



УДК 55:528.9

DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.33.53>

Методология исследования и картографирования антропогенной трансформации геосистем

Т. И. Коновалова

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

Аннотация. Решение проблем оценки и прогноза изменений окружающей среды регионов, повышения качества научно-информационной базы для целей управления региональным развитием являются основой современных географических исследований. В статье рассматриваются современные представления об антропогенном преобразовании геосистем, предложены теоретические и методические принципы его исследования. Антропогенная трансформация геосистем исследуется в контексте изменения существенных свойств в результате проявления преобразующей динамики и эволюции геосистем. Она вызвана когерентным усилением естественного тренда перестройки геосистем односторонними процессами антропогенного воздействия. Показано, что история развития природной среды определяет направление и степень антропогенной модификации геосистем более существенно, чем влияние человека. Особенности антропогенных изменений оцениваются на фоне естественных преобразований геосистем за период позднего кайнозоя, когда стали складываться системные связи, подобные современным. Отмечается, что в районах интенсивного антропогенного воздействия в настоящее время формируется потенциальный аналог преобразования природных комплексов в плиоцене за счет развития процессов ксерофитизации климата и остепнения. Подчеркивается, что наиболее существенные антропогенные преобразования свойственны геосистемам топологического уровня иерархии. Приводятся примеры антропогенной трансформации геосистем Байкальской природной территории. Рассматривается методология картографирования антропогенной трансформации геосистем, базирующаяся на отображении системных связей, преобразующей динамики и эволюции геосистем. Работа основана на материалах многолетних исследований геосистем Сибири, синтезе разнообразных данных.

Ключевые слова: геосистема, антропогенное воздействие, необратимые преобразования, классификация, легенда карты.

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

Введение

В настоящее время актуальной задачей географии является исследование и прогноз изменения природной среды России. Существенное значение для ее решения имеет раскрытие механизмов антропогенной трансформации геосистем.

Вопросам антропогенных преобразований ландшафтов в настоящее время посвящено значительное количество исследований. Вместе с тем

большинство из них сводится к изучению изменений отдельных компонентов ландшафта в результате техногенного, рекреационного и других воздействий, оценке устойчивости главным образом биоты. По-прежнему вызывает дискуссии проблема трансформации ландшафта: обязательно ли для этого воздействовать на все его компоненты, или достаточно преобразовывать один из них; понимать ли под ней обратимые и необратимые изменения, или речь идет только о последних.

Отсутствие достаточного количества данных для расчетов, сложность комплексного учета количественных показателей изменений различных компонентов, изучение характера воздействия на отдельные компоненты, а не на геосистему в целом обуславливают существенные методологические трудности при решении задач исследования антропогенной трансформации геосистем.

Вместе с тем в ряде публикаций отмечается, что одинаковое антропогенное воздействие на различные геосистемы вызовет неодинаковые последствия. Большое значение при оценке их преобразования имеет размерность, поскольку изменение характера вещественно-энергетического обмена и структурно-динамических особенностей географической среды предопределяют присущие для каждого иерархического уровня особенности реакции геосистем на воздействие. В каждой геосистеме постоянно происходят различные изменения, которые отражаются на ее взаимосвязях; взаимообусловленность ее компонентов отмечается лишь как тенденция, которая выражена неодинаково.

В этом контексте уместно вспомнить аксиомы Роберта Дилтса о том, что никакая реакция или поступок не имеют смысла вне отклика, который они за собой влекут. Любое поведение или реакция могут служить ресурсом либо ограничивающим фактором в зависимости от того, насколько они согласуются с остальной системой. Не все взаимодействия в системе происходят на одном и том же уровне. То, что является позитивным на одном уровне, может оказаться негативным на другом. Окружающая обстановка меняется, в результате чего одно и то же действие не всегда будет приводить к одному и тому же результату. Системы являются самоорганизующимися и стремятся к естественному состоянию уравновешенности и стабильности. Нет поражений, есть только обратная связь. Невозможно полностью изолировать какую-либо часть от всей остальной системы. Устойчивость системы определяет ее самый слабый элемент [Dilts, 2017].

Современные направления географических исследований усложняют задачу научных изысканий антропогенной трансформации геосистем, подчеркивая необходимость учета климатических и геодинамических изменений. В настоящее время суть понятия «трансформация геосистем», ее механизмы остаются поисковыми, практически не проведены эмпирические обобщения антропогенной трансформации геосистем региональной размерности, происходящей в условиях комплексного воздействия естественных и антропогенных факторов. Особую актуальность выявление специфики антропогенной трансформации геосистем приобретает для Байкальской при-

родной территории (БПТ) – объекта всемирного природного наследия ЮНЕСКО, – которая характеризуется развитием интенсивных неотектонических процессов одноименной рифтовой системы.

Основная цель работы, результаты которой изложены в статье, заключалась в создании методологии исследования антропогенной трансформации геосистем как основы решения задач, связанных с охраной природы и рациональным природопользованием. Проведенные исследования базируются на информационном синтезе данных и знаний о территории Сибири, основанном на результатах многолетних наземных и аэровизуальных маршрутных наблюдений с применением методов комплексных физико-географических исследований, сравнительно-географического, генетического, картографического. Объект исследования – геосистемы Байкальской природной территории. В ее границах расположены три экологические зоны: буферная, включающая водосборную площадь оз. Байкал в пределах РФ; экологическая зона атмосферного влияния, лежащая к западу от озера, в ней размещены хозяйственные объекты, деятельность которых оказывает негативное воздействие на уникальную систему оз. Байкал, а также центральная экологическая зона, охватывающая прилегающую к оз. Байкал водоохранную зону и особо охраняемые природные территории. Для первых двух зон характерна интенсивная и разнообразная антропогенная деятельность. Помимо этого, пожарами последних лет на значительной площади затронуты геосистемы центральной экологической зоны.

Современные представления об антропогенной трансформации геосистем

В большинстве современных исследований антропогенное воздействие рассматривается как ведущий фактор трансформации природных комплексов, в связи с чем принято изучать только их современные преобразования без учета сложившегося тренда естественных изменений. Считается, что значительная часть ландшафтов представляет собой палимпсесты (по аналогии с древними рукописями на папирусе, с которого первоначальный текст был стерт, затем на который был нанесен новый). Они сформированы повторяющимися эпизодами человеческой деятельности на протяжении нескольких тысячелетий [Butzer, 2005]. Одним из важнейших результатов антропогенного воздействия стало кардинальное изменение глобальной биосферы, биологического разнообразия. Ранние истоки таких преобразований восходят к концу плейстоцена [Ecological consequences of human ... , 2016; Defining the epoch ... , 2015; Smith, Zeder, 2013]. Антропогенные воздействия на природную среду заменяют биогенную эволюцию, которая проходит экстенсивно, с темпом, диктуемым человеком, а не ходом естественных явлений [Реймерс, 1994]. Констатируется ускорение темпов трансформации биоразнообразия, опосредованное человеком. Эти изменения характеризуются импульсами, отражающими культурные, экологические и климатические преобразования на местном, региональном и глобальном уровнях [Williams, Zalasiewicz, Ellis, 2015; Odum, Barrett, 2005].

При этом первоначальное представление о том, что стабильность системы обеспечивается лишь отрицательной обратной связью, в полной мере не оправдалось. При некоторых обстоятельствах любая обратная связь сама по себе не обеспечивает стабильность системы [Lange, 1962]. В. Б. Сочава отмечал, что наряду с анализом взаимного воздействия отрицательных, положительных связей, абиотического фактора на особенности саморегуляции проявляется также некоторая автономия блоков геосистем, поскольку «функционально связанные друг с другом компоненты геосистем в отдельные годы характеризуются высокими показателями корреляции, а в другие годы – более низкими» [Сочава, 1978, с. 118].

Утверждается, что земная система вступила в новую геологическую эпоху – антропоцен. Представление о ней строится на идее об интенсивной деятельности человека, которая в состоянии влиять на геологию настоящего и будущего планеты [The Anthropocene, 2018]. Антропоцен состоит из трех уровней: раннего (проявился несколько тысяч лет назад); начала промышленной революции (с 1800 г.) и «большого ускорения», который имеет наиболее выраженный и глобальный сигнал с момента взрыва первой ядерной бомбы 16 июля 1945 г. в Аламогордо (штат Нью-Мексико) и последующих испытаний ядерного оружия [When did the Anthropocene ... , 2015].

Отмечается, что пока антропогенная трансформация остается неполной, поскольку сохраняются значительные дикорастущие угодья и существенная часть антропогенной биосферы состоит из экосистем, модифицированных частично. Многие экосистемы быстро трансформируются в новые вследствие различных глобальных и локальных изменений и возникают в условиях биотических изменений и абиотических трансформаций [Hobbs, Higgs, Harris, 2009]. В объективной реальности геосистема существует в виде множества переменных состояний, каждое из которых в конкретный момент времени определяется вещественно-энергетическими внешними и внутренними взаимосвязями. Сложность и многофакторность природно-антропогенных трансформаций в реальной обстановке, наложение одних закономерностей на другие, обратимость биотических, биогеохимических процессов затрудняет их понимание, интерпретацию результатов полевых исследований [Бузмаков, 2012]. Прошлые и текущие экологические изменения гарантируют, что многие исторические цели сохранения и восстановления природных комплексов будут неустойчивыми в ближайшие десятилетия [Jackson, Hobbs, 2009].

Глобальное изменение климата обуславливает совершенно новые перспективы для восстановления растительных сообществ и значительную неопределенность фундаментальных процессов. Из-за этого закономерности сезонной и погодной стабильности, на основе которых были составлены экологические прогнозы (ежегодные осадки, температурные нормы), не могут быть приняты как должное. Существует неясность в понимании направления и масштабов изменений природной среды на региональной основе, что создает значительные проблемы в охране экосистем и рациональном природопользовании. В связи с этим более важные вопросы современности

сводятся к оценке влияния происходящих изменений на устойчивость и уязвимость экосистем во времени [Ecological Restoration and Global ... , 2006]. К примеру, сокращение сроков между повторными пожарами в таежных лесах приводит не только к доминированию на значительных пространствах пирогенных субклимаксов, но и по системе обратных связей – к изменению регионального климата, динамики мерзлоты, продуктивности леса и к биогеографическим перестройкам [Тишков, 2012].

В связи с этим предлагается оценивать интенсивность антропогенных изменений в экосистемах на фоне естественных преобразований, которые происходят в разных ландшафтах в ответ на модификации рельефа, геологического строения, плодородия почв, микроклимата, доминирующих видов, а также частоты и стадии восстановления после природных нарушений, включая пожар. Современные ландшафтные процессы не могут быть полностью поняты без признания прошлых процессов, которые формировали экосистемы на протяжении тысячелетий. Определение последствий прошлых экологических изменений также будет способствовать прогнозированию того, как современные сообщества могут реагировать на текущие антропогенные или климатические факторы [Conservation archaeogenomics: Ancient ... , 2015]. Главным критерием познания преобразования геосистемы и смены ее инварианта является история развития геосистем, которая включает три этапа: смену макрочерт литогенной основы одного генезиса другим; неоднократную смену одного ландшафта другим под воздействием существенного изменения климата в рамках той же литогенной основы; современное преобразование экзогенными и эндогенными процессами литогенной основы [Исаченко, 1975]. В. Б. Сочава считал, что будущее состояние природной среды определяется генезисом и историей ее развития, которое обуславливает направление антропогенных преобразований более существенно, чем последние влияют на природную среду [Сочава, 1974].

Большинство современных подходов, применяемых к изучению антропогенных ландшафтов, переключаются с традиционного разделения социальных и экологических компонентов на целостное исследование системы «человек – природа», компоненты которой эволюционно и исторически взаимосвязаны. Современное состояние ландшафтов может быть рассмотрено в контексте траекторий их изменений, а ландшафтная экология является основой для решения проблемы выявления их динамических преобразований [Barrett, 2001]. В новых, создаваемых человеком условиях пространственная перестройка ландшафтов осуществляется также по законам эволюции, так как преимущество развития имеют ландшафты, которые эффективнее осуществляют регуляцию энергетических потоков. Аналогичным образом в прошлом происходили «биогеографические кризисы», связанные с климатическими изменениями: дестабилизация в экосистеме начиналась благодаря возникновению несоответствия «нормы реакции» организмов современной среде и «каскадного эффекта» изменений – связей видов между собой, их взаимодействия со средой и с биотическими потоками межэкосистемного обмена [Тишков, 2012].

Констатируется, что будущие антропогенные выбросы CO_2 будут и далее способствовать потеплению климата в течение более чем тысячелетия благодаря временным масштабам, необходимым для удаления этого газа из атмосферы. Это подтверждает полезность использования знаний о природных условиях позднемелового периода в качестве аналога для прогноза грядущих преобразований [Are there pre-Quaternary ... , 2011]. Прежде всего рассматриваются две эпохи – миоценовая и плиоценовая. Климатический оптимум середины миоцена считается самой теплой фазой в истории Земли за последние 15 млн лет. Поднятие Гималаев на среднюю высоту 4–5 км в позднем миоцене оказало влияние на глобальную атмосферную циркуляцию и развитие Азиатского муссона. Эпоха плиоцена по сравнению с другими теплыми периодами в геологическом прошлом Земли характеризуется уникальным сочетанием близкого к современному уровня концентрации CO_2 в атмосфере, палеогеографической и палеобиологической обстановки [Climate and environment ... , 2011]. При этом подчеркивается, что региональное и сезонное выражение климатической чувствительности может быть значительным [Palaeogeographic controls on climate ... , 2016]. Существует зависимость между средней температурой на континентах, рельефом и орографией. Охлаждение глобального климата за последние несколько миллионов лет может быть связано с уменьшением содержания CO_2 в атмосфере, вызванным усилением процесса выветривания в тектонически активных регионах [Raymo, Ruddiman, Froelich, 1988; The Response of Magnesium ... , 2019]. На основе анализа экстремальных и длительных теплых событий за последние 100 млн лет утверждается, что новый потенциальный аналог палеоцен-эоценового теплового максимума возник с 1991 г. [Are there pre-Quaternary ... , 2011].

Обратные связи между различными компонентами земной системы (атмосфера, биосфера, литосфера, криосфера и океаны в гидросфере) все чаще признаются в качестве факторов влияния на изменения ландшафтов, произошедшие за последние 11 700 лет в межледниковый период, называемый эпохой голоцена.

Обсуждение результатов исследования

Исследование антропогенной трансформации геосистем базируется на представлении о геосистеме 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 [Сочава, 1978]. 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. Нелинейность связей определяет различные реакции геосистемы на внешнее воздействие, которые зависят от ее функционирования, стадий развития и др. Когерентность – согласованность протекания процессов, в результате которых сложение большого числа малых величин дает мощный эффект, спо-

способствующий достижению критических значений степеней свободы. Степени свободы – это пределы изменения компонентов геосистемы и их взаимосвязей, в рамках которых не происходит нарушения ее структуры.

Структура рассматривается в работе как пространственно-временная организованность геосистемы, представленная взаимным расположением составных частей с их системообразующими связями и упорядоченностью смены ее состояний во времени. В теории геосистем структура понимается как инвариант геосистемы и включает в себе главнейшие и детерминирующие черты организации подразделений природной среды [Исаченко, 1991; Сочава, 1967]. Антропогенная трансформация геосистем сопряжена с преобразующей динамикой и эволюцией геосистем, которые вызваны сочетанием процессов эволюционно сложившегося тренда естественных модификаций геосистем и однонаправленной с этими изменениями деятельности человека.

В геосистемах принято выделять три типа связей: вещественную, энергетическую, информационную [Арманд, 1988]. Траектория передачи информации связана с направлением сверху вниз – от планетарного уровня иерархии к региональному и далее – топологическому, от высших таксонов этих уровней, а именно свиты типов ландшафтов (физико-географический пояс), классов геомов (физико-географическая область), геомов (ландшафты), к подчиненным. Каждый уровень развивается в направлении собственного устойчивого состояния и в этом движении может войти в противоречие с подчиненными структурами. В это время строгое подчинение вышестоящей геосистеме нарушается. Как правило, это разрешается в пользу вышестоящего уровня за счет ускорения преобразующей динамики в подчиненной геосистеме.

В процессе преобразующей динамики отдельные природные компоненты обнаруживают различные темпы и степень модификации. Наиболее мобильные из них, которые быстро трансформируются под влиянием тех или иных процессов и явлений и, соответственно, деятельности человека, обычно оказываются критическими в структуре геосистемы. В зависимости от физико-географической обстановки критическими могут стать любые компоненты. Например, при показателях радиационного индекса сухости порядка 1,0 в пределах южной части Байкальской природной территории отмечается функционирование темнохвойно-таежных геосистем. Их современное существование обусловлено снабжением растений водой за счет постепенного протаивания мерзлоты, что помогает геосистемам сохранять на определенное время свою независимость относительно региональных ландшафтных условий. Антропогенное воздействие на такие геосистемы вызывает быстрое и необратимое преобразование их структуры. А. Н. Криштофович, исследуя изменения темнохвойной тайги западной части Лено-Ангарского плато, которые произошли после вырубок и пожаров, отмечал: «Темная тайга с ее толстым моховым покровом держит мерзлоту на малой глубине, этим способствуя заболачиванию плато и вообще большей сырости. Опускание мерзлоты приводит к развитию оподзоливающих процессов и осушению местности, и в результате завладения страной бором мы находим тут уже совершенно иные физические условия» [1909, с. 120].

Геосистемы низших таксонов топологического уровня иерархии в наибольшей степени по отношению к другим уровням пронизаны транзитными и обменными потоками, что связано как с влиянием вышестоящих по иерархическому уровню геосистем, так и значительным воздействием одноранговых. К примеру, исследования на Приангарском таежном стационаре показали, что на расстоянии 0,5 км и при разности высот рельефа 40–50 м сумма активных температур воздуха колеблется от 1200–1300 (в долинах мелких рек) до 1500° на вершинах водоразделов [Кремер, Крауклис, 1970]. Это соответствует таковой между среднесибирскими среднетаежными ландшафтами на водоразделе Средней и Нижней Тунгуски и южнотаежными в Приангарье. В целом в тайге Восточной Сибири возрастание суммы активных температур с севера на юг измеряется величинами порядка 70–90° на 100 км. В то же время в пределах одного склона на местности с умеренно расчлененным рельефом этот градиент достигает 20–50° на 100 м. Более того, в региональной системе рельефа теплообеспеченность убывает от подножия гор к их вершинам, а в локальной системе, наоборот, подножия холмов оказываются более холодными по сравнению с вершинами.

Такие различия существенно усиливают контрасты антропогенных преобразований геосистем, зачастую определяя, с одной стороны, быстрые необратимые преобразования в неблагоприятных условиях среды, с другой – ослабление преобразующей динамики, когда разнонаправленные процессы этому способствуют. Так, в флювиально-субгидроморфных местоположениях темнохвойно-таежные геосистемы за счет дополнительного проточного увлажнения функционируют в более благоприятных экологических условиях по отношению к остальным, что содействует повышению их устойчивости к антропогенному влиянию.

Структура и функционирование геосистем даже в условиях относительной стабильности природной среды не остаются неизменными. В зависимости от характера модификации структуры коренной геосистемы определяются ряды ее трансформации. Они представлены различного рода факторальными рядами геосистем, которые формируются в условиях гипертрофированного воздействия каких-либо факторов (литоморфного, гидроморфного, криоморфного и т. д.). Устойчиво-длительно-производные категории связаны с преобразованиями, спровоцированными антропогенной деятельностью, мнимокоренные экстраобластные – с сохранением реликтов. Все эти категория геосистем развиты в районах с аномальными и экстремальными локальными проявлениями природных условий. Соотношение локальных физико-географических характеристик геосистем с зональными и региональными особенностями позволяет делать выводы о направленности антропогенной трансформации геосистем.

В этой связи исследование геосистем в пределах территории, стабильно развивающейся во времени, с последующей экстраполяцией на районы с длительной по времени или интенсивной антропогенной деятельностью позволяет выявить направление и степень их преобразований. Одним из таких районов в пределах БПТ является древнейшее материковое ядро Евра-

зии, так называемое Древнее темя Азии. Такое название было предложено австрийским геологом Эдуардом Зюссом и академиком В. А. Обручевым. В палеозое и мезозое на ранних этапах рифтогенеза этой территории была свойственна высокая активность эндогенных процессов, которая сопровождалась эндогенным тепловым прогревом. Результатом стало формирование одной из крупнейших на Земле гранитных провинций, которая в основном представлена Ангаро-Витимским батолитом в Западном Забайкалье – интрузивным массивом площадью около 200 000 км². С запада и северо-запада батолит ограничен оз. Байкал, с востока и юга – долинами рек Витим и Хилок.

Состав гранитов Ангаро-Витимского батолита разнообразен, но к гранитам кислого состава, как показали проведенные исследования, приурочены темнохвойно-таежные геосистемы в отличие от доминирующих в районе лиственнично-таежных. К примеру, на Баргузинском хребте в районе выхода древних гранитов кислого состава темнохвойная тайга распространена от гольцового пояса до уровня Байкала. На противоположной, западной стороне Байкала вне области распространения таких гранитов развита горная лесостепь. Своеобразной чертой вертикальной поясности Баргузинского хребта и хр. Хамар-Дабан по той же причине является верхняя граница леса, образованная пихтарниками. Это наиболее древние образования среди таежных геосистем, которые появились на территории вслед за тихоокеанским муссоном. Вместе с тем в таких районах на месте разновременных гарей развита устойчиво-длительно-производная светлохвойная тайга, которая в большей степени соответствует сложившимся региональным условиям. Ретроспективный анализ позволяет судить о степени деструктивных преобразований, произошедших здесь.

Пространственно-временные особенности таежных геосистем БПТ различны. С одной стороны, дифференциация геосистем связана с проявлением широтной зональности, с другой – с проявлением высотной поясности, когда зачастую не обнаруживается линейная связь с нарастанием высот над уровнем моря. В специфических условиях района исследований происходит уравнивание негэнтропии (критерий упорядоченности внутренней структуры, информации) и энтропии (мера неупорядоченности внутренних взаимосвязей геосистемы), когда в геосистеме совершается стабилизация и снижается потенциал ее развития. В то же время активное проявление тектонических процессов, обусловленное развитием Байкальской рифтовой зоны, определяет преобладание энтропии над негэнтропией, что вызывает развитие преобразующей динамики в геосистемах и их эволюции. Быстрая трансформация геосистем началась около 5–6 млн лет назад, когда наступила собственно рифтовая стадия развития БРЗ, произошло горное оледенение, сформировались молодые гольцовые и подгольцовые геосистемы. Все они могут быть легко уничтожены даже незначительной по степени воздействия антропогенной деятельностью.

Отклик геосистемы на антропогенное воздействие определяется во многом ее генезисом, который обуславливает направление антропогенных преобразований более существенно, чем последние влияют на природную

среду. Под генезисом геосистемы понимаются все аспекты истории ее развития и происходящие при этом трансформации до становления ее современной структуры [Сочава, 1967]. Результаты реконструкции условий качественного преобразования геосистем используются в процессе их исследования и картографирования. При этом основное внимание уделяется не столько истории изменения ландшафтных обстановок за тот или иной геологический отрезок времени, сколько раскрытию закономерностей формирования связей геосистем.

Анализ научных публикаций по палеогеографической тематике, изучение ландшафтов-аналогов дало возможность выявить основную тенденцию трансформации геосистем БПТ. Она проявляется на протяжении около 15 млн лет от среднего миоцена до наших дней и заключается в развитии процессов аридизации и усиления континентальности климата. Очевидно, существенное значение при этом имеют интенсивные неотектонические процессы. Вслед за глобальными тектоническими и климатическими изменениями, произошедшими в миоцене, как отмечалось выше, в регионе происходит похолодание и ксерофитизация климата ($t^{\circ}_I + 8^{\circ}$; $t^{\circ}_{VII} + 35^{\circ}$; $\Sigma_{MM} - 1500$ мм, где t°_I ; t°_{VII} – средние значения температуры воздуха в январе и июле, Σ_{MM} – годовая сумма осадков). Изменение климата заметно усиливается к концу эпохи ($t^{\circ}_I - 0^{\circ} \dots + 3^{\circ}$; $t^{\circ}_{VII} + 30^{\circ}$ C; $\Sigma_{MM} - 1200 - 1000$ мм) [Синицын, 1980]. В целом на обширных пространствах северо-востока Азии и Сибири формируется умеренный климат со средними летними температурами на 7° C ниже, чем в раннем и среднем миоцене, с постепенным увеличением сухости и четкой сезонной дифференциацией [Волкова, Баранова, 1980]. Флора позднего миоцена обедняется за счет теплолюбивых и требовательных к условиям влажности пород. Многочисленны широколиственные породы, а также пихта, сосна. Сплошная лесная зона распадается на отдельные массивы, которые постепенно редуют и уменьшаются по площади.

На рубеже миоцена и плиоцена на юге региона распространяются формации сосновых боров, березняков, приспособленных к возросшей сухости воздуха и зимним заморозкам. На севере увеличиваются ареалы хвойных лесов (пихта, ель). Параллельно с этими изменениями трансформируется и литогенетический тип осадков: происходит смена господствующей среды осадконакопления с кислой на щелочную, общее сокращение глинистого материала в осадочных толщах, накопление в бассейнах седиментации извести и отчасти кремнезема.

Подъем хребтов и нагорий на востоке в конце раннего и начале среднего плиоцена привел к возникновению орографических преград, которые оказали влияние на циркуляцию атмосферы. Сформировался Сибирский антициклон, превратившийся к концу эпохи в мощный циркуляционный фактор, усилился западный перенос воздушных масс. Происходит очередное похолодание климата. Согласно данным глубоководного бурения на Байкале [Глубоководное бурение на Байкале ... , 2001], первое серьезное похолодание в регионе (2,5 млн лет назад) не сопровождалось развитием оледенения. Преобразования, связанные с нарастающей аридизацией и по-

холоданием климата, способствовали широкому распространению степных геосистем на склонах гор. В этот период климат характеризуется резко выраженной сезонностью, продолжительной и холодной зимой, умеренно теплым летом ($t^{\circ}_I -5...-10^{\circ} \text{C}$; $t^{\circ}_{VII} +15...+20^{\circ} \text{C}$; $\Sigma_{\text{мм}} - 600-800 \text{ мм}$). В южных аридных областях региона обострение континентальности климата нашло выражение в усилении процессов опустынивания – сокращении поверхностного стока, замещении лесов степями.

На рубеже неогенового и четвертичного периодов происходит очередное мощное тектоническое поднятие блоков земной коры и новое похолодание климата, сопровождающееся его дальнейшей ксерофитизацией. Этот период похолодания был более выраженным по сравнению с предыдущим, что вызвало развитие горно-долинного оледенения, так как аридизация климата не благоприятствовала развитию покровного оледенения [Кузавкова, 2020]. Крупные ледники практически спускались к побережью Байкала, но, по мнению большинства исследователей, не достигали их. Характерно появление и длительное сохранение снежного покрова ($t^{\circ}_I -25^{\circ} \text{C}$; $t^{\circ}_{VII} +15^{\circ} \text{C}$; $\Sigma_{\text{мм}} - 400-600 \text{ мм}$). Территория исследований была покрыта злаково-маревопольной и осоково-разнотравной кустарничковой остепненной тундрой. Вместе с тем воздействие эндогенного тепла в зонах разломов и остаточной вулканической деятельности, влияние Байкала способствовали сохранению миоцен-плиоценовых реликтов. В этот период совершилось окончательное преобразование неморальных темнохвойных типов геосистем в таежные темнохвойные и светлохвойные современного облика. Темнохвойная тайга сохранилась преимущественно на архейских и протерозойских гранитах кислого состава. С этим этапом связывают распространение лиственницы даурской и остепнение хвойных лесов, унаследованное от их контакта с перигляциальными степями.

С развитием оледенения альпийская флора, сформировавшаяся в высокогорьях, мигрировала вниз по склонам. В степных межгорных понижениях произошло ее смешение со степной ксерофитной флорой. Этим объясняется присутствие в современных степях региона альпийских видов. На периферии ледников в непосредственной близости от Байкала сформировался своеобразный темнохвойно-таежный комплекс с кедром сибирским, кедровым стлаником, горно-тундровыми кустарничками.

Максимальное похолодание климата в период сартанской ледниковой эпохи вызвало повсеместное развитие «подземного оледенения». В оптимальную фазу межледниковья усложнилась морфологическая структура геосистем, унаследовавших реликты предыдущих эпох: ледяные прослои, линзы и клинья льда, карбонатные отложения и покровные толщи лессовидных суглинков, которые сформировались в условиях холодной степи. Дальнейшее изменение климата происходило в сторону потепления, но сухость осталась. В раннем голоцене началось развитие современной Восточно-Сибирской подобласти светлохвойных лесов, а в позднем голоцене завершается формирование современной ландшафтной структуры региона. Условия сухого континентального климата, установившиеся в плиоцене, сохранились до настоящего времени.

Геосистемы региона сохраняют сложившиеся в эту эпоху тенденции своего развития. В многолетнем ходе температуры почвы также наблюдаются устойчивые положительные тренды, что вызывает постепенную деградацию островов многолетнемерзлых пород. С начала 80-х гг. XX в. в регионе фиксируются устойчивое снижение глубины и скорости сезонного промерзания почв и повышение темпов оттаивания. За последние 40 лет глубина промерзания снижалась здесь в среднем со скоростью 1,2 см/год. Вместе с тем в связи с парниковым эффектом на планете ожидается дальнейшее повышение средней температуры воздуха с градиентом в 0,26 °С за десятилетие, которая к концу столетия возрастет на 3 °С. Последствия такого резкого потепления могут быть катастрофичны для геосистем бореальной зоны (рис.)

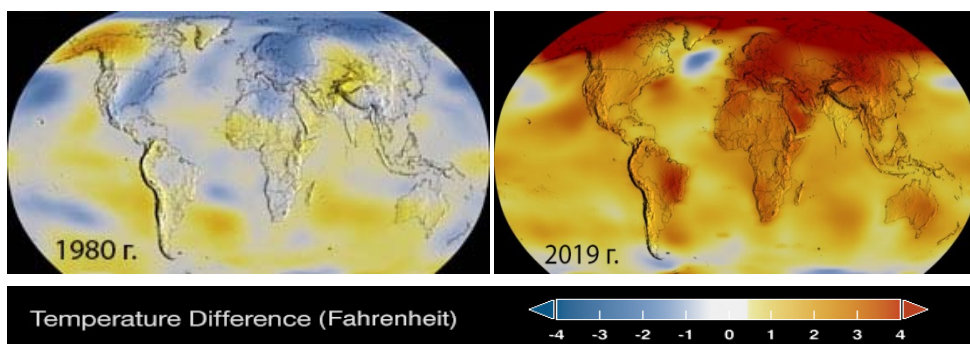


Рис. Изменение глобальной температуры поверхности Земли. Темно-синий цвет указывает на области, более прохладные, чем в среднем. Темно-красный цвет указывает на области, более теплые, чем в среднем (источник: [NASA/GISS])

Антропогенная деятельность также изменила и направление процессов почвообразования в регионе, под ее влиянием общей тенденцией изменения почв таежных геосистем, находящихся в экотонной полосе со степными, является их остепнение, выражающееся в приближении к поверхности карбонатного горизонта, снижении кислотности, появлении солонцеватости, уплотнении, образовании столбчатой структуры.

Как показал генетический анализ, развитие современных геосистем в условиях интенсивного антропогенного воздействия повторяет особенности изменения природной среды, свойственные эпохе плейстоцена. Это может служить основой для прогноза антропогенной трансформации геосистем.

Картографирование антропогенной трансформации геосистем

Актуальность исследований определяется необходимостью выполнения крупных картографических проектов для отдельных регионов страны с использованием космической информации и ГИС-технологий в целях регулирования процессов природопользования; необходимостью создания классификации и легенд карт геосистем, позволяющих делать конкретные выводы о том, что, где и как будет изменяться.

Ключевым объектом картографирования являются геосистемы двух главных категорий дифференциации – региональной и топологической. Первые воспроизводят особенности зонально-секторно-высотного положения и общие черты развития регионов, вторые – локальные закономерности, обуславливающие характер и степень преломления фоновых признаков в конкретных местных ситуациях. Такое дифференцированное рассмотрение важно для правильного использования материалов геосистемного картографирования. Так, к примеру, на небольших площадях и в ограниченные промежутки времени процессы и явления могут быть весьма изменчивы. При увеличении площадей их особенности сглаживаются, приобретают устойчивость, свойственную рассматриваемому району. Это подобно временной закономерности, когда, чем больше период наблюдений за явлением, тем устойчивее средняя величина его характеристик. Поэтому при экстраполяции данных, полученных на стационарах, используются показатели, детерминированные фоновыми закономерностями, «очищенными» от локальных «возмущений», а свойства отдельных геосистем, в свою очередь, можно воссоздать только при условии знания закономерностей локального преломления фоновых признаков с целью взаимной упорядоченности ландшафтных единиц. К примеру, климатический режим геома – это модификация климата подзоны, возникшая под влиянием особенностей рельефа, почвенно-растительного комплекса и других компонентов геосистемы. Поэтому для каждой зоны или провинции существуют свои геоморфологические, гидроклиматические и почвенно-ботанические критерии разграничения геомов.

Современное картографирование антропогенной трансформации геосистем заключается в воспроизведении целостных географических объектов, изменчивых по своим характеристикам, направлениям их преобразования при тех или иных видах воздействия. Кроме того, возможные аспекты упорядочения аналитического материала рассматриваются с точки зрения временных преобразований геосистем, связанных с представлением о направленной внутренней перестройке структуры геосистемы, обусловленной процессом преобразования ее структуры – качественного системного изменения, которому свойственны необратимость и внутренние противоречия.

В процессе картографирования реализуется система инвариантных вложений, когда инвариант одного иерархического уровня классификации становится вариантом на более высоком уровне. Также используется идея факторально-динамической классификации топогеосистем по степени их видоизменения под влиянием различных факторов. При геосистемном картографировании важно то, что степень сходства геосистем по любым параметрам изменяется пропорционально увеличению их таксономической категории. При переходе от высших таксономических ступеней к низшим в классификацию вводятся все новые факторы оценки, поскольку фации представляют собой недолговечные, быстро трансформирующиеся природные комплексы. В связи с этим есть смысл рассматривать иерархию факторов картографического моделирования геосистем. Они заключаются в следующем.

Характер внутренних межкомпонентных взаимоотношений, связи между геосистемой и средой определяют условия преобразования инварианта, поэтому служат исходным фактором картографирования. В результате общие критерии теплообеспеченности (зональные признаки) и увлажнения (секторные) положены в основу выделения крупных таксономических подразделений геосистем. Например, аридный азиатский класс и центральноазиатский внутриконтинентальный сухостепной подкласс геомов.

На следующей таксономической ступени в классификации учитываются трансформация зонально-секторных особенностей каждой геосистемы, происходящая по мере приближения к ее границам, влияние латеральных взаимосвязей соседних геосистем. Группа геомов представляет разные вариации широтной зональности и вертикальной дифференциации. На уровне групп геомов в классе равнинных геосистем выделяются северные, средние и южные подзоны, а в классе горных – геосистемы редуцированного, ограниченного и оптимального развития. На уровне подгрупп геомов отмечаются модификация равнинного типа геосистем (низменные/возвышенные типы), барьерно-подгорные варианты (к примеру, южносибирская подгорно-лугово-степная подгруппа геомов). На более низких ступенях классификации (геом) отображаются петрографический состав горных пород, формы рельефа, особенности почвенно-растительного покрова. Например, подтаежные светлохвойные высокие песчаных увалов озерно-речной аккумуляции на средне- и верхнечетвертичных отложениях.

Геомы объединяют классы фаций разных факторальных рядов – узловых направлений внутрисистемного изменения природных условий под влиянием определенных факторов. Классы фаций соединяют группы фаций одного факторального ряда и на местности проявляются в масштабе района. Разная степень проявления в структуре топогеосистем видоизменяющего влияния основного фактора (литоморфного, гидроморфного и т. д.) выступает основой выделения групп фаций (серийных, серийных факторальных, мнимокоренных, коренных и др.), которые позволяют оценивать реакцию геосистем на антропогенное воздействие в зависимости от характера воздействия, усиливающего или ослабляющего влияние естественных процессов.

В легенды карт для всех групп фаций введены категории: «мнимокоренные экстраобластные малоустойчивые» (геосистемы, относящиеся к какой-либо физико-географической области, но встречающиеся в силу определенных условий за ее пределами); «серийные факторальные наименее устойчивые», которые воспроизводят, как правило, историю развития и современную преобразующую динамику. Сопоставление тех или иных типов геосистем с выявленным трендом преобразований за период позднего кайнозоя позволяет воссоздать перспективу их развития, в частности, через отображение условно-длительно-производных типов геосистем, которые устойчивы во времени и не возвращаются к исходным состояниям.

Выводы

В статье рассмотрена методология исследования антропогенной трансформации геосистем, которая разработана с учетом современных направлений географических исследований. Методология строится на учете открытости геосистем, нелинейности и когерентности их взаимосвязей. 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. Интенсивность антропогенных модификаций оценивается на фоне выявленного тренда эволюционных изменений геосистем за период позднего кайнозоя. Сложившиеся тенденции преобразования региональной структуры геосистем свидетельствуют о дальнейшем развитии процессов аридизации, сформировавшихся еще в плиоцене. В районах интенсивного антропогенного воздействия БПТ в настоящее время складывается потенциальный аналог преобразования геосистем в плиоцене за счет развития процессов ксерофитизации климата и остепнения.

Наиболее существенные антропогенные преобразования свойственны геосистемам топологического уровня иерархии.

В настоящее время резонанс экстремальных значений температуры воздуха, почв, деградации мерзлоты превысил критические значения «степеней свободы» и создал условия, способствующие трансформации большинства таежных геосистем региона. Этот резонанс, усиленный эффектом антропогенных воздействий, вызывает серьезные последствия для геосистем БПТ – опасность разрушения лесных типов геосистем и потери реликтовых компонентов. В этом смысле широко декларируемый тезис о ранимости природы при некомпетентности человеческого вмешательства является весьма актуальным.

Проведенные исследования могут служить основой при разработке концепций устойчивого развития регионов. При этом основным фактором ее реализации является сохранение их самоуправляемого развития за счет правильной организации антропогенного воздействия в пространстве, времени и масштабе.

Исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ госрегистрации темы АААА-А17-117041910167-0) и при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-05-00253

Список литературы

- Арманд А. Д. Самоорганизация и саморегулирование географических систем. М. : Наука, 1988. 260 с.
- Бузмаков С. А. Антропогенная трансформация природной среды // Географический вестник, 2012. Т. 4 (23). С. 46–50.
- Волкова В. С., Баранова Ю. П. Плиоцен-раннеплейстоценовые изменения климата в Северной Азии // Геология и геофизика. 1980. № 7. С. 43–52.
- Глубоководное бурение на Байкале – основные результаты / М. И. Кузьмин, Е. Б. Карабанов, Т. Каваи, Д. Вильямс, В. А. Бычинский, Е. В. Кербер, В. А. Кравчин-

ский, Е. В. Безрукова, А. А. Прокопенко, В. Ф. Гелетий, Г. В. Калмычков, А. В. Горегляд, В. С. Антипин, М. Ю. Хомутова, Н. М. Сошина, Е. В. Иванов, Г. К. Хурсевич, Л. Л. Ткаченко, Э. П. Солотчина, Н. Йошида, А. Н. Гвоздков // Геология и геофизика. 2001. Т. 42, № 1-2. С. 8–34.

Исаченко А. Г. Теоретические основы прикладного ландшафтоведения // Доклады Института географии Сибири и Дальнего Востока. 1975. Вып. 48. С. 3–8.

Исаченко А. Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М. : Высшая школа, 1991. 370 с.

Кремер Л. К., Крауклис А. А. Температура воздуха и почвы в некоторых таежных фациях Приангарья // Топологические особенности тепла, влаги, вещества в геосистемах. Иркутск, 1970. С. 4–8.

Криштофович А. Н. Экспедиция по Тыреть-Жигаловскому тракту // Предварительный отчет о ботанических исследованиях в Сибири и Туркестане в 1908 году. СПб. : Изд. Переселенческого управления, 1909. С. 79–83.

Кузавкова З. О. Формирование своеобразия пространственной организации геосистем западного макросклона Баргузинского хребта // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2020. Т. 31. С. 48–57. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.31.48>

Реймерс Н. Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). М. : Журнал «Россия Молодая», 1994. 367 с.

Синицын В. М. Природные условия и климаты территории СССР в раннем и среднем кайнозое. Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1980. 104 с.

Сочава В. Б. Структурно-динамическое ландшафтоведение и географические проблемы будущего // Доклады Института географии Сибири и Дальнего Востока. 1967. Вып. 16. С. 18–31.

Сочава В. Б. Геотопология как раздел учения о геосистемах // Топологические аспекты учения о геосистемах. Новосибирск : Наука, 1974. С. 3–86.

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

Тишков А. А. Сукцессии растительности зональных экосистем: сравнительно-географический анализ, значение для сохранения и восстановления биоразнообразия // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2012. Т. 14, № 1(5). С. 1387–1390.

Barrett G. W. Closing the ecological cycle: the emergence of integrative science // *Ecosyst Health*, 2001. Vol. 7. P. 79–84. <http://doi:10.1046/j.1526-0992.2001.007002079>

Ecological consequences of human niche construction: Examining long-term anthropogenic shaping of global species distributions / N. L. Boivin, M. A. Zeder, D. Q. Fuller, A. Crowther, G. Larson, J. M. Erlandson, T. Denham, M. D. Petraglia // *PNAS*. 2016. Vol. 113, N 23. <https://doi.org/10.1073/pnas.1525200113>

Butzer K.W. Environmental history in the Mediterranean world: Cross-disciplinary investigation of cause-and-effect for degradation and soil erosion // *J. Archaeol. Sci.* 2005. Vol. 32, N 12. P.1773–1800.

Ecological Restoration and Global Climate Change / J. A. Harris, R. J. Hobbs, E. Higgs, J. Aronson // *Restoration Ecology*, 2006. Vol. 14, N 2. P. 170–176.

Are there pre-Quaternary geological analogues for a future greenhouse warming? / A. M. Haywood, A. Ridgwell, D. J. Lunt, D. J. Hill, M. J. Pound, H. J. Dowsett, A. M. Dolan, J. E. Francis, M. Williams // *Phil. Trans. R. Soc.: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 2011. Vol. 3, N 13. P. 933–956. <http://doi.org/10.1098/rsta.2010.0317>

Hobbs R. J., Higgs E., Harris J. A. Novel ecosystems: implications for conservation and restoration // *Trends in Ecology & Evolution*, 2009. Vol. 24, N 11. P. 599–605. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.05.012>

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. 540–549.

Jackson S. T., Hobbs R. J. Ecological Restoration in the Light of Ecological History // *J. Science*, 2009. Vol. 325, Issue 5940. P. 567–569. <https://doi.org/10.1126/science.1172977>

Lange O. Calosc i rozwój w swietle cybernetyki. Warszawa : Naukowe Publ., 1962. 86 p.
Palaeogeographic controls on climate and proxy interpretation / D. J. Lunt, A. Farnsworth, C. Loptson, G. L. Foster, P. Markwick, C. L. O'Brien, R. D. Pancost, S. A. Robinson, N. Wrobel // *Clim. Past*. 2016. Vol. 12. P. 1181–1198. <https://doi:10.5194/cp-12-1181-2016>

NASA/GISS. URL: https://climate.nasa.gov/system/time_series_items/3_colorbar_globaltemp_fahrenheit.jpg. (date of access: 14.06)

Odum E. P.; Barrett, G. W. Fundamentals of ecology. Belmont : Brooks Cole Publ., 2005. 598 p.

The Response of Magnesium, Silicon, and Calcium Isotopes to Rapidly Uplifting and Weathering Terrains: South Island, New Zealand / Ph. A. E. Pogge von Strandmann, K. R. Hendry, J. E. Hatton, L. F. Robinson // *J. Frontiers in Earth Science*. 2019. Vol.7, Article 240. <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00240>

Defining the epoch we live / W. F. Ruddiman, E. C. Ellis, J. O. Kaplan, D. Q. Fuller // *J. Science*. 2015. Vol. 348, Issue 6230. P. 38–39. <https://doi.org/10.1126/science.aaa7297>

Raymo M. E., Ruddiman W. F., Froelich P. N. Influence of Late Cenozoic Mountain Building on Ocean Geochemical Cycles // *Geology*, 1988. Vol. 16, N 7. P. 649–653. [https://doi:10.1130/0091-7613\(1988\)016<0649:IOLCMB>2.3.CO;2](https://doi:10.1130/0091-7613(1988)016<0649:IOLCMB>2.3.CO;2)

Climate and environment of a Pliocene warm world / U. Salzmann, M. Williams, A. Haywood, A. Johnson, S. Kender, J. Zalasiewicz // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2011. Vol. 309, Issues 1–2. P. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2011.05.044>

Smith B.D., Zeder M.A. The onset of the Anthropocene // *Anthropocene*. 2013. Vol. 4. P. 8–13.

Williams M, Zalasiewicz J. A., Ellis E. C. The Anthropocene biosphere // *Anthropocene Rev.*, 2015. Vol. 2, N 3. P.196–219. <https://doi:10.1177/2053019615591020>

The Anthropocene / J. Zalasiewicz, C. N. Waters, C. Summerhayes, M. Williams // *Geology Today*. 2018. Vol. 34. P. 162–200. <https://doi.org/10.1111/gto.12244>

When did the Anthropocene begin? A mid-twentieth century boundary level is stratigraphically optimal / J. Zalasiewicz, C. N. Waters, M. Williams, A. D. Barnosky, A. Cearreta, P. Crutzen, E. Ellis, M. A. Ellis, I. J. Fairchild, J. Grinevald, P. K. Haff, I. Hajdas, R. Leinfelder, J. McNeill, E. O. Odada, C. Poirier, D. Richter, W. Steffen, N. Oreskes // *Quaternary International*. 2015. Vol. 383, Issue 5. P. 196–203. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.11.045>

The Methodology of the Study and Mapping of Anthropogenic Transformation of Geosystems

T. I. Konovalova

Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation

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

Abstract. The main goal of this work is to develop a methodology for studying the anthropogenic transformation of geosystems as a basis for solving problems related to nature protection and rational use of natural resources. The methodology is based on taking into account the openness of geosystems, the non-linearity and coherence of their relationships. Anthropogenic transformation of geosystems is considered in the context of changes in their essential properties because of the transformative dynamics and evolution of geosystems. They are caused by a

resonant increase in the natural trend of geosystem restructuring and unidirectional anthropogenic impacts. The intensity of anthropogenic modifications is estimated against the background of the revealed trend of evolutionary changes in geosystems in the late Cenozoic. The current trends in the transformation of the regional structure of geosystems indicate the further development of aridization processes that were formed in the Pliocene. In areas of intense anthropogenic impact, a potential analog of the transformation of geosystems in the Pliocene is currently being formed due to the development of climate xerophytization processes and an increase in the area of steppes. The most significant anthropogenic transformations are characteristic of geosystems of the lowest topological level of the hierarchy.

Keywords: geosystem, anthropogenic impact, irreversible transformations, classification, map legend.

For citation: Konovalova T.I. The Methodology of the Study and Mapping of Anthropogenic Transformation of Geosystems. *The 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)

References

Armand A.D. *Samoorganizatsiya i samoregulirovanie geograficheskikh sistem* [Self-organization and self-regulation of geographical systems]. Moscow, Nauka Publ., 1988, 260 p. (in Russian)

Buzmakov S.A. Antropogennaya transformatsiya prirodnoi sredy [Anthropogenic transformation of the natural environment. *Geograficheskii vestnik* [Geographical Bulletin], 2012, vol. 4 (23), pp.46-50. (in Russian)

Volkova V.S., Baranova Yu.P. Pliotsen-rannepleistotsenovyie izmeneniya klimata v Severnoi Azii [Pliocene-early Pleistocene climate change in North Asia]. *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics], 1980, no. 7, pp. 43-52. (in Russian)

Kuzmin M.I., Karabanov E.B., Kawai T., Williams D., Bychinsky V.A., Kerber E.V., Kravchinsky V.A., Bezrukova E.V., Prokopenko A.A., Geletiy V.F., Kalmychkov G.V., Goregryad A.V., Antipin V.S., Khomutova M.Yu., Soshina N.M., Ivanov E.V., Khursevich G.K., Tkachenko L.L., Solotchina E.P., Yoshida N., Gvozdkov A.N. Glubokovodnoe burenie na Baikale – osnovnye rezultaty [Deep-water drilling on lake Baikal-main results]. *Geology and Geophysics*, 2001, vol. 42, no. 1-2, pp. 8-34. (in Russian)

Isachenko A.G. Teoreticheskie osnovy prikladnogo landshaftovedeniya [Theoretical foundations of applied landscape science]. *Doklady Instituta geografii Sibiri i Dalnego Vostoka* [Reports of the Institute of geography of Siberia and the Far East], 1975, vol. 48, pp. 3-8. (in Russian)

Isachenko A.G. Landshaftovedenie i fiziko-geograficheskoe rajonirovanie [Landscape studies and physical and geographical zoning]. Moscow, Moscow Higher school Publ., 1991, 370 p. (in Russian)

Kraemer L.K., Krauklis A.A. Temperatura vozdukha i pochvy v nekotorykh taezhnykh fatsiyakh Priangariya [Air and soil temperature in some taiga facies of the Angara region. *Topologicheskie osobennosti tepla, vlagi, veshchestva v geosistemakh* [Topological features of heat, moisture, and matter in geosystems]. Irkutsk, 1970, pp. 4-8. (in Russian)

Kuzovkova Z.O. Formirovanie svoebrazniya prostranstvennoi organizatsii geosistem zapadnogo makrosklona Barguzinskogo khrebtta [Formation of the peculiarity of the spatial organization of geosystems of the Western macro slope of the Barguzinsky ridge]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Nauki o Zemle* [The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences], 2020, vol. 31. pp. 48–57. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.31.48> (in Russian)

Kryshstofovich A. N. Ehkspeditsiya po Tyret'-Zhigalovskomu traktu [Expedition along the Tyret'-Zhigalovsky tract]. *Preliminary report on Botanical research in Siberia and Turkestan in 1908*. Saint Petersburg, The resettlement administration Publ., 1909, pp. 79-83. (in Russian)

Reimers N.F. *Ehkologiya (teorii, zakony, pravila, printsipy i gipotezy)* [Ecology (theories, laws, rules, principles, and hypotheses)]. Moscow, The Magazine "Young Russia" Publ., 1994, 367 p. (in Russian)

Sinicyn V.M. *Prirodnye usloviya i klimaty territorii SSSR v rannem i sred-nem kajnozoe* [Natural conditions and climates of the territory of the USSR in the early and middle Cenozoic]. Leningrad, Leningrad Univ. Publ., 1980, 104 p. (in Russian)

Sochava V.B. *Strukturno-dinamicheskoe landshaftovedenie i geograficheskie problemy budushchego* [Structural-dynamic landscape science and geographical problems of the future]. *Doklady instituta geografii Sibiri i Dalnego Vostoka* [Reports of the Institute of geography of Siberia and the Far East], 1967, vol. 16, pp. 18-31. (in Russian)

Sochava V.B. *Geotopologiya kak razdel ucheniya o geosistemah* [Geotopology as a section of the doctrine of geosystems]. *Topologicheskie aspekty ucheniya o geosistemakh* [Topological aspects of the doctrine of geosystems]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1974, pp. 3-86. (in Russian)

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

Tishkov A.A. *Suktsessii rastitelnosti zonalnykh ehkosistem: sravnitelno-geograficheskii analiz, znachenie dlya sokhraneniya i vosstanovleniya bioraznoobraziya* [Vegetation succession of zonal ecosystems: comparative geographical analysis, significance for biodiversity conservation and restoration]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk* [Izvestiya Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences], 2012, vol. 14, no. 1(5), pp. 1387-1390 (in Russian)

Barrett G.W. Closing the ecological cycle: the emergence of integrative science. *Ecosyst Health*, 2001, vol. 7, pp. 79-84. <https://doi.org/10.1046/j.1526-0992.2001.007002079>

Boivin N.L., Zeder M.A., Fuller D.Q., Crowther A., Larson G., Erlandson J.M., Denham T., Petraglia M.D./ Ecological consequences of human niche construction: Examining long-term anthropogenic shaping of global species distributions. *PNAS*, 2016, vol. 113, no. 23. <https://doi.org/10.1073/pnas.1525200113>

Butzer K.W. Environmental history in the Mediterranean world: Cross-disciplinary investigation of cause-and-effect for degradation and soil erosion. *J. Archaeol Sci.*, 2005, vol. 32, no. 12, pp. 1773-1800/

Harris J.A., Hobbs R.J., Higgs E., Aronson J. Ecological Restoration and Global Climate Change. *Restoration Ecology*, 2006, vol. 14, no. 2, pp. 170-176

Haywood A.M., Ridgwell A., Lunt D.J., Hill D.J., Pound M.J., Dowsett H.J., Dolan A.M., Francis J.E., Williams M. Are there pre-Quaternary geological analogues for a future greenhouse warming? *Phil. Trans. R. Soc.: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 2011, vol. 3, no. 13, pp. 933-956. <http://doi.org/10.1098/rsta.2010.0317>

Hobbs R.J., Higgs E., Harris J.A. Novel ecosystems: implications for conservation and restoration. *Trends in Ecology & Evolution*, 2009, vol. 24, no. 11, pp. 599-605. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.05.012>

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. 540-549.

Jackson S. T., Hobbs R. J. Ecological Restoration in the Light of Ecological History. *J. Science*, 2009, vol. 325, issue 5940, pp. 567-569. <https://doi.org/10.1126/science.1172977>

Lange O. *Calosc i rozwój w swietle cybernetyki*. Warszawa, Naukowe Publ., 1962, 86 s. (in Polish)

Lunt D.J., Farnsworth A., Loptson C., Foster G.L., Markwick P., O'Brien C.L., Pancost R.D., Robinson S.A. Wrobel N. Palaeogeographic controls on climate and proxy interpretation. *Clim. Past.*, 2016, vol. 12, pp. 1181-1198. <https://doi.org/10.5194/cp-12-1181-2016>

NASA/GISS. Available at: https://climate.nasa.gov/system/time_series_items/3_colorbar_globaltemp_fahrenheit.jpg. (date of access: 14.06)

Odum E. P., Barrett G. W. Fundamentals of ecology. Belmont, Brooks Cole Publ., 2005. 598 p.

Pogge von Strandmann Ph.A.E., Hendry K.R., Hatton J.E., Robinson L.F. The Response of Magnesium, Silicon, and Calcium Isotopes to Rapidly Uplifting and Weathering Terrains: South Island, New Zealand. *J. Frontiers in Earth Science*, 2019, vol. 7, article 240. <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00240>

Ruddiman W.F., Ellis E.C., Kaplan J.O., Fuller D.Q. Defining the epoch we live. *J. Science*, 2015, vol. 348, issue 6230, pp. 38-39. <https://doi.org/10.1126/science.aaa7297>

Raymo M.E., Ruddiman W.F., Froelich P.N. Influence of Late Cenozoic Mountain Building on Ocean Geochemical Cycles. *Geology*, 1988, vol. 16, no. 7, pp. 649-653. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1988\)016<0649:IOLCMB>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1988)016<0649:IOLCMB>2.3.CO;2)

Salzmann U., Williams M., Haywood A., M., Johnson A, Kender S., Zalasiewicz J. Climate and environment of a Pliocene warm world. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2011, vol. 309, issues 1-2, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2011.05.044>

Smith B.D., Zeder M.A. The onset of the Anthropocene. *Anthropocene*, 2013, vol. 4, pp. 8-13.

Williams M, Zalasiewicz J.A., Ellis E.C. The Anthropocene biosphere. *Anthropocene Rev.*, 2015, vol. 2, no 3, pp.196–219. <https://doi:10.1177/2053019615591020>

Zalasiewicz J., Waters C. N., Summerhayes C., Williams M. The Anthropocene. *Geology Today*, 2018, vol. 34, pp. 162-200. <https://doi.org/10.1111/gto.12244>

Zalasiewicz J., Waters C. N., Williams M., Barnosky A. D., Cearreta A., Crutzen P., Ellis E., Ellis M. A., Fairchild I. J., Grinevald J., Haff P. K., Hajdas I., Leinfelder R., McNeill J., Odada E.O., Poirier C., Richter D., Steffen W., Oreskes N. When did the Anthropocene begin? A mid-twentieth century boundary level is stratigraphically optimal. *Quaternary International*, 2015, vol. 383, issue 5, pp. 196-203. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.11.045>

Коновалова Татьяна Ивановна

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

Konovalova Tatiana Ivanovna

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

Коды научных специальностей: 25.00.23; 25.00.33; 25.00.36

Дата поступления: 30.06.2020