

**КОНЦЕПЦИЯ ТРАНСФОРМАЦИИ ГЕОСИСТЕМ****Коновалова Т.И.,***Институт географии им. В.Б.Сочавы СО РАН, г. Иркутск,  
Иркутский государственный университет*

**Аннотация.** Предложена концепция исследования трансформации геосистем геодинамически активной Байкальской природной территории. Реализация задач исследования базируется на использовании теоретического и практического опыта разработок в области системных исследований географической среды. Приводится обоснование понимания ведущей роли эндогенной энергии Земли в необратимых преобразованиях природных систем района исследований. Отмечается, что с районами воздействия плюмов – мантийных потоков, которые проявляются на юго-западе и северо-востоке территории сопряжены наиболее существенные и быстрые изменения природной среды. Характерна сохранность реликтов миоцен-плиоценовой флоры в пределах крупных разломов, вдоль которых фиксируются повышенный приток эндогенного тепла. Здесь же проявляются геохимические и иные аномалии, что отражается на развитии современного эндемизма. Предлагаемые исследования в целом для Байкальской природной территории ранее не проводились и в настоящее время не имеют аналогов.

**Ключевые слова:** *геосистема, механизмы трансформации, преобразующая динамика, эволюция, тектоника*

**THE CONCEPT OF TRANSFORMATION OF GEOSYSTEMS****Kononvalova T.I.,***V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS,  
Irkutsk State University*

**Abstract.** The concept of studying the transformation of geosystems of the geodynamically active Baikal natural area is proposed. The implementation of the research objectives is based on the use of theoretical and practical experience of developments in the field of systematic research of the geographical environment. The rationale for understanding the leading role of the Earth's endogenous energy in irreversible transformations of the natural systems of the research area is given. The most significant and rapid changes in the natural environment are associated with the areas of impact of plume – mantle flows. The transformation of climatic changes in various parts of the territory is noted, the preservation of relics of the Miocene-Pliocene flora within large faults, along which an increased influx of endogenous heat is observed. Geochemical and other anomalies are also manifested here, which is reflected in the development of modern endemism. The proposed studies as a whole for the Baikal natural area have not been conducted before and currently have no analogues.

**Keywords:** *geosystem, transformation mechanisms, transforming dynamics, evolution, tectonics.*

**Введение.** Возможность эффективного ответа российского общества на большие вызовы с учетом взаимодействия человека и природы является одним из приоритетных направлений современных фундаментальных и поисковых научных исследований. Существенное значение в решении этой проблемы имеет разработка концепции трансформации геосистем, которая может служить основой для решения задач рационального природопользования, оценки экологического состояния территории и охраны природы.

В настоящее время существует неопределенность в понимании направления и масштабов региональных изменений природной среды, а суть трансформации геосистем, по-прежнему, остается поисковой. В большинстве исследований антропогенный фактор, либо климатические изменения считаются ведущими в оценке характера преобразования геосистем. По-прежнему, актуальным является замечание В.Б. Сочавы о том, что нарушение физико-географического процесса обычно выпадает из поля зрения исследователя, а использование новейших данных геологии и геофизики открывают возможность для ряда новых обобщений [5].

Цель исследований – разработка концепции трансформации геосистем. Объект исследования – геосистемы Байкальской природной территории. Своеобразие ландшафтных условий региона в значительной мере определяется расположением на стыке трех крупных геоструктур и основных тектонических элементов – Байкальской рифтовой, Алтае-Саянской орогенической зон и Сибирской платформы, в пределах которой расположены существенно различные по геодинамической обстановке Иркутский амфитеатр Сибирской платформы, Селенгинское среднегорье, Байкальская рифтовая зона и Восточно-Саянская горная область.

Это обусловило проявление различных условий преобразования геосистем в районе объекта Всемирного Природного наследия – озера Байкал. При исследовании трансформации геосистем были рассмотрены как климатические, так и тектонические изменения, выявлены этапы и основные факторы, обусловившие эволюционные преобразования геосистем.

Исследования базируются на материалах многолетних наземных, аэровизуальных исследований и картографирования геосистем Сибири, результатах дешифрирования космических снимков с искусственных спутников Земли (Landsat 8 – «OLI», NOAA-20 «VIRS»), опубликованных данных по тектонике и геотермическим градиентам, изменению климата, включая сведения, полученные при реализации проекта «Байкал-бурение».

#### **Методологические принципы исследования.**

Выявление специфики трансформации геосистем относится к проблеме, сложность решения которой определяется необходимостью учета генезиса, направления развития, вещественных, энергетических, информационных связей геосистем, разнообразия их компонентов. Помимо того, поведение геосистемы свидетельствует о некоторой автономности ее микросистем - функциональных совокупностей с различными типами связей [6]. При взаимодействии они усиливают или сглаживают эффект различных внешних воздействий и в динамическом аспекте подобны шестерням в передаче движения, стимулирующего преобразовательное и стабилизирующее начало в природной среде.

Концепция трансформации геосистем основана на представлении о них как земных пространствах всех размерностей, где отдельные компоненты природы находятся в системной связи друг с другом и как определенная целостность взаимодействуют с космической сферой и человеческим обществом. Геосистемы относятся к классу открытых иерархически организованных динамических систем, что определяет нелинейность и когерентность их взаимосвязей. Открытость геосистем означает обмен веществом, энергией и информацией между ними. Когерентность – согласованность процессов, которая может вызвать их усиление и быстрые преобразования геосистем. Нелинейность связей определяет различные реакции геосистемы на преобразования. Все эти свойства в значительной степени определяются структурными различиями геосистем, а именно: их компонентами и подсистемами с присущими им взаимосвязями, спецификой их изменений, направленных на преобразование динамических процессов, которые ведут к модификации структуры и сопряжены с эволюционным развитием.

Иерархичность строения является важнейшим свойством геосистем, благодаря которому как планетарная геосистема, так и ее элементарный ареал представляют собой целостность с особой, присущей ей, организацией. Учет иерархичности позволяет

установить степень трансформации геосистемы. Пока рассматриваемая геосистема удовлетворяет критериям качества более крупной, она может изучаться как целостное образование. При оценке трансформации геосистем иерархические подразделения геосистем рассматриваются не только как «табель о рангах», но и как соотношение их материально-энергетической активности, когда глобальный круговорот представляет собой как бы вложенные один в другой круговороты геосистем регионального и топологического уровней дифференциации. Их совокупность образует иерархическое целое и определяет открытость геосистем.

Значение имеют также информационные связи геосистем, которые определяются как разнообразием компонентов и особенностями их взаимосвязей (жесткие, гармоничные, дискретные), так и подчинением вышестоящей геосистеме, которая, по мнению В.Б. Сочавы [5], является средой для геосистем более низкого ранга. 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. В ряде изолированных местообитаний с аномальными локальными проявлениями природных условий доминирование негэнтропии способствовало возникновению эндемизма.

Утверждается, что вариации солнечной активности, гравитационное воздействие системы Солнце-Земля-Луна оказывают влияние на процессы перемещения и напряжения общепланетарного масштаба в земной коре, которые, в свою очередь, также вызывают климатические и тектонические реорганизации ландшафтной оболочки [4]. Отмечается, что Временной рубеж между неогеновой и четвертичной системами на уровне 2,6 млн. лет определен сменой палеомагнитных эпох Гаусс - Матуямы. С этим геологическим событием, сопряженным с изменением направления магнитного поля Земли, связано плейстоценовое оледенение, увеличение площадей арктической, антарктической зон, образование многолетней мерзлоты, ледниковых и лессовых покровов. Снижение эндогенной активности в интервале 750-600 млн лет (магнитная инверсия Брюнес-Матуяма) вновь привело к охлаждению поверхности Земли в среднем плейстоцене. Следы этих эпох были обнаружены при изучении керн донных отложений оз. Байкал [1,8].

Значительное похолодание северного полушария Земли в кайнозойскую эру также связывают с возвышением Тибета в позднем миоцене и формированием Хангай-Алтае-Саянской горной страны. Первый стал преградой для меридионально ориентированных воздушных потоков, вторая - для широтного переноса. В результате их воздействия получили развитие Азиатский муссон и Монгольский антициклон. Внутриземное тепло оказывает существенное воздействие на тектонические перестройки в литосфере. Выявленным термическим аномалиям соответствует повышенная интенсивность современных тектонических движений, разломообразование, эволюция основных геологических структур. Это определяет формирование высокогорий, либо оседаний крупных блоков земной коры, которые вносят свои коррективы в преобразование климата: формирование барических центров, усиление его континентальности, изменение характера увлажнения и т.д.

Высказывалось предположение о том, что всплески тектонической активности приходится на эпохи смены направленности вектора в системе «тепло-холодно» и наоборот. Атмосферно-гидросферные процессы выступают в качестве триггерного механизма,

способствующего высвобождению упругой энергии, запасенной в литосфере [3]. Возможно, что с этим связано значительное повышение годовых температур воздуха, которые в районе исследований превосходят показатели северного полушария, и увеличение числа экстремальных погодных явлений, связанных с атмосферными блокировками западного переноса.

#### **Представление о трансформации геосистем.**

Автономность геосистем топологического уровня иерархии возрастает за счет притока эндогенных энергии и вещества, что способствует преобразованию информации, поступающей от вышестоящих по иерархическому уровню геосистем, которые считаются средами для нижестоящих [2].

Трансформация геосистем свойственна всем иерархическим уровням, имеет временной и пространственный характер. При выявлении трансформации геосистем учитывается также их генезис, т.е. история развития и происходящих при этом преобразованиях до становления современной структуры. При этом рассматривается не столько история изменения ландшафтных обстановок, сколько формирование в позднем кайнозое внутренних и внешних связей геосистем и их компонентов, подобных современным.

Таким образом, под трансформацией геосистем понимается перестройка их структуры, обусловленная преобразующей динамикой и эволюцией, которая происходит под воздействием модификации вещественно-энергетических потоков и информационных связей.

Геодинамически активные территории расположены на границах литосферных плит, платформ, блоков земной коры. Для них характерна сейсмичность, появление новых и развитие ранее созданных разломов, повышенная трещиноватость и проницаемость горных пород, специфические проявления геологических процессов, определяющих перемещение вещества, петрологический состав горных пород. Это определяет повышенные значения энергетической составляющей, специфический спектр химических и радиоактивных элементов, поставляемых через сеть крупных разломов из недр Земли, что отражается на изменении характера вещественно-энергетических и информационных связей геосистем. В геодинамически активных районах созданы условия как сохранения рефугиумов и формирования эндемизма, так и развития молодых таежных, горнотундровых и гольцовых геосистем, значительной дифференциации геосистем на близко расположенных участках, распространения экстразональных типов геосистем. Воздействия плюмов (колонн разогретого вещества, поднимающиеся из глубоких слоев мантии) на эти районы способствует когерентному усилению притока эндогенной энергии и повышению интенсивности трансформации геосистем.

Трансформация геосистем участка Сибирской платформы, окруженного геодинамически активными структурами, определяется как формированием и обособлением тектонических блоков платформы, так и менее выраженными структуро- и рельефообразующими процессами, свойственными орогенической и рифтовой зонам. Такой вывод согласовывается как с многолетними исследованиями и картографированием геосистем южной части Средней Сибири, так и с мнением А. П. Карпинского, который впервые выявил взаимосвязь процессов, протекающих на платформе и в смежных геосинклинальных областях, сопряженных с заложением и развитием последних [2].

Таким образом, изменение вещественно-энергетического обмена и информационных связей геосистемы с ее средой за счет эндогенной составляющей является одним из главных факторов формирования специфики трансформации геосистем. Проведенные исследования показали, что этапы активизации тектонических преобразований сопряжены с изменением климата, что вызывает трансформацию геосистем. Этот вывод согласуется с информацией, опубликованной в отечественных и зарубежных публикациях.

### **Трансформация геосистем Байкальской Сибири.**

Трансформация геосистем района исследований в позднем кайнозое определялась активизацией эндогенных процессов, которые вызывали климатические преобразования и тем самым изменение характера вещественно-энергетического обмена и нарушение информационных связей. Сочетание разнообразных геодинамических режимов слабоактивных Сибирской платформы и Ангаро-Витимского батолита с областями материкового рифтогенеза и горообразования вызвало неоднозначный отклик геосистем на изменение климата, что определило развитие в районе исследований на близко расположенных участках темнохвойной тайги, заболоченных лиственничных редколесий с кедровым стлаником и подтаежных светлохвойных геосистем. В физико-географических условиях района строгое подчинение геосистем вышестоящей структуре было нарушено, в результате чего здесь сконцентрированы уникальные геосистемы, сочетающие в своем составе компоненты, свойственные физико-географическим областям Сибири, Дальнего Востока, Центральной и Северной Азии, представлены растительные сообщества разнообразных фратрий формаций. В зоне альпийской складчатости и рифтогенеза динамические процессы протекают особенно интенсивно, обычны явления становления за короткий промежуток времени новых геосистем.

Основные проявления трансформации геосистем сопряжены с границами Сибирской платформы и Витимского батолита. Теплообеспеченность является критическим фактором в динамике геосистем. Вещественные и энергетические связи геосистем трансформировались и в районах воздействия плюмов — колонн аномально горячей мантии. В районе исследований фиксируется одна из крупнейших аномалий среди известных тепловых максимумов вне областей активного вулканизма. В районе исследований зафиксировано два плюма — под Хамар-Дабанским и Баргузино-Икатским районами [7]. На значительной части территории получили развитие крупные разломы, вдоль которых в пределах рифтовой зоны фиксируется повышенный приток эндогенного тепла.

На общем повышенном термическом фоне фиксируется более значительный вынос глубинного тепла в зонах крупных древних разломов и воздействия плюмов. В районах воздействия плюмов получили развитие горные хребты с альпинотипными формами рельефа, молодыми тундровыми сообществами, реликтами ледникового периода и сочетанием экстразональных геосистем. Крупные разломы, в пределах которых отмечается повышенный приток эндогенного тепла и вещества недр Земли являются рефугиумами для сохранения миоцен-плиоценовых реликтов и развития эндемизма биоты. Здесь также сосредоточены участки катастрофических опусканий блоков земной коры, которые определяют развитие прогрессивного заболачивания и затопления территорий.

Отмечается, что поверхностный тепловой поток колеблется в пределах 50–60 МВт/м<sup>2</sup> в Саяно-Байкальской складчатой зоне, что характерно для «стабильных» континентов, а на оси разломов он достигает нагрева 80 МВт/м<sup>2</sup>. Поверхностный тепловой поток вулканического поля Витимского батолита еще выше и характеризуется значениями 75–90 МВт/м<sup>2</sup>, а вдоль восточного побережья Байкала его показатели достигают значений - 120 МВт/м<sup>2</sup> [9]. Приток эндогенного тепла по крупным разломам обусловил развитие нехарактерных для района исследований подтаежных сосняков и степей, а также сохранение чозениево-тополевых комплексов в Верхнеангарской котловине. Наиболее интенсивное влияние плюмов проявляется в районах Тункинской котловины (пойма и террасы р. Иркут, Предсаянский разлом), хребта Хамар-Дабан (разломы, занятые долинами рек Снежная, Утулик, Зун-Мурин и Хара-Мурин), южной части западного макросклона Баргузинского хребта, Байкальского разлома, крупных речных долин в южной части Забайкалья, Тажеранской степи Прибайкалья, о. Ольхон). Все эти участки сопряжены с крупными разломами и месторождениями горячих минеральных вод. Здесь отмечены геосистемы с реликтами третичной флоры, и почв. В частности, в пределах северного макросклона хребта Хамар-

Дабан развиты группы фаций неморальных реликтовых черневых пихтарников с папоротниками на реликтовых буроземах.

Минимальная толщина земной коры зафиксирована под центральной частью оз. Байкал и высокогорьями хр. Хамар-Дабан. Окрина платформы практически вертикально опускается в южной части Байкальского рифта, поэтому разломы глубоко проникают в земную кору. Размещение в пределах различных литосферных блоков дает основание предполагать, что ландшафты Забайкалья, несмотря на общность развития под влиянием Байкальской рифтовой зоны, не могут быть объединены в рамках одной Байкало-Джугджурской физико-географической области, выделенной сибирскими географами. Границы Байкало-Джугджурии, очевидно, должны определяться рубежами Амурской плиты. Состав метаморфических и магматических пород Ангаро-Витимского батолита накладывает отпечаток на трансформацию геосистем. В районах развития пород кислого состава сформировались горно-таежные кедрово-лиственничные геосистемы в отличие от доминирующих лиственнично-таежных. Помимо этого, состав горных пород батолита повлиял на дифференциацию и биотическую продуктивность лиственнично-таежных ландшафтов, которые преобладают на территории района исследований. Они корреспондируют ландшафтам средней и южной лиственничной тайги Якутии, при этом, несмотря на развитие гор, высотная поясность зачастую не выражена отчетливо.

На Западном макросклоне Баргузинского хребта и полуострове Святой Нос в районах крупных разломов фиксируется выход эндогенного тепла и как следствие - горячих термальных источников с температурой воды до  $+70^{\circ}\text{C}$ . Здесь сосредоточены неморальные реликты семейства орхидных. В районах крупных разломов сформировались группы фаций, для которых характерно поступление широкого спектра химических элементов из гранитоидов верхнего протерозоя – палеозоя. К примеру, на восточном побережье Байкала озерно-болотная геосистема Чивыркуй-Баргузинского перешейка отличается повышенными концентрациями радиоактивных, редкоземельных и редких элементов. Рядом с термальными источниками наиболее активно развивается биота, усилены биогеохимические процессы, связанные с тепловым потоком и выносом химических элементов, метана, сероводорода, углекислого газа и др. Большинство источников расположены на восточном побережье озера. Выявлены они и на дне Байкала глубоководными аппаратами, в частности, около дельты Селенги.

**Заключение.** Таким образом, трансформация геосистем – это перестройка их структуры, обусловленная преобразующей динамикой и эволюцией. Она обусловлена модификацией вещественно-энергетических потоков и информационных связей, свойственна всем иерархическим уровням, имеет временной и пространственный характер. При выявлении трансформации геосистем учитывается также их генезис – развитие геосистем за период позднего кайнозоя вплоть до формирования внутренних и внешних связей геосистем и их компонентов, подобных современным. Выявлена ведущая роль эндогенной энергии и вещества Земли в необратимых преобразованиях природных систем геодинамически активной территории Байкальской Сибири. Установлено, что с районами воздействия плумов сопряжены наиболее существенные и быстрые изменения природной среды.

Территория района исследований отличается ярким своеобразием, что определяет необходимость ее рассмотрения в качестве самостоятельной региональной единицы высокого иерархического уровня в границах Байкало-Джугджурской физико-географической области. Тектонические особенности территории обуславливают необходимость смещения западной границы Байкало-Джугджурской физико-географической области к рубежам Амурской тектонической плиты, которые проходят вдоль центральной части оз. Байкал. Наиболее существенные преобразования характерны для районов Центральной экологической зоны Байкала.

**Благодарность.** Исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ госрегистрации темы: АААА-А21-121012190056-4)

### Литература

1. Глобальное похолодание Центральной Азии в позднем кайнозое согласно осадочной записи из озера Байкал / Карabanов Е.В., Кузьмин М.И., Вильямс Д.Ф. и др. // ДАН. 2001. Т. 370. № 3. С. 61-66.
2. Карпинский А. П. Къ тектоникъ Европейской Россіи // Извѣстія Россійской Академіи Наукъ. VI серія, т. 13. Вып. 12-15. 1919. С. 573–590.
3. Леви К.Г. Природно-климатические изменения в позднем плейстоцене - голоцене северного полушария. Анализ радиоуглеродных хронологий // Развитие жизни в процессе абиотических изменений на земле. 2008. № 1. С. 297-310.
4. Летников Ф. А. Глубинные флюиды континентальной литосферы // Флюидный режим эндогенных процессов континентальной литосферы. Иркутск, 2015. С. 11–41.
5. Сочава В.Б. Проблемы физической географии и геоботаники. Новосибирск: Наука, 1986. 345 с.
6. Сочава В. Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 320 с.
7. Турутанов Е. Х. Аномалии силы тяжести, глубинная структура и геодинамика Монголо-Сибирского региона. Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2018. 182 с.
8. Ярмолюк В. В., Кузьмин М. И. Корреляция эндогенных событий и вариаций климата в позднем кайнозое Центральной Азии // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2006. Т. 14, № 2. С. 3-25
9. Priestley K., McKenzie D. The thermal structure of the lithosphere from shear wave velocities. Earth and Planetary Science Letters, 2006. Vol. 244. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2006.01.008>