.Б. Сочава [9], первоначально понимая под ним иерархические территориальные многокомпонентные природные образования, где отдельные компоненты связаны друг с другом и как целое взаимодействуют с «космической сферой и человеческим обществом» [1, с. 292], т. е. с окружающей геосистемы средой. Это достаточно общее определение географической системы без конкретизации содержания компонентов (элементов) и их связей, поэтому в дальнейшем оно было распространено на социально-экономические пространственные системы [10], и геосистемы стали отображать многоуровневое взаимодействие компонентов природы, хозяйства и населения на фоне соответствующего по масштабу средового окружения. Из-

начально ставилась задача выделить геосистему из ее географической среды и учесть влияние гео-среды на структуру и динамику геосистем. Ясность в этом отношении дает определение В.Б. Сочавы: «средами геосистем разных рангов являются более высокого разряда геосистемы» [1, с. 298], т. е. геосистемы непосредственного средового окружения, а не весь внешний мир (космос), который преломляется, в первую очередь, в глобальной геосистеме и соответствующей ей геосреде географической оболочки (ГО) Земли.

Аналогичным образом формировалось понятие «географическая среда» (ГС), которая первоначально воспринималась только как часть ГО (земное природное окружение), вовлеченная на данном историческом этапе в процесс общественного производства и составляющая необходимое условие существования и развития человеческого общества. Со временем это понятие расширялось и стало включать производственно-экономические и социальные инфраструктурные составляющие [10, 11]. Такая среда — общая для всех объектов, связанных с ней (детерминируемых). По мнению А.А. Григорьева [12], ГС как необходимая и постоянная основа жизни общества — основной предмет исследований географии, объединяющее начало для физической и экономической географии. Он считал, что ГС можно изобразить в виде формулы, если в сравнимых единицах выразить значения всех взаимоотношений факторов и условий. Предлагая новые методы изучения ГС, А.А. Григорьев [13] давно стремился превратить физическую географию из науки описательной в науку, построенную на точных закономерностях, и тем самым приблизить ее к точным наукам.

Возникает проблема типизации и классификации геосистем и ГС на разных уровнях иерархии, начиная от зональных типов природной среды до типов ландшафтных фаций, что отображается в легендах ландшафтно-типологических карт различного масштаба [14, 15]. Каждый картографический контур соответствует границам ареала типологической разновидности ГС (геомеру).

Двойственность и неоднозначность трактовки терминов требует разъяснения их содержания для адекватного применения понятий. С этой целью можно использовать понятие «метагеосистема» — географическая система, объединяющая конкретную геосистему и ее среду, т. е. это, прежде всего, но не совсем точно, геосистема более высокого порядка, непосредственно в которую погружен объект-система. В полном объеме геосреда геосистемы проявляется как экзогеосистема, включающая последовательно все геосистемы более высокого уровня. В этом смысле ГС в целом — экзогеосистема глобальной метагеосистемы ГО, область взаимодействия компонентов всех геосфер Земли и источников энергии для их развития. А.А. Григорьев [16, с. 69] отмечал, что предметом изучения физической географии все больше стала признаваться земная поверхность, а не Земля в целом, как принималось ранее. Поверхность, или оболочка, в данном случае — внешнее проявление сущности географических процессов определенного местоположения, что позволяет рассматривать ГС как малую часть силы природы, вроде общего «дома» человечества, «очага» появления и существования всех форм земной жизни, «духов» местности.

Прослеживается относительность понимания геосистемы и ее ГС, когда среда проявляется через геосистемы, соответствует позициям на некоторой поверхности многообразия условий, выраженной функцией связи компонентных характеристик (показателей состояния) геосистем. Такая функция ГС — глобальная, региональная или местная интегральная характеристика общественно-природной среды, в которой развиваются территориальные системы.

Географические характеристики — отличительные свойства территорий, выделяющих (идентифицирующих) их среди других территориальных образований. Это, прежде всего, наблюдаемые покомпонентные и отраслевые признаки геосистем, которые отражаются в атрибутах геоинформационной базы пространственных данных. В учении о геосистемах существенное значение имеет понятие «состояние геосистемы» — соотношение (совокупность) параметров (характеристик, показателей) структуры и функционирования геосистемы в определенный промежуток времени [1]. Поставлена задача изучения геосистемы как «множества взаимосвязанных ее состояний и закономерно локализованных на земной поверхности функциональных частей» [7, с. 27]. Инварианты средового многообразия проявляются в виде многочисленных состояний — переменных состояний геосистем.

ВЕКТОРНАЯ МОДЕЛЬ

Для формализации понятий обозначим $x = \{x_i\}$ — набор компонентных характеристик территориального объекта, $x_0 = \{x_{0i}\}$ — аналогичный набор характеристик его среды, $y = x - x_0 = \{x_i - x_{0i}\} = \{y_j\}$ — набор индивидуальных характеристик объекта в показателях отклонения от характеристик среды — средовой нормы существования разных объектов и их видоизменений. Наборы характеристик можно

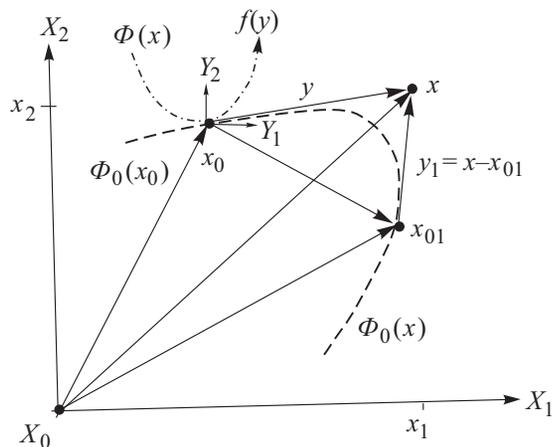


Рис. 1. Формирование векторного пространства связи характеристик геосистемы (x) и ее среды (x_0).

Пояснения — см. текст.

трактовать как радиус-векторы в пространстве координат $X = \{X_i\}$ (рис. 1). Тогда векторы x и x_0 соответствуют точкам этого пространства ($x_i \in X_i, x_{0i} \in X_i$), а вектор y определяет разность векторов в локальной системе координат с началом в средовой точке x_0 . Совокупность таких векторов y многомерного пространства X формирует слой режима динамики и функционирования геосистемы в среде x_0 . Метагеосистема определяется географическим пространством X , начало

характеристических координат которого $X_0 = 0$ соответствует среде метагеосистемы более высокого порядка. Линейно-векторные слои у конкретных геосистем заполняют пространство метагеосистемы X .

Такая векторная модель выражает традиционные представления географической науки, особенно природной ее части. Например, С.В. Калесник [17], установивший основные закономерности функционирования и развития ГО, считал, что главная движущая сила развития ГО — это борьба зональных x_0 и азональных y закономерностей на всех уровнях, соответственно векторов глобального пространства геосистем X и пространства их среды X_0 (см. рис. 1). ГО X и ГС X_0 , таким образом, становятся объектом и предметом географической науки. Вместе с тем, ГО также является объектом исследования всех наук о Земле. Однако и среда выражает предмет исследований не только географии, но и множества других наук, в которых требуется учитывать состояние среды [4].

В учении о геосистемах используется термин «переменные состояния» — «...различные модификации коренной структуры ..., которые в процессе естественной динамики ландшафта приходят к «эквифинальному» (климаксовому) состоянию» [1, с. 296]. В.Б. Сочава [1] считал, что понятие о динамике геосистем «целесообразно ограничить представлением о движении ее переменных состояний, подчиненных одному инварианту в пределах эпифации» [1, с. 293]. Эпигеосистема — слой, формирующийся в окрестности одной точки многообразия среды, множество переменных состояний геосистем, связанных с общим средовым инвариантом: эпиассоциация, эпифация, эпигеом.

Объективно существующее географическое пространство расслаивается на множество природных и социально-экономических компонентов и их связей в приповерхностных геосферных слоях Земли ГО — сложном геосистемном образовании с многомерной и многоуровневой структурой, неоднородной по показателям непрерывности и дискретности. Географические рубежи определяют области перехода от одного однородного ареала слоя к ареалу другого слоя. Узлы — компактные участки ареалов пересечения интеграционных связей компонентов, инфраструктурных линий и направленных потоков. В хозяйственном отношении узлы — это генерализованные точки отсчета, экономические центры, например, административные и промышленные узлы, окруженные территориальными зонами их влияния [18].

Формально (см. рис. 1) узловые инварианты соответствуют устойчивому вектору состояния среды x_0 , а переменные (свободные) состояния — вектору $y(t)$ или сумме этих векторов $x(t, \xi) = y(t, \xi) + x_0$, которая зависит от времени t и положения в пространстве ξ . Множество переменных состояний $y(t, \xi)$, связанных с общим средовым инвариантом x_0 , называется эпигеомером, например, эпифация — множество фаций, объединенных вокруг фации зонального типа, максимально соответствующей по характеристикам типу природной среды. Коренное преобразование (трансформация) ландшафтов в силу естественного или антропогенного воздействия означает смену позиции инварианта на многообразии ГС: $x_0 \rightarrow x_{01}$ (см. рис. 1). С новой позиции переменное состояние геосистемы x будет выглядеть иначе: $y_1 = x - x_{01}$. Это выражает идею средовой относительности существования географических процессов и явлений [19]: все состояния и изменения необходимо рассматривать с учетом средового смещения, исключать среду из рассмотрения, принимать во внимание только активную (переменную, свободную) часть характеристик $y = x - x_0$, для которых явным образом выполняются законы жизни природы и общества. Например, при анализе причинно-следственных связей действующее начало — это разность y величины факторов x и условий x_0 среды [20]. Связи исходных характеристик $x = y + x_0$, осложненные влиянием среды, называются закономерностями. В относительных переменных y от-

ражаются сопоставимые системные взаимосвязи, что важно для проведения сравнительно-географических исследований. Функции $f(y)$, выражающие фундаментальные законы, являются своеобразным искривлением вектора y (см. рис. 1), а наблюдаемые закономерности $\Phi(x)$ складываются из $f(y)$ и функции многообразия среды $\Phi_0(x)$:

$$\Phi(x) = f(y) + \Phi_0(x). \quad (1)$$

Причем при $x = x_0$ ($y = 0$) будет $f(y) = 0$ и $\Phi(x_0) = \Phi_0(x_0)$, т. е. в точке x_0 функция $\Phi(x)$ совпадает со средовым эквифинальным значением. Аддитивная средовая поправка (калибровка) вида (1) наиболее проста и наглядна при моделировании [20]. Возникает вопрос, как выглядят перечисленные функции и каковы их общие свойства?

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Определяя форму объективных связей, обычно исходят из экстремальных принципов научного знания [21, 22], в соответствии с которыми характеристики системы принимают максимальное или минимальное значение. Установленные взаимосвязи явлений должны удовлетворять общенаучному принципу детерминизма, нацеливающему ученых на выявление законов и закономерностей в природе и обществе. Географический детерминизм предполагает зависимость земных процессов и явлений от факторов и условий ГС. В.А. Анучин полагал, что «отрицание детерминизма всегда сопровождается отрицанием географии как науки» [11, с. 153]. Экстремальный принцип географического детерминизма в обсуждаемом контексте формулируется так: процессы и явления должны максимально соответствовать местной ГС, т. е. величина x в минимальной степени отклоняться от характеристик среды x_0 . Переменная $y = x - x_0$ определяет индетерминированную часть изменений, и эта величина должна стремиться к нулю: $y \rightarrow 0$.

В механике сформулирован экстремальный принцип Гаусса наименьшего принуждения (ограничения, отклонения) [23], который базируется на идее метода наименьших квадратов, лежащего в основе многих аналитико-статистических исследований. Принцип Гаусса утверждает, что для любых истинных движений мера отклонения (принуждения) от свободного движения минимальна:

$$S(y) = \sum_i m_i y_i^2 \rightarrow 0, \quad y_i = x_i - x_{0i},$$

где $x = \{x_i\}$, $x_0 = \{x_{0i}\}$ — характеристики истинного и свободного движения; $y = \{y_i\}$ — мера принуждения; $m = \{m_i\}$ — весовые коэффициенты, $m_i \neq 0$. Вектор принуждения $y = x - x_0$ отражает последствия влияния местных факторов (сил) на поведение системы (см. рис. 1). В частности, x_0 сопоставляется с характеристиками зонального типа среды, а x — с аazonальными состояниями, видоизмененными факторальным влиянием y . В данном случае свободным является средообусловленное движение без видоизменяющих факторных нагрузок.

Величина принуждения y сопоставляется с показателями серийности и факторальности геосистем. Существуют [24] разные признаки их определения по: 1) последовательности динамических категорий — коренная, мнимокоренная и серийная фации; 2) направленности ландшафтных процессов и изменчивости фаций под влиянием окружения; 3) взаимосвязи варьирующих на местности признаков фаций. Изучение связанных с этим факторально-динамических рядов y (ФДР) основано на оценке взаимодействия между ландшафтообразующими факторами и процессами со свойственными им колебаниями во времени [25]. ФДР включают фации, видоизмененные под воздействием одного фактора или сочетаний факторов (гидроморфные, литоморфные, сублитогидроморфные и т. д.) (рис. 2, а).

Минимум $S(y)$ при постоянных m_i достигается при $\frac{\partial S}{\partial y_i} = 2m_i y_i = 0$ и обеспечивается при $y_i = x_i - x_{0i} = 0$, т. е. в истинном средообусловленном состоянии $x_i = x_{0i}$ по всем x_i . В ФДР каждая фация x считается временным (переменным) проявлением инварианта x_0 — основной категории, соответствующей коренной фации. При построении системы ФДР за «начало отсчета» x_0 берется топологический центр ландшафта — фация суглинистых, хорошо дренированных плакоров, которая рассматривается как фоновая норма, обусловленная положением данного ландшафта в системе широтной зональности, долготной секторности и высотной поясности ГС, а также генезисом и ландшафтной историей региона в целом [24]. Остальные фации принимаются как отклонения от этой макрогеографической нормы. На основе их сравнения с плакорной фацией (см. рис. 2, а) выявляются свойствен-

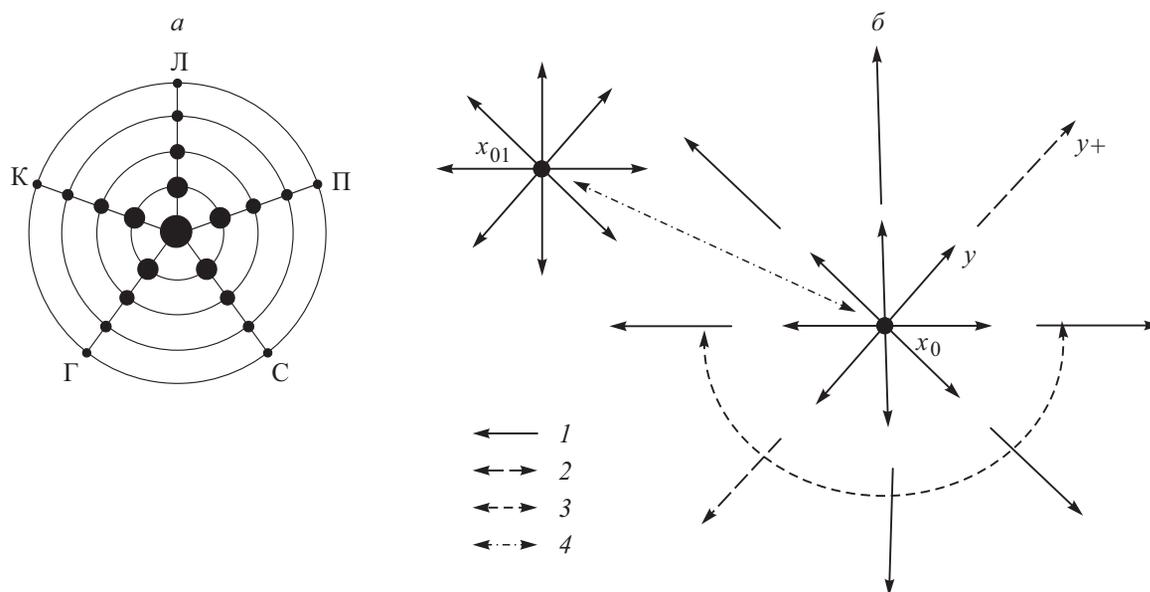


Рис. 2. Структура и преобразование векторных полей в слое расслоения геосистем (y) на многообразии географической среды (x_0): схема системы факторально-динамических рядов фаций [24] (а) и структура и преобразование эйлера поля (б).

Степень отклонения от планетарно-региональной нормы: 0 — коренная фация, 1 — полукоренные, 2 — мнимокоренные, 3 — полусерийные, 4 — серийные. Главные направления отклонения от нормы — факторально-динамические ряды: Л — сублитоморфный, П — субпсаммоморфный, С — субстагнозный, Г — субгидроморфный, К — субкриоморфный. 1 — векторы; обратимые преобразования: 2 — растяжение, 3 — поворот, 4 — смещение (пояснения в тексте).

ные ландшафту направления отклонения y и определяющие его факторы и оценивается степень отличия каждой фации от нормы x_0 (серийность) и тенденции изменений, выраженных в снятии факторального принуждения $y \rightarrow 0$ с эквивиальным результатом $x_i - x_{0i}$ с превращением в идеале всех фаций в коренные равнинные фации x_0 . В экономической географии развивается идея адаптивно-ландшафтного землепользования, которое основано на соответствии хозяйствования природной обстановке территории (экзосреде) и учете полезных свойств (эндосреды) растений для оптимизации факторов и условий производства.

Возникает вопрос, какие векторы принуждения y из множества возможных реализуются, следуя принципу Гаусса? В многомерных линейных пространствах $x = \{x_i\}$ функция $\Phi(x)$ переменных состояний x локально определяется уравнением:

$$\Phi(x) = a \cdot y + b, \quad f(y) = a \cdot y = \sum_i a_i y_i, \quad y = x - x_0, \quad (2)$$

где $f(y) = a \cdot y$ — скалярное произведение двух векторов $y = \{y_i\}$ и $a = \{a_i\}$; $b = \Phi(x_0) = \Phi_0(x_0)$ — константа. Согласно принципу Гаусса, потребуем, чтобы функция $\Phi(x)$ минимально отклонялась от функции состояния среды $\Phi_0(x)$:

$$S(y) = [\Phi_0(x) - \Phi(x)]^2 = [\Phi_0(x) - a \cdot y - b]^2 \rightarrow 0. \quad (3)$$

Этот критерий для всех x_i достигается при

$$\frac{\partial S(y)}{\partial y_i} = \frac{\partial S(y)}{\partial x_i} = 2 \left[\frac{\partial \Phi_0(x)}{\partial x_i} - \frac{\partial \Phi(x)}{\partial x_i} \right] [\Phi_0(x) - \Phi(x)] = 2 \left[\frac{\partial \Phi_0(x)}{\partial x_i} - a_i \right] [\Phi_0(x) - \Phi(x)] = 0,$$

т. е. при условии $\Phi_0(x) = \Phi(x)$ и/или $a_i = \frac{\partial \Phi_0}{\partial x_i}$. Первое равенство предполагает совпадение функции среды $\Phi_0(x)$ с уравнением (2) для $\Phi(x)$, т. е. когда геосистема полностью соответствует однородной

среде. Второй вариант решения требует, чтобы компоненты вектора a_i определялись первой производной — чувствительностью функции многообразия среды к изменению x_i . Это означает, что пространство (линия, плоскость) (2) является касательным к поверхности многообразия среды $\Phi_0(x)$ (см. рис. 1), и векторы (2) в окрестности каждой точки x_0 удовлетворяют уравнению векторного поля

$$f(y) = \Phi(x) - \Phi(x_0) = a \cdot y = \sum_i \frac{\partial f}{\partial y_i} y_i, \quad (4)$$

которое описывает причинно-следственные однородные связи $f(y)$ с учетом внешнего средового сме-

$$щения $y = x - x_0$ и параметров внутренней среды $a_i(y) = \frac{\partial f}{\partial y_i} = \frac{\partial \Phi(x)}{\partial x_i}$.$$

Структура этого поля представляет собой пучки (касательные слои) линий, пересекающихся в точке x_0 , которая отражает состояние местной среды (см. рис. 2, б). Она похожа на модель ФДР (см. рис. 2, а), поэтому пучок векторов касательного слоя соответствует спектру переменных состояний геосистемы, связанных с конкретным состоянием ГС: геосистема по своим характеристикам близка, но не тождественна геосреде. Полное сходство наблюдается только в эквифинальных состояниях $x = x_0$, $\Phi(x) = \Phi_0(x_0)$. Геосистема — своеобразная надстройка над средой, и изменение характеристик удовлетворяет уравнению Эйлера (4) для однородных функций $f(y)$ отклонения (принуждения) $y_i = x_i - x_{0i}$ от характеристик среды x_{0i} (местной нормы). Если локально $y = \{y_i\}$ средовая функция $\Phi_0(x)$ похожа на билинейную зависимость (4), то с математической точки зрения соответствующая ей рельефная поверхность представляет собой многообразие сред (среды), которому сопоставляется множество касательных слоев со своей векторной структурой y , моделирующей изменчивость геосистем. Такое соответствие многообразия среды и касательного пространства разнообразия геосистем — это прямое следствие реализации принципа Гаусса, которое в географической интерпретации означает максимальное сходство состояния геосистем и их среды существования. В соответствии с этим законы изменения геосистем регламентируются уравнением (4) или его динамическими обобщениями, а функция состояния геосистем не может значительно отклоняться от средовой функции в локальной области. О неизвестных функциях среды $\Phi_0(x)$ можно судить только по совокупности уравнений (4) для геосистем разных сред, выделяя инварианты каждого системного слоя x_0 и $\Phi_0(x_0)$, которые представляют собой идентификаторы типа геосистем и основание для их классификации.

Локальная структура эйлерова поля (см. рис. 2, б) обладает уникальными свойствами симметрии [26]: его преобразования — растяжение, поворот или смещение — переводят это поле в себя в границах слоя пучка векторов или другого векторного слоя. Эти свойства важны для аналитических и сравнительных исследований в географии. Линейное смещение $x_0 \rightarrow x_{01}$ моделирует процесс трансформации, связанный с изменением средового фона, и дает возможность сопоставить модели разных эпифаций: поворот локально-векторного поля сопоставляет различные факториальные ряды, а растяжение $y \rightarrow y_+$ сравнивает разные степени серийности. Все эти особенности сводятся к единому архетипу — общей нуклеарной схеме центрального типа, в которой все «крутится» вокруг средового центра даже в том случае, когда он находится в движении в процессе трансформации среды. К такой схеме, в частности, можно отнести экономико-географическую модель «центр–периферия», в которой процесс пространственного распространения нововведений или товаров рассматривается как вектор их передвижения из производственно-торгового центра (полюса роста). Ландшафтные хорионы центрального типа состоят из ядра и окружающих его полей и подчиняются закону симметрии [27]. Ландшафтно-географические поля — это сфера влияния геосистем локальных ядер на смежные участки территории. Пример — типичные геосистемы сибирской тайги, где роль ядра выполняют приводораздельные темнохвойные лесные массивы, влияющие на склоновое окружение. Связанные с таким формальным представлением законы не зависят ни от масштаба явлений, ни от конкретного содержания изучаемых процессов, формируются повсеместно в реальности и отражаются в модельных построениях.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Для иллюстрации изложенного воспользуемся данными, полученными методом комплексной ординации по 26 ландшафтным характеристикам в районе Нижнего Приангарья в 1968–1975 гг. на 39 пробных площадях (биогеоценозов) полигон-трансекта Приангарского южнотаежного стационара [7, 29, 30] (рис. 3, а). Полигон площадью $2320 \times 100 \text{ м}^2$ включает равнинные водоразделы и склоны,

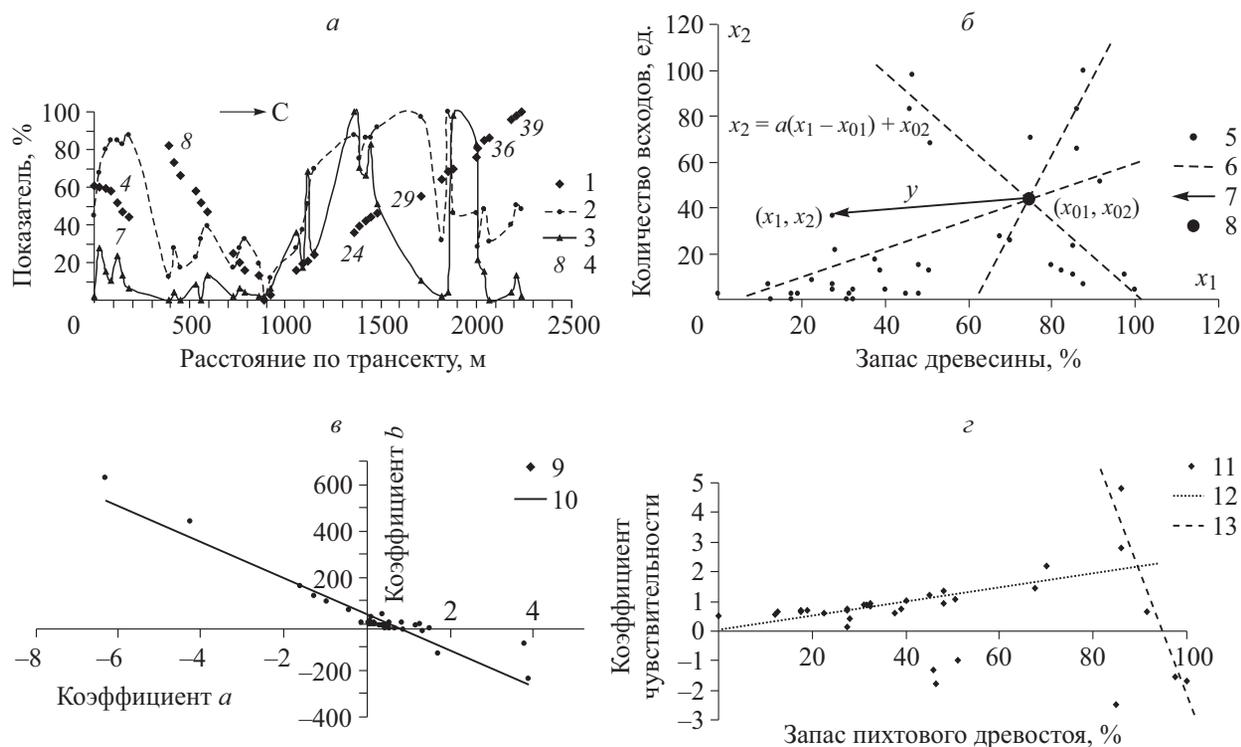


Рис. 3. Последовательность статистического анализа.

a — первичные данные стационарных исследований (1 — высота местоположения, %; 2 — запас пихтового древостоя, %; 3 — обилие всходов пихты, %; 4 — номера пробных площадей); *б* — причинно-следственные связи обилия всходов с запасом древесины пихты (5 — данные наблюдений, %; 6 — линии разных направлений связи; 7 — вектор характеристик конкретного местоположения; 8 — характеристики среды — норма, начало локальных координат); *в* — зависимость коэффициентов линейной связи $b = -x_{01}a + x_{02}$ (9 — исходные данные, %; 10 — линейная аппроксимация зависимости); *г* — зависимость коэффициентов чувствительности *a* от запаса пихтового древостоя разных местоположений (11 — исходные данные, %; 12 — положительная, 13 — отрицательная связи $a(x_1)$).

выпуклые трапповые поверхности, водосборные понижения и днище долины ручья. На трансекте представлены разные переменные состояния (биогеоценозы) преимущественно субгидроморфных фаций — восстановительно-возрастные экзогенные и эндогенные стадии динамики таежных геосистем. В эндогенном цикле пихтовой тайги выделяется несколько временных стадий естественного разрушения и восстановления древостоев, в каждой из которых географические характеристики принимают разные значения. На основе статистического анализа их регрессионных связей выявляются инварианты ландшафтной среды.

В качестве переменных $x = \{x_i\}$ рассматриваются центрированные и нормированные характеристики [29] в интервале от 0 до 100 %. Значения $x_i(t)$ изменяются циклически и диахронно, т. е. с временным смещением. В частности, зависимость количества всходов пихты x_2 от запаса пихты в древостое x_1 (см. рис. 3, б) локально описывается линейным уравнением вида (2): $x_2 = ax_1 + b$. Коэффициенты *a* и *b* определяются методом скользящей регрессии по трем точкам в пространственном ряду данных по 39 площадям. Далее анализируется связь коэффициентов $b = -x_{01}a + x_{02}$ (см. рис. 3, в), наличие которой указывает на существование пучка линейных зависимостей $x_2(x_1)$ (см. рис. 3, в) и соответствующих векторов с центром (началом) в точке (x_{01}, x_{02}) . В данной локальной системе координат каждой точке (x_1, x_2) соответствует вектор с концом в этой точке. Компоненты вектора (y_1, y_2) равны $y_1 = x_1 - x_{01}$, $y_2 = x_2 - x_{02}$, откуда линии связи в пучке удовлетворяют причинно-следственным отношениям $y_2 = ay_1$, на основе которых уточняются значения $a = y_1/y_2$.

В данном случае связь коэффициентов $b = -77,4a + 42,0$ ($R^2 = 0,90$), т. е. центр пучка линий и векторов имеет координаты (77,4; 42,0), что указывает на характеристики среды по исследуемым параметрам. С высоким коэффициентом детерминации $R^2 = 0,90$ можно утверждать, что местная среда функционально и пространственно однородна и относится к одному ландшафтному геому (элемен-

тарному типу региональной среды), а именно к геому пихтовых лесов на мощных подзолистых суглинистых почвах денудационных возвышенностей южной тайги (вариант таежной природной среды). На местности геом представлен множеством (эпифацией) геосистем разных переменных состояний — биогеоценозов на различных восстановительно-возрастных стадиях и нескольких факторальных рядов, преимущественно субгидроморфной серийности.

Эндосреда биогеоценозов a различается по влиянию запаса пихтарников x_1 (см. рис. 3, з): до величины средней нормы $x_{01} = 77,4 \%$ значение a положительно реагирует на наличие пихты в составе древостоя $a = 0,0247x_1 + 0,0734 = 0,0247(y_1 + x_{01}) + 0,0734 = 0,0247y_1 + 1,988$; в спелых и перестойных лесах превышение нормы подавляет процесс возобновления (см. рис. 3, з). Постоянная величина $a_0 = 1,988$ определяет эндосреду (инвариант) совокупности переменных состояний (биогеоценозов) исследуемой местности, когда в смещенных показателях $a - a_0 = 0,0247y_1$.

Анализируя связи разных показателей, можно проследить не только инвариантное сходство, но и различия геосистем по характеристикам среды. При этом вместо парной допускается использовать множественную регрессию с выделением пучков многокомпонентных векторов многофакторных зависимостей.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В исследовании обосновывается неэквивалентность геосистем и географической среды (ГС), когда геосистема в различной ее системной интерпретации рассматривается как множество (слой) ее переменных состояний, связанных с конкретной средой. Такая точка зрения позволяет преодолеть неоднозначность трактовки понятий, подготовить их к математической формализации и связать полученные формализмы с традиционным пониманием терминов. Предлагается векторная модель связи геосистемы и ее среды — своеобразная формальная онтология географических знаний. Тогда классическая формулировка географического исследования «единства многообразного» интерпретируется как средовое единство разнообразия переменных состояний геосистемы, связанных с определенным средовым инвариантом — элементом многообразия ГС — интегрирующей функцией устойчивых географических характеристик. Характеристики ГС статичны по отношению к динамическим изменениям геосистемных показателей, т. е. ГС — это норма существования геосистем. Универсальное многообразие среды включает прежние, настоящие и будущие варианты географической среды. Ее элемент присутствует в каждой геосистеме, которая отличается от других по показателям внешней и внутренней среды. Все множество геосистем на многообразии геосреды образует географическое расслоенное пространство (геосистемное поле). Такие представления следуют из векторной модели и принципа наименьшего принуждения Гаусса, который в географическом выражении требует минимизации отклонения переменных признаков геосистем от устойчивых характеристик ГС.

Различаются геосистемный и геосредовой подходы как части системных и средовых направлений исследований в науке. Здесь географические системы понимаются различным образом в терминах соответствующей системной теории, что позволяет реализовать широкий методологический подход к анализу взаимосвязи объекта и среды. Проявляется своеобразная двойственность и дополнительность понятий, находящихся во взаимосвязи: объекты и предметы исследования, факторы и условия влияния, законы и закономерности взаимодействия. Для теоретического анализа в этих сочетаниях необходимо максимально уменьшить влияние средового фона ($y = x - x_0$) для выяснения истинных (закономерных) связей и разнокачественных сравнений. Это позволяет вносить поправки в суждения с учетом средовой нормы. Данный подход реализуется в теории калибровочных (ландшафтных) полей, обеспечивающих инвариантность законов теории относительно калибровочных преобразований пространства исследования.

Требование минимума отклонения переменных состояний геосистемы от характеристик среды позволяет вывести дифференциальное уравнение, описывающее связи свободных от среды переменных y и локально отображающее функции их связей. В соответствии с этим уравнением формализуются законы существования векторного расслоенного на геосистемы пространства характеристик, обладающего высокой степенью сравнительно-географической симметрии, что придает такому подходу дополнительную фундаментальность. Это дает возможность объяснить существование многих моделей географической науки, например, схемы факторально-динамических рядов, модели эпигеосистем (эпиассоциаций, эпифаций) и т. д. Однако главное и новое здесь — обретение уравнений для оценочных аналитических и статистических расчетов с использованием однородных функций и их

производных преобразований. Объясняется также процесс трансформации геосистем как смены средового инварианта путем перемещения на многообразии ГС с последующим изменением режима — набора и последовательности движения переменных состояний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Средовой подход — сквозное направление географических исследований природы и общества, основанный на принципах средовой относительности и наименьшего принуждения в изменчивости геосистем. Количественные характеристики геосистем складываются из постоянной средообусловленной составляющей и вектора азональных отклонений, выражающего меру принуждения в разных системных интерпретациях, в частности, в моделях эндогенной динамики субгидроморфных фаций темнохвойной тайги. В каждой системной теории может реализоваться средовой подход при его правильном географическом и математическом применении.

Земная реальность складывается из многообразия разновидностей географической среды, координируемой и картографируемой на местности, и многократно более мощного множества переменных состояний геосистем разного масштаба, параметризуемых и моделируемых в пространстве географических характеристик в виде функций связи векторов этих состояний. Формально геосистемы образуют линейное векторное поле касательных векторных системных слоев, выстраивающихся в пространстве координируемых характеристик над поверхностью многообразия географической среды. Такое векторное поле по объему понятия соответствует географической оболочке, которая эквивалентна географической среде только в эквивалентных состояниях всех геосистем, что в действительности маловероятно в постоянно меняющемся мире.

Особенности соотношения геосистем, их эндо- и экзогеосреды следует принимать во внимание в ландшафтных исследованиях, при математическом моделировании, прогнозом, оценочном и синтетическом картографировании территорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сочава Б.В. Введение в учение о геосистемах. — Новосибирск: Наука, 1978. — 319 с.
2. Семёнов Ю.М., Суворов Е.Г. Геосистемы и комплексная физическая география // География и природ. ресурсы. — 2007. — № 3. — С. 11–19.
3. Марков Ю.Г. Функциональный подход в современном научном познании. — Новосибирск: Наука, 1982. — 255 с.
4. Междисциплинарные проблемы средового подхода к инновационному развитию / Под ред. В.Е. Лепского. — М.: Когито-центр, 2011. — 240 с.
5. Голубченко И.В., Оборин М.С., Кагарманова А.И. Средовой подход и его место в географических исследованиях // Проблемы региональной экономики. — 2012. — № 4. — С. 136–142.
6. Сочава В.Б., Крауклис А.А., Снытко В.А. К унификации понятий и терминов, используемых при комплексных исследованиях ландшафта // Докл. Ин-та географии Сибири и Дальнего Востока. — 1974. — Вып. 42. — С. 3–9.
7. Крауклис А.А. Природные режимы и топогеосистемы // Природные режимы и топогеосистемы Приангарской тайги. — Новосибирск: Наука, 1975. — С. 7–17.
8. Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К. Экология. Особи, популяции и сообщества. — М.: Мир, 1989. — Т. 1. — 667 с.
9. Сочава В.Б. Определение некоторых понятий и терминов физической географии // Докл. Ин-та географии Сибири и Дальнего Востока. — 1963. — Вып. 3. — С. 50–59.
10. Голубчик М.М., Евдокимов С.П., Максимов Г.Н., Носонов А.М. Теория и методология географической науки. — М.: ВЛАДОС, 2005. — 463 с.
11. Ануцин В.А. Теоретические проблемы географии. — М.: Гос. изд-во геогр. лит-ры, 1960. — 264 с.
12. Григорьев А.А. Задачи комплексного исследования территорий // Природа. — 1926. — № 5–6. — С. 43–58.
13. Григорьев А.А. Опыт аналитической характеристики состава и строения физико-географической оболочки земного шара. — Л.; М.: Изд-во Географо-экономич. науч.-исслед. ин-та Ленингр. ун-та, 1937. — 68 с.
14. Сочава В.Б. Теоретические предпосылки картографирования среды обитания // Докл. Ин-та географии Сибири и Дальнего Востока. — 1973. — Вып. 40. — С. 3–15.
15. Сочава В.Б. Исходные положения типизации таежных земель на ландшафтно-географической основе // Докл. Ин-та географии Сибири и Дальнего Востока. — 1962. — Вып. 2. — С. 14–23.
16. Григорьев А.А. Закономерности строения и развития географической среды. — М.: Мысль, 1966. — 382 с.
17. Калесник С.В. Общие географические закономерности Земли. — М.: Мысль, 1970. — 283 с.

18. **Бакланов П.Я.** Подходы и основные принципы структуризации географического пространства // Изв. РАН. Сер. геогр. — 2013. — № 5. — С. 7–18.
19. **Черкашин А.К.** Математические основания синтеза знаний междисциплинарных исследований социально-экономических явлений // Журн. эконом. теории. — 2017. — № 3. — С. 108–124.
20. **Черкашин А.К., Солодянкина С.В.** Функциональная география как направление теоретических исследований и моделирования // География и природ. ресурсы. — 2018. — № 2. — С. 181–190.
21. **Разумовский О.С.** От конкурирования к альтернативам. Экстремальные принципы и проблема единства научного знания. — Новосибирск: Наука, 1983. — 224 с.
22. **Фурсова П.В., Левич А.П., Алексеев В.Л.** Экстремальные принципы в математической биологии // Успехи современной биологии. — 2003. — Т. 123, № 2. — С. 115–137.
23. **Маркеев А.П.** О принципе Гаусса // Сб. науч.-метод. статей: Теоретическая механика. — 2000. — Вып. 23. — С. 29–45.
24. **Крауклис А.А.** Проблемы экспериментального ландшафтоведения. — Новосибирск: Наука, 1979. — 233 с.
25. **Крауклис А.А.** Структурно-динамический фациальный анализ южно-таежного ландшафта // Южная тайга Приангарья. — Л.: Наука, 1969. — С. 32–119.
26. **Арнольд В.И.** Обыкновенные дифференциальные уравнения. — М.: Наука, 1971. — 240 с.
27. **Ретеюм А.Ю.** Земные миры (о целостном изучении геосистем). — М.: Мысль, 1988. — 266 с.
28. **Крауклис А.А., Евдокимова В.Н.** Опыт количественного описания натурной модели // Природные режимы и топогеосистемы Приангарской тайги. — Новосибирск: Наука, 1975. — С. 246–269.
29. **Фролов А.А., Черкашин А.К.** Высотный градиент как комплексный фактор формирования микрозональности ландшафтов и серийности геосистем // География и природ. ресурсы. — 2012. — № 1. — С. 14–24.

Поступила в редакцию 01.10.2019

После доработки 13.07.2020

Принята к публикации 25.09.2020