УДК 504.7.05: 551.582 (571.1/5)

Организация циклов средообразующих и климатообразующих процессов.

II. Трансформация ландшафта и перестройка организации циклов процессов

В.И. Шишлов*

*Институт мониторинга климатических
и экологических систем СО РАН,
634055 Россия, Томск, Академический 10/3¹*

Received 3.03.2009, received in revised form 10.03.2009, accepted 17.03.2009

Проблемы трансформации ландшафта под воздействием сочетания климатических, гидрологических и антропогенных факторов, перестройки организации циклов средообразующих и климатообразующих процессов исследованы на основе совместного анализа сопряженных изменений сред, компонентов геосферы и межсистемных отношений в региональной природно-климатической системе.

Выявлены цепи причинно-следственных связей процессов. Определены функции влияния сочетаний факторов на гидрологические процессы. Развита концепция формирования модифицированного цикла средообразующих и климатообразующих процессов при трансформации ландшафтов. Разработана структура концептуальной модели перестройки организации цикла климатообразующих процессов и формирования местных природно-климатических условий. Средства описания природных процессов и сочетания факторов, организации межсистемных отношений позволяют проводить анализ изменений в ходе трансформации компонентов.

Ключевые слова: циклы, трансформация, межсистемные отношения, экосистемные изменения, перестройка организации, гидрологические изменения.

Введение

Из результатов анализа циклов климатообразующих процессов следует, что макромезомасштабные атмосферные процессы и циклогенез вызывают пространственно-неоднородные изменения сезонных (месячных) характеристик климата в регионах Западной Сибири (Шишлов, 2008). Климатические изменения меньших масштабов формируют

мируют мезомасштабные процессы в сочетании с местными климатообразующими факторами. Преобразование естественной структурно-функциональной организации геосистемы Сибири (Светик и др., 1995; Шишлов, 2003) и трансформация лесов (Бех, 1991) привели к изменению водообменных, биогеохимических и биогеоценотических процессов в ландшафтных системах и реорганизации

* Corresponding author E-mail address: shishlov@imces.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

гидрометеорологических процессов в приземной атмосфере.

В настоящей работе рассматриваются долговременные гидроклиматические изменения под влиянием мезомасштабных процессов и сочетания местных природных и антропогенных климатообразующих факторов, необратимые преобразования биогеоценозов, перестройка организации климатообразующих процессов при трансформации ландшафта и формирование местных природно-климатических условий. В результате анализа установлено влияние структурных изменений ландшафта (снижения лесистости, расширения площади техногенных зон), гидрологических нарушений (подземных водозаборов, карьеров) и техногенного загрязнения на гидроклиматические и климато-экологические изменения. Особое внимание уделено структурированию проблемных ситуаций и формализованному описанию причинно-следственных связей. Выявлены цепи причинно-следственных связей процессов. Определены функции влияния сочетаний факторов на гидрологические процессы. Изменения природных циклов энергопреобразования, превращения тепла и влаги и энергомассопереноса приводят к сложным последствиям с эффектами обратной связи. Эти особенности, а также эффекты гидрологической неоднородности поверхности не учитываются в климатических моделях (Кабанов, Лыков, 2006) и требуют формализованного описания.

С учетом новых эмпирических фактов и результатов исследования изменений климатообразующих функций экосистем и их последствий развита системно-эволюционная концепция формирования модифицированного цикла климатообразующих процессов при трансформации ландшафта, преобразованиях межсистемных отношений в террито-

риальных природно-антропогенных системах и перестройках организации совокупности многосвязных природно-антропогенных процессов в биосфере. Разработаны средства описания связей природных процессов и сочетания факторов, организации межсистемных отношений, которые позволяют проводить анализ изменений в ходе трансформации компонентов и формирования местных природно-климатических условий. Расширение знания о взаимосвязи процессов открывает возможности построения моделей, достаточно точно имитирующих циклы реальных процессов в природно-антропогенных системах.

Гидроклиматические изменения

Антропогенные преобразования ландшафта и другие причинные факторы, приводящие к необратимым преобразованиям отношений в наземной энергопреобразующей системе и реорганизации гидрометеорологических процессов, формируют местные особенности режимов погодообразования (Шишов, 2003). Мезомасштабные климатические процессы в сочетании с местными климатообразующими факторами изменяют гидрологические режимы и формируют пространственно неоднородные гидроклиматические изменения. Некоторые факторы (загрязнение снега, техногенные зоны, теплые водоёмы) усиливают действие причинных факторов, средообразующих и погодообразующих процессов в определенных режимах или создают условия для развития метеорологических явлений. Их роль в изменении регионального климата целесообразно характеризовать функцией влияния сочетания факторов.

Различия в теплоемкости воды и суши, особенно в способах передачи тепла (путем турбулентного перемешивания в воде и теплопроводности в почве) вызывают существенные колебания температуры поверхности.

Летом водные поверхности нагреваются меньше, поскольку большая часть приходящей солнечной радиации расходуется на испарение, а также передается в глубь водных масс. Суша в это время нагревается сильнее. Особенно сильно теплообмена водоемов является то, что температура водной поверхности в основном определяется балансом длинноволновой радиации. Поэтому в условиях Сибири при наличии облачности водоемы обеспечивают накопление тепла. Отопляющее действие водоемов влияет на время установления снежного покрова (изменение альбедо поверхности) и обеспечивает дополнительный радиационный прогрев территории, на которой созданы искусственные гидротехнические системы. Строительство мостов, набережных в устьях рек, уменьшающих ширину естественного русла, вырубки лесов в бассейне реки создают условия для формирования экстремальных гидроклиматических ситуаций во время паводка в условиях ускоренного снеготаяния и большого поверхностного стока талых вод при быстром росте температуры воздуха. Изменения пространственно-структурной организации речного бассейна приводят к преобразованию системы отношений элементов ПКС и реорганизации цикла гидрологических и геоморфологических процессов, которые влияют на климатические изменения. Преобразования рельефа при сооружении транспортных магистралей, блокирующих сток поверхностных вод, обуславливают изменение гидроморфности разделенных участков территории (подтопление одних и осушение других), что нарушает водный баланс территории, вызывает усыхание лесов, изменение пространственной структуры ландшафта. В данном случае имеет место прямое влияние антропогенного структурного элемента на динамику пространственного движения поверхностных вод. Задачи прогноза последствий пространственного

перераспределения вод с учетом конкретных особенностей геоморфологического строения территории методически обеспечены и решаются с использованием методов компьютерного моделирования и геоинформационных моделей при наличии информационного обеспечения по результатам мониторинга.

Мезоклиматическое влияние на тепловой режим и местный влагооборот оказывают водоемы (озера, водохранилища, реки), т.к. альбедо воды в два раза меньше, чем травяного или мохового покрова (Гаврилова, 1978). Основной приход тепла на поверхности водохранилищ осуществляется за счет радиационного баланса, который на 20-40 % выше, чем на суше. Лишь осенью радиационный баланс становится соизмеримым с приходом тепла от прогретшегося водоема. Со сходом ледового покрова основной расходной статьей теплового баланса поверхности водохранилища являются затраты тепла на испарения (30-40 %). Осенью температура воздуха становится ниже температуры воды и водоем начинает отдавать тепло прилежащим слоям воздуха. Создание водохранилищ изменяет геоэкологические условия на большой территории. Так, среднегодовая температура у берегов сибирских водохранилищ после затопления повысилась на 1-1,5 °С. Постоянное влияние водохранилищ на температуру воздуха в Сибири сказывается на расстоянии 2-5 км, а эпизодическое – 35-60 км. Следует отметить особую отопляющую роль Вилуйского водохранилища (площадь водной поверхности 2170 км², интенсивность протаивания в ложе водохранилища 8-10 м), созданного в районе многолетнемерзлых горных пород и Братского, Иркутского водохранилищ в районах редкоостровной мерзлоты (Гаврилова, 1978). Хорошо изучены негативные геоморфологические и геоэкологические последствия создания Братского водохранилища на территории,

геоморфоструктура которой сформировалась под воздействием эрозионных, оползневых, карстовых, суффозионных, просадочных, мерзлотных процессов.

Климато-экологические изменения и гидрологические процессы на реках зависят как от мезомасштабных, так и местных климатообразующих факторов. Описание связей процессов и факторов, их формализованное представление в виде логической схемы операторов упрощают анализ. В качестве примера рассмотрим изменения гидрологических процессов на реках и ледовые явления (вскрытие и замерзание рек). Изменчивость сроков ледовых явлений на реках, нарушения функциональной зависимости слоя стока за половодье от объемов снеготаяния, влажности и глубины промерзания почвы свидетельствуют о мезомасштабных гидроклиматических изменениях. Статистически значимые нарушения со сдвигами средних сроков к ранним обнаружены в рядах весенних ледовых явлений на реках Обь (6 суток), Иртыш (5 суток), Енисей (3 суток) (Гинзбург, Солдатова, 1997). Анализ экосистемных изменений (Shishlov, 2001) позволил установить причинно-следственные связи факторов и процессов снеготаяния в условиях влияния структурных изменений ландшафта и загрязнений (З) снежного покрова (рис. 1). Наличие техносферы способствует раннему таянию снега при замерзшем грунте. Как известно, размораживание грунта сверху начинается только после схода снежного покрова. В период же снеготаяния температура воды, инфильтрующейся в грунты, около 0 °С, поэтому изменение льдистости внутри мерзлой толщи незначительно и происходит в основном за счет теплоты трения, выделяющейся при фильтрации воды. Это приводит к увеличению поверхностного стока талых вод в реки. Влияют на сроки ледовых явлений и горячие стоки коммунального хозяйства (КХ). На основе схемы связи процессов и факторов

разработана логическая схема операторной модели функции влияния сочетания факторов на сток (рис.2), которая позволила установить механизм влияния антропогенных факторов на изменение стока реки за период половодья и определить составляющие дополнительного стока (Шишлов, 1999). Их вклад нарушает известную функциональную зависимость слоя стока от объема снеготаяния, влажности и глубины промерзания грунта. При снижении площади (-S) лесов увеличивается площадь (+S) территории с загрязненным снежным покровом.

В речной сток PC_T дополнительно к естественному PC_0 добавились стоки антропогенного происхождения. При использовании подземного водозабора уменьшается забор воды из реки, что формирует дополнительную составляющую речного стока $C(ПВ)$. За последние десятилетия возросли стоки промышленных предприятий и коммунального хозяйства $\Delta C(П, КХ)$ и поверхностный сток ΔPC талых вод в реку:

$$PC_T = PC_0 + C(ПВ) + \Delta C(П, КХ) + \Delta PC(A\Phi_1, A\Phi_2, A\Phi_3).$$

Последствия этих изменений: ухудшение гидрологии ландшафтов из-за дренирующего действия водозаборов и карьеров, понижение уровня грунтовых вод, изоляция подземного гидрообмена от атмосферного влагооборота, перераспределение влаги и повышение гидроморфности северных территорий при аридизации климата южных регионов степной зоны.

Плотная гидрологическая сеть Западно-Сибирской низменности (реки, небольшие озера и болота) формирует особые эффекты гидрологической неоднородности подстилающей поверхности, которые не учитываются в климатических моделях (Кабанов, Лыкозов, 2006). В мае, июне поймы рек расширяют

Рис. 1 Схема связей процессов и факторов

Рис. 2. Логическая схема функций влияния факторов на гидрологические процессы: АФ₁, АФ₂, АФ₃ – антропогенные факторы, З – загрязнения, Л – изменение функций леса, Т – техносфера, Р – рельеф, ПВ – подземный водозабор, ПС – поверхностный сток, С – стоки, И, ИЛИ – логические функции, Σ – сумма, СА – состав атмосферы, КИ – климатические изменения, Т_{ГЯ} – сроки гидрологических явлений, ΔT_{CT} – изменение сроков таяния, ΔCF – изменение средообразующих функций.

площадь водной поверхности, что приводит к росту испарения, усилению местного влагооборота и установлению облачной погоды с интенсивными дождями.

Концептуальная модель организации связей и отношений биоценозов с компонентами климатической системы, техносферы и хозяйственных комплексов

Трансформация компонентов геосистем происходит как под прямым действием хозяйственных объектов, так и под влияни-

ем техногенных факторов через атмосферу, гидросферу и почву. При анализе влияния техногенных химических воздействий и гидрогеохимических процессов на загрязнения гидросферы достаточно рассмотреть отношения структурных компонентов и потоков в рамках многослойной геоморфоструктуры земной поверхности. Эти задачи успешно решаются при использовании современных геоинформационных технологий, методических средств картографии и картографических моделей. Однако анализ проблем лесовозоб-

новления, лесомелиорации, а также геоэкологических ситуаций в криолитозоне требует более полного учета межсистемных отношений компонентов биосферы, техносферы, гидросферы, криосферы и атмосферы в рамках многоуровневой организации отношений ПКС региона. Цикл климатообразующих и средообразующих процессов формирует при поступлении в атмосферу пыли, химических веществ с дымовыми выбросами и аэрозолей от объектов техносферы набор факторов воздействия на биоту: пыли, кислотных дождей, загрязняющих элементов и тяжелых металлов. Эти факторы порождают проблемные ситуации задержки развития фитоценозов, связанные с повреждением листового аппарата, влиянием кислотных дождей, химически активных элементов, и существенно снижают эффективность мероприятий по возобновлению лесов. Особенно негативно они влияют в сочетании с факторами прямого воздействия хозяйственных объектов на условия реализуемости технологий лесомелиорации техногенно нарушенных земель: выработанных шахт, разрезов, отвалов. Существенно влияет на развитие и рост искусственных лесонасаждений на бедных почвах изменчивость климатических ресурсов: осадков, тепла, солнечной радиации – основных источников поддержки жизнеобеспечения фитоценозов (Разумовский, 1981). Направленность и тенденции изменений климата необходимо также учитывать при разработке технологии лесомелиорации.

Разработаны методики формализованного представления природно-хозяйственных и биоклиматических отношений (Шишлов 1998; Шишлов, 2002), которые позволяют построить схему организации отношений компонентов биосистем с хозяйственными объектами и элементами климатической системы (рис. 3) с использованием процедур построения графа

межсистемных отношений. Формализованное представление природно-хозяйственных отношений проводится с использованием процедур построения графа биотических и хозяйственных связей, что дает возможность применять средства представления структуры биогеоценоза (БГЦ): трофический граф, цепь (Свирижев, Логофет, 1978). В результате анализа влияния хозяйственных отношений на элементы БГЦ установлено, что процессы ресурсопользования, связанные с изъятием древостоя, травы, животных, эквивалентны цепям выедания и могут быть представлены эквивалентными трофическими связями. Действие факторов, влияющих на межвидовую конкуренцию, учитывается посредством коэффициентов ослабления трофических связей. Хозяйственные факторы, влияющие на внутривидовые отношения или ограничивающие ареал вида, учитываются посредством коррекции величины параметров внутривидовых связей. Влияние мероприятий по содействию возобновлению подроста (уход, внесение удобрений в почву, гидромелиорация) эквивалентно цепям поддержки лесообразовательного процесса. Воздействие ряда природных факторов (вытаптывание животными растительности, механические повреждения биоты, нарушения почвы) и хозяйственных (механические воздействия техники на растения и почву, химическое отравление биоты, почвы) эквивалентно ослаблению цепей поддержки.

Методика построения графа природно-хозяйственных связей (Shishlov, 2001) лесного комплекса использует, кроме типовых, специальные процедуры построения графа эквивалентной трофической связи ресурсопользования, ориентированного графа цепи поддержки и элементов ослабления роста, поддержки и трофических связей. В отличие от типовых узлов, обозначающих виды БГЦ,

“жертвы” нулевого порядка (заштрихованные кружки) и “хищники” всех порядков, хозяйственные объекты изображаются в виде эллипсов. Элементы ослабления показаны на дугах кружками с заштрихованным сектором, к которому подводится ориентированная дуга от ослабляющего объекта.

На схеме графа (рис. 3) показаны основные трофические отношения видов фитоценоза: саженцев хвойных (1), самосева березы (2) и травы (3) с видами-«хищниками» первого порядка: птицами (4), грызунами (5), травоядными животными: дикими (6) и домашними (7), их межсистемные отношения (двойные штриховые линии) с промысловым хозяйством (9), агрохозяйственным комплексом (10) и объектами техносферы (11), которые создают прямые факторы воздействия (ФВ) и через среду (12) гидрометеорологические ФВ (кислотные дожди, туманы, росы, аэрозоли). Элементы ослабления трофических цепей между травоядными и хищными животными действуют со стороны охотничьего хозяйства. Климатообразующий процесс (13), преобразуя потоки (Ф) приходящей радиации, создает климатические ресурсы (КР), а также влияет на средообразование и формирует дополнительные ФВ (Шишлов, 2002).

В результате анализа опыта возобновления лесов и лесомелиорации с учетом особенностей организации межсистемных отношений выявлены основные типы несогласованных отношений, обусловленных засушливыми сезонами, влиянием пыли и химических загрязнений на рост хвойных саженцев, низким потенциалом климатических ресурсов (тепла, осадков, радиации, ФАР), закислением почв и воздействием кислотных дождей на фитоценозы. На основе оценки их влияния на условия реализуемости и эффективность технологий лесомелиорации получены выводы о необходимости достаточно

полного учета изменений сочетания климатических, техногенных и биотических факторов с использованием средств описания межсистемных отношений.

Некоторые параметрические изменения слабо влияют на состояние организмов либо вызывают кратковременное снижение активности жизненных процессов без существенных последствий. Однако изменения метеопараметров большой амплитуды с высокой скоростью в вегетационный период могут вызывать структурные нарушения живых биосистем (проблемная ситуация существования) или функциональные изменения, приводящие к нарушению цикла репродукции (проблемная ситуация возобновления), уменьшению количества, снижению качества биопродукции вида (проблемная ситуация поддержки жизнеобеспечения зооценозов) и общей биопродуктивности БГЦ. Структурные изменения порождают проблемные ситуации развития, влияют на ход сукцессии БГЦ. Нарушения возобновления могут приводить к исчезновению видов на отдельных участках территории (проблемная ситуация существования вида) и эволюции сообщества связанных трофическими отношениями видов в пределах ПКС. При масштабных изменениях климата сукцессионная система может мигрировать вслед за перемещением границ климатического района.

Для южных регионов Сибири актуальны проблемы возобновления и сохранения лесов. Из анализа отношений следует, что возобновление древесных растений определяется согласованностью отношений между элементами нижних уровней и регулируется отношениями верхнего уровня. Например, возобновление кедра за пределами естественного насаждения (при переносе семян кедровкой) существенно зависит от влияния хозяйственных факторов (Воробьев, 1983; Бех, 1992).

Рис. 3. Схема организации трофических связей и отношений биоценозов, биоклиматических отношений и природно-хозяйственных отношений ПКС

Анализ отношений позволил выделить две проблемные ситуации возобновления кедра в горных лесах Алтая.

Первая ситуация (ограничение прорастания в зоне заселения семян) обусловлена трансформацией экологической ниши и ограничением площади реализуемой ниши популяции кедра. Хозяйственные факторы влияют на экотоп в зоне распространения семян, в результате чего из N_c семян прорастают в условиях конкуренции и воздействий внешних факторов лишь N_{nc} семян. $N_{nc} = (0,15 \div 0,2)N_c$ (Бех, 1992).

Вторая проблемная ситуация связана с выживанием самосева кедра в условиях совместного воздействия природных и хозяйственных факторов. Действие травостоя проявляется в угнетении подроста кедра. Отпад и гниение мокрой травы вызывают поражение гнилью и микроорганизмами сеянцев кедра. Животные, поедая траву, поражают и молодое поколение кедра. Хозяйственные воздействия (заготовка кормов, сбор дикоросов) вызывают механические повреждения побегов. В совокупности все эти факторы ограничивают выживание подроста кедра до величины

$N_{br} < 0,02N_{nc}$. Суть проблемы – несогласованность отношений систем разного уровня. На равнине возобновление хвойных лесов лимитируется гидроморфностью заболоченных территорий, в то же время залесение заболоченных земель способствует осушению территории. Большое влияние на сохранность лесов оказывают пожары.

Для решения проблемы возобновления леса требуется расширение площади экотопа, пригодного потенциально для реализации экологической ниши популяции, и снижение воздействий хозяйственных факторов.

Концепция перестройки организации цикла средо- и климатообразующих процессов и формирования местных природно-климатических условий

Антропогенные преобразования природной системы при социальном освоении территории, развитии природно-хозяйственных комплексов, создании инфраструктуры и объектов техносферы изменяют систему отношений и формируют новые механизмы взаимодействия объектов, дополнительные цепи геохимических, гидрогеохимических процес-

сов, что вызывает эволюционную трансформацию среды, изменения свойств экосистем и структуры ландшафта. Исследования организации межсистемных отношений и связей процессов антропогенной деятельности с природными процессами позволили провести совместный анализ изменений сред и состояний подсистем с учетом их взаимовлияния и необратимых преобразований.

Совместный сопряженный анализ изменчивости сред, процессов, ансамбля состояний подсистем на основе описания процессов и их идентификации с использованием модели многорежимного процесса погодообразования, модели многошагового процесса трансформации состояний ПКС и информационных моделей (Кабанов и др., 2000; Шишлов 1999) позволил выявить особенности взаимообусловленных изменений процессов с учетом частично необратимых преобразований во взаимосвязи с перестройками организации модифицированного многорежимного цикла процессов в приземной атмосфере. Установлено, что изменение свойств компонентов природного комплекса (ПК), функций подсистем и межсистемных отношений при антропогенных преобразованиях экосистем, перестройки связей (цепей обратных связей) вызывают перестройку организации цикла процессов ($Пр_1$, $Пр_2$, $Пр_k$) в региональной ПКС под влиянием сочетания природных и антропогенных факторов (Φ_1 , Φ_2 , Φ_k) в ходе формирования природно-антропогенных циклов процесса жизнедеятельности.

Таким образом, в Сибири местные климатообразующие факторы (рельеф, вечная мерзлота, ледники гор, сибирский антициклон) изменяют мезомасштабные метеорологические процессы, а антропогенные преобразования ландшафтов, загрязнения сред определяют специфику процессов в пограничном слое атмосферы (Шишлов, 2005) и формируют в

ходе многолетней трансформации компонентов модифицированный цикл климатообразующих процессов.

Выявлены факторы формирования острова тепла:

- поглощение теплового излучения загрязненной атмосферой и увеличение противоизлучения;
- увеличение поглощения радиации вследствие влияния геометрии застройки на альбедо;
- изменение тепловых характеристик компонентов увеличивает накопление тепла в дневное время;
- выделение зданиями тепла, влаги и газов;
- уменьшение затрат тепла на испарения из-за водонепроницаемости покрова;
- снижение скорости ветра внутри застройки и уменьшение потерь тепла за счет турбулентного обмена.

Основные механизмы тепловой трансформации городского пограничного слоя (Оке, 1982):

- поступление теплого воздуха от городского острова тепла;
- поступление антропогенного тепла от труб и зданий;
- нисходящие потоки тепла от инверсионного слоя;
- конвергенция потока солнечной радиации и поглощение в загрязненном воздухе.

На основе интеграции различных аспектов изменений и трансформации обоснована системно-эволюционная концепция формирования модифицированного цикла климатообразующих процессов при трансформации местных климатообразующих факторов, межсистемных отношений в территориальных природно-антропогенных комплексах и перестройках организации совокупности много-

связных процессов геосферно-биосферного и природно-антропогенных циклов. На рис. 4 приведена схема концептуальной модели. Преобразование отношений ПКС влияет на реорганизацию цикла средо- и погодообразующих процессов. При формировании опасных гидрометеорологических явлений, шквалов формируются факторы воздействия (ФВ), которые изменяют свойства компонентов и замыкают контур обратной связи. Так, вывал деревьев изменяет структуру насаждений, его свойства (уменьшается транспирация, усвоение солнечной энергии, влагообмен), в результате повышается гидроморфность местности. Необратимые изменения сред и компонентов формируют дополнительные факторы (Ф_ж). Кроме того, изменение факторов Ф_ж влияет на формирование местных особенностей климата и экологических условий (цепь перекрестной связи). Трансформация воздушных масс (ВМ) в пограничном слое, острова тепла, инверсии формируют дополнительные особенности климата (вторая цепь перекрестных связей). Изменение влагооборота (рост испарения, рост интенсивности осадкообразования...) непосредственно влияют на климатические условия региона. Так модифицированный цикл климатообразующих процессов реализует в ландшафтной системе пространственную мозаику микроклиматов и определяет изменения местных природно-климатических условий в отдельных участках географического района.

Рассмотрим примеры формирования особенностей в различных климатических зонах. Снижение лесистости, осушение болот, подземный водозабор в южных регионах Сибири приводят к повышению частоты почвенных засух и аридизации местного климата (Шишлов, 2005). При осушительных мероприятиях на севере Западной Сибири изменяется тепловой баланс территории (Лисс,

2001). Осушение болот, расположенных в зоне многолетней мерзлоты, приводит к снижению влагозапасов деятельного слоя торфяной залежи и существенному изменению его тепловых свойств. При осушении олиготрофных болотных систем в результате уплотнения торфа и изменения его структуры теплопроводность уменьшается в 1,3-1,7 раза. В результате этого уменьшаются теплозапасы деятельного слоя, что способствует более сильному охлаждению всей толщи торфяной залежи в зимний период. При понижении уровня воды в болотах после осушения уменьшается теплоаккумулирующая способность территории и изменяется ее тепловой режим. В результате происходит понижение температуры воздуха зимой и увеличение континентальности регионального климата. Так трансформация ландшафта приводит к изменениям теплового режима, гидроэкологических условий территории и формированию новых особенностей регионального климата.

Вековая трансформация региональных климатов Сибири

Выявлены многолетние этапы вековой трансформации региональных климатов Сибири, экстремальные и переходные состояния на рубеже этапов. Определены оценочные характеристики состояний, пределы многолетней изменчивости сезонных и годовых температур для каждого этапа и вековой ход трансформации параметров изменчивости характеристик климата. Проведены идентификация, анализ и оценка тенденций изменения климата и особенностей их проявления в регионах Сибири. В результате оценки выявлены: положительный тренд (в масштабах нескольких десятилетий) средней годовой температуры; повышения нижнего и верхнего пределов многолетней изменчивости средней годовой (сезонной) температуры; рост про-

Рис. 4. Схема концептуальной модели перестройки организации климатообразующих процессов и формирования местных природно-климатических условий

должительности и средней температуры теплого периода года, вегетационного периода, безморозного периода, рост частоты годовых (сезонных) состояний с повышенной температурой. Рост средней многолетней температуры начался во втором десятилетии XX в.

Результаты оценки пределов изменчивости годовых температур приведены в табл. 1. Потепление в 1914-1950 гг. носило очаговый характер. Пределы повысились существенно в северных регионах (Салехард, Туруханск). На юге Сибири (Омск, Барнаул, Иркутск) по-

вышение пределов изменчивости годовой температуры имело место в 1951-1968 гг. Тенденция потепления на современном этапе (с 1978 г.) характеризуется переходом ансамбля сезонных состояний в область с повышенной среднегодовой температурой. Рост частоты годовых состояний с повышенной среднегодовой температурой наблюдается в умеренных широтах Сибири (в Тобольске частота состояний с $T > 1,3^\circ\text{C}$ повысилась от 0,1 до 0,52, в Колпашево частота состояний с $T > 0^\circ\text{C}$ повысилась от 0,06 до 0,37, в Енисейске – с 0,07

Таблица 1. Оценка пределов изменчивости средней годовой температуры, °С

Этапы	1881-1913	1914-1950	1951-1968	1969-1977	1978-1994	1995-2001	2002-2008
Тобольск	-1.6÷2.4	-1.7÷1.7	-1.8÷2.1	-3.5÷0.9	-0.7÷2.2	-0.9÷2.6	-0.1÷2.6
Ханты-Мансийск	-3.8÷-0.2	-2.8÷0.3	-3.9÷1.0	-4.9÷0.7	-3.3÷0.6	-2.9÷1.5	-1.9÷1.6
Салехард	-10.8÷-4.2	-8.3÷-2.9	-8.7÷-3.6	-9.0÷-5.3	-8.5÷-3.7	-8.3÷-2.9	-7.6÷-4.1
Омск	-1.5÷2.4	-1.5÷2.3	-1.0÷3.1	-2.0÷2.0	0÷3.6	0.3÷3.1	1.3÷4.0
Барнаул	-1.6 ÷+2.8	-0.6÷2.1	-0.1÷3.5	-1.0÷3.0	0.3÷4.3	1.1÷4.3	1.1÷4.9
Колпашево	-	-3.3÷0.6	-3.5÷0.2	-4.2÷-0.4	-2.3÷1.0	-2.3÷1.1	-2.2÷1.6
Енисейск	-4.1÷0.5	-3.8÷-0.3	-2.8÷-0.7	-4.4÷-0.6	-3.0÷0.6	-2.0÷0.5	-2.8÷1.4
Туруханск	-9.9÷-5.2	-8.2÷-5.1	-9.7÷ - 5.2	-10.0÷-5.2	-8.5÷ - 3.9	-8.2 ÷-3.4	-7.5÷ - 4.2
Иркутск	-2.5÷-0.2	-2.7÷0.3	-1.8÷0.6	-1.6÷0.4	-0.5÷1.9	0÷2.3	0.3÷2.9
Братск	-4.1÷-2.1	-3.8÷-0.9	-3.7÷-0.1	-3.8÷-0.6	-2.6 ÷0.7	-1.2÷ 0.8	-2.0 ÷1.7
Алдан	-	-7.6 ÷-4.2	-7.7÷ - 5.5	-8.5 ÷-5.0	-7.7÷ - 4.0	-6.7÷ - 4.6	-6.9 ÷-4.0

до 0,32). Наблюдается смещение ансамбля годовых температур к верхнему пределу.

Выявлены тенденции роста температур зимнего сезона, повышение температуры мая, октября. В северных регионах наблюдается рост средней многолетней температуры при высокой вариабельности или сохранении пределов изменчивости годовой температуры (Туруханск, Салехард, Алдан). Сохраняется возможность возврата холодных состояний с температурой в окрестности нижнего предела, так как сохраняется высокая повторяемость сезонных состояний с низкой температурой (частота повторяемости состояний в Салехарде – 0,33, Туруханске – 0,23, Тарко-Сале – 0,17, Алдане – 0,28, Братске – 0,43, Енисейске – 0,43, Колпашево – 0,36). Потепление в Восточной Сибири носит очаговый характер. Сохраняется тенденция потепления с ростом пределов изменчивости сезонных и годовых температур в южных регионах Сибири (Омск, Курган, Барнаул, Иркутск).

Анализ и интерпретация результатов параметрической идентификации хода многолетних изменений температуры для ансамбля сезонных состояний климата г. Омска показали, что возросла изменчивость состояний,

уменьшилась континентальность (К), но сохраняется частота резко континентальных состояний (РК) с морозной зимой и засушливым (З) летом. Установлена тенденция роста на юге Сибири числа теплых состояний холодного периода года с обильными осадками, что обусловлено ростом повторяемости циклонов. Возросло число гумидных (Г) годовых состояний с интенсивным влагооборотом и дефицитом тепла в вегетационный период.

Заключение

Необратимые преобразования экосистем вызывают трансформацию ландшафта и приводят к изменению местных природно-климатических условий. Для предотвращения опасных последствий необходимо осуществлять превентивный контроль последствий преобразования экосистем и загрязнения сред, проводить мониторинг и оценку микроклиматических изменений. Созданы базовые элементы научно-методических основ системно-эволюционного анализа цепи последствий воздействия сочетания природных (климатических, гидрологических) и антропогенных факторов, оценки их влияния на ход трансформации ландшафта, перестройки

организации циклов средообразующих и климатообразующих процессов и формирования местных природно-климатических условий. При наличии содержательной информации по результатам мониторинга более полное описание реальных процессов в конкретных ситуациях позволяет на имитационных моделях предсказывать возможные последствия или прогнозировать ожидаемые изменения харак-

теристик состояния на основе оценочных расчетов функции влияния сочетания факторов. Анализ воздействий хозяйственных мероприятий на среду рекомендуется дополнить углубленным анализом цепи последствий, достаточным для построения концептуальной модели трансформации компонентов ПКС и перестройки организации цикла процессов (его ветви).

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта 10 программы Президиума РАН №16.

Список литературы

Бех И.А. (1992) Антропогенная трансформация таежных лесов. Новосибирск: ВО «Наука», Сибирская издательская фирма, 200 с.

Воробьев В.Н. (1983) Биологические основы комплексного использования кедровых лесов. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 254 с.

Гаврилова М.К. (1978) Климат и многолетнее промерзание горных пород. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 214 с.

Гинзбург Б.М., Солдатова Н.Н. (1997) Метеорология и гидрология, № 1, с. 81-89.

Кабанов М.В., Комаров В.С., Шишлов В.И. (2000) Проблемы анализа и моделирования региональных природно-климатических изменений /М.В. Кабанов (ред.) //Региональный мониторинг атмосферы. Ч. IV. Природно-климатические изменения. Томск, МГП «Раско», с. 200-252.

Кабанов М.В., Лыкосов В.Н (2006) Мониторинг и моделирование природно-климатических изменений в Сибири //Оптика атмосферы и океана. Т. 19. № 9, с. 1-14.

Лисс О.Л., Абрамова Л.И., Аветов Н.А. и др. (2001) Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение /В.Б. Куваев (ред.). Тула: Гриф и К°, 584 с.

Оке Т.Р. (1982) Климаты пограничного слоя /Пер. с англ. под ред. А.С. Дубова. Л.: Гидрометеиздат, 360 с.

Разумовский С.М. (1981) Закономерности динамики биоценозов. М.: Наука, 231 с.

Светик Ф.Ф. и др. (1999) Безопасность России. Экологическая безопасность, устойчивое развитие и природоохранные проблемы. М.: МГФ «Знание», 704 с.

Свирижев Ю.М., Логофет Д.О. (1978) Устойчивость биологических сообществ. М.: Наука, 352 с.

Шишлов В.И. (1998) Анализ влияния хозяйственной деятельности на трофические связи в биогеоценозе //Чтения памяти Ю.А.Львова: Материалы II Межрегиональной экологической конференции. Томск:ТГУ, с.121-122.

Шишлов В.И. (1999) Влияние антропогенных факторов на трансформацию ландшафтов и изменения климата в Западной Сибири //Третье сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ТНЦ СО РАН, с 86-87.

Шишлов В.И. (2002) Анализ межсистемных отношений и оценка реализуемости взаимосвязных процессов преобразования и реабилитации природной среды // Материалы II Международного симпозиума «Контроль и реабилитация окружающей среды». Томск: Изд-во СО РАН, с. 28-32.

Шишлов В.И. (2003) Анализ региональных особенностей климатических изменений в Сибири и их последствий // Пятое Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу. Томск, с. 119-123.

Шишлов В.И. (2005) Анализ последствий антропогенной трансформации ландшафтов Сибири // Шестое Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу. Томск, с. 254-257.

Shishlov V.I. (2001) Analysis of ecological problems in antropoecosystems // Proceedings KORUS The 5th Korea-Russia International Symposium on Science and Technology. Tomsk. KORUS 2001. v. 2, p.80-83.

The Organization of Processes Cycles Forming a Climate and Environment.

II. Landscape Transformation and Reorganization of Process Cycles

Viktor I. Shishlov

*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, SB RAS,
10/3 Akademicheskyy, Tomsk, 634055 Russia*

Problems of landscape transformation under influence of climatic, hydrological, and anthropogenesis factors combination and reorganization of the environmental and climate formation cycles have been investigated. It has been done by means of the joint analysis of the associated changes of environments, geosphere components and intersystem relations in regional natural and climatic system.

Chains of cause-effect relations of processes are revealed, and influence functions of factor combinations on the hydrological processes are defined. The formation concept of the modified forming cycle of environment and climate processes under transformation of landscapes has been developed. The structure of conceptual model of reorganization of the cycle organization of climate processes and formation of local natural and environmental conditions has been developed. The means of description of the natural processes and the factor combination, the organization of interconnections allow the analysis of changes in the transformation of the components.

Key words: cycles, transformation, intersystem relations, ecosystem changes, reorganization, hydrological changes.