



УДК 528.9  
<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.37.56>

## Методология картографирования трансформации геосистем

Т. И. Коновалова

*Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия*  
*Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Россия*

**Аннотация.** Задачей проведенных исследований является разработка основных приемов геосистемного картографирования, осуществляемого для решения вопросов оценки, планирования существующих и возможных преобразований природных и антропогенных комплексов. Карта трансформации геосистем должна стать базисом прогнозных пространственно-временных исследований их преобразований. В статье рассмотрена технология картографирования геосистем в форме информационного синтеза данных и знаний о территории. Значительное внимание уделено теоретическому рассмотрению представления о механизмах трансформации геосистем. Предложена методология среднemasштабного картографирования трансформации геосистем геодинамически активных регионов, рассмотрены основные способы отображения в легенде карт преобразующей динамики, эволюции геосистем, изменения взаимосвязей их компонентов. С помощью предложенной методологии картографирования весь механизм многопланового изучения трансформации геосистем синтезируется на единой основе, которая учитывает универсальные механизмы их преобразований. В решении вопросов, связанных с многовариантным анализом будущего состояния геосистем, такие карты имеют как научное, так и практическое значение.

**Ключевые слова:** геосистема, структура, эволюционные и динамические преобразования, факторы трансформации, легенда карты.

**Для цитирования:** Коновалова Т. И. Методология картографирования трансформации геосистем // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2021. Т. 37. С. 56–69. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.37.56>

### Введение

Картографирование геосистем привлекает к себе внимание как лаконичный способ упорядочения значительного объема географической информации. Первоначально разработка теоретических положений и составление геосистемных карт базировались на геоботанических принципах и способах интеграции фаций по структурным и структурно-динамическим показателям. Так, объединение подчиненных геосистем в таксоны высших иерархических подразделений (физико-географические области) производилось на основе критерия гомогенности, сопряженного с историей развития природной среды. Самобытность карты определялась тем, что принципы генерализации не соответствовали традиционным, поскольку основное значение придавалось разным компонентам природы в зависимости от струк-

туры геосистем. При создании карты «Ландшафты юга Восточной Сибири» (1977) впервые была использована методика отображения множества коренных структур геосистем, их переменных состояний, вызванных внешними факторами, которые были упорядочены путем классификации всех переменных состояний во взаимной связи с коренной группой фаций.

На современном этапе задача картографирования геосистем во многом определяется важностью прогнозных исследований их естественных и антропогенных преобразований. Актуальность развития геосистемного картографирования в изложенном здесь направлении обуславливается необходимостью создания среднемасштабных карт трансформации геосистем, для которых свойственны значительные пространственные и временные масштабы, разнородный генезис, различные этапы развития. Создание таких карт требует синтеза времени и пространства в едином целом, соизмерения современного состояния геосистемы с естественными ритмами и закономерностями развития природной среды. Методология картографирования основывается на современном представлении о трансформации геосистем и дальнейшем развитии теории геосистем В. Б. Сочавы, включает приемы отображения закономерностей развития и преобразования структуры геосистем. Карты трансформации геосистем являются теоретической моделью действительности, синтезируют в себе информацию о преобразующей динамике и эволюции геосистем, направлении их перестроек как в естественных, так и в антропогенных условиях. В разработке вопросов, проблематика которых связана с многовариантным анализом будущего состояния геосистем, планированием современной хозяйственной и природоохранной деятельности, такие карты имеют высокое научное и практическое значение.

### **Методологические предпосылки исследований**

Исследование базируется на представлении о геосистемах как земном пространстве всех размерностей, где отдельные компоненты природы находятся в системной связи друг с другом и как определенная целостность взаимодействуют с космической сферой и человеческим обществом. Изучение преобразования геосистем опирается на целый ряд различных факторов, но в его основе прежде всего находятся четыре ключевые аксиомы теории геосистем [Сочава, 1972]:

– природная среда представляет собой иерархию управляющих и подчиненных структур – геосистем разных рангов и подсистем;

– закономерности, присущие геосистемам, действуют в ограниченных пространственных пределах, которые сводятся к трем порядкам размерности – планетарному, региональному, топологическому;

– геосистемы представлены коренными структурами (компоненты и их взаимосвязи) и переменными состояниями, подчиненными одному инварианту – совокупности присущих геосистеме свойств, которые сохраняются неизменными при их преобразовании. Изменение инварианта происходит при эволюции геосистем;

– для природной среды характерно совмещение двух начал – гомогенности и разнокачественности. Геосистемы всех рангов с гомогенной структурой именуется геомерами, с разнокачественной – геохорами. Гомогенная структура создается в процессе исторического формирования компонентов геосистемы и их взаимосвязей, гетерогенная – в процессе территориального размещения геосистем.

Ряды геомеров и геохор взаимообусловлены в узловых звеньях геосистем – высших подразделениях трех иерархических уровней (планетарного: свита типов ландшафтов – физико-географический пояс; регионального: классы геомов – физико-географическая область; топологического: геомы – ландшафт). Для всех узловых звеньев характерны значительные пространственные и временные масштабы, различные причины и факторы, с которыми связана многовариантность их преобразований. В большинстве современных исследований принято рассматривать изменения на уровне ландшафта.

В Европейской ландшафтной конвенции ландшафт трактуется как область, воспринимаемая людьми, характер которой является результатом действия и взаимодействия природных и человеческих факторов. Он отражает историю экологических, социальных и культурных изменений. Отмечается, что ландшафт представляет собой палимпсест, свидетельствующий о многих последовательных преобразованиях, вызванных климатическими и геологическими факторами, естественной сменой растительности, вмешательством человека [McKee, Yuan, 2019]. Считается, что современные ландшафты и их реакция на текущее преобразование не могут быть полностью поняты без познания процессов, которые формировали их на протяжении тысячелетий [Conservation archaeogenomics: Ancient ... , 2015]. При исследовании преобразования ландшафтов решающее значение имеет концепция «времени большой длительности» (фр. *longue durée*) французского историка Фернана Броделя [Braudel, 1967], которая определяет ландшафт как долговременную и динамичную структуру со свойственными ей процессами. По мнению Ф. Броделя, изучение времени открывает все двери к пониманию настоящего, а географическая среда выступает как весьма изменчивый и в то же время настойчивый, иногда очень навязчивый в своих проявлениях деятель. Наиболее отчетливо проявление «времени большой длительности» в крупномасштабных структурах.

В теории геосистем внимание акцентируется на том, что для каждого уровня иерархии геосистем характерны свой генеральный процесс и своя компонента времени. Геосистемы планетарной размерности имеют наибольший возраст, геосистемы топологического уровня иерархии – наименьшую продолжительность существования, а региональные занимают в этом отношении промежуточное положение. Эволюционные преобразования свойственны геосистемам планетарной и большей части региональной размерности. Для геосистем топологического уровня даже вековые и внутривековые циклы оказываются необратимыми.

Бельгийский физик Илья Романович Пригожин раскрывает такие свойства времени, как нелинейность и необратимость, тем самым развивая эво-

люционную парадигму [Пригожин, 1989]. Он также подчеркивает, что именно в макроскопическом масштабе эти свойства проявляются с наибольшей очевидностью. И Пригожин, и Бродель акцентируют внимание на кардинальных переменах, отмечая, что «события – это пыль» и расплывчатыми сроками переходных взаимодействий можно пренебречь, поскольку история – это «диаграмма бифуркаций», т. е. качественных перестроек различных объектов при изменении параметров, от которых они зависят.

Установлено, что любое нарушение динамического равновесия геосистем приводит к тому, что отдельные процессы перестают компенсировать друг друга. Происходящие преобразования зависят от структурных особенностей и вызывают уменьшение или увеличение вещества и энергии, поступающих в геосистему, а также замедление или ускорению процесса [Neef, 1967]. В таких случаях строгое подчинение вышестоящей структуре нарушается. Ускорение и усиление преобразований произойдет в условиях проявления согласованности происходящих процессов, например аридизации климата и формирования «островов тепла» под воздействием антропогенной деятельности.

Большое значение при изучении трансформации геосистем имеет представление о структурных различиях, которые формируются в специфических условиях внешнего воздействия и развития геосистем. Для познания структурных различий геосистем необходимо определить их компоненты и подсистемы с присущими им взаимосвязями, специфику смены их состояний, которая отражает три аспекта: 1) чередование явлений, поддерживающих существование геосистемы, но несовместимых в один момент времени; 2) восстановление геосистемы, наступающее после разрушения и возмущений, вызываемых внешними и внутренними факторами; 3) необратимая трансформация основных структур геосистемы [Крауклис, 1979]. Первые две составляющие отражают динамические преобразования внутри инварианта. Третья сопряжена с изменением инварианта, т. е. с процессом эволюционного развития природной среды.

Исследование трансформации геосистем геодинамически активных территорий обусловило необходимость комплексной реконструкции преобразований с учетом климатических и тектонических изменений. Для геодинамически активных территорий свойственно своеобразие трансформации геосистем, обусловленное высоким значением эндогенной энергетической составляющей. Для ее определения, помимо размерности и иерархичности геосистем, учитывались следующие геосистемные связи: вещественные (трансформация геосистемой принятого вещества), энергетические (энергия Солнца и Земли), информационные (разнообразие компонентов, характер их взаимосвязей – жесткие, гармоничные, дискретные, подчинение вышестоящей геосистеме). Связь геосистем, подсистем и их компонентов рассматривалась на основе учета воздействия физических полей (гравитационного, электромагнитного), волновых процессов, давления (литосферных плит, блоков земной коры), переноса вещества [Коновалова, 2020].

Утверждается, что волновые движения, субпараллельные Байкальской горной области, способствовали формированию рельефа, о чем свидетельствует рисунок гидросети, фиксирующий скаты волн эпейрогенических колебаний [Уфимцев, Щетников, Филинов, 2010]. В районах сочленения блоков земной коры вдоль разломов происходит активная миграция вещества, конвективный вынос тепла, выклинивание горных пород и изменение их проницаемости. Было установлено, что в их пределах сосредоточены границы геосистем регионального уровня дифференциации [Коновалова, 2018]. Деструктивные процессы в развитии геосистем Прибайкалья вызваны резонансным проявлением рифтогенных и орогенических процессов, характерных для современной стадии развития Байкальской рифтовой зоны; здесь наблюдается разрушение старых и формирование молодых прогрессивных типов геосистем. Стабилизация потенциала развития характерна в основном для геосистем топологического уровня (рефугиумы), включая его высшие подразделения ранга геомы – ландшафты, что связано в большинстве случаев с эндогенным притоком тепла, геохимическими и другими аномалиями в районах разломов и воздействия плюмов.

В пределах геодинамически активных территорий особенно контрастно проявляется, с одной стороны, уравнивание негэнтропии (критерий упорядоченности внутренней структуры, информации) и энтропии (неупорядоченности); в этом случае в геосистеме совершается стабилизация и снижается потенциал ее развития. Это предопределяет сохранение реликтов. С другой стороны, активное проявление тектонических процессов обуславливает преобладание энтропии над негэнтропией и вызывает развитие преобразующей динамики и в конечном итоге эволюцию. Как ни казалось бы странным, но в геодинамически активных регионах именно разнонаправленные климатические и тектонические преобразования способствовали уравниванию энтропии и негэнтропии. Наряду с этим в ряде изолированных местообитаний с аномальными локальными проявлениями природных условий доминирование негэнтропии способствовало возникновению эндемизма.

Структура и функционирование геосистем даже в условиях относительной стабильности природной среды не остаются неизменными. В зависимости от характера длительного гипертрофированного воздействия каких-либо факторов (литоморфного, гидроморфного, криоморфного и т. д.) формировались различные модификации структуры коренной геосистемы, представленные факторальными рядами геосистем, которые также учитывались при оценке трансформации геосистем.

Таким образом, трансформация геосистем сопряжена с процессом развития, преобразующей динамикой и эволюцией геосистем, которые вызваны сочетанием процессов эволюционно сложившегося тренда естественных модификаций геосистем и однонаправленной с этими изменениями деятельностью человека (рис.).

Наиболее серьезного внимания потребовала разработка системы методов картографирования процесса преобразования геосистем, поскольку оно оказалось неэффективным в случае отображения отдельных компонентов и

процессов. Отмечалось [Desimini, 2019], что карта по своей сути статична и устарела. Для того чтобы устранить статические изображения динамических условий, необходимо решить, какие характеристики времени использовать в производстве карт, и разработать методы решения этой задачи.

Очевидно, что при изучении и картографировании трансформации геосистем было целесообразно следовать идее о том, что система определяется в терминах наблюдаемых ее свойств, или, точнее, в терминах взаимосвязей между этими свойствами [Mesarovic, Маско, Takahara, 1970]. Последовательность решения поставленной задачи картографирования трансформации целесообразно выстраивать по ранее предложенной схеме изучения систем [Cleland, King, 1983], включающей формирование информационной базы данных и знаний, формулировку проблемы относительно объекта и ситуации, определение критериев оценки трансформации и их содержания, создание и анализ модели (в данном случае картографической) с выбором наилучшего решения под заданные критерии.

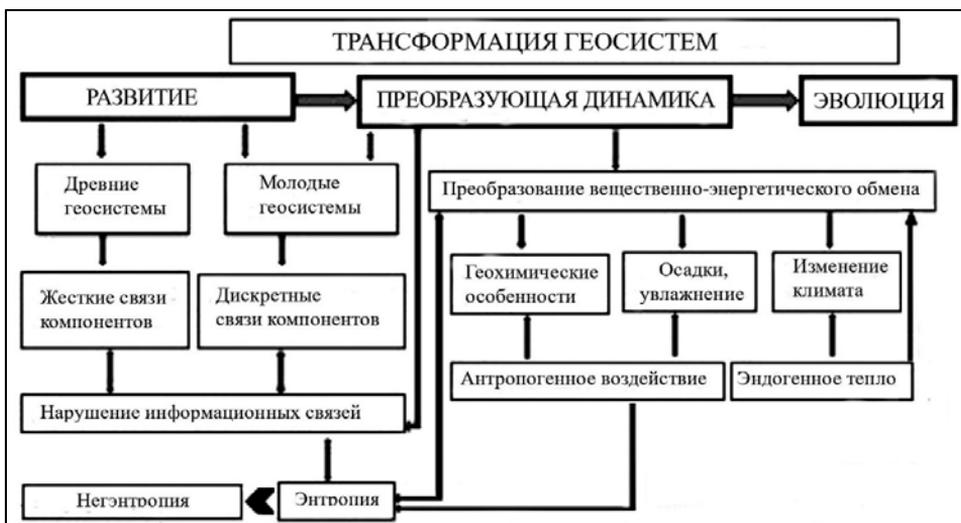


Рис. Факторы трансформации геосистем

### Обсуждение результатов исследования

Карты, построенные на основе отображения факторов трансформации геосистем, дают возможность многовариантного решения прогнозных задач. При картографировании трансформации геосистем основное значение придается выявлению особенностей их преобразования. Иерархичность предполагает рассмотрение каждой геосистемы как подсистемы более крупной, которая, в свою очередь, определяет особенности ее составляющих. Иерархичность строения является важнейшим свойством геосистем, благодаря которому как планетарная геосистема, так и элементарный ареал представляют собой целостность с особой, присущей ей географической организацией. В зависимости от географического уровня меняются внутреннее со-

держание геосистемы и ее внешняя среда, а также и время, в течение которого действует свойственная геосистеме структура, с характерным для нее соотношением компонентов. Признаки узловых звеньев являются инвариантами для подчиненных им геосистем. К примеру, признаки геома (ландшафта) сохраняются во всех группах фаций и качественно изменяются в процессе эволюции.

При картографировании преобразования геосистем время принято рассматривать как физический фактор, обладающий способностью нести информацию, взаимодействовать с веществом и превращаться в энергию, т. е. участвовать во всех природных процессах, обеспечивая причинно-следственную связь. Трансформация геосистем обусловлена как взаимодействием составляющих компонентов, так и воздействием физических полей, волновых процессов, давления. Каждый иерархический уровень – это особая система, которая имеет собственный аттрактор – структуру, на которую выходят процессы эволюции. Иерархические уровни развиваются в направлении собственного устойчивого состояния и в этом движении легко могут войти в противоречие с «интересами» подчиненных структур. Как правило, оно разрешается в пользу вышестоящего уровня. Нижний иерархический уровень в этом случае изменяет свой аттрактор согласно характеру развития управляющей геосистемы. Информация высшего уровня служит основой для всех подчиненных иерархических уровней. Учет иерархичности позволяет установить степень трансформации геосистемы в процессе естественных и антропогенных изменений. Пока рассматриваемая геосистема продолжает оставаться подсистемой и удовлетворяет критериям качества более крупной, она может изучаться как целостное образование.

Чем ниже этот уровень и меньше площадь, занимаемая геосистемой, тем больше явлений, принадлежащих географической оболочке, становятся для данной геосистемы внешними факторами. Наиболее пронизаны транзитными потоками и тем самым наименее замкнуты низшие подразделения топологического уровня – фации, биогеоценозы. В силу существенного воздействия со стороны внешнего окружения они являются самыми изменчивыми ландшафтными единицами, в которых планетарная пространственно-временная структура географической оболочки наиболее осложнена влиянием земной поверхности.

Геосистема изменяется под воздействием вещества и энергии, поступающей из внешних источников (космических и теллурических), которая перерабатывается взаимосвязанной системой компонентов. Принято считать, что основным энергетическим источником функционирования ландшафтной оболочки служит Солнце, поэтому общие критерии теплообеспеченности (зональные признаки) и увлажнения (секторные) положены в основу выделения высших планетарных подразделений геосистем. Например, таких как «аридный азиатский класс» и «центральноазиатский внутриконтинентальный сухостепной подкласс геомов». Вместе с тем в районах интенсивных неотектонических движений внутриземные источники энергии вносят свой значительный вклад в преобразование ландшафтной структуры регионов.

Существенное перераспределение тепла и влаги происходит также в результате воздействия рельефа и орографического строения территории. Поэтому на следующих таксономических ступенях региональной размерности в ранге групп и подгрупп геомов учитывается влияние рифтовых, предрифтовых, орогенных и предорогенных систем, а также особенностей рельефа, которые вносят коррективы в соотношения широтного распределения тепла и влаги. Например, группа суббореальных семигумидных подтаежных и лугово-степных сухих и теплых условий барьерно-теневого и подгорного проявлений геомов.

На более низких ступенях иерархического уровня классификации в качестве определяющего критерия выступает фундамент геосистемы – его петрологический состав, формы рельефа, особенности почвенного и растительного покрова. Например, подтаежный светлохвойный высоких песчаных увалов озерно-речной аккумуляции на средне- и верхнечетвертичных отложениях геом.

При крупномасштабном картографировании более дробных выделов целесообразно отображать факторально-динамические ряды, которые дают возможность выявлять разнообразные варианты преобразования фаций. К примеру, литоморфный ряд – сокращение мощности почвы и усиленное вовлечение в геосистему первичного минерального субстрата; гидроморфный – превращение сухопутных фаций в коллекторы влаги в системе естественного дренажа; криоморфный – снижение количества тепла, появление горизонта длительно действующей мерзлоты; стагнозный – углубление застаивания вещества, подтягивание к геосистеме грунтовых вод, замещение почвы отмершей органикой; псаммофитный – нарастание физико-химической пассивности, механической рыхлости, биолого-экологической опустошенности почвы.

Предположительный порядок смены одного состояния другим отображается в легенде карты через взаимосвязанный набор составляющих элементов, например через изменение групп фаций в порядке возрастания гидроморфности местоположений. Изменение характера увлажнения в ту или иную сторону приведет к тому, что группы фаций примут облик соседнего таксономического типа. Крайние в этом ряду геосистемы обладают способностью трансформации структуры в направлении соответствия смежных с ними одноранговых таксономических категорий.

Выделение и классификация переменных составляющих отображает в легенде карты характер преобразования геосистем с интегральных позиций. Обозначаются такие динамические состояния, как коренное, мнимокоренное, условно-длительно-производное, серийное, серийно-факторальное, мнимокоренное экстраобластное.

Коренная геосистема характеризуется устойчивым динамическим равновесием при оптимальном сочетании ее компонентов и прочно установившимися внутрисистемными и внешними связями. Коренные структуры наиболее полно отражают экологический потенциал местности. Это устойчивые геосистемы, не видоизмененные воздействием человека. (Синоним термину «коренное» – «заключительное», «узловое», «выработавшееся».)

Они не испытывают влияния длительного гипертрофированного воздействия какого-либо фактора (застойного увлажнения, воздействия мерзлоты и проч.), что характерно для серийных факторальных геосистем. Типичная черта коренного динамического состояния – долговечность, т. е. длительное существование на одном месте.

Коренное динамическое состояние в настоящее время зачастую подвергается или подвергалось воздействию извне. В том случае, если преобразования связаны с восстановительной динамикой внутри инварианта, используется понятие о мнимокоренной геосистеме, которая имеет ряд черт коренной, но испытывает воздействие человека или представляет собой еще не вполне завершившийся возврат к коренному состоянию. Именно такое динамическое состояние геосистем характерно для обжитых человеком пространств. Таким образом, мнимокоренные геосистемы преобразованы и отличаются от коренных тем, что не пришли в равновесие внутри себя и с внешней средой из-за недостатка времени.

Многие геосистемы на антропогенно нарушенных территориях уже не восстановятся либо по биологическим причинам, либо в силу радикальным образом изменившихся ландшафтных характеристик их местообитания даже после снятия антропогенной нагрузки. В этом случае для них вводится характеристика условно-длительно-производных геосистем.

Существенный вклад в оценку организации геосистем вносит представление об их серийных типах, которые формируются при специфическом воздействии внешней среды. Так, наряду с продолжительными по времени воздействиями внешней среды на геосистему наблюдаются и серии многократно повторяющихся возмущений с относительно малым промежутком времени между ними. Они переводят геосистему из одного состояния в другое, сохраняя при этом ее основные внутренние взаимосвязи. В результате структура такой геосистемы остается постоянной, но в противоположность обычному равновесию это постоянство сохраняется в процессе непрерывного обмена и движения составляющего его вещества. Это результат скомпенсированного взаимодействия противоположных тенденций. Многообразие таких состояний не противоречит сохранению инварианта, так как их модификация происходит в пределах допустимого диапазона. «Несмотря на небольшую долговечность, эти серийные геомеры как тип геомеров имеют значительный возраст» [Сочава, 1978, с. 108]. Это способ сохранения основного генетического качества геосистемы, достигнутого на данном этапе истории географической оболочки. Серийные типы отличаются от коренного разнообразием их переменных состояний. В свою очередь, устойчивость коренного типа геосистем поддерживается за счет многообразия составляющих подсистем, компонентов и сбалансированных взаимосвязей.

Особенности развития геосистем при оценке их трансформации рассматриваются на основе синтеза географических данных, полученных в рамках эволюционного ландшафтоведения, тектонических и климатических преобразований. Фиксация элементов эволюционного развития геосистемы на карте дает возможность многовариантного прогноза ее будущего состо-

яния в зависимости от ожидаемых изменений физико-географических условий. Показ прошлого, по мнению В. Б. Сочавы [1979], более надежен, чем прогноз будущего. Его отображение осуществляется на карте за счет воссоздания древних геосистем, которые сохранились на территории фрагментарно, через динамическую категорию «мнимокоренные экстраобластные».

Основным при исследовании и картографировании геосистем является отображение их динамического состояния, т. е. положения, которое геосистема занимает в непрерывном ряду изменений формы и содержания. Динамика – это движение, свойственное каждой ныне существующей геосистеме. Она порождает процессы, обуславливающие структурные связи, взаимоотношения между отдельными элементами геосистемы. Динамические процессы направляются ныне действующими факторами, они определяют относительную устойчивость или изменение связей геосистем. Реакция геосистемы на модификацию характера внутренних и внешних взаимодействий во многом обуславливается ее генезисом и динамическими свойствами. Тенденции развития геосистем регионов служат основой для анализа динамики геосистем и ее показа в легенде карты через определенные динамические категории: условно-длительно-производные, мнимокоренные экстраобластные.

Система построения легенды карты обозначает инвариантную структуру геосистемы, которая содержит в своем составе переменные состояния групп фаций. В легенде карты отражаются узловые геосистемы как инвариантный аспект, которым подчинено множество изменчивых геосистем. Принадлежность тех или иных классификационных категорий к одной узловой системе указывает на единство их развития и вероятность перехода в соседний таксономический тип при возникновении внутрисистемных противоречий. При этом динамические категории групп фаций, индексы которых даны в легенде, предоставляют возможность выявления характера взаимосвязей элементов геосистемы. Так, если в составе геомов преобладает незначительное число составляющих подразделений, а их динамические категории характеризуются индексами серийных факторальных либо мнимокоренных экстраобластных, то это означает наличие жестких и дискретных внутрисистемных взаимосвязей, а соответственно, вероятность их необратимых преобразований.

Например, в рамках центральноазиатского внутриконтинентального класса геомов, представленного на восточном побережье Байкала, наметились существенные противоречия, обусловленные современными тектоническими процессами Байкальской рифтовой зоны. Наряду с подгорно-долинными сухостепными здесь представлены также и болотные ландшафты. Их группы фаций характеризуются наличием жестких взаимосвязей (доминирование серийных факторальных категорий), что свидетельствует о сложившихся тенденциях трансформации этих геосистем.

В антропогенных условиях трансформация геосистем может приобретать различный характер: взаимосвязи компонентов геосистем могут изменяться как сравнительно быстро, так и постепенно в процессе качественного

преобразования вещества и энергии под воздействием человека. Характер этих изменений (изъятие влаги на орошение, «острова тепла» в промышленных центрах и т. д.) показывает направление трансформации геосистем. В связи с этим исследование комплекса факторов, отражающих трансформацию геосистем и характер антропогенной нарушенности территории, выявление возможности усиления преобразований за счет проявления однонаправленных изменений дает возможность прогнозировать направление трансформации геосистем.

Так, становление или изменение геосистем в процессе временных преобразований отображаются на карте через ряд последовательных стадий – рядов трансформации. Серийные факторальные и устойчиво-длительно-производные категории воспроизводят проявления преобразующей динамики геосистем.

Анализ информации, заложенной в карту геосистем, дает возможность составить интегральную картографическую модель организации геосистем, в которой информация систематизируется по трем основным типам трансформации: развития, преобразующей динамики и эволюции геосистем. Первый – это возникновение, преобразование и разрушение компонентов, подсистем, их связей в процессе необратимого и направленного изменения географической среды. Второй тип – развитие внутренних противоречий и возникновение преобразований внутри структуры (инварианта). Третий тип – завершающая стадия, хаос, разрушение структуры геосистемы.

### **Выводы**

Новый этап геосистемного картографирования и практического использования его результатов представляется в отображении направления преобразования геосистем, их компонентов и связей, которые имеют территориальную, генетическую и функциональную общность в зависимости от тектонических, климатических, антропогенных условий прошлого и настоящего. Методология картографирования основывается на представлении о факторах трансформации и теории геосистем В. Б. Сочавы. Она базируется на учете открытости геосистем, нелинейности и когерентности их взаимосвязей; содержит приемы отображения закономерностей развития геосистем, связанного с реализацией представления о направленной внутренней перестройке их структуры и ее модификации в процессе проявления преобразующей динамики и качественных необратимых (эволюционных) преобразований. Антропогенная трансформация геосистем рассматривается в контексте изменения их существенных свойств в результате проявления преобразующей динамики и эволюции геосистем, вызванных когерентным усилением естественного тренда перестройки геосистем и однонаправленных антропогенных воздействий. Эволюционные преобразования проявляются для геосистем высших планетарных и региональных иерархических уровней. Наиболее существенные и быстрые преобразования свойственны геосистемам топологического уровня иерархии. Карты трансформации геосистем могут служить основой для планирования рационального природопользования и охраны природы.

*Исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ госрегистрации темы АААА-А21-121012190056-4) и при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-05-00253.*

### Список литературы

*Коновалова Т. И.* Трансформация геосистем Предбайкалья // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2020. Т. 31. С. 26–47. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.31.26>

*Крауклис А. А.* Проблемы экспериментального ландшафтоведения. Новосибирск : Наука, 1979. 232 с.

*Пригожин И.* Переоткрытие времени // Вопросы философии. 1989. № 8. С. 3–19.

*Сочава В. Б.* К теории классификации геосистем с наземной жизнью // Доклады Института географии Сибири и Дальнего Востока. 1972. Вып. 34. С. 3–14.

*Уфимцев Г. Ф., Щетников А. А., Филинов И. А.* Последний эрозионный врез в речных долинах юга Восточной Сибири // Геология и геофизика. 2010. Т. 51, № 9. С. 815–819.

*Braudel F.* La Méditerranée et le monde méditerranéen à l'époque de Philippe II. Seconde édition revue et augmentée, achevée d'imprimer en janvier. Paris : Librairie Armand Colin, 1967. Vol. 1. 589 p.; Vol. 2. 629 p.

*Cleland D. I., King W. R.* Systems Analysis and Project Management. 3rd ed. N. Y. : McGraw-Hill Publishing Company Inc., 1983. 490 p.

Conservation archaeogenomics: Ancient DNA and biodiversity in the Anthropocene / C. A. Hofman, T. C. Rick, R. C. Fleischer, J. E. Maldonado // Trends Ecol. Evol. 2015. Vol. 30, N 9. P. 40–549.

*Desimini J.* Cartographic Grounds: The Temporal Cases // In Mapping Landscapes in Transformation: Multidisciplinary Methods for Historical Analysis, edited by Coomans Thomas, Cattoor Bieke, and De Jonge Krista. Leuven (Belgium) : Leuven University Press, 2019. P. 17–44. <https://doi.org/10.2307/j.ctvjsf4w6.4>.

*Konovalova T. I.* The organization of geosystems in southern East Siberia (research and mapping) // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. October, 2018. Vol. 190, N 1. Art. no. 012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/190/1/012032>

*Mesarovic M. D., Macko D., Takahara Y.* Theory of Hierarchical Multilevel Systems. N. Y. : Academic Press, 1970. 294 p.

*McKee A., Yuan M. A.* High-Resolution Multi-Scalar Approach for Micro-Mapping Historical Landscapes in Transition: A Case Study in Texas, USA // Mapping Landscapes in Transformation: Multidisciplinary Methods for Historical Analysis / ed. by Thomas Coomans [et al.]. Leuven (Belgium) : Leuven University Press, 2019. P. 199–216.

*Neef E.* Die theoretischen Grundlagen der Landschaftslehre. Gotha-Leipzig : Verlag Hermann Haack, 1967. 152 p.

## The Methodology of Mapping the Transformation of Geosystems

T. I. Konovalova

*Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation*

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

**Abstract.** Mapping of geosystems attracts attention as a concise way to organize a significant amount of geographical information. Initially, the development of theoretical provisions and the compilation of geosystem maps were based on geobotanical principles and methods of inte-

grating facies according to structural and structural-dynamic indicators. At the present stage, the task of mapping geosystems is largely determined by the need for predictive studies of their natural and anthropogenic transformations. The relevance of the development of geosystem mapping in the direction described here is determined by the need to create medium-scale maps of the transformation of geosystems, which are characterized by significant spatial and temporal scales, heterogeneous genesis, various stages of development. The creation of such maps requires the synthesis of time and space in a single whole, the comparison of the current state of the geosystem with the natural rhythms and laws of the development of the natural environment. The mapping methodology is based on the modern idea of the transformation of geosystems and the further development of the theory of geosystems by V. B. Sochava, includes techniques for displaying patterns of development and transformation of geosystem structures. Maps of the transformation of geosystems are a theoretical model of reality, synthesize information about the transformative dynamics and evolution of geosystems, the direction of their rearrangements, both in natural and anthropogenic conditions. The article presents a scheme of transformation of geosystems and methods of its mapping.

**Keywords:** geosystem, structure, evolutionary and dynamic transformations, transformation factors, map legend.

**For citation:** Konovalova T.I. The Methodology of Mapping the Transformation of Geosystems. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2021, vol. 37, pp. 56-69. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.37.56> (in Russian)

### References

Konovalova T. I. Transformaciya geosistem Predbaikal'ya [Transformation of Pre-Baikal geosystems]. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2020, vol. 31. pp. 26-47. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.31.26>

Krauklis A.A. *Problemy eksperimentalnogo landshaftovedeniya* [Problems of experimental landscape studies]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1979, 232 p. (in Russian)

Prigozhin I. Pereotkry`tie vremeni [Rediscovering Time]. *Voprosy` filosofii* [Questions of philosophy], 1989, no. 8, pp. 3-19. (in Russian)

Ufimcev G.F., Shchetnikov A.A., Filinov I.A. Poslednij erozionnyj vrez v rechnyh dolinah yuga Vostochnoj Sibiri [The last erosional cut in the river valleys of the South of Eastern Siberia]. *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics], 2010, vol. 51, no. 9, pp. 815-819. (in Russian)

Braudel F. *La Méditerranée et le monde méditerranéen à l'époque de Philippe II*. Seconde édition revue et augmentée, achevée d'imprimer en janvier 1967. Paris, Librairie Armand Colin, vol. 1, 589 p.; vol. 2, 629 p.

Cleland D.I., King W.R. *Systems Analysis and Project Management*. 3<sup>rd</sup> ed. N. Y., McGraw-Hill Publishing Company Inc., 1983, 490 p.

Hofman C.A., Rick T.C., Fleischer R.C., Maldonado J.E. Conservation archaeogenomics: Ancient DNA and biodiversity in the Anthropocene. *Trends Ecol. Evol.*, 2015, vol. 30, no. 9, pp. 40-549.

Desimini J. Cartographic Grounds: The Temporal Cases. In *Mapping Landscapes in Transformation: Multidisciplinary Methods for Historical Analysis*. Eds. by Coomans Thomas, Cattoor Bieke, and De Jonge Krista. Leuven (Belgium), Leuven University Press, 2019, pp. 17-44. <https://doi.org/10.2307/j.ctvjsf4w6.4>.

Konovalova T.I. The organization of geosystems in southern East Siberia (research and mapping). *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, October, 2018, vol. 190, no. 1, art. no. 012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/190/1/012032>

Mesarovic M.D., Маско Д., Takahara Y. *Theory of Hierarchical Multilevel Systems*. N. Y., Academic Press, 1970, 294 p.

McKee A., Yuan M.A. High-Resolution Multi-Scalar Approach for Micro-Mapping Historical Landscapes in Transition: A Case Study in Texas, USA. *Mapping Landscapes in*

*Transformation: Multidisciplinary Methods for Historical Analysis*. Eds. by Thomas Coomans et al. Leuven (Belgium), Leuven University Press, 2019, pp. 199-216.

Neef E. *Die theoretischen Grundlagen der Landschaftslehre*. Gotha-Leipzig, Verlag Hermann Naack, 1967, 152 p.

***Коновалова Татьяна Ивановна***

*доктор географических наук, заведующая,  
профессор кафедры географии,  
картографии и геосистемных технологий  
Иркутский государственный университет  
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
ведущий научный сотрудник  
Институт географии им. В. Б. Сочавы  
СО РАН  
Россия, 664033, г. Иркутск,  
ул. Улан-Баторская, 1  
e-mail: konovalova@irigs.irk.ru*

***Konovalova Tatiana Ivanovna***

*Doctor of Science (Geography),  
Head, Professor of the Department  
of Geography, Cartography and Geosystems  
Technology  
Irkutsk State University  
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,  
Russian Federation  
Leading Scientist  
V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS  
1, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,  
Russian Federation  
e-mail: konovalova@irigs.irk.ru*