



УДК: 911. 2:550. 4

## **Устойчивость и направления антропогенных преобразований геосистем южной части Средней Сибири**

Т. И. Коновалова  
Е. П. Бессолицына

**Аннотация.** На основе информационного синтеза данных и знаний о современной ландшафтной структуре региона, дистанционных, маршрутных и ландшафтно-экологических методов выявлен характер устойчивости и закономерности антропогенных преобразований геосистем региона.

**Ключевые слова:** геосистема, изменчивость, устойчивость, антропогенные преобразования.

### **Введение**

В конце XX в. в мировом естественно-научном мировоззрении произошло смещение исследовательских акцентов с суждений о статике системных отношений, динамическом равновесии, предсказуемости развития систем на противоположные. В этой связи И. Пригожин [18] отмечал, что мы не можем знать ничего достоверного об отдаленных будущих событиях; однако они зависят от наших сегодняшних действий, следовательно, мы можем влиять на сценарии грядущего развития.

Наряду с этим в географии по-прежнему широко используется представление о динамическом равновесии. Геосистемы рассматриваются как условно находящиеся в одном состоянии, а их исследование часто сводится к изучению отдельных компонентов и обратимости изменений, где за точку отсчета принимается предыдущее упорядоченное соотношение параметров их структуры. Вместе с тем геосистемы представляют собой диалектическое целое с многообразными связями и противоречиями [21]. Для них характерна «изменчивость явлений от места к месту и во времени, в связи с чем все взаимодействия каждый раз осуществляются в более или менее изменившихся условиях. Она сопровождается трансформацией явлений в вещественном и динамическом отношениях» [16]. А. Г. Исаченко [7, с. 217] олицетворяет такого рода преобразования с понятием «изменчивость ландшафта», которая «обусловлена многими причинами, имеет сложную природу и выражается в принципиально различных формах».

Очевидно, что в географических исследованиях необходимо перейти к развитию нового направления, связанного с формированием принципов

изучения географических систем, эмерджентных и изменчивых по своим свойствам.

В системе общенаучных знаний разработка теоретических представлений об изменчивости геосистем связана с реализацией современного синергетического подхода к исследованию самоорганизации систем, состоящих из большого числа частей, сложным образом взаимодействующих между собой, в области физической географии – с воплощением и дальнейшим развитием теории геосистем В. Б. Сочавы [21].

Сравнительный анализ структурно-функциональной организации и пространственно-временной изменчивости биоты почв естественных и преобразованных геосистем представляет важное направление исследований в рамках проблемы антропогенезации природной среды регионов Сибири и поиска путей сохранения социально-экологических функций ландшафтов и биологического разнообразия путем регламентации хозяйственной деятельности.

### **Объект и методы исследования**

Исследования базируются на региональном анализе геосистем. Это своеобразная форма системного анализа, основанного на принципах теории геосистем, специфика которого заключается в изучении пространств региональной размерности. На этом уровне [10] нет возможности искать ответ экспериментальным путем, а «навязать» системе необходимое поведение сложно. Очевидно, что решение необходимо принимать, опираясь на знание индивидуальности природы земной поверхности, организованной в сочетании геосистем, образующих относительно однородные по генезису территории [6], в учете их пространственно-временной структуры, причинно-следственных взаимосвязей, соизмеряя их с естественными ритмами природы и закономерностями развития. Региональный анализ геосистем отражает совокупность теоретических, методических и практических приемов решения проблем, возникающих в процессе целенаправленной деятельности человека в условиях неопределенности. Она обусловлена изменчивостью явлений от места к месту и во времени, в связи с чем все взаимодействия компонентов и геосистем каждый раз осуществляются в более или менее изменившихся условиях. Это сопровождается трансформацией явлений в вещественном и динамическом отношениях [16].

В разработке вопросов, проблематика которых связана с многовариантным анализом будущего состояния природных объектов, он приобретает большое значение.

Работа базируется на методологии исследования и картографирования изменчивости геосистем [8], данных космических съемок, проведенных искусственным спутником Земли (ИСЗ) NOAA, материалов полевых исследований, ландшафтно-экологических методах исследований. Прогнозные изыскания направленности преобразования таежных геосистем проведены для регионов юга Средней Сибири. Район исследований территориально совпадает с центральной и южной частью Средне-Сибирского

плоскогорья, на севере он отграничен водоразделом рек Ангары и Подкаменной Тунгуски. Геосистемы региона в классификационном смысле занимают промежуточное положение между мерзлотно-таежными светловыйными, преимущественно лиственничными восточно-сибирского типа и лишенными воздействия многолетней мерзлоты темнохвойными западно-сибирскими. Их температурный режим находится на грани между мерзлотным и не мерзлотным типом, в результате чего он выступает как ведущий лимитирующий фактор. Регион является центром аграрно-индустриального освоения Азиатской России.

Прогнозные исследования основываются на выявлении закономерностей формирования и развития структуры геосистем в зависимости от морфотектонических, геологических и климатических условий прошлого и настоящего.

### **Изменчивость и устойчивость геосистем**

Изменчивость – сложное свойство геосистем, которое заключается в функциональном единстве процессов функционирования, динамики, эволюции и проявляющееся в их пространственно-временной дифференциации.

Все современные дефиниции этого понятия, используемого в различных науках, объединены с представлением о различиях, рассматриваемых и как разнообразие, неоднородность объектов одного вида, и как процесс, который лежит в основе эволюции систем, и как явление. Последнее связано с переработкой геосистемой потоков информации, энергии и вещества и характеризуется разнообразной повторяемостью и отклонениями от общей направленности ее развития (прогресс, регресс), как приспособление к флуктуациям среды. Кроме того, это понятие часто используется при изучении пространственной неоднородности объектов, а также при систематизации разнообразия объектов в таксономических подразделениях различных классификаций. В географии представление об изменчивости геосистем (ландшафтов) пока не является распространенным. Вместе с тем это понятие используется в работах Э. Нефа, А. Г. Исаченко, К. Н. Дьяконова и др.

Все это дает основание рассматривать изменчивость геосистемы как направленную трансформацию, приводящую к необратимым изменениям (процесс развития), которая сопровождается непрерывными колебаниями всех ее параметров под влиянием неравновесных условий среды и проявляющуюся в ландшафтном разнообразии, мозаичности и контрастности их пространственной дифференциации. Фактически изменчивость – это интегральный показатель функционирования, динамики и эволюции геосистем.

Основными механизмами, определяющими изменчивость геосистем, являются вещественно-энергетический обмен, развитие, резонанс процессов, протекающих в геосистеме, внешние и внутренние взаимосвязи, степени свободы, которые воспроизводят отсутствие между компонентами геосистемы жесткой нормативной обусловленности, что позволяет ее отдельным составляющим изменяться в определенных пределах, не нарушая общей системной организации и др.

Геосистемы являются открытыми неравновесными системами, процессы развития которых обеспечиваются синергетическим эффектом, возникающим при переработке потоков информации, энергии и вещества элементами различных иерархических уровней в условиях изменения внутренних взаимосвязей, пространственно-временных модификаций и адаптации к воздействиям внешней среды. Подобного рода трансформации, в свою очередь, характеризуются разнообразной ритмичностью, а также отклонениями от главной тенденции развития геосистем, обуславливая тем самым ее приспособление к флуктуациям среды, относительную устойчивость и в то же время эволюционные преобразования.

Устойчивость – фундаментальное свойство геосистемы, выступающее в единстве с ее изменчивостью. Всякая геосистема эволюционирует, неизбежно изменяя себя, и очевидно, при этом у нее существует естественная инерционность, свойство, которое определяет ее способность сохраняться во времени и пространстве. Устойчивость геосистемы обеспечивается взаимодействием изменчивых внешних и внутренних отношений. Поскольку стабилизация неравновесного состояния геосистемы возможна только за счёт роста энтропии во внешней среде, ее существование сопряжено с неизбежными кризисами в условиях монотонного усиления антиэнтропийных механизмов, когда они становятся «затратными» для среды.

Факторы, обеспечивавшие относительно устойчивое состояние геосистемы на прежнем этапе, дестабилизируют ее на новом. В этой связи в свойстве устойчивости заложена информация о возникновении условий качественного преобразования геосистем, которая определяет их способность восстанавливать прежнее состояние после внешнего возмущения, либо адаптироваться к изменившимся условиям среды, переходить в новое состояние [26, 27]. Разнообразие исследуемых геосистем, использование каких-либо однозначных количественных показателей отдельных компонентов, а не геосистемы в целом, агрегирование частей которой приводит к появлению новых качеств, не сводящихся к свойствам частей в отдельности, определяют существенные методологические трудности при решении задач оценки их устойчивости. Наряду с этим основное внимание уделялось исследованию устойчивости геосистем топологического уровня организации, в связи с чем познание устойчивости геосистем регионального уровня является актуальной задачей ландшафтоведения. Устойчивость нельзя непосредственно измерить, поэтому при ее оценке используются косвенные признаки.

Оценка устойчивости геосистем регионального уровня дифференциации возможна на основе изложенных выше механизмов изменчивости геосистем. Это позволяет решать проблему многосторонне, с учетом трансформирующихся взаимосвязей геосистем, возраста, иерархии, согласованности процессов, соответствия узловым системам.

Для геосистем изменчивость их взаимосвязей предопределена эволюцией как жизненно важное приспособление к флуктуациям среды. Поскольку природные системы устойчивы в различной степени, то на внеш-

ние воздействия, в том числе и антропогенные, они отвечают определенного рода реакциями. По мере усиления антропогенного воздействия устойчивость снижается, но не устраняется полностью, так как сохраняются природные особенности более крупных геосистем, под воздействием которых система в той или иной мере может восстановиться. В ряде случаев эволюция определяется механизмами саморегуляции, которые изменяются под воздействием внешних и внутренних факторов. При этом цепные реакции либо усиливаются, стимулируя преобразовательную динамику, либо приводят к восстановлению равновесия геосистемы. Однако эти условия не являются жестко регламентированными и зависят от характера взаимосвязи составляющих геосистемы и особенностей изменения факторов среды. Поэтому можно говорить о том, что главнейшие связи, присущие коренной системе, не абсолютно устойчивы и могут изменяться как в многолетнем, так и в годовом цикле. Геосистемы, в которых отмечается жесткая или дискретная взаимообусловленность частей, крайне неустойчивы и в периоды изменения отдельных природных явлений существенно изменяются или распадаются как структурный тип.

Устойчивость геосистем в значительной мере определяется условиями узловой системы («степенью свободы»), в пределах которой находится эпигеомер. При этом значение имеет и положение данного геомера по отношению к ядру системы. Вблизи его возможны более сильные нагрузки, а на периферии – наоборот. Так, в пределах экотонных полос контактирующие между собой геомеры могут легко принимать облик соседнего таксономического типа при естественном или антропогенном изменении условий среды. Любые виды воздействия на экотонные системы, которые превышают «степени свободы», нарушают функциональные связи, обеспечивающие буферный механизм пространственной организации геосистем.

Геосистемы, которые «не отвечают требованиям» узловой системы, рассматриваются как экстразональные категории основного класса геомеров. Серийные факторальные системы обладают жесткими внутренними взаимосвязями. Это обстоятельство имеет особое значение в плане их сохранения, так как существование этих систем также неустойчиво. Нарушение их структуры обычно не приводит к восстановлению.

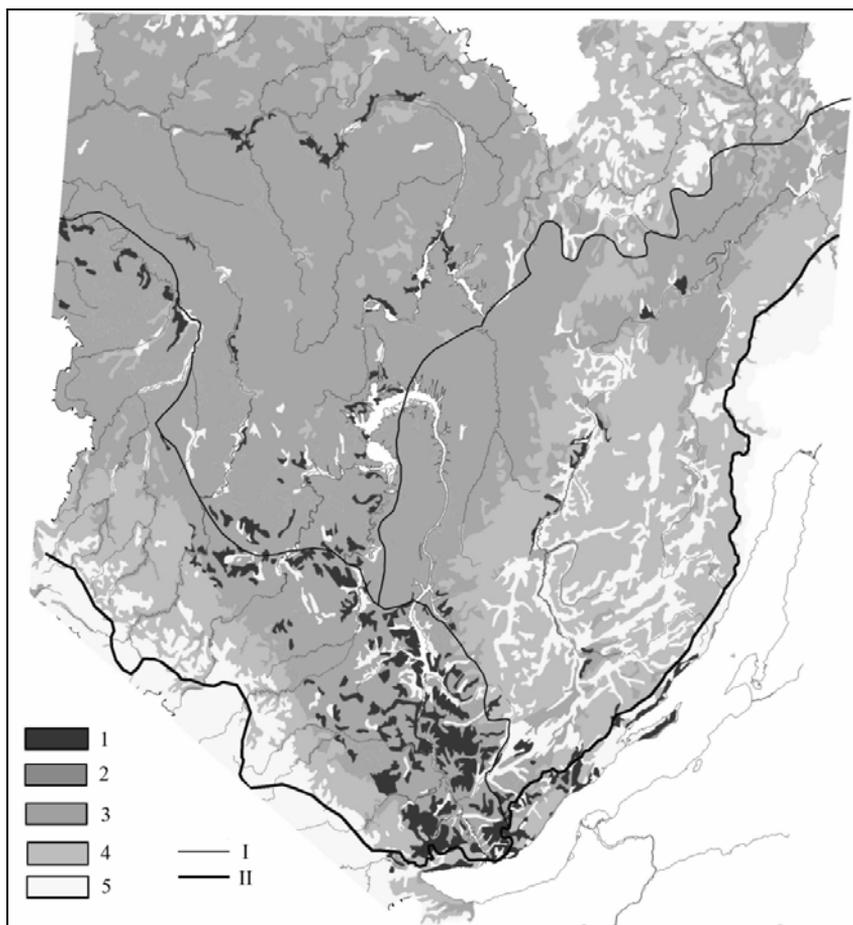
В пределах региона серийные факторальные системы максимально отражают сложный комплекс исторических взаимодействий геосистем разных областей. Обычно это очаги проникновения инородных систем, которые появляются в результате воздействия резко контрастирующей окружающей средой факторов (влияние горячих источников, засоление почв, особые гидротермические условия и т. д.). Именно с ними чаще всего связана геосистемная специфика региона (проявление реликтовых или прогрессирующих типов). Из-за ограниченных рамок степени свободы и внутренних взаимосвязей, обусловленных молодым/древним возрастом, эти геосистемы наиболее подвержены разрушению. Сочетание ряда неблагоприятных процессов может вызвать ее быструю трансформацию.

В условиях антропогенного воздействия на неустойчивые типы геосистем появляются новые, с которыми связаны эволюционные структурные изменения. Это устойчиво-длительнопроизводные категории, которые соответствуют особенностям узловых систем. Их возникновение приводит к преобразованиям ландшафтной структуры региона.

Для оценки устойчивости геосистем регионального уровня иерархии предлагаются следующие критерии: 1) своеобразие – принадлежность геосистем к тем или иным геомам и их классам, которая отражает типичность/нетипичность их распространения в пределах изучаемой территории, 2) условия функционирования; 3) разнообразие и характер внутренних взаимосвязей – вариантность и сложность составляющих геосистему подсистем и их взаимосвязей; 4) видоизменения – отклонения от характеристик, заданных узловой геосистемой (высшие таксоны планетарного и регионального уровня организации природной среды: геомы – ландшафт, классы геомов – физико-географическая область), отражающие направленность процессов преобразования подчиненных структур. Это определенные структурные и функциональные изменения, выраженные через различные динамические состояния: коренные – наиболее устойчивые; серийные, которые, несмотря на небольшую долговечность, имеют значительный возраст [21] – устойчивые; экстраобластные – слабоустойчивые; серийные факторальные – неустойчивые, отражающие проявления преобразующей динамики и исторические взаимодействия различных геосистем, закрепляемых в природе влиянием резко контрастирующих с фоновыми природными условиями факторов трансформации природной среды; 5) возраст геосистем – реликтовость или молодость, обуславливающие низкую устойчивость к внешним воздействиям в силу слабой адаптации к изменениям среды.

Согласно этим критериям геосистемы Средней Сибири дифференцируются на 5 категорий (рис. 1).

Очень высокая категория устойчивости характерна для лугово-степных геосистем северо-азиатского типа. Высокая – светлохвойно-таежных равнинных; темнохвойно-таежных геосистем наиболее возвышенных участков Енисейского, Ковинского, Ангарского кряжей, Лено-Ангарского плато; подгорных гидроаккумулятивных болотных и луговых. Средняя – для светлохвойных травяных подтаежных равнинных. Низкая – для темнохвойно-таежных геосистем буферных зон; средне-таежных лиственных с кедром и елью плоских низких поверхностей междуречий. Очень низкая категория устойчивости – для сухостепных геосистем центрально-азиатского типа; светлохвойно-еловых редкостойных ерниковых геосистем речных долин и макропонижений с широким развитием мерзлотных процессов и заболачивания.



*Рис. 1. Устойчивость геосистем*

Категории устойчивости: 1 – очень высокая; 2 – высокая;  
3 – средняя; 4 – низкая; 5 – очень низкая.

I – границы физико-географических областей; II – границы региона

### **Устойчивость биотических сообществ**

Биотические сообщества, представляющие собой совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, имеют, как правило, несколько уровней структурно-функциональной организации. Они обладают свойствами целостности, устойчивости, а также способностью к адаптации по отношению к внешней среде, самовоспроизведению и эволюции.

Под устойчивостью биотического сообщества подразумевается сохранение инвариантных свойств, т. е. постоянства таксономического состава и структуры на фоне изменяющейся внешней среды, а также его способность к переходу из одного состояния в другое, обеспечиваемая многообразными механизмами саморегуляции, в основе которой лежит принцип обратной

связи. Набор механизмов устойчивости сообществ находится в соответствии с уровнями организации экологических систем [23].

Наиболее мощным дестабилизирующим фактором на всех уровнях организации таежных геосистем является антропогенное воздействие. Элиминация древесного полога в результате лесозаготовок с применением агрегатной техники, часто сопутствующие им пожары разной интенсивности и, как следствие нарушения стабильности экологических связей – массовые размножения насекомых-филлофагов, вызывают значительные изменения фитоценотической структуры таежных и лесных ландшафтов. Поврежденные насаждения теряют устойчивость и становятся ареной процессов, вызывающих смену биотических сообществ, иногда вплоть до полного исчезновения лесных экосистем на обширных территориях [17].

Из всего многообразия представлений о механизмах устойчивости геосистем [14] для таежных ландшафтов одним из ведущих механизмов сохранения функциональной стабильности является способность биоты восстанавливать свои свойства после временного внешнего воздействия, так называемая устойчивость «регенерационного» типа. Данный тип устойчивости находится под контролем главным образом зональных факторов, т. е. географического фона с его определенными геолого-геоморфологическими, климатическими, гидрологическими и эдафическими условиями, детерминирующими характер и скорость восстановительных процессов. В пределах же одного ландшафта большую роль играет дифференцированность рельефа и процессы рельефообразования [22], а также функциональная иерархия ландшафтных структур. Одной из важнейших характеристик устойчивости сообщества принято считать биологическое разнообразие, отражающее сложность его структуры [13].

### **Обсуждение результатов**

Анализ устойчивости геосистем юга Средней Сибири позволил выявить основные тенденции их антропогенного преобразования, связанные с возникновением нового качества в районах интенсивного антропогенного воздействия. На основе анализа публикаций по палеогеографической тематике, выявления «ландшафтов-аналогов» установлена основная тенденция развития геосистем региона, которая проявляется на протяжении около 40 млн лет от палеогена (олигоцена) до наших дней в развитии процессов ксерофитизации и усилении континентальности климата [9]. Резонанс естественных процессов ксерофитизации, негативных для функционирования таежных геосистем, с однонаправленными антропогенными изменениями среды инициируют катастрофический срыв – качественное быстрое изменение в развитии, в отличие от медленных эволюционных преобразований.

Для региона характерны проблемы, связанные с размещением крупных промышленных производств и низким потенциалом самоочищения атмосферы, открытыми разработками полезных ископаемых, широкомасштабными рубками леса, сельскохозяйственным воздействием, пожарами и др. При этом происходит трансформация вещественно-энергетических по-

токов, в частности, при формировании «островов тепла» и загрязнения среды (рис. 2). Исследования показали, что разница летних температур между антропогенными объектами (поля, поселки), таежными и подтаежными светлехвойными геосистемами превышает 200 °С. Загрязнение окружающей среды усугубляет ситуацию. Так, даже низкая концентрация загрязняющих веществ, в частности SO<sub>2</sub>, в районах техногенного воздействия крупных промышленных центров [28] приводит к повышению активности транспирации растений и развитию процессов их обезвоживания, которые на юге региона в период начала вегетации сопровождаются экстремально низкими значениями относительной влажности воздуха, характерными сухостепным условиям.

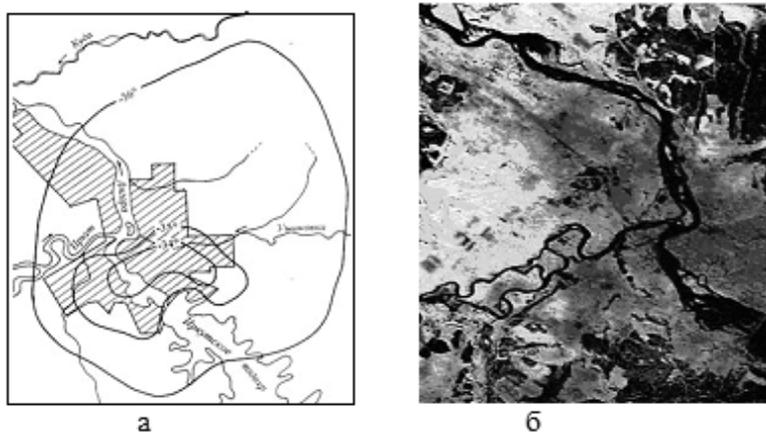


Рис. 2. «Остров тепла» в пределах Иркутска

а – отображенный при помощи изолиний среднесуточных температур воздуха (11.12.2010); б – на космическом снимке с ИСЗ «EOS AM-1» (TERRA), США. Прибор MODIS. (27.08.2010)

В сфере интенсивного техногенного воздействия отмечается снижение прироста сосняков, очаговое усыхание, отсутствие возобновления. Дополнительный привнос минеральных элементов создает условия повышенной конкурентоспособности мелколиственных и лугово-степных типов геосистем.

Подгорные подтаежные травяные низкоравнинные геосистемы подвергаются наиболее интенсивной и разнообразной антропогенной нагрузке: сельскохозяйственной, горнодобывающей. На них также воздействуют крупные промышленные предприятия Иркутско-Черемховской агломерации, которые относятся к числу наиболее опасных загрязнителей окружающей среды России. Слаборасчлененный рельеф не препятствует распространению поллютантов, которые достигают предгорий Лено-Ангарского плато, Восточного Саяна и Онетской возвышенности. Орел загрязнения в пределах равнины достигает 13 тыс. км<sup>2</sup> (рис. 3).

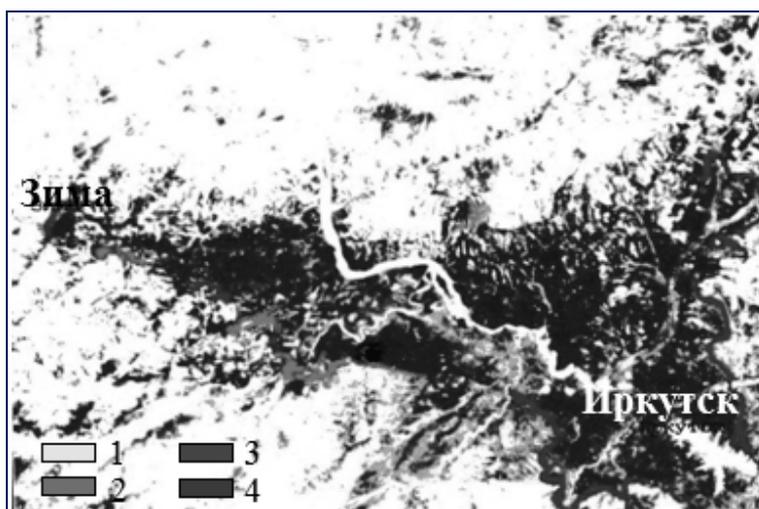


Рис. 3. Загрязнение снежного покрова на территории Иркутско-Черемховской равнины. ИСЗ «EOS AM-1» (TERRA); 26.03.2011.

Степень загрязнения: 1 – минимальная; 2 – средняя; 3 – высокая; 4 – максимальная

В регионе «ангарская» сосновая подтайга и ее горные аналоги, представленные в наиболее континентальных условиях классом лиственничных геосистем, отражают основную специфику региональных условий перехода от зональных таежных типов к горным геосистемам. Для подгорных типов геосистем характерна травянистость и остепнение наземного покрова. Здесь проявляются степные тенденции, определившие существование лугово-степных геосистем северо-азиатского типа. Они неразрывно развиваются со светлохвойными травяными подгорными типами геосистем. Их экологические оптимумы довольно близки и различаются только увлажнением, которое в настоящее время благоприятно для развития степных фаций. Лугово-степные геосистемы отличаются большой ежегодной продуктивностью фитомассы и значительной скоростью биологического круговорота, что служит показателем их устойчивости. В результате происходит трансформация подтаежных геосистем, развитие лугово-степных северо-азиатских типов, а также образование мелколиственных устойчиво-длительно-производных типов.

Уничтожение тайги рубками и пожарами началось около 300 лет назад в связи с усилившимся хозяйственным освоением региона. Считается [11; 5; 3; 4; 20; 24; 25], что это способствовало вытеснению темнохвойной тайги сосновыми, лиственничными и мелколиственными лесами. В настоящее время интенсивными рубками и частыми пожарами нарушено более 50 % площади, занимаемой таежными геосистемами. Наземные маршрутные и дистанционные исследования, проведенные в районах лесохозяйственного и пирогенного воздействия показали, что для большинства местоположений, примыкающих к рекам Ангаре, Илим, Лене характерны

устойчиво-длительно-производные светлохвойные типы геосистем на месте темнохвойных мелкотравно-зеленомошных. Эти геосистемы наиболее соответствуют сложившимся региональным физико-географическим условиям, поэтому не возвращаются к исходным коренным состояниям даже после снятия антропогенной нагрузки. Под влиянием факторов ксерофитизации в восточной и юго-восточной части территории отмечается расширение площадей лиственнично-таежных геосистем и оттеснение темнохвойных на более высокие уровни. Темнохвойные, преимущественно пихтовые травяно-моховые леса сменяются кедровыми, либо кедровыми с примесью светлохвойных пород.

В настоящее время пожарами нарушено около 25 % площади региона, большая часть геосистем которой относится к категории слабоустойчивых. Наземные маршрутные и дистанционные исследования, проведенные в районах лесохозяйственного и пирогенного воздействия показали, что для большинства местоположений, примыкающих к рекам Ангаре, Илим, Лене характерны устойчиво-длительно-производные светлохвойные типы геосистем на месте темнохвойных мелкотравно-зеленомошных, которые не возвращаются к исходным коренным состояниям даже после снятия антропогенной нагрузки (рис. 4).

Одним из стимулирующих факторов эволюционных преобразований таежных и подтаежных типов геосистем является пирогенный.



Рис. 4. Устойчиво-длительно-производные типы геосистем.

Фрагмент карты «Ландшафты Иркутской области (1:2 500 000)» [12]

В процессе исследований, проводимых на ключевых участках, охватывающих основной региональный спектр геосистем южнотаежных типов геосистем установлено, что прямое и опосредованное влияние пожаров проявляется в изменении качественного состава подстилки, химических свойств почвенного профиля (повышение рН, увеличение содержания зольных элементов), в нарушении режима влажности, водного и теплового баланса. На лесных гарях существенно возрастает экстремальность экологических условий: суточный максимум температуры локализован на поверхности почвы, подстилка и верхние слои почвенного субстрата сильно иссушаются [2].

В отсутствие стабилизирующего влияния растительности на вырубках и гарях биота почв становится более уязвима к воздействию различных факторов. Чувствительность почвенно-биотических сообществ, как и их устойчивость, к трансформации среды обитания в значительной степени определяются местоположением биогеоценоза в ландшафте. С повышением инсоляции создаются благоприятные условия для размножения термофильных видов насекомых с короткими циклами развития, наиболее способных в сравнительно небольшой промежуток времени накапливать высокую плотность популяций. С ухудшением физиологического состояния древостоев в результате пожаров создаются предпосылки для возникновения очагов массовых размножений таких опасных вредителей, как сибирский (*Dendrolimus sibiricus Tschetv.*) и непарный (*Limantria dispar L.*) шелкопряды.

Последствия вспышек массовых размножений могут быть весьма пагубными для восстанавливающихся растительных сообществ. Они выражаются либо в снижении жизнеспособности, а иногда и в полной гибели ослабленных древостоев в результате обесхвоивания или нападения ксилофагов, либо в изменении экологического фона в сторону ухудшения условий для возобновления тайги: интенсификации процессов задернения или заболачивания, уничтожении почвенного запаса семян и подроста хвойных пород. В связи с этим восстановление биотических сообществ затягивается на длительный период, а в ряде случаев становится невозможным, способствуя формированию обширных площадей, лишенных таежной растительности.

Реакция разных фаций на воздействие одного и того же экзогенного фактора (в данном случае антропогенного) существенно различается, что определяет и значительную контрастность динамических тенденций биотических и абиотических компонентов этих фаций. От коренной фации, соответствующей географическому фону, к серийным увеличивается общий объем преобразований гидротермического режима, биотических сообществ, почвы и земной поверхности в течение годового цикла, а также в ходе первичных и вторичных сукцессий. В этих, различающихся и по степени устойчивости фациях, неодинаково проявляются и последствия экзогенных воздействий, в частности, их чувствительность к антропогенному фактору возрастает с повышением динамичности.

Наиболее глубокие изменения структуры биотических сообществ наблюдаются в самых динамичных и наименее устойчивых категориях ландшафта, где при пирогенной трансформации действие лимитирующих факторов значительно усиливается. В фациях сублитоморфного ряда по сравнению с плакорными после пожара степень инсоляции и дефицит влаги в почве увеличивается. Слабое возобновление растительности сублитоморфных фаций на траппах и субкриоморфных – в днищах мелких долин способствует сильному прогреванию корнеобитаемого слоя почвы. В связи с этим качественный состав зооценозов изменяется в сторону повышения удельного веса ксерорезистентных элементов фауны. С усилением ксероморфности трансформированные биогеоценозы в наибольшей степени подвержены угрозе гибели от массовых размножений растительноядных насекомых. Таким образом, пирогенное воздействие способствует ксероморфизации таежных типов геосистем, а изменение сложившихся взаимосвязей приводит к трансформации разнообразных элементов геосистемы и многократному усилению эффекта.

В составе зооценозов трансформированных геосистем по реакции на прямое либо опосредованное воздействие антропогенного фактора можно выделить три основные группы: 1 – виды, отрицательно реагирующие на изменение экологических условий, снижающие свою численность: муравьи (*Formica aquilonia* Yagr.), люмбрициды (*Eisenia nordenskioldi nordenskioldi* (Eisen), *E. atlavinyteae* Perel, Graph.) и др.; 2 – виды, значительно увеличивающие численность в трансформированных биогеоценозах: некоторые пластинчатоусые (*Melolontha hippocastani* F., *Serica brunnea* L.); ствольные вредители (*Monochamus sutor* L., *M. urussovi* Fisch., *Ancylocheira strigosa* Gebl., *Criocephalus rusticus* L.), и мн. др.; 3 – виды, не характерные для таежных и лесных биогеоценозов: чешуекрылые (*Ochropleura fennica* Tausch.), склонные к резкому увеличению численности и др. Вторая и третья группа представлены, главным образом, фитотрофными насекомыми, в результате повышения плотности популяций которых дестабилизируются и задерживаются восстановительные сукцессии.

При снятии антропогенной нагрузки для естественно восстанавливающихся таежных биогеоценозов характерны закономерные смены биотических сообществ, соответствующие конкретным экологическим условиям и сукцессионным стадиям – начальной, переходной и заключительной. Специфика и скорость восстановительных сукцессий, инициированных как экзогенными факторами, так и эндогенными причинами, определяются ландшафтно-зональными особенностями и структурно-динамическими свойствами элементарных геосистем, степенью трансформации почв и биотических сообществ, а также их регенерационными способностями.

Относительно быстро восстанавливается мезофауна средне- и сильно-подзолистых почв таежных биогеоценозов, занимающих зональные позиции. Сукцессионные процессы здесь, как правило, не сопровождаются необратимыми сменами, и после завершения восстановительного ряда мезонаселение приобретает почти такие же признаки, какие оно имело до нарушения [2].

Медленнее восстанавливаются зооценозы в дерново-подзолистых литогенных и перегнойно-глеевых мерзлотных почвах, где при трансформации биогеоценозов усиливается действие лимитирующих факторов, и экологические условия мало благоприятны для регенерации биотических сообществ. При глубоком нарушении динамического равновесия (совместное воздействие рубок и пожаров в наиболее динамичных категориях ландшафта) почва в значительной мере утрачивает свои функции сохранения элементов питания в экосистеме. Степень восстановления регуляторной способности биоты в таких сообществах очень низка. Длительновременные сукцессионные ряды характерны также для наименее обеспеченных теплом перегнойно-глеевых мерзлотных почв, где экологические условия мало благоприятны для регенерации растительности и почвенного населения. Восстановление мезофауны слабоподзолистых супесчаных и песчаных почв сосновых лесов происходит через короткопроизводную смену без промежуточной стадии.

Таким образом, величину отклонения изменений структуры зооценозов от ненарушенных сообществ можно считать одной из характеристик устойчивости элементарных геосистем к внешним воздействиям и способности к самовосстановлению. Темпы регенерации биотических сообществ определяются широтно-зональным положением ландшафта, структурно-динамическими свойствами элементарных геосистем, формой и степенью антропогенного воздействия. Общими критериями устойчивости биотических сообществ являются высокое биологическое разнообразие, сбалансированная структурно-функциональная организация, обеспечивающая интенсивный вещественно-энергетический круговорот, включая высокую продуктивность, а также – компенсацию дестабилизирующих внешних воздействий и возобновимость ресурсного потенциала. Основными факторами локального характера, влияющими на направление и скорость восстановительных процессов, могут быть массовые размножения вредителей леса, внедрение чуждых местной биоте («агрессивно-конфликтных») видов, способных спровоцировать крупномасштабный экологический кризис.

Особое значение в динамике геосистем безлесных районов южной части региона, где широко представлены карбонатные и гипсовые отложения, имеет также гидротермический режим почв, которые глубоко промерзают во время малоснежной зимы. Стремительное таяние снега весной на открытых пространствах способствует быстрому оттаиванию и иссушению почв, в то время как более глубокие горизонты остаются промерзшими. Поскольку этот период отличается крайней засушливостью, то нисходящих потоков влаги, поступающих с осадками, нет. В результате в течение всей весны и начала лета происходит накопление солей в верхней части почвенного профиля. Антропогенная деятельность активизирует эти процессы. Сельскохозяйственное воздействие приводит к разрушению дернины, распылению верхнего горизонта почвы и уплотнению нижележащего, благодаря чему почвенные растворы легко перемещаются из глубоких горизонтов к поверхности [15], что приводит к повышению карбонатного

горизонта до уровня гумусового. Согласно инвентаризационным сведениям Востсибгипрозема [19], в Иркутской области в 1980 г. насчитывалось 76,63 тыс. га засоленных почв сельскохозяйственных угодий. В их числе солонцеватые черноземы, солончаковые лугово-черноземные, луговые и пойменные почвы с разным содержанием солей и небольшая площадь солончаков. К 1991 г. отмечено их увеличение для районов южных отрогов Лено-Ангарского плато и Онотской возвышенности на 9,4 тыс. га, Иркутско-Черемховской равнины – на 16,14, Предбайкальской впадины – на 1,15, предгорных и северных районов области – 0,68 тыс. га. В целом по области эта цифра составила 32,38 тыс. га.

Согласно карте устойчивости геосистем (см. рис. 1), значительная часть геосистем региона характеризуется слабой устойчивостью. Вероятность структурных изменений наиболее высока для темнохвойно-таежных геосистем региона, расположенных на стыке со светлохвойными, а также светлохвойных на границе с подтаежными светлохвойными травяными. Возможность их существования обеспечивается влиянием сезонной и многолетней мерзлоты, «поставляющей» влагу в наиболее засушливый весенне-раннелетний период, а также смягчающей ролью микроклимата.

В настоящее время в регионе фиксируется один из самых высоких трендов потепления климата на Земле. За период 1960–2000 гг. годовые температуры воздуха повысились в южных районах до 1,0 °С, в северных – до 1,3 °С. На его фоне практически все метеостанции юга Средней Сибири регистрируют тенденцию уменьшения годовых сумм осадков с трендом до -1,4 мм в год и повышение температуры почвы, что вызывает постепенную деградацию островов многолетнемерзлых пород. Это активизирует процессы ксерофитизации. Такие преобразования существенно усиливаются при совпадении экстремальных значений негативных для функционирования геосистем факторов с однонаправленными антропогенными трансформациями среды. Для таких «совпадений» свойственно скачкообразное изменение характерного времени (время, необходимое системе, развивающейся под влиянием внешних факторов, для достижения ею состояния равновесия с ними) [1] и быстрые эволюционные преобразования геосистем.

## **Заключение**

Сложившиеся тенденции преобразования региональной структуры геосистем свидетельствуют о развитии процессов аридизации. Резонанс колебаний экстремальных значений функционирования систем – повышение температуры воздуха, почв, уменьшение суммы осадков, деградация мерзлоты превысил критические значения «степеней свободы» и создал условия, способствующие изменениям подтаежных сосновых, темнохвойно-таежных геосистем региона.

Изменения геосистем происходят на значительной по площади территории в относительно короткие сроки благодаря интенсивному и разнообразному антропогенному воздействию. Антропогенная деятельность существенно усиливает сложившиеся тенденции аридизации, резко обостряя

неблагоприятные для функционирования большинства типов геосистем условия. В настоящее время значительная часть геосистем юга Средней Сибири нарушена антропогенным воздействием, которое затрагивает также значительную часть их слабоустойчивых категорий. В результате этого сложились условия качественных изменений структуры геосистем региона.

#### Список литературы

1. *Арманд А. Д.* Некоторые принципиальные ограничения эксперимента и моделирования в географии (принцип дополнительности и характерное время) / А. Д. Арманд, В. О. Таргульян // Изв. АН СССР. Сер. геогр. – 1974. – № 4. – С. 129–139.
2. *Бессолицына Е. П.* Ландшафтно-экологический анализ структуры зооценозов почв юга Сибири / Е. П. Бессолицына. – Иркутск, 2001. – 166 с.
3. *Боровиков Г. А.* Растительность Западного Заангарья / Г. А. Боровиков // Предварительный отчет о ботанических исследованиях в Сибири и Туркестане в 1910 году. – СПб. : Изд. Переселенч. упр., 1911. – С. 43–53.
4. *Боровиков Г. А.* Очерк растительности Восточного Заангарья / Г. А. Боровиков // Труды почвенно-ботанических экспедиций по исследованию колонизационных районов Азиатской России. – СПб., 1912. – Ч. 2 : Бот. исслед. 1909 года. – 93 с.
5. *Ганешин С. С.* Растительность Ангаро-Илимского края Иркутской губернии / С. С. Ганешин // Труды почвенно-ботанических экспедиций по исследованию колонизационных районов Азиатской России. – СПб., 1912. – Ч. 2 : Бот. исслед. 1909 года. – 154 с.
6. *Дьяконов К. Н.* Ландшафтная политика в современном обществе / К. Н. Дьяконов // География на рубеже тысячелетий : докл. XII съезда РГО. (Кронштадт, 2005). – Т. 1. – СПб., 2005. – С. 105–106.
7. *Исаченко А. Г.* Ландшафтоведение и физико-географическое районирование / А. Г. Исаченко. – М. : Высш. шк., 1991. – 370 с.
8. *Коновалова Т. И.* Изменчивость геосистем / Т. И. Коновалова // География и природные ресурсы. – 2004. – № 2. – С. 5–11.
9. *Коновалова Т. И.* Основные этапы развития таежных геосистем юга Средней Сибири / Т. И. Коновалова, Г. В. Руденко // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. – 2010. – Т. 3, № 1. – С. 39–53.
10. *Князева Е. Н.* Жизнь неживого с точки зрения синергетики / Е. Н. Князева, С. П. Курдюмов // Самоорганизация и динамика геоморфосистем : материалы XXVII Пленума геоморфолог. комис. РАН. – Томск : Изд-во Ин-та оптики атмосферы СО РАН, 2003. – С. 3–14.
11. *Криштофович А. Н.* Ботанико-географические исследования в области Березового хребта и Балаганской степи Иркутской губернии / А. Н. Криштофович // Труды почвенно-ботанических экспедиций по исследованию колонизационных районов Азиатской России. – СПб., 1910. – Ч. 2 : Бот. исслед. 1908 г., вып. 3. – С. 3–153.
12. Ландшафты Иркутской области (карта, 1:2 500 000) / Т. И. Коновалова, В. С. Михеев // Атлас Иркутской области. Экологические условия развития. – Иркутск, 2004.
13. *Мэгарран Э.* Экологическое разнообразие и его измерение / Э. Мэгарран. – М. : Мир, 1992. – 184 с.

14. Механизмы устойчивости геосистем. – М. : Наука, 1992. – 207 с.
15. *Надеждин Б. В.* Лено-Ангарская лесостепь (почвенно-географический очерк) / Б. В. Надеждин. – М. : Изд-во АН СССР, 1961. – 314 с.
16. *Нееф Э.* Теоретические основы ландшафтоведения / Э. Нееф. – М. : Прогресс, 1974. – 220 с.
17. *Павлов И. Н.* Лесовозобновительные сукцессии на «шелкопрядниках» Западной Сибири / И. Н. Павлов, Е. В. Петрова // Лесная таксация и лесоустройство : междунар. науч.-практ. журн. – Красноярск, 2002. – Т. 1. – С. 108–112.
18. *Пригожин И.* Конец определенности / И. Пригожин. – М. : Изд. УРСС, 2000. – 208 с.
19. Природно-экономический потенциал сельского хозяйства Иркутской области и концепция его развития в период экономических реформ / под ред. Л. М. Корытного. – Иркутск : Изд-во ИГ СО РАН, 2000. – 180 с.
20. *Райкин А. Я.* Ангаро-Илимо-Ленский район Иркутской губернии / А. Я. Райкин // Предварительный отчет об организации и исполнении работ по исследованию почв Азиатской России в 1911 году. – СПб. : Изд-во Переселенч. упр., 1912. – С. 79–85.
21. *Сочава В. Б.* Введение в учение о геосистемах / В. Б. Сочава. – Новосибирск : Наука, 1978. – 320 с.
22. *Тимофеев Д. А.* Механизмы геоморфологической устойчивости / Д. А. Тимофеев // Механизмы устойчивости геосистем. – М. : Наука, 1992. – С. 68–75.
23. *Тишков А. А.* Биотические механизмы устойчивости геосистем / А. А. Тишков // Механизмы устойчивости геосистем. – М. : Наука, 1992. – С. 110–119.
24. *Томин М. П.* Экспедиция в Верхоленском и Балаганском уездах / М. П. Томин // Предварительный отчет о ботанических исследованиях в Сибири и Туркестане в 1908 году. – СПб. : Изд. Переселенч. упр., 1909. – С. 84–89.
25. *Томин М. П.* Очерк растительности Манзурской возвышенности и Березового хребта в Верхленском уезде Иркутской губернии / М. П. Томин // Труды почвенно-ботанических экспедиций по исследованию колонизационных районов Азиатской России. СПб., 1910. – Ч. 2 : Бот. исслед. 1908 года, вып. 6. – 16 с.
26. *Holling C. S.* Resilience and stability of ecological systems / C. S. Holling // Ann. Rev. of Ecology and Systematics. – 1973. – Vol. 4. – P. 246–250.
27. *Orians G. S.* Diversity, stability and maturity in natural ecosystems / G. S. Orians // Unifying Concepts in Ecology. The Hague. – Wageningen, 1975. – P. 1372–1376.
28. *Rabe R.* Wirkungen von SO<sub>2</sub> auf die Enzymaktivitat in Pflanzenblättern / R. Rabe, K. Kreeb // Z. Pflanzenphysiol. – 1990. – N 97. – S. 97–103.

## **Stability and directions of anthropogenic transformation of geosystems of the southern part of Central Siberia**

T. I. Konovalova, E. P. Bessolitsyna

**Annotation.** Based on information fusion of data and knowledge of modern landscape structure of the region, of the distance, itinerary and landscape-ecological methods the nature of stability and patterns of human-induced transformation of geosystems was revealed.

**Key words:** geosystem, variability, stability, human-induced transformation.

*Коновалова Татьяна Ивановна*  
доктор географических наук, профессор  
Иркутский госуниверситет  
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
тел.: (3952) 24-32-80  
Институт географии им. В. Б. Сочавы  
СО РАН  
Ведущий научный сотрудник  
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1  
тел.: (3952) 42-74-72

*Бессолицына Екатерина Прокопьевна*  
доктор географических наук  
Институт географии им. В. Б. Сочавы  
СО РАН  
ведущий научный сотрудник  
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1