



УДК 911.5:168.2:51–7(571.53)
DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.31.102>

Естественная классификация географических систем: модели представления знаний

А. К. Черкашин

Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Исследуются теоретические и эмпирические основания создания естественных классификаций объектов различной природы в сопоставлении с имеющимися знаниями о законах формирования периодической системы химических элементов. Прослеживается аналогия принципов классификации географических объектов со свойствами этой системы. На примерах рассмотрены соотношения понятий и процедур типологии, систематики, классификации, таксономии и мерономии. Показано, что в основе типизации объектов лежат метатеоретические представления о расслоении реальности на элементах базы расслоения и многообразии условий среды. Схемы связей элементов определяют классификацию типов с демонстрацией аналогии и гомологии таксономических позиций в структуре классификаций. Выделяются модельные схемы линейного порядка, триангуляции, иерархической классификации, ординации в пространстве признаков (меронов) с фрактальными свойствами самоподобия. С использованием в качестве модельных функций формулы теории надежности для оценки интегрированной опасности экологических и геоморфологических процессов получены эмпирические и теоретические соотношения в виде уравнений математических моделей соответствующих архетипов.

Ключевые слова: естественная классификация, периодическая система, типологическое расслоение, математические модели архетипов, восстановительно-возрастная динамика лесных экосистем, пространственная структура ландшафтов.

Для цитирования: Черкашин А. К. Естественная классификация географических систем: модели представления знаний // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2020. Т. 31. С. 102–122. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.31.102>

Введение

Естественная классификация систем – одна из фундаментальных проблем науки [Розова, 1986; Соловьева, 1999]. Естественная классификация (ЕК), в отличие от искусственных схем типизации, основывается на знании объективных законов природы. Периодическая система (ПС) химических элементов Д. И. Менделеева – классический пример успешного построения классификационной схемы знаний и одновременно пример ЕК, позволяющей делать выводы. Проблема создания ЕК остается нерешенной и некоторыми учеными считается невыполнимой [Розова, 1986]. ЕК в географической науке связана с систематизацией территориальных единиц, компонентов геосистем, их элементов, свойств и характеристик. В основе классификации лежит сегментация территорий и акваторий методами районирования

и типологического картографирования с применением стационарных, маршрутных и дистанционных данных [Коновалова, 2019].

В. Б. Сочава [1974] подчеркивал, что для каждого класса геосистем существует потребность в базисной, или общенаучной, классификации и различных классификациях специального назначения. В. С. Михеев [2001] считал, что в геосистемной классификации происходит смещение акцентов изучения пространственных характеристик объектов на множество системообразующих связей объектов между собой и между объектами и средой, что подтверждает важность выделения сущностных свойств геосистем при их классификации. Сравнительный анализ наиболее полных современных классификаций геосистем, получивших фундаментальную картографическую апробацию, показывает значительное их совпадение как по числу категорий, так и по главным основаниям деления [Михеев, 1997]. Это позволяет предполагать существование глубоких закономерностей в структуре классифицирования географических объектов и возможности создания в перспективе общей универсальной методики классифицирования. Процедура классифицирования в настоящее время не формализована и основывается на использовании методов экспертных оценок, зависит от принятых частных концепций, индивидуального опыта и наличных данных. В связи с тем значением, которое имеют классификации, возможность автоматизации процесса их получения может служить важным средством интенсификации работ [Тикунов, 1997]. В. Б. Сочава [1974] отмечал необходимость развития принципов классификации геосистем на основе методов моделирования, которые призваны обеспечить объективные приемы генерализации и математического описания подразделений природной среды.

В географии известны попытки создания ЕК, например, в форме ПС природных зон [Григорьев, Будыко, 1956; Мильков, 1977], которые обладают свойствами периодичности, структурированности, ранжированности, но не обеспечивают главных качеств ЕК – не определяют свойства объектов по положению в структуре классификации и не позволяют делать логические выводы о существующих закономерностях. В итоге в географии и других науках не создана система, аналогичная по указанным критериям ПС, что свидетельствует о невозможности ее использования в качестве образца классифицирования [Воронин, 1985]. Однако с учетом научной эффективности ПС подобное скорее дает основание говорить о существовании глубоко скрытых и пока неясных закономерностях формирования классификационных систем.

После открытия периодического закона в теоретической физике сделано многое для осмысления классификаций элементарных частиц, квантовых состояний и химических элементов. Были предложены уравнения, описывающие явления квантования, а следовательно, типизации и классификации физических объектов, поскольку квантовое различие есть различие типологическое. Согласно принципу запрета Паули в пределах одной квантовой системы, например в атоме, электроны должны отличаться хотя бы одним квантовым числом, откуда следует разнообразие химических элементов и их со-

единений. В 1935 г. Фок [1935] показал, что явление квантования может быть выражено в обобщенных функциях и координатах, не имеющих отношение к их физическому содержанию. Квантование возникает как следствие понижения степени симметрии системы при переходе к пространствам меньшей размерности и повышения возмущающего действия среды [Фет, 2010]. Поэтому данный подход применим для отражения свойств квантово-классификационной системы в различных областях науки [Babaev, Hefferlin, 1996].

В последние десятилетия предпринимались разные попытки сформировать философско-методологическую и математическую основу ЕК, разработать классиологию [Rozhkov, 2012] – системное знание о теории, моделях и методах классификации, имеющее общенаучное, сквозное значение. Классификация выполняет роль информационной системы (формальной онтологии), причем справедливо отмечается, что главным здесь является не создание собственно классификации, а разработка научных принципов ее построения. Сделана попытка изложить на современном уровне основы математической теории классификаций, что была бы приемлема для любого вида классификаций, с созданием такой «абсолютной классификации», из которой вытекали бы все остальные, но в результате констатируется, что такая теория остается только мечтой [Parrochia, Neuville, 2013]. Не раскрыты связи между формальными моделями и содержательными выводами в этой области, т. е. то, что порождает ЕК с качествами ПС. В связи с этим ставится задача сравнить теорию построения и использования ПС с опытом создания классификаций географических систем и на этой основе выделить общие свойства классиологического метатеоретического уровня, находящегося между математикой и теорией классификационных систем.

Модели и методы исследований

Различаются разного типа классификации: количественные и качественные, эмпирические и теоретические, морфологические и генетические, искусственные и естественные, иерархические и неиерархические, экстенсionales и интенсionales [Субботин, 2001]. Эти и другие оппозиции имеют непосредственное отношение к формированию ЕК и здесь рассматриваются с точки зрения накопленного опыта классифицирования при решении разных географических задач [Михеев, 2001; Ландшафтно-интерпретационное ... , 2005; Гомология и гомотопия ... , 2009; Cherkashin, 2009] в аспекте соотношения структурного (синтетического) и функционального (аналитического) подходов. Структурные модели представлены наглядными схемами, функциональные модели – математическими соотношениями признаков классификации, обеспечивающими выполнение целевых экологических, экономических, социальных или иных функций. В ЕК предполагается однозначное соответствие конкретной функции – определенной позиции в классификационной структуре.

Классификации рассматриваются как конечный результат реализации процедур типологии (типологизации) – дифференциации и организации предметов по существенным признакам или образцам, основанным на поня-

тии типа как единицы членения изучаемой реальности, конкретной идеальной модели объектов (архетипа – плана строения). Классификационный тип – своеобразный квант элементарного знания, содержащий информацию о структуре и функциях объектов соответствующего класса с возможностью делать выводы о свойствах конкретных экземпляров этого класса. Различаются типология признаков классифицирования (мерономия) и типология выделения типов объектов по этим признакам (таксономия). Мерономия занимается систематикой и классификацией признаков, частей и свойств объектов, таксономия – систематикой и классификацией самих объектов. Систематика имеет дело с разнообразием реальных объектов и явлений, обеспечивая их системную связность в группы (типы, таксоны). Структуры порядка раскрываются через классификацию и выражаются в разных классификационных моделях, основанных на различных принципах формирования. Предметом систематики являются экземпляры (признаки, особи, выделы), а классификации – типы (координаты, виды, фации).

В систематике реализуется инвариант-вариантный подход, когда множество экземпляров (вариантов) объединяются в группу вокруг типового образца (инварианта), например, в биологической систематике около типового признака или типового вида, который используется в качестве номенклатурного типа рода или семейства – крестоцветные (*Cruciferae*) по признаку, или то же капустовые (*Brassicaceae*) по типовому виду. Аналогично подразумевается единство классификации геосистем и их компонентных признаков [Theoretical development ... , 2019], что лежит в основе распознавания по частным характеристикам типов геосистем и их ареалов с отображением на ландшафтно-типологическую карту или интерпретации такой карты в карты производного тематического содержания [Ландшафтно-интерпретационное ... , 2005].

В. Б. Сочава [1978, с. 88] подчеркивал, что «в учении о геосистемах проблема классификации особенно актуальна ввиду чрезвычайного разнообразия коренных типов геосистем...». Классификация должна отражать динамику, т. е. переменные состояния геосистем и рассматривать их как производные от той или иной коренной структуры (инварианта). В будущем классификация геосистем, по мнению В. Б. Сочавы [1972], должна основываться на их инвариантах, что будет способствовать совершенствованию современных классификаций. В качестве инвариантов рассматриваются геосистемы зонального типа, а вариантов – их факторальные азональные состояния. Инвариант-вариантное объединение формирует эписистемы разного уровня: эпиассоциации, эпифации, эпигеомы. Результатами систематики являются геомеры в их территориальном (гомогенные ареалы) и типологическом (типы фаций, группы, классы фаций, геомы, виды ландшафтов) выражении.

В географии первичными объектами систематики на равных являются разноуровневые территориальные, индивидуальные единицы: биогеоценозы, фации, урочища, местности, ландшафты и т. д. Классификации геосистем отображаются в легендах карт, структура условных знаков и обозначений которых должна удовлетворять критериям классификации: соответ-

ствии знаков явлениям действительности на карте и в легенде, исчерпывающая полнота (наличие всех обозначений, присутствующих на карте), ясность и краткость текстов, объясняющих смысловое значение знаков, логичность в группировке и размещении знаков и т. д.

Простейшей классификационной системой порядка в картографической легенде является линейная шкала X , отражающая разные масштабы процессов, например шкала высот рельефа, соответствующая горизонталям и гипсометрической окраске на топографических картах. Двумерной схемой $X \times Y$ (декартовым произведением элементов двух линейных шкал X и Y) представлены легенды корреляционных карт, например, на карте природных зон с классификацией Григорьева – Будыко [1956] по соотношению тепла и влаги в координатах годового радиационного баланса и радиационного индекса сухости. Такая комбинативная (фасетная) структура классификации допускает синхронное деление объектов по градациям разных признаков, когда любая таксономическая позиция – это пересечение таксонов из линейных фасетов, с помощью которых объекты координируются (индексируются). В классификации фасетного типа перечисляются все возможные комбинации, большинство из которых в реальности не встречаются. В этом смысле она противостоит иерархической классификации упорядочения множества таксономических типов в виде графа-дерева по различным основаниям, в частности полученным в результате статистической кластеризации.

Связь линейной и иерархической классификаций демонстрирует Универсальная десятичная классификация (УДК) документов, основанная на десятичном принципе организации: совокупность знаний иерархически разделена на 10 основных разделов с цифровыми обозначениями от 0 до 9, а каждый из разделов – на десять более мелких и т. д. Разделы и подразделы по содержанию выстраиваются в систематическом линейном порядке от общего к частному с использованием цифрового кадастрового кода по аналогии с десятичными дробями. Например, тематика типологии и классификации ландшафтов кодируется УДК 911.52 – география и географические исследования (УДК 91), общая и отраслевая география (УДК 911), типологическая география (УДК 911.5) и ландшафтоведение (УДК 911.52). Точку (запятую) можно поставить в любом месте, в частности, 0,91152 – это десятичная рациональная положительная дробь меньше единицы. Число однозначно изображается в любом исчислении (двоичном, троичном, восьмеричном), но наиболее наглядным будет то из них, в котором отображается естественная иерархия систем. Независимо от выбранного исчисления ограниченную по длине кодировку всегда можно спроецировать на отрезок значений от 0 до 1 счетных рациональных чисел $m/n \in M \times N$, $m \in M$, $n \in N$ – целые числа.

Наглядной иллюстрацией перехода от линейных шкал к научной классификации является создание Д. И. Менделеевым ПС химических элементов. Простой порядок элементов по их атомному весу (числу протонов, заряду ядра) превратился в периодическую прямоугольную схему с возможностью вывода новых знаний, когда множество всех таксонов образует де-

рево по отношению включения. Вместе с тем такая схема не является таблицей, т. е. состоящей из ячеек пересечения горизонтальных и вертикальных строк (периодов и рядов). В центре таблицы ПС имеются пустые места, которые невозможно заполнить неизвестными элементами. В связи с этим более точной формой должна быть треугольная схема. Она была предложена Т. Бейли и Ю. Томсенем и усовершенствована Н. Бором [Scerri, 1998, 2006; Mindeleev to ... , 2018]. Такая схема лучше демонстрирует иерархическую и симметрическую природу периодического закона и увеличение интервалов периодичности с ростом номера периода.

Структура ПС объясняется с помощью дифференциального уравнения Шредингера

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \Psi(r, t) + V(r, t) \Psi, \Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}, \quad (1)$$

описывающего водородоподобную модель электронной оболочки атомов во времени и трехмерном пространстве. Здесь $\Psi(r, t)$ – волновая функция в векторно-координатном представлении $r(x, y, z)$ в момент времени t ; $\hbar = h / 2\pi$, h – постоянная Планка; m – масса частицы, $V(r, t)$ – внешнее по отношению к частице поле потенциальной энергии; Δ – оператор Лапласа. Величина $P(r, t) = |\Psi(r, t)|^2$ – квадрат модуля волновой функции, соответствует плотности вероятности обнаружить частицу в окрестности $r(x, y, z)$ в момент времени t .

С использованием стандартной техники решения (1) [Tikhonov, Samarskii, 2011] находится формула для волновой функции в виде $\Psi(r, t) = \psi(r) e^{-(2\pi i / h) E t}$. Подставляя это выражение в (1), получаем стационарное уравнение Шредингера, не содержащее времени:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \psi(r) + v(r) \psi(r) = E \psi(r). \quad (2)$$

Решение уравнения (2) при разных зависимостях $v(r)$ находится как произведение трех функций от разных сферических координат, значения которых ограничены в пространстве. В математике выражение (2) – это уравнение Гельмгольца, которое описывает изменение амплитуды установившихся периодических колебаний определенной частоты.

Каждая из функций пространственных переменных (x, y, z) последовательно дает свое собственное число: $n = 1, 2, 3, \dots$ – главное квантовое число, определяющее энергию электрона и средний радиус его орбитали; $l = 0, 1, 2, 3, \dots, n - 1$ – орбитальное и $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$ – магнитное квантовые числа. Определяется также дополнительное квантовое число, названное «спин»: $\sigma = \pm 1/2$ – собственный момент импульса электронов. Теоретически обосновываются ограничения на значения чисел ($0 \leq n - 1, -l \leq m \leq l$) и правило квантового перехода электрона с одного энергетического уровня на другой ($\Delta l = \pm 1$) [Johnson, 2007]. Для изучения строения ПС используется математика, в частности теории чисел, информации, порядка, множеств, и топология [Restrepo, Pachón, 2007]. В итоге атом представляет собой классифици-

рующую систему, которая отражается в ПС, а положение элементов кодируется квантовыми числами. Например, водород H и гелий He имеют координаты (n, l, m) , равные $(1, 0, 0)$, и различаются только по величине спина внешних электронов оболочки. Поскольку это отличие есть у всех элементов, ПС можно разбить на два симметричных треугольника [Воронин, 1985], каждая классификационная позиция которых представлена «стопкой» из $2m + 1$ элементов по координате m (рис. 1, б).

Треугольная схема, отражающая закономерности ПС, дана на рис. 1 в плоскости собственных чисел (n, l) и (l, m) . Линии смены квантовых состояний соответствуют уравнениям

$$\xi = (n_0 - n) + 2\sigma l + m = (n_0 - n) \pm l + m, n = \text{const}, n_0 = 7. \quad (3)$$

Выстраивается иерархия элементов в последовательности квантовых чисел $n \rightarrow l \rightarrow m$ с увеличением количества элементов в каждом классе n . Это происходит по аналогии задания географических координат «высота \rightarrow широта \rightarrow долгота» в силу использования в обоих случаях понятий сферической геометрии.

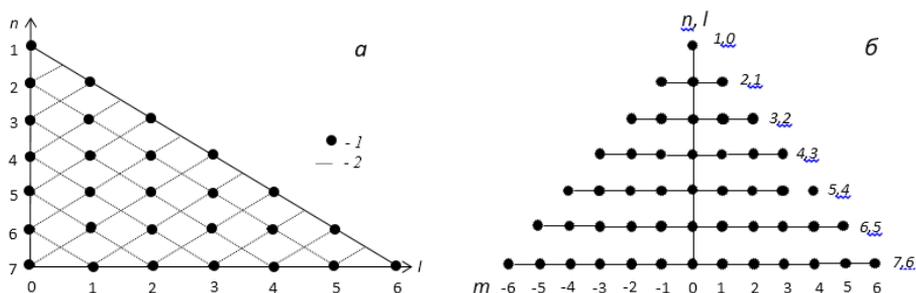


Рис. 1. Схемы организации периодической системы химических элементов в координатах квантовых чисел (n, l) (схема а) и (l, m) (схема б): l – квантовые уровни, 2 – допустимые квантовые переходы. На схеме б представлено сечение пространства квантовых чисел (n, l, m) по линии $(1, 0) - (7, 6)$ на схеме а

В ПС выделяются ряды ($n = \text{const}$) гомологичных по заряду ядер атомов и столбцы ($l = \text{const}$) элементов-аналогов (см. рис. 1, а), в чем состоит сущность периодической зависимости химических свойств атомов от величины зарядов. Подобные аналого-гомологические закономерности проявляются и в дифференциации географических зон в границах широтно-климатических поясов – высшего уровня территориальных геосистем и таксонов широтно-зонального физико-географического деления земной поверхности. Гомологический внутривидовой ряд «лес – степь – пустыня» формируется в направлении возрастания континентальности климата. Другая идея (Д. Г. Виленского) об аналогии в почвообразовании использована при установлении аналогичных рядов (групп) ландшафтных зон [Мильков, 1977], например лесных ландшафтов различных климатических поясов.

При систематизации ландшафтов на основе описания их типичных черт используется множество классификационных признаков генетического

сходства, структурно-функционального подобия, формирования и размещения ландшафтов по трем пространственным координатам широтной зональности, секторности и высотной ярусности. В классификации ландшафтов А. Г. Исаченко [1985] структура типов ландшафтов изображается в виде треугольных пирамидок-символов гор с несколькими ступенями от равнинных до высокогорных ландшафтов. Каждому типу ландшафтов присущ специфический ряд (спектр, гомология) высотных ярусов, причем высотно-ярусная дифференциация наиболее выражена в экваториальном поясе и совсем не проявлена в арктическом, а высокогорные ландшафты разных типов оказываются весьма сходными.

Треугольная схема ПС демонстрирует многие качества классификации, делающие ее ЕК. Здесь существует несколько моделей представления ЕК, в которых линейный порядок элементов свертывается в периодическую треугольную таблицу с параметризацией таксономических позиций значениями квантовых чисел (n, l, m, σ), что проявляется в результатах решения стационарного дифференциального уравнения в частных производных второго порядка (2), описывающего возможное положение частиц в пространстве оценочной функцией состояния электронов в структуре оболочки водородоподобного атома [Tikhonov, Samarskii, 2011; Johnson, 2007]. Такая структура соответствует архетипу объекта классификации (атому) как образцу, простейшей и наглядной функциональной модели связи меронов, в данном случае координат пространства и частей, электронов и ядер, величина электрического заряда которых формирует потенциальное поле взаимодействия. Архетип – классифицирующая модель, что обнаруживается во всех объектах, таксономически упорядоченных в модель классификации в соответствии с особенностями закона (уравнения) взаимодействия их частей в признаковом пространстве. Временная зависимость в этих уравнениях исключается, что указывает на универсальность и устойчивость классификаций относительно временных изменений объектов. Квантовые числа (n, l, m, σ) дополняют координаты локального пространства (x, y, z), и квантование этих координат (меронов, признаков) в структуре архетипа является следствием существования этих чисел в структуре классификации. Это наглядно прослеживается в боровской модели атома, основанной на предположении о существовании стационарных состояний и скачкообразных переходов между ними. Подобным же образом ожидается, что геокомпонентные характеристики будут квантоваться по кодировке позиции географических систем в классификации.

Таким образом, структура пространства классификации определяется собственными значениями стационарного уравнения (2), которое в целом сходно для многих задач и отличается количеством и качеством независимых пространственных переменных, поэтому и количеством собственных чисел, значений и функций, величиной коэффициентов, граничными условиями, видом формулы для потенциалов $V(r)$. Для построения ЕК всегда требуется модель, на примере которой выявляются закономерности систематизации наблюдаемого разнообразия.

С этой целью основные положения классифицирования формулируются в терминах полисистемного расслоения [Cherkashin, 2009]. Расслоением называется отображение $\pi: X \rightarrow B$ множества элементов (пространства) $\xi \in X$ на множество элементов $b \in B$ (рис. 2). Обратное отображение $\pi^{-1}: B \rightarrow X$ «высвечивает» в X элементы типа $b \in B$, формируя из X расслоенное пространство $Y = \{X_b\}$, состоящее из слоев $X_b \in X$, объединение которых при полноте набора B покрывает пространство X . В расслоении $Y = \{X_b\}$ все слои X_b , выделенные по разным основаниям $b \in B$, изоморфны, сравнимы как противоположности и образуют полисистему (систематику) слоев. Например, полисистемным расслоением является распределение $X_b \in X$ множества особей разных животных X территории по их видовой принадлежности $b \in B$ или типизация участков ландшафта $\xi \in X$ с выделением ареалов $X_b \in X$ разных геоморфов $b \in B$ при построении ландшафтно-типологической карты. В этих вариантах $b \in B$ – таксономические позиции определителей или картографических легенд. Организация связей типологических единиц формирует из элементов $b \in B$ (рис. 2, а) систему классификации, например, в виде треугольной структуры (рис. 1), которую можно упорядочить линейно (б), в форме триангуляции (в), рассматривать в качестве таксономического уровня иерархической классификации (г) или симплекса в системе ординации типов в координатном пространстве признаков z_j . (рис. 2, д). В частности, такая ординация используется для создания классификационных треугольных диаграмм при изучении состава горных пород в геологии. Недостаток классификации через количественную ординацию – пересечение областей изменчивости признаков объектов разных типов.

Очевидно, в иерархической классификации элементы каждого уровня, относящиеся к одному общему таксону, являются слоем расслоения таксонов на множестве таксонов более высокого уровня. Иными словами, расслоение может быть многократное, последовательное, что указывает на то, что процедуры расслоения порождают иерархическую многомерную структуру. Наглядно это прослеживается в теории центральных мест В. Кристаллера, в которой рассматривается многоуровневая иерархическая система поселений, где на каждом уровне выделяется инвариантный центр и подчиненные ему образования нижележащего уровня. В каждой из структурных моделей обязательно прослеживается фрактальное и иное самоподобие (симметрия), обеспечивающее иерархическую самоорганизацию таксономических уровней – образец классифицирования [Cherkashin, 2009].

Моделирование архетипов связано с касательным расслоением (X, M, π) , где X – пространство расслоения, M – база расслоения с непрерывной или дискретной топологией. Проекция $\pi: X \rightarrow M$ ставит в соответствие каждой точке $b \in M$ касательный слой $T_b M$, например касательную (гипер)плоскость к поверхности многообразия M в точке b (рис. 3). Модель архетипа задает внутреннюю структуру слоя, центр которой соответствует точке касания $b \in M$ многообразия с координатами x_0 и $r = 0$. Выделяется несколько вариантов систем линий: вложенных круговых орбит с центром b , пучка линий с центром b , множества касательных линий к окружностям, образующих многогранник (см. рис. 3).

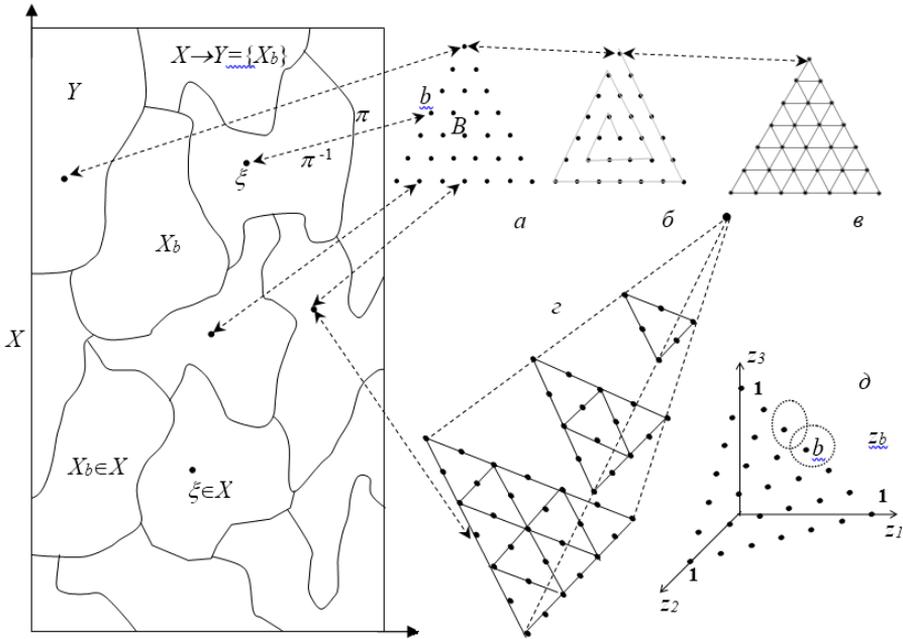


Рис. 2. Процедуры расслоения $\pi: X \rightarrow B$ элементов пространства $\xi \in X$ на множество элементов $b \in B$ с формированием расслоенного пространства $Y = \{X_b\}$ из слоев $X_b \in X$ (задача типологического картографирования). База расслоения B (легенда a) представлена разными модельными схемами: линейного порядка (b), триангуляции (c), иерархической классификации (z), симплекса в координатном пространстве ординации по признакам z_j (d)

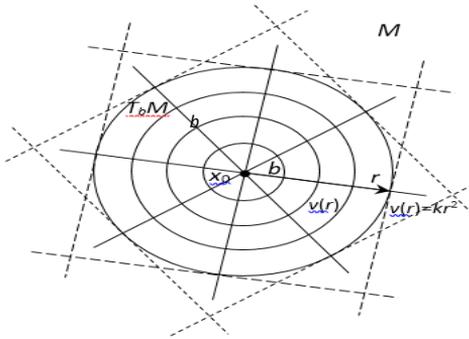


Рис. 3. Структуры и функции касательного слоя T_bM к точкам b многообразия M с координатами x_0 в потенциальном поле $v(r) = kr^2$ (модель квантового осциллятора)

Система орбит аналогична модели атома при зависимости $v(r) \sim 1/r$ потенциала поля от расстояния r . Пучок линий и окружностей подобен модели квантового осциллятора (ротатора) – частицы, вращающейся с частотой ω в ограниченном пространстве на разных расстояниях относительно неподвижного центра (инварианта) в потенциальном поле $v(r) \sim r^2$. Последняя модель напоминает схему линий параллелей и меридианов в азимутальной полярной проекции Земли с центром в точке географического полюса.

Потенциал географического поля естественно возрастает к экватору, определяя дифференциацию глобальных геосистем по широтным поясам и природным зонам, поскольку кадастровый уровень энергии климатической системы в такой модели $E_n \sim (n + 1/2)$ линейно зависит от квантового числа n .

Модель архетипа цикличного и симметричного вида (на рис. 3) широко распространена в науке: например, диаграмма цветка – схематическая проекция цветка на плоскость, которая отражает число, размеры и взаимное расположение частей цветка относительно центра. Системный полиморфизм, изоморфизм и симметрия цветков стали основой их комбинаторной систематизации [Urmantsev, 1986]. Полиморфизм отражает многообразие объектов одной сущности (гомологию), а изоморфизм – однообразие объектов разных сущностей (аналогию). В симметрограмме цветков [Приложение теории ... , 2010] зависимость степени поворотной симметрии относительно ее центра описывается кривой вида $v(r) \sim r^2$.

Концентрическая схема размещения Тюнена, модель «центр – периферия», гравитационная модель территориального взаимодействия используются в экономической географии. В физической географии предложены схемы сезонных циклов геосистем, а также факторально-динамические модели фаций [Крауклис, 1979], в которых координатами выступают показатели степени проявления влияния разных факторов на геосистемы коренного зонального типа. Характеристики коренной геосистемы в центральной части схемы соответствуют ландшафтной норме и определяют положение начала координат, т. е. условий оптимального, сбалансированного воздействия факторов ($r = 0$). Вокруг коренной геосистемы (фации) в поле воздействия разных факторов упорядочиваются остальные геосистемы, относящиеся к данному типу природной среды и объединенные в эписистему (архетип) под названием «эпифация» (коренная геосистема и ее факторные видоизменения) [Сочава, 1978]. В эпифации разные фации допускают сравнение по аналогии и гомологии, т. е. по степени подобия (серийности) их между собой и с ландшафтной нормой.

Модели организации признакового пространства – архетипов (см. рис. 3) реальных объектов в их расслоенном и касательном представлении выстраиваются относительно базовых многообразий, информационные точки которых объединяются в различные модели связи типов (таксонов), эквивалентные между собой через преобразования (см. рис. 1–2). Это метатеоретический, или субматематический, уровень объяснения, применимый в различных науках при классификации объектов. Базовой организацией элементов типологии являются треугольники (симплексы) разной размерности со свойствами симметрии. Специальная задача – поиск уравнений моделей архетипов, описывающих естественные закономерности с помощью ЕК.

Результаты исследований и обсуждение

Исследовалась восстановительно-возрастная, сукцессионная динамика лесов по лесхозам на территории Иркутской области, в границах которой представлены участки трех физико-географических областей: на севере –

Среднесибирской, на юго-западе – Южно-Сибирской горной, на востоке – Байкало-Джугджурской горно-таежной со своеобразными ландшафтно-фациальными структурами, определяющими формирование разнообразных лесорастительных условий [Попов, 1982]. В лесах области семь основных лесобразующих пород: сосна обыкновенная, кедр (сосна сибирская), лиственница сибирская, пихта сибирская, ель сибирская, осина и береза. Их естественная динамика в основном обусловлена восстановлением древостоев на площадях, пройденных пожарами или рубками главного пользования. В смене пород преобладают два главных направления – формирование темнохвойных лесов на дерново-подзолистых и дерново-лесных суглинистых почвах и светлохвойных (преимущественно сосновых) лесов на почвах легкого механического состава. Направленность смены пород определяется многими факторами, но главным образом зависит от почв и положения относительно элементов рельефа. Минимальный природный ареал с комплексом условий, в границах которого протекает сукцессионный процесс определенной направленности, можно сравнить с фацией в ее типологическом понимании В. Б. Сочавой [1978].

Сукцессионные серии, свойственные каждой фации по признаку сходства состояний, группируются в ряды смен растительного покрова, что территориально соответствует объединению площади фаций в площади геосистем большей размерности по критерию общности протекающих в них процессов. Элементарная геосистема региональной размерности, в пределах которой реализуется качественно своеобразный ряд смены пород, по В. Б. Сочаве [1978], соответствует геому. Классификация восстановительных рядов, предложенная Л. В. Поповым [1982] для подзоны южной тайги Средней Сибири, во многом подобна рядам для геомов этой территории [Сочава, 1978]. Существующие связи фациальной и геомной структур территории с динамикой лесонасаждений, во-первых, позволяют более объективно выделять геосистемы на местности и, во-вторых, судить о динамике леса в той или иной точке пространства по результатам картографирования ландшафтов на геосистемной основе. Математическая модель [Черкашин, 1984] описывает сукцессионно-возрастную динамику лесов, в которой отражено распределение площадей лесов по породам и классам возраста и его изменения в результате перехода площадей из одного класса возраста в другой и по причине смены пород в каждой возрастной группе.

Обозначим p_i – вероятность перехода площадей из i -го класса возраста в последующий, $p_{0i} = 1 - p_i$ – вероятность смены пород в этом классе. В терминах теории надежности величина p_i – это вероятность сохранения возрастной динамики лесов данной породы, а p_{0i} – вероятность потери (риска) части площадей в ходе смены пород, пожаров или рубки. Последовательное произведение вероятностей p_i , начиная с первого класса $P_i^* = p_{i-1}P_{i-1}^*$, является надежностью в данном случае восстановительного процесса. Величина P_i^* определяет вероятность достижения лесонасаждением i -го класса возраста, следовательно, она убывает с возрастом. Вероятность P_i^* отражает фациальную структуру ландшафтов, где встречаются леса данной породы; фации

как бы упорядочены по классам возраста, в которых происходит смена пород [Ландшафтно-интерпретационное ... , 2005]. Величина $E_i = -\ln P_i^*$ называется интегрированной опасностью не достигнутой лесонасаждением i -го класса возраста. Эта величина – аналог отрицательного потенциала развития леса, который накапливается с возрастом.

При непрерывном возрасте x используются функции теории надежности, соответственно, $P^*(x)$ – вероятность безотказного существования, $P(x)$ – плотность вероятности отказа, $E(x)$ – интегрированная опасность, $p_0(x)$ – интенсивность отказа, т. е. смены пород. Эти функции связаны классическими соотношениями:

$$P(x) = -\frac{\partial P^*(x)}{\partial x} = p_0(x)P^*(x), p_0(x) = \frac{\partial E(x)}{\partial x}, P^*(x) = \exp\left(-\int_0^x p_0(\xi)d\xi\right). \quad (4)$$

Во втором уравнении из (4) переменная $E(x) = -\ln P^*(x)$ соответствует вероятности не достигнутой состояния x из начального состояния $x = 0$. Функцию $P(x)$ в смысле плотности вероятности неотказа (сохранения активности) в концепции этногенеза [Гумилев, 1992; Titov, 2005] можно связать с пассионарностью – высокой активностью морфогенетического поля, приводящей к формированию новых этносов. Эта вероятность представлена графиком возрастающего и затухающего волнового процесса. В природных системах интенсивность отказа (смертность) $p_0(x)$ описывается экспоненциальной функцией (уравнением Гомпертца) [Gavrilov, Gavrilova, 2006] (β – константа):

$$E(x) = \exp[\beta(x - x_0)], p_0(x) = \beta E(x) = \beta \exp[\beta(x - x_0)], \quad (5)$$

где x_0 – величина среднего смещения, соответствующая положению максимума функции $P(x) = P(x_0)$ и $E(x) = 1$. Значение x_0 – координаты точки b касания слоя $T_{x_0}M$ многообразия средовых условий M (см. рис. 3). Функции формируются в каждом слое (ситуации) в соответствии с соотношениями, описываемыми дифференциальными уравнениями

$$\frac{\partial E}{\partial x} = \beta \exp[\beta(x - x_0)] = p_0(x), \frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = \beta^2 E(x). \quad (6)$$

Последнее уравнение соответствует уравнению Гельмгольца (2) в виде $\Delta E(x) = \beta^2 E(x)$ для одномерного случая $r = x$ и $v(x) = 0$. Решение уравнения (6) имеет два собственных числа ± 1 и значения $\pm \beta$, что в случае моделирования динамики популяций соответствует двум типам кривых выживания $P^*(x)$: выпуклая кривая для популяций с увеличивающейся с возрастом смертностью ($\beta > 0$) и вогнутая кривая, отражающая массовую гибель особей в начальный период их жизни ($\beta < 0$). Смена пород идет по кривой первого типа, т. е. интенсивность растет с возрастом [Черкашин, 1985].

Для численного анализа собраны архивные данные по лесхозам, расположенным в различных физико-географических областях Иркутской области, с минимальными антропогенными изменениями структуры лесонасаж-

дений. В основном это лесхозы, на территории которых лесоустройство было выполнено по третьему разряду точности в 1970-х гг. По результатам расчетов в разных районах области в изменениях коэффициента p_{0i} по классам возраста прослеживается общая тенденция к росту в соответствии с уравнением (5) при $\beta > 0$, но резкие увеличения интенсивности смены пород в разных местах приходится на неодинаковые классы возраста x_0 , т. е. кривые p_{0i} смещены относительно друг друга.

По формуле $P_i^* = p_{i-1}P_{i-1}^*$ на конечный класс возраста $i = n$ рассчитываются надежность P_n^* лесообразовательного процесса и интегрированная опасность не достигнуть этого состояния $E_n = -\ln P_n^*$, связанная со сменой пород, лесными пожарами и рубками. Величина $E_n = E_j$ для j -й породы сравнивалась с долей площади S_j лесонасаждений (в пределах лесопокрываемой территории) с преобладанием j -й породы. Показатель S_j относительно устойчив во времени, и его значение характеризует позицию лесов данной породы в лесообразовательном процессе на территории лесхоза. Связь этих величин близка к линейной [Черкашин, 1985]: $S_j = \pm AE_j + \Delta Sn$ при разных $n = 0, 1, 2, \dots$; $\Delta S = 0,167 = 1/6$, $A = 0,10$. Такие линии образуют сеть (рис. 1, а) и пересекаются в точках с координатами $E_j = \Delta El_j$, $l = 0, 1, 2, \dots, 6$; $\Delta E = 1,73$, $A = \Delta S/\Delta E$. Отсюда следует, что $S_j/\Delta S = \pm l + n$ – выражение, аналогичное (3) при естественных ограничениях $0 \leq l, n \leq 6$. Проведенное статистическое исследование показывает, что в пространстве характеристик (S_j, E_j) связи параметров задают устойчивую сетку, подобную схеме организации ПС. Уровни ($\Delta Sn, \Delta El$) определяют устойчивые состояния динамики лесных экосистем. Особенно интересна кратность доли площадей экосистем $S_j = \Delta Sn_j$ величине $\Delta S = 1/6$, или в процентах 16,7, 33,3, 50 % и т. д. Например, общая площадь аридных территорий составляет более 30 % земной суши [Babaev, Zonn, 1999]. Считается, что для сохранения биоразнообразия необходимо выделять природные охраняемые территории, площадь которых на суше должна быть не менее 1/6 ее части. В странах Западной Европы такие земли составляют около 1/3 (33 %) площади.

Интегрированная опасность в данном случае рассчитывается по формуле $E_j = \pm aS_j + \Delta En$, где $a = 1/A$, или $E_j = 2\sigma a(S_j - S_{0j})$, где $S_{0j} = \Delta En/a = \Delta Sn$ имеет смысл среднего смещения (аналог x_0 на рис. 3, позиция на многообразии географической среды), значение которого квантованно (пропорционально n). Величина E_j возрастает или убывает с ростом доли площади лесов S_j на территории. При $\sigma < 0$ вероятность не достигнуть конечного состояния снижается, надежность лесовосстановительного процесса в обширных лесных массивах данной породы возрастает.

Отрицательная зависимость E_j от площади S_j или размера x_j распространена в приложениях, поскольку крупномасштабные явления встречаются реже. Например, в работах Б. В. Виноградова [Vinogradov, 1988] показано, что вероятность $P^*(r)$ появления на местности контуров с линейным размером больше L , m хорошо описывается уравнением

$$E(r) = -\ln P^*(r) = a + br + c \sin \omega r, \quad r = x - x_0 = \ln L / \ln L_0, \quad x = \ln L, \quad x_0 = \ln L_0, \quad (7)$$

где a, b, c – коэффициенты; ω – частота колебаний, L_0 – минимальный размер выделов, меньше которого считается $P^*(r) = 1, E(r) = 0, P(r) = 0$. Этому уравнению соответствует кривая процесса формирования пространственной структуры ландшафта за счет выравнивания рельефа: переход от мелких выделов расчлененного рельефа к более крупным единицам равнинного типа. По результатам регрессионного анализа $E(r) = -\ln P^*(r) = -0,73 + 0,985r - 0,482\sin 5,307r, R=0,99, L_0 = 23,3 \text{ м}, L \geq 100 \text{ м}$.

Путем последовательного дифференцирования $dE/dr = b + c\omega\cos\omega r, d^2E/dr^2 = -c\omega^2\sin\omega r$ с заменой переменных $E(r) = E_0(r) + a + br$ получаем одномерное уравнение вида (2): $d^2E_0(r)/dr^2 = -\omega^2E_0(r)$. Его решение $E_0(r) = \exp(i\omega r)$, где $i = \sqrt{-1}$ – мнимая единица, находится в виде $E_0(r) = C_1\sin\omega r + C_2\cos\omega r$. Здесь C_1, C_2 – константы интегрирования, которые определяются по граничным условиям $E_0(0) = 0, dE_0/dr = 0$ при r_m на концах отрезка значений $r \in [0, r_{\max}]$. Отсюда $C_2 = 0$ и $dE_0/dr = -\omega C_1\cos\omega r_m = 0$, что дает собственные значения $\omega_n = \pi(1/2 + n)/r_{\max}$ при $n=0, 1, 2, \dots$, и для рассчитанных значений коэффициентов уравнения (7) вычисляется квантовое число рассматриваемой ситуации $n \approx 6$. Поскольку по определению $\omega_n = 2\pi\Delta r$, где Δr – длина волны колебаний, будет $r_{\max} = (1/2+n)\Delta r/2$, т. е. при постоянном периоде Δr величина r_{\max} линейно зависит от числа n , кодирующего тип рельефа от высокогорного ($n = 0$) до равнинного ($n > 6$). Решение исходного уравнения $E_n(r) = a + br + C_1\sin\omega_n r$ подобно эмпирическому выражению (7), и при $r=r_{\max}$ на верхней границе получается $E_n(r_{\max}) = a + br_{\max} + C_1 = a + C_1 + b(1/2+n)\Delta r/2$ также линейно зависит от n , что связывает эти уравнения с упомянутым уравнением $E_j = \pm aS_j + \Delta E n$ для динамики лесов.

Полученное выражение $d^2E_0(r)/dr^2 = -\omega^2E_0(r)$ также соответствует уравнению Гельмгольца (2) для одномерного случая $r = x - x_0$ и $v(r) = 0$. Его решения имеют множество собственных чисел n и квантованных значений ω_n . Предполагается существование более общего уравнения, учитывающего временную зависимость $E(t, r)$. Проблема в том, чтобы правильно определить вид левой части уравнения вида (1), отражающей особенности временных изменений объектов. В данном случае описывается процесс рельефообразования в виде циклов Дэвиса с тектоническим поднятием и опусканием поверхности, процессом пенепленизации с эрозионным выравниванием рельефа и сносом обломочного материала, что приводит к увеличению размеров выделов. Такие процессы отражаются волновыми дифференциальными уравнениями телеграфного типа [Tikhonov, Samarskii, 2011], являющимися следствием уравнений Максвелла взаимодействия полей:

$$\frac{\partial^2 E_0(t, r)}{\partial t^2} + \frac{1}{\tau} \frac{\partial E_0(t, r)}{\partial t} = V^2 \Delta E_0(t, r) - F(t, r)E_0(t, r), E_0(t, r) = E(t, r) - a - br,$$

где r – положение относительно центра типологического слоя (типа среды, см. рис. 3); $V(t, r)$ – фазовая скорость выравнивания рельефа, т. е. роста размеров однородных выделов; $F(t, r)$ – интенсивность сноса или накопления

осадочного материала в ландшафте; τ – характерное время, возраст рельефа, увеличение которого ведет к ускорению процесса выравнивания. В простом варианте модели выделяется первая производная по времени, зависящая от функций интенсивности тектонических, флювиальных и склоновых процессов [Бызов, Саньков, 2015].

Заключение

Наблюдается аналогия между законами формирования периодической системы химических элементов и принципами классификации географических систем. Выявляется единообразная треугольная схема представления научных знаний, особенности которой прослеживаются в результатах эмпирических исследований, теоретического и математического анализа на мета-теоретическом уровне организации знаний. Задачи типизации, систематики и классификации объектов и их признаков формализуются в терминах расслоения множеств и пространств на многообразиях географической среды (базах расслоения). В каждом слое объединяются объекты, связанные с инвариантом слоя – элементом базы расслоения или точкой касания многообразия условий среды. Выявление таких базовых элементов и точек определяет задачу систематизации, а их структурирование и организацию в таксономическую систему – задачу классификации. Классификация – конечный результат типологических исследований, состоящих в определении топологических моделей связей множества элементов базы расслоения. Выделяются модельные схемы линейного порядка, триангуляции, иерархической классификации, ординации в пространстве признаков (меронов) с фрактальными свойствами самоподобия. Число таких моделей и методов их построения велико, и существует возможность перехода от одной модели к другой, что, собственно, и формирует естественные качества классификации, причем каждая модель представления знаний используется для решения конкретных задач.

Для создания естественной классификации требуется модель архетипа, на примере которой выявляются закономерности формирования наблюдаемого разнообразия. Архетип как классифицирующая модель обнаруживается во всех объектах в форме плана строения и функционирования объектов в каждом касательном слое в виде эписистемы переменных состояний, объединяющихся вокруг инварианта – точки касания слоев многообразия среды, например вокруг коренной фации зонального типа в эпифации.

Структура и функция архетипа описываются разными дифференциальными уравнениями для оценочных функций времени и характеристик состояния, которые приводятся к уравнению Гельмгольца, что единообразно отражает эти функции в виде вневременных установившихся периодических колебаний. Решается задача на собственные числа, значения и функции в ограниченном пространстве слоя, определяющие квантовую структуру архетипа и соответствующую послойную классификацию объектов. Размерность и объем многомерного пространства слоя задает количество видов собственных (квантовых) чисел и разнообразие таксономических единиц периодической системы.

Вневременные свойства модели архетипа показывают, что эволюционный аспект в типологии не так важен, как структурный порядок размещения таксонов в координатах квантовых чисел. Это позволяет рассматривать эволюцию как реализацию последовательной смены позиций в структуре классификации, отражающей возможные типы существования объектов, что и делает любую классификацию естественной классификацией.

В практических географических исследованиях в качестве оценочных функций удобно использовать функции теории надежности, и особенно полезна функция интегрированной опасности восстановительно-возрастной динамики популяций и сообществ, которая описывается дифференциальными уравнениями Гельмгольца. Решение прямых и обратных задач моделирования выявляет причины квантово-типологического различия средовых ситуаций и предлагает методы совершенствования моделей и их дальнейшей количественной и качественной идентификации.

Исследование выполнено за счет средств государственного задания АААА-А17-117041910167-0.

Список литературы

- Бызов Л. М., Саньков В. А.* Математическое моделирование эволюции рельефа сбросового уступа на примере Святоносского поднятия (Байкальская впадина) // Известия Иркутского государственного университета. Сер. Науки о Земле, 2015. Т. 12. С. 12–22.
- Воронин Ю. А.* Теория классифицирования и ее приложения. Новосибирск : Наука, 1985. 231 с.
- Гомология и гомотопия географических систем. Новосибирск : Гео, 2009. 351 с.
- Григорьев А. А., Будыко М. И.* О периодическом законе географической зональности // Докл. АН СССР, 1956. Т. 110, № 1. С. 129–132.
- Гумилев Л. Н.* От Руси к России: очерки этнической истории. М. : Прогресс, 1992. 336 с.
- Исаченко А. Г.* Ландшафты СССР. Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1985. 320 с.
- Коновалова Т. И.* Научные основы геосистемного картографирования // Известия Иркутского государственного университета. Сер. Науки о Земле, 2019. Т. 29. С. 85–100.
- Краужис А. А.* Проблемы экспериментального ландшафтоведения. Новосибирск : Наука, 1979. 233 с.
- Ландшафтно-интерпретационное картографирование. Новосибирск : Наука, 2005. 424 с.
- Мильков Ф. Н.* Природные зоны СССР. М. : Мысль, 1977. 293 с.
- Михеев В. С.* Ландшафтный синтез географических знаний. Новосибирск : Наука, 2001. 216 с.
- Михеев В. С.* Основные направления классификации геосистем // Классификация геосистем. Иркутск : Ин-т географии СО РАН, 1997. С. 25–26.
- Попов Л. В.* Южнотаежные леса Средней Сибири. Иркутск : Изд-во Иркут. гос. ун-та, 1982. 230 с.
- Приложение теории групп к описанию псевдосимметрии биологических объектов / Д. Б. Гелашвили, Е. В. Чупрунов, М. О. Марычев, Н. В. Сомов, А. И. Широков, А. А. Нижегородцев // Журнал общей биологии. 2010. Т. 71, № 6. С. 497–513.
- Розова С. С.* Классификационная проблема в современной науке. Новосибирск : Наука, 1986. 223 с.
- Соловьева Е. А.* Естественная классификация. Системологический аспект. Харьков : Изд-во ХТУРЭ, 1999. 222 с.
- Сочава В. Б.* Введение в учение о геосистемах. Новосибирск : Наука, 1978. 318 с.

- Сочава В. Б.* Геотопология как раздел учения о геосистемах // Топологические аспекты учения о геосистемах. Новосибирск : Наука, 1974. С. 3–86.
- Сочава В. Б.* К теории классификации геосистем с наземной жизнью // Доклады Института географии Сибири и Дальнего Востока. 1972. Вып. 34. С. 3 – 14.
- Субботин А. Л.* Классификация. М. : ИФ РАН, 2001. 94 с.
- Тикунов В. С.* Классификации в географии: ренессанс или увядание? (Опыт формальных классификаций). М. ; Смоленск : Изд-во СГУ, 1997. 367 с.
- Фет А. И.* Группа симметрии химических элементов. Новосибирск : Наука, 2010. 238 с.
- Фок В. А.* Атом водорода и не-евклидова геометрия // Известия АН СССР, 1935. № 2. С. 169–179.
- Черкашин А. К.* Количественные взаимосвязи динамики лесной растительности и географической среды // Географический анализ природных ресурсов Иркутской области. Иркутск : Из-во Ин-та географии СО АН СССР, 1985. С. 52–72.
- Черкашин А. К.* Модель динамики лесонасаждений лесхоза и ее применение для решения прогнозных задач // Планирование и прогнозирование природно-экономических систем. Новосибирск : Наука, 1984. С. 69–81.
- Babaev A. G., Zonn I. S.* Desertification, Its Consequences and Control Strategy // Desert Problems and Desertification in Central Asia. Berlin, Heidelberg : Springer, 1999. P. 49–58.
- Babaev E., Hefferlin R.* The Concepts of Periodicity and Hyper-Periodicity: from Atoms to Molecules // Concepts in Chemistry: a Contemporary Challenge / ed. D. Rouvray. London : Research Studies Press, 1996. P. 24–81. URL: <http://www.chem.msu.ru/eng/misc/mendelev/hyper/>
- Cherkashin A. K.* Polysystem modelling of geographical processes and phenomena in nature and society // Mathematical modelling of natural phenomena, 2009. Vol. 4, N 5. P. 4–20.
- Gavrilov L. A., Gavrilova N. S.* Reliability Theory of Aging and Longevity // Handbook of the Biology of Aging / Masoro E. J., Austad S. N. (eds.). San Diego : Academic Press, 2006. P. 3–42.
- Johnson W. R.* Atomic Structure Theory: Lectures on Atomic Physics. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, 2007. 312 p.
- Mendelev to oganesson: a multidisciplinary perspective on the Periodic table / Scerri E., Restrepo G. (eds.). New York: Oxford University Press, 2018. 314 p.
- Parrochia D., Neuville P.* Towards a general theory of classifications. Basel, Heidelberg, New York, Dordrecht, London : Springer, 2013. 304 p.
- Restrepo G., Pachón L. A.* Mathematical aspects of the Periodic law // Foundations of Chemistry. 2007. Vol. 9. P. 225–242.
- Rozhkov V. A.* Classiology and soil classification // Eurasian soil science. 2012. Vol. 45. N 3. P. 221–230.
- Scerri E.* The Periodic Table: Its Story and Its Significance. New York : Oxford University Press, 2006. 368 p.
- Scerri E.* The Evolution of the Periodic System // American Scientist. 1998. P. 78–83.
- Theoretical development of a natural soil-landscape classification system: An interdisciplinary approach / O. Bastian, M. E. Fleis, M. V. Nyrtsov, A. G. Khropov // Catena. 2019. Vol. 177. P. 238–245.
- Tikhonov A. N., Samarskii A. A.* Equations of Mathematical Physics (Dover Books on Physics). New York : Dover Publications Inc., 2011. 800 p.
- Titov A. S.* Lev Gumilev, ethnogenesis and eurasianism. London : University of London, 2005. 245 p.
- Urmantsev Yu. A.* Symmetry of system and system of *symmetry* // Symmetry, Unifying Human Understanding, Vol. 1. Hargittai Ed., Series in Modern Applied Mathematics and Computer Science, Vol. 10. New York, Oxford : Pergamon Press, 1986. P. 379–406.
- Vinogradov B. V.* Aerospace monitoring of ecosystem dynamics and ecological prognoses // Photogrammetria. 1988. Vol. 43, N 1. P. 1–16.

Natural Classification of Geographic Systems: Knowledge Representation Models

A. K. Cherkashin

V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russian Federation

Abstract. Theoretical and empirical bases of creation of natural classifications for objects with different nature in comparison with available knowledge on laws for formation of periodic system of chemical elements are investigated. The analogy of the principles of classification of geographical objects with the properties of this system is traced. The relations of concepts and procedures of typology, systematics, classification, taxonomy and meronomy are considered on examples. It is shown that the typification of objects is based on metatheoretic ideas about the stratification (bundling) of reality on the elements of the base of fiber bundle and the manifold of environmental conditions. The element relationship schemes define the classification of types with the demonstration of analogy and homology of taxonomic positions in the classification structure. Model schemes of linear order, triangulation, hierarchical classification, ordination in the space of features (merons) with fractal properties of self-similarity are distinguished. The possibility of transition from one scheme of knowledge representation to another provides the emergence of natural classifications that allow to make assumptions. In each typological layer, an archetype is manifested as model of the structure and functioning of objects of this nature, the interaction of parts and characteristics of which is described by differential equations of timeless steady-state periodic oscillations. Typological quantization arises as a solution of these equations with the determination of eigenvalues of taxonomic position and eigenfunctions of interaction in a particular environment. Using the formulas of the reliability theory as model functions, empirical and theoretical relations in the form of equations of mathematical models of the corresponding archetypes are obtained for the assessment of the integrated hazard of ecological and geomorphological processes.

Keywords: natural classification, periodic system, typological stratification, mathematical models of archetypes, age dynamics of forest ecosystems, spatial structure of landscapes.

For citation: Cherkashin A.K. Natural Classification of Geographic Systems: Knowledge Representation Models. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2020, vol. 31, pp. 102-122. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.31.102> (in Russian)

References

Byzov L.M., San'kov V.A. Matematicheskoe modelirovanie evolyucii rel'efa sbrosovogo ustupa na primere Svyatonosskogo podnyatiya (Bajkalskaya vpadina) [Mathematical modeling of the evolution of relief of the fault scarp on the example of Svyatoy nos rise (Baikal basin)]. *Proceedings of Irkutsk state University. Earth Science series*, 2015, vol. 12, pp. 12–22. (in Russian)

Voronin YU.A. *Teoriya klassificirovaniya i ee prilozheniya* [Classification theory and its applications]. Novosibirsk, Nauka, 1985, 231 p. (in Russian)

Gelashvili D.B., Chuprunov E.V., Marychev M.O., Somov N.V., SHirokov A.I., Nizhegorodcev A.A. Prilozhenie teorii grupp k opisaniyu psevdosimmetrii biologicheskikh ob'ektov [Application of group theory to the description of pseudosymmetry of biological objects]. *Journal of General biology*, 2010, vol. 71, no. 6, pp. 497-513. (in Russian)

Gomologiya i gomotopiya geograficheskikh sistem [Homology and homotopy of geographical systems]. Novosibirsk, Geo Publ., 2009, 351 p. (in Russian)

Grigor'ev A.A., Budyko M.I. O periodicheskom zakone geograficheskoy zonalnosti [On the periodic law of geographical zoning]. *Reports of the USSR Academy of Sciences*, 1956, vol. 110, no. 1, pp. 129-132. (in Russian)

- Gumilev L.N. *Ot Rusi k Rossii: ocherki etnicheskoj istorii* [From Russia to Russia: essays on ethnic history]. Moscow, Progress Publ., 1992, 336 p. (in Russian)
- Isachenko A.G. *Landshafty SSSR*. [Landscapes of the USSR] Leningrad, Leningrad Univ. Publ., 1985, 320 p. (in Russian)
- Konovalova T.I. Nauchnye osnovy geosistemnogo kartografirovaniya [Scientific basis of geosystem mapping]. *Proceedings of Irkutsk state University. Earth Science series*, 2019, vol. 29, pp. 85-100. (in Russian)
- Krauklis A.A. *Problemy eksperimentalnogo landshaftovedeniya* [Problems of experimental landscape studies]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1979, 233 p. (in Russian)
- Landshaftno-interpretacionnoe kartografirovanie* [Landscape and interpretative mapping]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2005, 424 p. (in Russian)
- Mil'kov F. N. *Prirodnye zony SSSR* [Natural areas of the USSR]. Moscow, Mysl Publ., 1977, 293 p. (in Russian)
- Miheev V. S. Osnovnye napravleniya klassifikacii geosistem [Main directions of classification of geosystems]. *Klassifikaciya geosistem* [Classification of geosystems]. Irkutsk, Institute of Geography SB RAS Publ., 1997, pp. 25-26. (in Russian)
- Miheev V. S. *Landshaftnyj sintez geograficheskikh znaniy* [Landscape synthesis of geographical knowledge]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2001, 216 p. (in Russian)
- Popov L. V. *YUzhnotaezhnye lesa Srednej Sibiri* [South taiga forests of Central Siberia]. Irkutsk, Irkutsk University Publ., 1982, 230 p. (in Russian)
- Rozova S.S. *Klassifikacionnaya problema v sovremennoj nauke* [Classification problem in modern science]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1986, 223 p. (in Russian)
- Solov'eva E.A. *Estestvennaya klassifikaciya. Sistemologicheskij aspekt* [Natural classification. Systemological aspect]. Harkov, HTURE Publ., 1999, 222 p. (in Russian)
- Sochava V.B. Teorii klassifikacii geosistem s nazemnoj zhizn'yu [On the theory of classification of geosystems with terrestrial life]. *Reports of the Institute of geography of Siberia and the Far East*, 1972, vol. 34, pp. 3-14. (in Russian)
- Sochava V.B. *Geotopologiya kak razdel ucheniya o geosistemah* [Geomorphology as a section of the doctrine of geosystems]. *Topologicheskie aspekty ucheniya o geosistemah* [Topological aspects of the doctrine of geosystems]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1974, pp. 3-86. (in Russian)
- Sochava V.B. *Vvedenie v uchenie o geosistemah* [Introduction to the doctrine of geosystems]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1978, 318 p. (in Russian)
- Subbotin A.L. *Klassifikaciya* [Classification]. Moscow, Institute of Philosophy RAS, 2001, 94 p. (in Russian)
- Tikunov V.S. *Klassifikacii v geografii: renessans ili uvyadanie? (Opyt formal'nykh klassifikacij)*. [Classifications in geography: Renaissance or decay? (Experience of formal classifications)]. Moscow, Smolensk, Smolensk State University Publ., 1997, 367 p. (in Russian)
- Fet A.I. *Gruppa simmetrii himicheskikh elementov* [Symmetry group of chemical elements]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2010, 238 p. (in Russian)
- Fok V.A. Atom vodoroda i ne-evklidova geometriya [The hydrogen atom and non-Euclidean geometry]. *Proceedings of the USSR Academy of Sciences*, 1935, no. 2, pp. 169-179. (in Russian)
- Cherkashin A.K. Model dinamiki lesonasazhdenij leskhoza i ee primenenie dlya reshenij prognoznyh zadach [Model of forest dynamics of forestry station territory and its application for solutions of forecast problem]. *Planirovanie i prognozirovanie prirodno-ekonomicheskikh sistem* [Planning and forecasting of natural and economic systems]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1984, pp. 69-81. (in Russian)
- Cherkashin A.K. Kolichestvennyye vzaimosvyazi dinamiki lesnoj rastitel'nosti i geograficheskoy sredy [Quantitative interrelations of forest vegetation dynamics and geographical environment]. *Geograficheskij analiz prirodnyh resursov Irkutskoj oblasti* [Geographical anal-

ysis of natural resources of Irkutsk region]. Irkutsk, Institute of geography of Siberia and the Far East, 1985, pp. 52-72. (in Russian)

Babaev A.G., Zonn I.S. Desertification, Its Consequences and Control Strategy. *Desert Problems and Desertification in Central Asia*. Berlin, Heidelberg, Springer, 1999, pp. 49-58.

Babaev E., Hefferlin R. The Concepts of Periodicity and Hyper-Periodicity: from Atoms to Molecules. *Concepts in Chemistry: a Contemporary Challenge*. D. Rouvray (ed.). London, Research Studies Press, 1996, pp. 24-81. Available at: <http://www.chem.msu.ru/eng/misc/mendeleev/hyper/>

Bastian O., Fleis M.E., Nyrtsov M.V., Khropov A.G. Theoretical development of a natural soil-landscape classification system: An interdisciplinary approach. *Catena*, 2019, vol. 177, pp. 238-245.

Cherkashin A.K. Polysystem modelling of geographical processes and phenomena in nature and society. *Mathematical modelling of natural phenomena*, 2009, vol. 4, no. 5, pp. 4-20.

Johnson W.R. *Atomic Structure Theory: Lectures on Atomic Physics*. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2007, 312 p.

Gavrilov L.A., Gavrilova N.S. Reliability Theory of Aging and Longevity. Masoro E. J. & Austad S. N. (eds.) *Handbook of the Biology of Aging*. San Diego, Academic Press, 2006, pp. 3-42.

Parrochia D., Neuville P. *Towards a general theory of classifications*. Basel, Heidelberg, New York, Dordrecht, London, Springer, 2013, 304 p.

Restrepo G., Pachón L.A. Mathematical aspects of the Periodic law. *Foundations of Chemistry*, 2007, vol. 9, pp. 225-242.

Rozhkov V.A. Classiology and soil classification. *Eurasian soil science*, 2012, vol. 45, no. 3, pp. 221-230.

Scerri E. The Evolution of the Periodic System. *American Scientist*, 1998, pp. 78-83.

Scerri E. *The Periodic Table: Its Story and Its Significance*. New York, Oxford University Press, 2006, 368 p.

Scerri E., Restrepo G. (eds.) *Mendeleev to oganesson: a multidisciplinary perspective on the Periodic table*. New York, Oxford University Press, 2018, 314 p.

Tikhonov A.N., Samarskii A.A. *Equations of Mathematical Physics (Dover Books on Physics)*. New York, Dover Publications Inc., 2011, 800 p.

Titov A.S. Lev Gumilev, ethnogenesis and eurasianism. London, University of London, 2005, 245 p.

Vinogradov B.V. Aerospace monitoring of ecosystem dynamics and ecological prognoses. *Photogrammetria*, 1988, vol. 43, no. 1, pp. 1-16.

Urmantsev Yu.A. Symmetry of system and system of symmetry. *Symmetry, Unifying Human Understanding, Vol. 1. Hargittai Ed., Series in Modern Applied Mathematics and Computer Science, Vol. 10*. New York, Oxford, Pergamon Press, 1986, pp. 379-406.

Черкашин Александр Константинович
доктор географических наук, профессор,
заведующий, лаборатория теоретической
географии
Институт географии им. В. Б. Сочавы
СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Улан-Баторская 1
e-mail: cherk@mail.icc.ru

Cherkashin Alexander Konstantinovich
Doctor of Sciences (Geography), Professor,
Head, Laboratory of Theoretical Geography
V. B. Sochavy Institute of Geography SB RAS
1, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
e-mail: cherk@mail.icc.ru

Коды научных специальностей: 25.00.23, 25.00.35

Дата поступления: 27.12.2019

Received: December, 27, 2019