



УДК 55(571.53)

<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.43.46>

Трансформация геосистем Байкальской природной территории

Т. И. Коновалова*

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

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. Приведено обоснование понимания ведущей роли эндогенной энергии Земли в необратимых преобразованиях природных систем района исследований. Выявлено, что с районами воздействия плюмов – мантийных потоков, которые проявляются на юго-западе и северо-востоке территории, сопряжены наиболее существенные и быстрые изменения природной среды, они связаны с формированием высокогорий и развитием альпинотипных геосистем с нивально-гляциальными процессами в их пределах. Отмечены преобразование климатических изменений в различных частях территории, сохранность реликтов миоцен-плиоценовой флоры в пределах крупных разломов, вдоль которых фиксируется повышенный приток эндогенного тепла, здесь же проявляются геохимические и иные аномалии, что отражается на развитии современного эндемизма. Представлены результаты исследования характера преобразования геосистем в центрах тектонической активности и удалении от них в пределах трех экологических зон Байкальской природной территории. Предлагаемые исследования в целом для Байкальской природной территории ранее не проводились и в настоящее время не имеют аналогов.

Ключевые слова: эндогенная энергия, преобразования климата, картосхема трансформации геосистем.

Благодарности. 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.

Для цитирования: Коновалова Т. И. Трансформация геосистем Байкальской природной территории // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2023. Т. 43. С. 46–61. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.43.46>

Original article

Transformation of Geosystems of the Baikal Natural Territory

T. I. Konovalova*

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

Abstract. The article presents the main provisions of the concept of transformation of geosystems of geodynamically active territories. The object of the study is the geosystems of the Baikal natural

territory. The interaction of the Siberian Platform, the East Sayan Mountain region, the Baikal rift zone, the Angara-Vitim batholith influenced the formation of various conditions for the transformation of geosystems. Modern ideas about the influence of endogenous processes on the transformation of the lithosphere and climate are considered. The transformation of geosystems is understood as the restructuring of their structure due to transformative dynamics and evolution, which develop under the influence of the modification of material-energy flows and information connections. Examples of transformation of geosystems of the Baikal natural territory under the influence of endogenous heat and mantle matter, changes in information connections of components of geosystems and their subordination to geosystems of physical and geographical areas are given.

Keywords: endogenous energy, climate transformations, mapping of geosystems transformation.

For citation: Konovalova T. I. Transformation of Geosystems of the Baikal Natural Territory. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2023, vol. 43, pp. 46-61. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.43.46> (in Russian)

Введение

Выявление особенностей изменения природных систем как целостных образований вызывает повышенный интерес. Решению этой проблемы посвящено значительное количество публикаций, в большинстве из них в качестве триггера преобразований рассматриваются климат либо антропогенная деятельность. Установление закономерностей трансформации геосистем под воздействием эндогенных процессов по-прежнему остается поисковым. Вместе с тем современные исследования направлены на системное изучение модификации природной среды, происходящей под воздействием как климатических, так и тектонических процессов, что особенно актуально для геодинамически активных регионов. Объект исследования – геосистемы Байкальской природной территории (БПТ). Взаимодействие Сибирской платформы, Восточно-Саянской горной области, Байкальской рифтовой зоны (БРЗ), Ангаро-Витимского батолита оказало влияние на формирование разнообразных условий преобразования геосистем в пределах экологических зон БПТ (рис. 1).

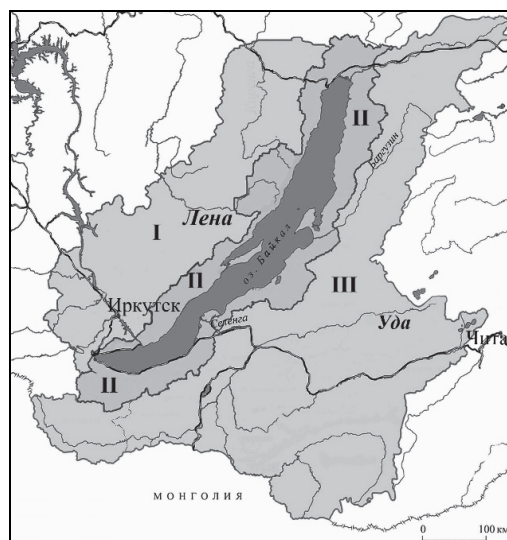


Рис. 1. Район исследований.

Экологические зоны БПТ: I – атмосферного влияния, II – центральная, III – буферная

Задача проведенных исследований заключалась в оценке особенностей трансформации геосистем БПТ.

В основу работы положены материалы многолетних наземных полевых исследований и ландшафтного картографирования районов Предбайкалья и Забайкалья, опубликованных данных по тектонике, преобразованию климата, эндогенным тепловым потокам, а также данных дистанционного исследования Земли из космоса.

Обзор литературы

Геодинамически активными считаются участки земной коры, для которых характерны неотектоническая активность, специфические проявления геологических процессов, определяющих перемещение вещества, петрологический состав горных пород. Н. Л. Добрецов [1997] отмечал, что современная геодинамика определяется сочетанием тектоники плит и плюмов (горячих мантийных струй), а также космических факторов (прежде всего вариациями солнечной радиации), влияющих на поверхностные процессы.

Утверждается, что на ранних этапах эволюции Земли преобладало влияние земного тепла, поскольку эндогенный тепловой поток был в 5—10 раз выше современного, а светимость солнца ниже на 20–30 % [Добрецов, 2010; Schidlowski, 1988; Initiation of leaking ... , 2014]. В настоящее время происходит общее остывание планеты из-за уменьшения потока эндогенного тепла, несмотря на то что приход солнечного тепла на поверхность Земли в три раза выше эндогенного. В районах воздействия плюмов (горячих мантийных потоков) по-прежнему фиксируются повышенные градиенты эндогенного тепла. Плюмы – узкие колонны мантии, достигающие 150 км в поперечнике, – осуществляют подъем вещества и энергии нижней мантии к поверхности планеты. Группа авторов на основании исследования геотермального состояния глубинных недр Центральной Азии указывает на активную роль внутриземного тепла при тектонических перестройках в литосфере. Выявленным аномалиям соответствуют повышенная интенсивность современных тектонических движений, разломообразование, эволюция основных геологических структур [Pollack, Chapman, 1997; Hu, He, Wang, 2000; Shen, 1991].

Отмечается, что граница между неогеновой и четвертичной системами на уровне 2,6 млн лет совпадает со сменой палеомагнитных эпох Гаусс – Матуяма. С этим рубежом связано плейстоценовое оледенение, увеличение площадей арктической, антарктической зон, образование многолетней мерзлоты, ледниковых и лессовых покровов [Atmospheric changes caused ... , 2015]. Снижение эндогенной активности в интервале 750–600 млн лет (магнитная инверсия Брюнес – Матуяма, которая считается маркером начала среднего плейстоцена) вновь привело к охлаждению поверхности Земли, вызвавшему очередное оледенение и формирование облика Земли, похожей на снежный ком [Miyayama, Yuen, Windley, 2007; Yoshihara, Hamano, 2004].

Следы этих эпох были обнаружены при изучении керна донных отложений оз. Байкал. Утверждается, что с рубежом в 2,5 млн лет назад связано оледенение горного обрамления Байкала и появление айсбергов в озере [Яр-

моллюк, Кузьмин, 2006]. С двумя глубокими похолоданиями, которые совпали с рубежами магнитной инверсии Гаусс – Матуяма и началом эпохи обратной полярности Брюнес – Матуяма, связаны вымирания байкальских диатомовых сообществ [Глобальное похолодание Центральной ... , 2001]. Также отмечалось расширение лесостепной и степной растительности, свидетельствующее об уменьшении атмосферного увлажнения.

Первое значительное похолодание климата в Северном полушарии увязывают как с интенсивным возвышением Тибета, так и с формированием Хангай-Алтае-Саянской горной страны. Совокупный размер области новейшего горообразования в Центральной и Южной Азии составил более 9 млн км² [Ярмолюк, Кузьмин, 2006]. Тибет и Гималаи стали преградой для меридионально ориентированных воздушных потоков, в то время как Хангай-Алтае-Саянская система гор – для широтного переноса. Под воздействием таких преград получили развитие Азиатский муссон и Монгольский антициклон [Додонов, 2002]. Районы горообразования отображены на космическом снимке (сайт Google Earth). Съемка произведена 14 декабря 2015 г., обзор с высоты 5500 км (рис. 2).



Рис. 2. Области новейшего горообразования в Центральной и Южной Азии

Переход к высокой амплитуде и все более асимметричным циклам колебаний климата в позднем кайнозое связывают с увеличением концентрации CO_2 в атмосфере, вызванным усилением вулканизма и выбросами углерода из-за разгрузки активных магматических провинций на континентах [Magmatic Forcing ... , 2020; Active degassing ... , 2022]. А. Ю. Ретеюм [2019] отмечает, что потепление климата фиксируется главным образом в арктических и субарктических районах Сибири, которые практически безлюдны. Его энергетическим источником служит дегазация, которая связана с миграцией глубинного водорода по тектоническим разломам от ядра планеты к земной поверхности.

Утверждается, 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 [Леви, 2008]. В этой связи настораживает тенденция повышения годовых температур воздуха со скоростью до $0,5\text{ }^\circ\text{C}$ за каждые 10 лет, которые превышают таковые показатели Северного полушария. Она сопровождается увеличением числа экстремальных погодных явлений, связанных с атмосферными блокировками западного переноса [Тенденции гидроклиматических изменений ... , 2012].

В связи со сложностью решения проблемы трансформации геосистем, необходимостью учета воздействия разнообразных процессов предложено исследовать целостности, создаваемые потоками энергии и вещества, а также идентифицировать отклонения в режиме средообразующих процессов [Дьяконов, Ретеюм, 2019].

Представление о трансформации геосистем

Геосистемы – это земные пространства всех размерностей, где отдельные компоненты природы находятся в системной связи друг с другом и как определенная целостность взаимодействуют с космической сферой и человеческим обществом [Сочава, 1978]. Под трансформацией геосистем понимается перестройка их структуры, обусловленная преобразующей динамикой и эволюцией, которые развиваются под воздействием модификации вещественно-энергетических потоков и информационных связей.

Динамическая и эволюционная составляющие трансформации геосистем связаны с понятием физико-географического процесса, введенным А. А. Григорьевым. В его основе лежит представление о вещественно-энергетическом обмене как внутри геосистемы, так и между ней и ее средой. Формирование, развитие, эволюционные преобразования геосистем сопряжены с энергией Солнца и теллуристических источников. Взаимосвязь геосистемы и среды определяется круговоротом вещества и энергии. 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. Их совокупность образует иерархическое целое и определяет открытость геосистем.

В целом по мере уменьшения участка земной поверхности увеличивается относительная автономность геосистем низших подразделений иерархического уровня (биоценозы, фации, их группы) по отношению к глобальному круговороту вещества и энергии. Исследования, проведенные на таежном стационаре Института географии СО РАН, показали, что на близко расположенных участках фаций разница в суммах активных температур воздуха соответствует таковой между средне- и южнотаежными геосистемами Средней Сибири.

Изменение теплообеспеченности геосистем низшего уровня иерархии за счет длительного и постоянного подогрева земной поверхности из-за притока эндогенного тепла является одной из основных причин их преобразований, поскольку характер теплообеспеченности выступает одним из критических факторов в динамике геосистем. Поверхностный тепловой поток в районе исследований регистрируется на уровне 60–80 МВт/м², вдоль восточного побережья Байкала его показатели достигают значений 90–120 МВт/м² [Depth distribution ... , 2001; Priestley, McKenzie, 2006] (рис. 3).

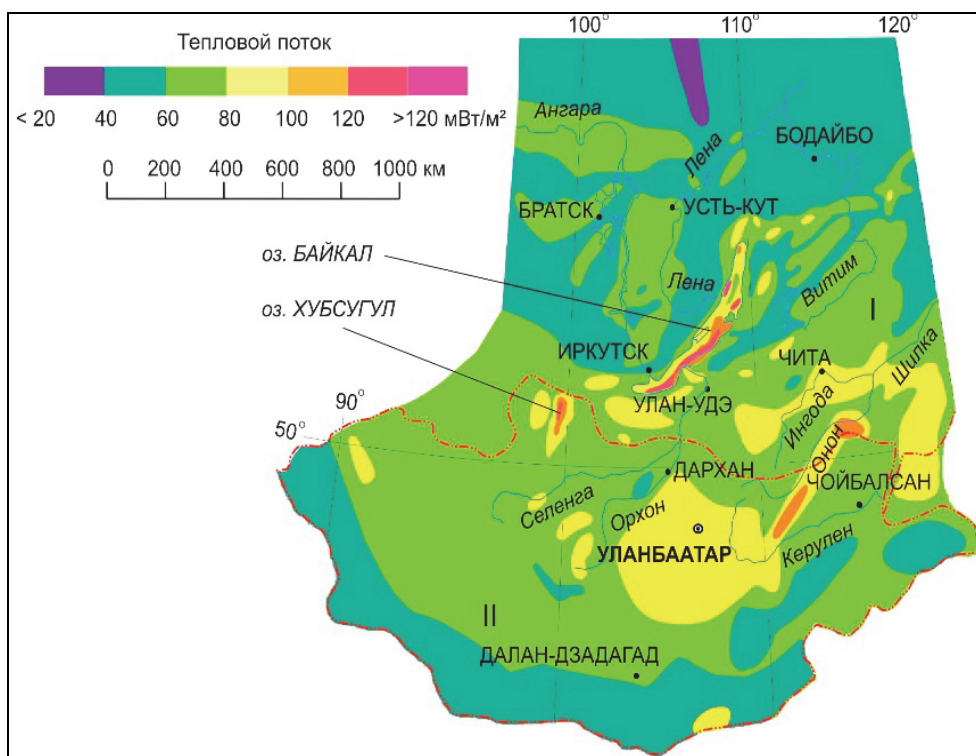


Рис. 3. Карта геотермальной активности литосферы Монголо-Сибирского региона [Турутанов, 2018].

Геотермальная активность (по диапазонам изменения величин регионального теплового потока, мВт/м²): слабая (< 40), умеренная (40–60), повышенная (60–80), высокая (80–100), очень высокая (100–120), экстремально повышенная (> 120). Римскими цифрами обозначены регионы: I – южные районы Восточной Сибири (Россия), II – Монголия

Наиболее интенсивное влияние плюма проявляется в районах Тункинской котловины (пойма и террасы р. Иркут, Предсаянский разлом) и хр. Хамар-Дабан (реки Снежная, Утулик, Зун-Мурин и Хара-Мурин). Все эти участки сопряжены с крупными разломами и месторождениями горячих минеральных вод (рис. 4).

Считается, что среда определяет степень и направление преобразования геосистем за счет свойственных ей процессов, так как «средами геосистем разных рангов являются более высокого разряда геосистемы» [Сочава, 1978, с. 298]. Поскольку геосистемы взаимосвязаны посредством вещественно-энергетического обмена, то они не только потребляют энергию, приходящую извне, но и поставляют ее в свою среду, что обусловило существование рефугиумов (убежищ) для реликтов миоцена и плиоцена. Обмен между геосистемой и ее средой в этом случае стал одним из главных факторов формирования специфики геосистем БПТ за счет длительного воздействия эндогенного тепла. Изменения фиксируются на региональном и высшем подразделении топологического уровня (провинции, округа), что связано с трансформацией энергетического баланса за счет усиления эндогенной составляющей.



Рис. 4. Приток эндогенного тепла (красный цвет) в южной части Прибайкалья на снимке со спутника Landsat-8 (Thermal InfraRed Sensor – TIRS). Спектральный диапазон 10,3–12,5 мкм

Помимо перестройки системных связей и информации, передаваемой от вышестоящего уровня к нижестоящему, нарушается и проявление времени существования геосистем. Считалось, что для геосистем планетарной и региональной размерности применимы параметры геохронологии, а для топологического уровня вековые и внутривековые циклы необратимы [Коновалова, 2012]. Но в условиях БПТ отмечены как биогеоценозы, так и группы

фаций с реликтами третичной флоры и почв. Они развиты в районах, где фиксируется повышенный приток эндогенного тепла (Тункинская котловина, хр. Хамар-Дабан, южная часть западного макросклона Баргузинского хребта, Байкальский разлом, крупные речные долины южной части Забайкалья, Тажеранская степь Прибайкалья, о. Ольхон).

В частности, в пределах северного макросклона хр. Хамар-Дабан развиты группы фаций неморальных реликтовых черневых пихтарников с папоротниками, такими как щитовник мужской (*Dryopteris filix-mas*), многорядник копьевидный (*Polystichum lonchitis*), горнопапоротник окаймленный (*Oreopteris limbosperma*); травянистыми и злаковыми растениями – вероникой лекарственной (*Veronica officinalis*), коротконожкой лесной (*Brahypodium sylvaticum*), овсяницей высокой (*Festuca altissima*), мятликом расставленным (*Poa remota*), развитыми на реликтовых буроземах.

На западном макросклоне Баргузинского хребта и полуострова Святой Нос в районах крупных разломов фиксируется выход эндогенного тепла и, как следствие, горячих термальных источников с температурой воды до +70 °С. Это районы сосредоточения неморальных реликтов семейства орхидных, таких как венерин башмачок (*Cypripedium calceolus*) – самый крупный вид северных орхидей, калипсо луковичная (*Calypso bulbosa*) – один из самых редких видов орхидных, любка двулистная, или ночная фиалка (*Platanthera bifolia*), дремлик широколистный (*Epipactis helleborine*), надбродник безлистный (*Epipogium aphyllum*) и др.

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 [Тайсаев, 2013]. 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.

Усиление континентальности климата в голоцене, близость центра азиатского барического максимума определили распространение светлохвойной тайги, главным образом лиственничной, в физико-географических областях БПТ: Байкало-Джугджурской горно-таежной и Южно-Сибирской горной [Сочава, Тимофеев, 1968]. Для этих областей характерен суровый климатический режим, господство континентального воздуха в нижних слоях атмосферы. Летом на территории Южно-Сибирской горной области, представленной на юге БПТ, господствуют как сухие и теплые монгольские воздушные массы, так и сибирские бореальные. Но преобразования климата не вызвали тотальную трансформацию геосистем этих областей. Сравнительный анализ картографической информации о геологическом строении территории, материалов многолетних полевых исследований показал, что в пределах

экологических зон – буферной и центральной на гранитах кислого состава Витимского батолита сохранились геосистемы темнохвойной тайги, в том числе и в районах низко- и среднегорий.

Южные районы Прибайкалья и Забайкалья считаются одним из первичных очагов палеогеновой пустынно-степной флоры. Отсюда началось расселение родов *Ephedra*, *Atraphaxis*, *Ceratoides*, *Echinops*, *Goniolimon*, *Oxytropis* и др. Они относятся к древнейшим палеогеновым степным и пустынно-степным реликтам Байкальской Сибири [Намзалов, 1999]. В современных условиях среды, близких к палеогеновым [Конвалова, 2020], они не всегда отличаются подавленной жизненностью и в районах южной части буферной и частично центральной экологических зон проявляют высокую активность.

Для оценки трансформации геосистем важен учет тесноты связей между составляющими их компонентами, посредством которых осуществляется вещественно-энергетический обмен. Для геосистем БПТ характерны незначительное разнообразие компонентов и жесткие взаимосвязи между ними, определяемые гипертрофированным воздействием какого-либо фактора.

В районе исследований зафиксировано два плюма – под Хамар-Дабанским и Баргузино-Икатским районами. Вдоль их окраин развиты лавовые поля – Хамар-Дабанское и Витимское. Южнее БПТ расположены плюмы в пределах поднятий Центральной Монголии. В сфере их воздействия получили развитие наиболее возвышенные участки гор, что объясняют динамическим влиянием на литосферу восходящих течений в плюмовых колоннах [Зорин, Турутанов, 2005]. В этих горах сформировались молодые гольцовые и подгольцовые типы геосистем с проявлением гравитационных, криогенных и прочих процессов. На больших высотах здесь наблюдается адвекция воздушных масс, в том числе поступающих с востока и имеющих так называемые морские свойства. В сфере этих вторжений в верхних поясах гор развиваются горные тундры, подгольцовые заросли кедрового стланика и кедровые леса. По высокогорьям БРЗ вплоть до Байкала проникла северо-притихоокеанская каменная береза.

Существенное значение приобретают процессы, возникающие при передаче эндогенной энергии с помощью волн на значительные расстояния. Трансформация геосистем БПТ сопряжена с неотектоническими процессами, протекающими в более южных горных сооружениях Центральной Азии. Например, эпицентральная область землетрясения, которое произошло 4 декабря 1957 г., располагалась в районе горной цепи Гобийского Алтая. Его магнитуда, характеризующая энергию, выделившуюся при землетрясении в виде сейсмических волн, составляла 8,1 [Голенецкий, 1997]. Во время землетрясения произошло обновление и образование системы разломов на протяжении около 270 км. Распространение с большой скоростью главной трещины сопровождалось «ураганным гулом» и особого рода свечением – как бы пролетевшей молнией. По земле с запада на восток шли волны, как при ритмичном встряхивании матраца, достигавшие нескольких метров высоты. Землетрясение ощущалось на площади около 5 млн км² – на территории Монголии, в северных провинциях Китая, южной части Предбайкалья и

Забайкалья. Внутри этой территории проявлялись районы, в которых сила землетрясений была как на несколько баллов ниже, так и наоборот. Так, в Иркутске на расстоянии около 900 км от эпицентра сила сейсмических толчков оказалась более высокой, чем в городах Кяхте, Сухэ-Баторе, Улан-Удэ, которые находились гораздо ближе к эпицентру или примерно на том же расстоянии.

Район дельты р. Селенги – сейсмически наиболее активный район БРЗ. Усть-Селенгинская депрессия относится к средней впадине оз. Байкал, где расположена мощная сейсмически активная система разломов Черского. Под влиянием тектонических движений максимальные опускания земной коры приурочены к окраинным районам дельты, примыкающим к побережью Байкала и Хамар-Дабану. Это обусловило развитие типичной внутренней дельты с уникальными интразональными и субаквальными группами фаций у побережья озера и подгорно-долинными лугово-болотными гидроаккумулятивными – в подгорной части хр. Хамар-Дабан. Амплитуда опускания по разрыву, ограничивающему зал. Провал с востока, достигла нескольких сотен метров.

Само образование Провала связано с катастрофическим десятибалльным землетрясением 1862 г., когда в Цаганской степи 12 января при землетрясении произошел сильный вертикальный удар, земля заволновалась, «как море», вздулась буграми, из вершин которых через широкие трещины выбрасывались песок и вода. Как пробки, вылетали деревянные срубы колодцев, из них била фонтанами теплая вода, подчас на высоту трех сажен (одна сажень – 2,1336 м). Местность оказалась залитой на 2 аршина (аршин – 71,12 см). Буряты сквозь густой туман в тридцатиградусный мороз видели, что их дома по окна были затоплены водой, которая была, по их мнению, теплее летней. На следующий день «как бы стеною» пришла вода с Байкала и глубина затопления увеличилась в два раза. Под водой оказалась обширная территория в 230 квадратных верст (верста – 1066,8 м). Кударинская бурятская дума официально сообщала, что из образовавшейся в земле трещины появлялось пламя, которое опалило столб.

Ударная волна практически не затронула районы, расположенные между Иркутском и р. Селенгой. Но в самом городе, как отмечалось в [Иркутская летопись, 1911], подземные удары были страшны и составили 7–8 баллов. Трещали все строения, и сами собой звонили колокола в церквях. Было явственно видно движение почвы. В некоторых зданиях образовались значительные трещины и провалились трубы.

В юго-западной части дельты находятся морфологические аналоги Провала – заливы Истокский и Посольский Соры. Во время Среднебайкальского девятибалльного землетрясения 29 августа 1959 г. с эпицентром в Байкале также происходили существенные изменения. Было замечено повышение уровня Байкала, а после землетрясения урез воды переместился примерно на 450 м вглубь суши. Через 2–3 дня на площади массовых грязевых извержений между деревнями Оймур и Малый Дулан произошли опускания почвы в виде воронок, на месте которых проявились глубокие провалы грунта, где до

глубины 1,5 м стояла вода, а ниже до глубины трех и более метров находился разжиженный грунт [Солоненко, Тресков, 1960]. По утверждению рыбаков, в ночь с 4 на 5 сентября над Байкалом в стороне эпицентра было видно свечение, напоминающее северное сияние. Наиболее пострадали населенные пункты восточного берега зал. Провал – деревни Большой и Малый Дулан, Энхалук. Массовые разрушения здесь не произошли благодаря деревянным постройкам сибирской рубки, но часть срубов заметно деформировалась, а печи и трубы были повернуты вокруг своей оси на 35–40°. Эпицентр находился в средней глубоководной части впадины Байкала. Подземные толчки при главном ударе ощущались жителями на территории площадью около 700 тыс. км². Общее число повторных толчков за последующие три месяца превысило 700. Дно Байкала в районе эпицентра опустилось на 10–15 м. Поскольку Посольский и Истокский Соры и залив Сор Черкалово представляют морфологические и геологические аналоги зал. Провал, вполне вероятно развитие катастрофических событий и на их побережьях.

Сравнение данных тектонических преобразований территории с произошедшими трансформациями климата и геосистем показали их высокую сопоставимость. Возвышение горных цепей, вертикальная дифференциация рельефа сопровождалась похолоданием и аридизацией климата, формированием современного облика геосистем на протяжении позднего кайнозоя. Значительное влияние на тектонические преобразования территории БПТ оказывает жесткий кристаллический фундамент Сибирской платформы. Граница платформы определила конфигурацию Байкальской рифтовой зоны в районе исследований. Основные проявления трансформации геосистем сопряжены с территорией Забайкалья, расположенного на Амурской плите, и с окраинами платформы, которая прослеживается под Хамар-Дабаном и центром Байкальской впадины (рис. 5).

Заключение

Таким образом, геодинамические преобразования определили особенности вещественно-энергетического обмена на региональном и топологическом уровнях геосистем Байкальской природной территории, что способствовало эволюционным переустройствам и проявлению современной преобразующей динамики. Трансформация геосистем в значительной степени свойственна центральной и буферной экологическим зонам, что связано с воздействием древней Сибирской платформы. Преобразования вещественно-энергетических потоков, вызванных эндогенными процессами, нарушение информационных связей между геосистемами и их средой определяют возможность их быстрых и катастрофических изменений при любых нарушениях сложившихся жестких взаимосвязей компонентов и подсистем. Эндогенная энергия может передаваться на значительные расстояния посредством сейсмических волн, расширения и углубления сети разломов. Существенное воздействие оказывают геохимические и прочие аномалии на формирование геопатогенных районов на побережье озера.

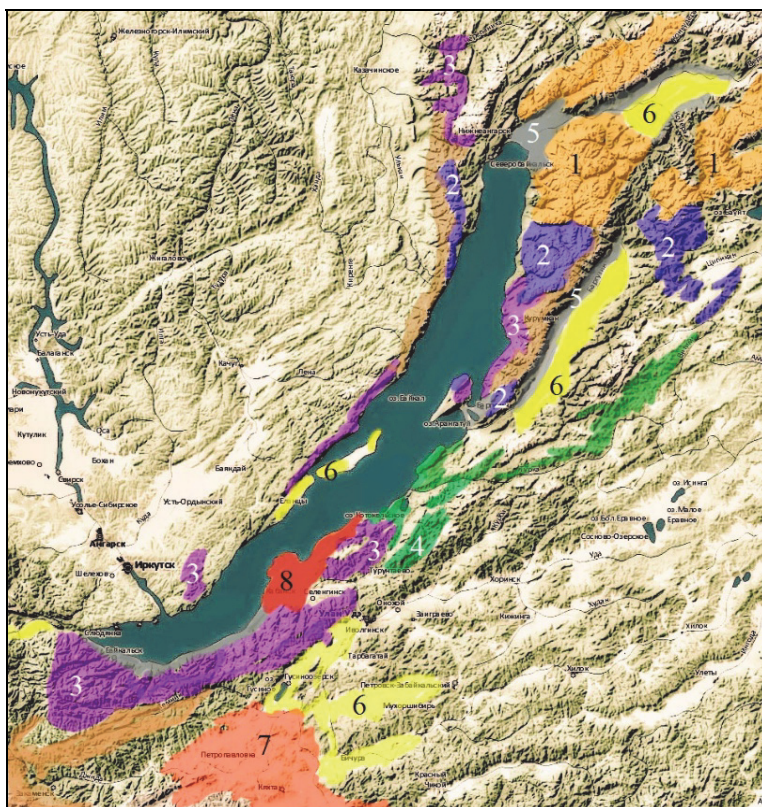


Рис. 5. Картохема трансформации геосистем БПТ.

Цифрами на схеме обозначены районы: 1 – альпинотипных геосистем с ледниковыми формами рельефа и наиболее высоким уровнем тектонической активности на территории БПТ; 2 – интразональных геосистем с растительностью берингийского типа (заросли кедрового стланика, каменная береза, лиственница даурская); 3 – реликтовых геосистем; 4 – темнохвойно-таежных геосистем, развитых на гранитах Витимского батолита; 5 – болот и топей прогрессирующего заболачивания; 6 – степных геосистем южносибирского типа с участками развеваемых песков; 7 – сухих степей центральноазиатского типа; 8 – районов высокого риска развития катастроф

Список литературы

Глобальное похолодание Центральной Азии в позднем кайнозое согласно осадочной записи из озера Байкал / Е. В. Карabanов, М. И. Кузьмин, Д. Ф. Вильямс [и др.] // ДАН. 2001. Т. 370, № 3. С. 61–66.

Голенецкий С. И. Землетрясения в Иркутске. Иркутск : Имя, 1997. 96 с.

Добрецов Н. Л. Глобальная геодинамическая эволюция Земли и глобальные геодинамические модели // Геология и геофизика. 2010. Т. 51, № 6. С. 761–784.

Добрецов Н. Л. Мантийные суперплюмы как причина главной геологической периодичности и глобальных перестроек // Докл. РАН. 1997. Т. 357, № 6. С. 777–780

Додонов А. Е. Четвертичный период Средней Азии. М. : ГЕОС, 2002. 247 с.

Дьяконов К. Н., Ретеюм А. Ю. Астрогеографическое исследование динамики геосистем Северной Евразии // Современные направления развития физической географии: научные и образовательные аспекты в целях устойчивого развития: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию фак. географии и геоинформатики Белорус. гос. ун-та и 65-летию Белорус. геогр. о-ва. Минск, 13–15 нояб. 2019 г. Минск : БГУ, 2019. С. 73–77.

Зорин Ю. А., Турутанов Е. Х. Плюмы и геодинамика Байкальской рифтовой зоны // Геология и геофизика. 2005. Т. 46, № 7. С. 685-699.

Иркутская летопись. (1652–1856 гг.). (Летописи П. И. Пежемского и В. А. Кротова). С предисловием, добавлениями и примечаниями И. И. Серебrenникова // Труды Восточно-Сибирского отдела Императорского русского географического общества. Иркутск : Паровая тип. И. П. Казанцева, 1911. № 5. 418 с.

Коновалова Т. И. Методология исследования и картографирования антропогенной трансформации геосистем // Известия Иркутского государственного университета. Сер. Науки о Земле. 2020. Т. 33. С. 53–72. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.33.53>

Коновалова Т. И. Организация геосистем и ее картографирование // Известия Иркутского государственного университета. Сер. Науки о Земле. 2012. Т. 5, № 2. С. 150–162.

Левин 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.

Намзалов Б. Б. Эндемизм и реликтовые явления во флоре и растительности степных экосистем Байкальской Сибири // Биоразнообразие Байкальской Сибири. Новосибирск : Наука, 1999. С. 184–192.

Ретеюм А. Ю. Долгосрочная оценка риска по данным о циклах и трендах. Сибирский пример в глобальном контексте // Общество. Среда. Развитие. 2019. № 1. С. 92–96

Солоненко В. П., Тресков А. А. Среднебайкальское землетрясение 29 августа 1959 г. Иркутск, 1960. 36 с.

Сочава В. Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск : Наука, 1978. 320 с.

Сочава В. Б., Тимофеев Д. А. Физико-географические области Северной Азии // Докл. Ин-та геогр. Сибири и Дальнего Востока, 1968. № 19. С. 3–19.

Тайсаев Т. Т. Закон Вернадского: самоорганизация рифтовой экосистемы озера Байкал – устойчивое развитие и экологическая безопасность // Вестник Тамбовского университета. Сер.: естественные и технические науки. 2013. Т. 18, № 2. С. 540–543.

Тенденции гидроклиматических изменений на Байкальской природной территории / Е. В. Максютова, Н. В. Кичигина, Н. Н. Воропай [и др.] // География и природные ресурсы. 2012. № 4. С. 72–80.

Турутанов Е. Х. Аномалии силы тяжести, глубинная структура и геодинамика Монголо-Сибирского региона. Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2018. 182 с.

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

Active degassing of crustal CO₂ in areas of tectonic collision: A case study from the Pollino and Calabria sectors (Southern Italy) / P. Randazzo [et al.] // *Frontiers in Earth Science*. 2022. Vol. 10. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.946707>

Atmospheric changes caused by galactic cosmic rays over the period 1960-2010 / С. Н. Jackman [et al.] // *Atmospheric Chemistry & Physics Discussions*. 2015. Vol. 15. P. 33931–33966. <https://doi.org/10.5194/acpd-15-33931-2015>.

Depth distribution of earthquakes in the Baikal Rift System and its implications for the rheology of the lithosphere / J. Deverchere, C. Petit, N. Gileva [et al.] // *Geophys.* 2001. Vol. 146. P. 713–730.

Hu S., He L., Wang J. Heat flow in the continental area of China: a new data set // *Earth Plan. Sci. Lett.* 2000. Vol. 179. P. 407–419.

Initiation of leaking Earth: An ultimate trigger of the Cambrian explosion / Sh. Maruyama, Y. Sawaki, T. Ebisuzaki [et al.] // *Gondwana Research*. 2014. Vol. 25, N 3. P. 910–944.

Magmatic Forcing of Cenozoic Climate? / P. Sternai, L. Caricchi, C. Pasquero, E. Garzanti // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 2020. Vol. 125(1). <https://doi.org/10.1029/2018JB016460>

Maruyama Sh., Yuen D. A., Windley B. F. Dynamics of Plumes and Superplumes through Time // *Environmental Science*. 2007. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5750-2_15

Pollack H. N., Chapman D. S. On the regional variation of heat flow, geotherms and the thickness of the lithosphere // *Tectonophysics*. 1977. Vol. 38. P. 279–296.

- 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>
- Schidlowski M. A. A 3800-million-year isotopic record of life from carbon in sedimentary rocks // *Nature*. 1988. Vol. 333. P. 313–318.
- Shen X. Crust and upper mantle thermal structure of Xizang (Tibet) inferred from the mechanism of heat flow observed in South Tibet // *Terrestrial heat flow and the lithosphere structure*. Berlin, Springer-Verlag, 1991. P. 293–307.
- Yoshihara A., Hamano Y. Paleomagnetic constraints on the Archean geomagnetic field intensity obtained from komatiites of the Barberton and Belingwe greenstone belts, South Africa and Zimbabwe // *Precambrian Research*. Vol. 131, N 1. P. 111–142. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2004.01.003>

References

- Karabanov E.V., Kuzmin M.I., Williams D.F. et al. Global'noe pokholodanie Tsentral'noi Azii v pozdnem kainozoe согласно osadochnoi zapisi iz ozera Baikal [Global cooling of Central Asia in the Late Cenozoic according to sedimentary record from Lake Baikal]. *Doklady Akademii Nauk* [Reports of the Academy of Sciences], 2001, vol. 370, no. 3, pp. 61–66 (in Russian)
- Golenetsky S.I. *Zemletryaseniya v Irkutske* [Earthquakes in Irkutsk]. Irkutsk, Name Publ., 1997, 96 p. (in Russian)
- Dobretsov N.L. Global'naya geodinamicheskaya ehvolyutsiya Zemli i globalnye geodinamicheskie modeli [Global geodynamic evolution of the Earth and global geodynamic models]. *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics], 2010, vol. 51, no. 6, pp. 761–784. (in Russian)
- Dobretsov N.L. Mantiinye superplyumy kak prichina glavnoi geologicheskoi periodichnosti i global'nykh perestroek [Mantle superplumes as the cause of the main geological periodicity and global rearrangements]. *Doklady RAN* [RAS reports], 1997, vol. 357. no. 6, pp. 777–780. (in Russian)
- Dodonov A.E. *Chetvertichnyi period Srednei Azii* [The fourth period of Central Asia]. Moscow, GEOS Publ., 2002, 247 p. (in Russian)
- Diakonov K.N., Retezum A.Yu. Astrogeograficheskoe issledovanie dinamiki geosistem Severnoi Evrazii [Astrogeographic study of the dynamics of geosystems of Northern Eurasia]. *Astrogeograficheskoe issledovanie dinamiki geosistem Severnoi Evrazii* [Modern trends in the development of physical geography: scientific and educational aspects for sustainable development]. Minsk, Belarusian State University Publ., 2019, pp. 73–77. (in Russian)
- Zorin Yu.A., Turutanov E.Kh. Plyumy i geodinamika Baikalskoi riftovoi zony [Plumes and geodynamics of the Baikal Rift zone]. *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics], 2005, vol. 46, no. 7, pp. 685–699. (in Russian)
- Irkutskaya letopis' [Irkutsk Chronicle] (1652–1856). *Trudy Vostochno-Sibirskogo otdela Imperatorskogo russkogo geograficheskogo obshchestva* [Proceedings of the East Siberian Department of the Imperial Russian Geographical Society]. Irkutsk Steam printing house of I. P. Kazantsev, 1911, no. 5, 418 p. (in Russian)
- Konovalova T.I. Metodologiya issledovaniya i kartografirovaniya antropogennoi transformatsii geosistem [Methodology of research and mapping of anthropogenic transformation of geosystems]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle* [Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences], 2020, vol. 33, pp. 53–72. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.33.53> (in Russian)
- Konovalova T.I. Organizatsiya geosistem i ee kartografirovanie [Organization of geosystems and its mapping]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle* [Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences], 2012, vol. 5, no. 2, pp. 150–162. (in Russian)
- Levi K.G. Prirodno-klimaticheskie izmeneniya v pozdnem pleistotsene - golo-tsene severnogo polushariya. Analiz radiouglerodnykh khronologii [Natural and climatic changes in the Late Pleistocene - Holocene of the Northern hemisphere. Analysis of radiocarbon chronologies]. *Razvitie zhizni v protsesse abioticheskikh izmenenii na zemle* [Development of life in the process of abiotic changes on earth], 2008, vol. 1, pp. 297–310. (in Russian)
- Namzalov B.B. Ehdemizm i reliktovye yavleniya vo flore i rastitel'nosti stepnykh ehkosistem Baikalskoi Sibiri [Endemism and relict phenomena in flora and vegetation of steppe ecosystems of Baikal Siberia]. *Bioraznoobrazie Baikalskoi Sibiri* [Biodiversity of Baikal Siberia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1999, pp. 184–192. (in Russian)

Reteyum A.Yu. Dolgosrochnaya otsenka riska po dannym o tsiklakh i trendakh. Sibirskii primer v glo-bal'nom kontekste [Long-term risk assessment based on data on cycles and trends. The Siberian example in the global context]. *Obshchestvo. Sreda. Razvitie* [Society. Wednesday. Development], 2019, no. 1, pp. 92-96. (in Russian)

Solonenko V.P., Treskov A.A. *Srednebaikal'skoe zemletryasenie 29 avgusta 1959 g.* [The Srednebaikal earthquake on August 29, 1959]. Irkutsk, 1960, 36 p. (in Russian)

Sochava V.B. *Vvedenie v uchenie o geosistemah* [Introduction to the doctrine of geosystems]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1978, 320 p. (in Russian)

Sochava V.B., Timofeev D.A. Fiziko-geograficheskie oblasti Severnoi Azii [Physical and geographical areas of North Asia]. *Doklady Instituta geografii Sibiri i Dal'nego Vostoka* [Reports of the Institute of Geography of Siberia and the Far East], 1968, no. 19, pp. 3-19. (in Russian)

Taisaev T.T. Zakon Vernadskogo: samoorganizatsiya riftovoi ehkositemy ozera Baikal – ustoychivoe razvitie i ehkologicheskaya bezopasnost' [Vernadsky's Law: Self-organization of the rift ecosystem of Lake Baikal - sustainable development and environmental safety]. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Ser.: estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Bulletin of the Tambov University. Ser.: natural and technical sciences], 2013, vol. 18, no 2, pp. 540-543. (in Russian)

Maksutova E.V., Kichigina N.V., Voropai N.N., Balybina A.S., Osipova O.P. Tendentsii gidroklimaticeskikh izmenenii na Baikalskoi prirodnoi territorii [Trends of hydro-climatic changes in the Baikal natural territory]. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and natural resources], 2012, no. 4, pp. 72-80. (in Russian)

Turutanov E.H. *Anomalii sily tyazhesti, glubinnaya struktura i geodinamika Mongolo-Sibirskogo regiona* [Gravity anomalies, deep structure and geodynamics of the Mongol-Siberian Region]. Irkutsk, IRNIT Publ., 2018, 182 p. (in Russian)

Yarmolyuk V.V., Kuzmin M.I. Korrelyatsiya ehndogennykh sobytiy i variatsii klimata v pozdnem kainozoe Tsentral'-noi Azii [Correlation of endogenous events and climate variations in the Late Cenozoic of Central Asia]. *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya* [Stratigraphy. Geological correlation], 2006, vol. 14, no. 2, pp. 3-25 (in Russian)

Randazzo P., Caracausi A., Aiuppa A., Vespasiano G. et al. Active degassing of crustal CO₂ in areas of tectonic collision: A case study from the Pollino and Calabria sectors (Southern Italy). *Frontiers in Earth Science*, 2022, vol. 10. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.946707>

Jackman C.H., Marsh D.R., Kinnison D.E., Mertens C.J., Fleming E.L. Atmospheric changes caused by galactic cosmic rays over the period 1960-2010. *Atmospheric Chemistry & Physics Discussions*. 2015, vol. 15, pp. 33931-33966. <https://doi.org/10/5194/acpd-15-33931-2015>

Deverchere J., Petit C., Gileva N., Radziminovitch N., Melnikova V., San'kov V. Depth distribution of earthquakes in the Baikal Rift System and its implications for the rheology of the lithosphere. *Geophys.*, 2001, vol. 146, pp. 713-730.

Hu S., He L., Wang J. Heat flow in the continental area of China: a new data set. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2000, vol. 179, pp. 407-419.

Maruyama Sh., Sawaki Y., Ebisuzaki T., Ikoma M., Omori S., Komabayashi T. Initiation of leaking Earth: An ultimate trigger of the Cambrian explosion. *Gondwana Research*, 2014, vol. 25, no. 3, pp. 910-944.

Sternai P., Caricchi L., Pasquero C., Garzanti E. Magmatic Forcing of Cenozoic Climate? *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 2020, vol. 125(1). <https://doi.org/10.1029/2018JB016460>

Maruyama Sh., Yuen D.A., Windley B.F. Dynamics of Plumes and Superplumes through Time. *Environmental Science*, 2007. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5750-2_15

Pollack H.N., Chapman D.S. On the regional variation of heat flow, geotherms and the thickness of the lithosphere. *Tectonophysics*, 1977, vol. 38, pp. 279-296.

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>

Schidlowski M.A. A 3800-million-year isotopic record of life from carbon in sedimentary rocks. *Nature*, 1988, vol. 333, pp. 313-318.

Shen X. Crust and upper mantle thermal structure of Xizang (Tibet) inferred from the mechanism of heat flow observed in South Tibet. *Terrestrial heat flow and the lithosphere structure*. Berlin, Springer-Verlag, 1991, pp. 293-307.

Yoshihara A., Hamano Y. Paleomagnetic constraints on the Archean geomagnetic field intensity obtained from komatiites of the Barberton and Belingwe greenstone belts, South Africa and Zimbabwe. *Precambrian Research*, 2004, vol. 131, no. 1, pp. 111-142. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2004.01.003>

Сведения об авторе

Коновалова Татьяна Ивановна

доктор географических наук

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

Information about the author

Konovalova Tatiana Ivanovna

Doctor of Sciences (Geography)

Leading Research Scientist

V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS

1, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,

Russian Federation

e-mail: konovalova@irigs.irk.ru

Код научной специальности: 1.6.12

Статья поступила в редакцию **01.10.2022**; одобрена после рецензирования **16.12.2022**; принята к публикации **05.03.2023**

The article was submitted **October, 1, 2022**; approved after reviewing **December, 16, 2022**; accepted for publication **March, 5, 2023**