

А.К. ЧЕРКАШИНИнститут географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия, akcherk@irnok.net**КРИТЕРИЙ ПОЛНОТЫ УСТОЙЧИВОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ**

Выделены факторы и условия формирования устойчивого природопользования по критерию полноты состава и функционирования географической системы «природа–хозяйство–население» территории. Полнота — сквозной показатель оптимальности систем разного рода на минимальном и максимальном уровне их существования и изменения в процессе сохранения природы, роста экономики и совершенствования общества. Степень полноты — вариант оценочной функции, отличающей геосистемы разных местоположений и переменных состояний по набору взаимозаменяемых влияющих факторов природного, экономического и социального происхождения и особенностей местных условий географической среды. Все наблюдаемые процессы отражают целевое стремление к совершенству в форме полноты и безопасности своего системного выражения, к идеалу существования, приоритетной цели развития, только при достижении и преодолении которой возможно устойчивое развитие. Тенденции проявления полноты выделены как верхние и нижние огибающие линии (поверхности) многообразия связи данных натурных и статистических наблюдений. Управляющие аддитивные воздействия смещают ландшафтную норму полноты разных местоположений. Необходимо учитывать специальные ограничения на степень неполноты и переполнения системных качеств. Модели и методы анализа продемонстрированы на примере восстановления запасов лесонасаждений и реализации инвестиционного процесса по регионам России.

Ключевые слова: управление природопользованием, математическая модель, функциональная полнота, безопасность развития, устойчивое лесопользование, плотность инвестиций.

A.K. CHERKASHINV.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
664033, Irkutsk, ul. Ulan-Batorskaya, 1, Russia, akcherk@irnok.net**CRITERION OF COMPLETENESS OF SUSTAINABLE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT**

The article highlights the factors and conditions for the formation of a regime of sustainable development of a territory with environmental management according to the criterion of completeness of the composition and functioning of geographical system 'nature-economy-population' of the territory. Completeness is a pass-through indicator of the optimality of systems of various kinds at the minimum and maximum levels of their existence and changes in the process of nature conservation, economic growth and improvement of society. The degree of completeness is a variant of the evaluation function that distinguishes geosystems of different locations and variable states by a set of interchangeable influencing factors of natural, economic and social origin and features of local conditions of the geographical environment. All the observed processes reflect the goal of striving for perfection in the form of completeness and safety of its systemic expression, for the ideal of existence, a priority development goal, only with the achievement and overcoming of which sustainable development is possible. The trends of completeness are distinguished as the upper and lower envelope lines (surfaces) of the diversity of the connection of data from field and statistical observations. Controlling additive influences shift the landscape norm of completeness of different locations. It is necessary to take into account special restrictions on the degree of incompleteness and overflow of system qualities. Models and methods of analysis are demonstrated by the example of restoration of forest plantations and the implementation of the investment process in the regions of Russia.

Keywords: environmental management, mathematical model, functional completeness, development safety, sustainable forest management, investment density.

ВВЕДЕНИЕ

Проблеме устойчивого развития (УР) посвящено большое количество научных исследований, основное внимание в них уделяется вопросам сохранения природы и ее рациональному (оптимальному) использованию [1]. Для обоснования устойчивого природопользования необходимо знать при-

родную основу территории: естественные ландшафты, природно-ресурсный потенциал, своеобразие хозяйственной деятельности и антропогенного влияния, а также связанные с этим экологические угрозы, опасности и риски [2].

Решение проблемы оптимизации природопользования на разных масштабных уровнях — важная задача, в обсуждении которой особое место отводится географической науке [3], учению о геосистемах [4]. Эта проблема коррелирует с УР, предполагающим одновременное сохранение природы, поступательный рост производства и ускоренное развитие общества [5] во всей полноте демонстрации этих противоречивых тенденций в естественной и культурной ландшафтной среде. Оптимизация ландшафтов понимается в различных смыслах, среди которых наиболее точным можно считать максимальное (полное) проявление экологического и социально-экономического потенциала F_{\max} природного комплекса при полном сохранении его полезных свойств [6]. С этим связана задача сравнительных исследований и бонитировки земель относительно эталонов природопользования [7]. Оптимизация идет путем последовательного накопления разнокачественных позитивных локальных и региональных изменений [4] в режиме сотворчества человека с природой [6], под которым понимается система мероприятий, направленных «на развитие потенциальных сил природы, активизацию природных процессов, увеличение продуктивности геосистем, а следовательно, и коэффициента полезного использования энергетических возможностей земного пространства» [8, с. 11].

Такая деятельность не ограничивается природоохранной тематикой, а касается всего набора мероприятий по рациональному использованию ресурсов, мелиорации ландшафтов и охране природы [4]. Управление природопользованием реализуется в общей системе территориального управления, которая должна обладать необходимым совершенством и полнотой властных функций для решения проблем экологической политики УР. Оценка эффективности работы органов управления по ее реализации требует соответствующих индикаторов полноты воплощения принципов УР на разных территориальных уровнях. Выделение критериев полноты в различных аспектах их научного и практического применения должно помочь лучше осознать смысл и содержание УР, тенденции формирования нового качества отношений в географической системе «природа—хозяйство—население» районов, где блок «природопользование» становится опосредующим природно-хозяйственным звеном между производственной деятельностью, природными ресурсами и условиями.

Процесс природопользования изучался на примере проблем водо-, земле- и лесопользования: работы лесхозов и лесозаготовительных предприятий Восточной Сибири, производственных циклов Байкальского и Усть-Илимского целлюлозно-бумажных комбинатов, эксплуатации сенокосных и пастбищных угодий Забайкалья, потребления и загрязнения водных ресурсов Байкальского региона с целью создания и информационного обеспечения моделей управления природными ресурсами [9]. Исследования продолжают в направлении поиска предпосылок и критериев УР и их отображения в математических расчетах.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

В общенаучное понятие полноты вкладывается различное содержание, смысл которого необходим для решения оптимизационных задач проявления скрытого потенциала. Разные виды полноты (completeness) существования (бытия, жизни) рассматриваются в качестве базового потенциала УР. Несмотря на многообразие трактовок категории «полнота» (полнота власти, ответственности, прав, знаний, мыслей, чувств, жизни, фактов, теорий), она преимущественно связана с представлениями о достаточности ресурсов, совершенстве явлений, завершенности процессов и предельном насыщении. Полнота бытия — это истинное существование разного типа, и все процессы выражают целевое стремление к полноте системного выражения, к совершенству.

Например, полнота аксиоматической теории означает достаточность ее выразительных и дедуктивных средств, когда все ее истинные высказывания доказуемы в ней. Такая теория изолирована, полна и непополнима знаниями других теорий. Важно, что полнота обеспечивается в самом начале формирования теории — задании базовых понятий и аксиом, логически связывающих исходные и производные системные понятия определенного рода. Первичная (внутренняя) полнота F_{\min} рассматривается как предпосылка инвариантного существования системы, постоянный образец для подражания, сохранения источника и цели развертывания, развития. Такая исходная полнота обеспечивает охват элементов, явлений и функций, что в ландшафте представлено геоэкологическим каркасом сохранения и восстановления пространственной организации геосистем, а в экономике — территориальной инфраструктурой производства товаров и услуг для жизнеобеспечения населения.

Г.С. Альтшуллер [10] сформулировал законы развития, среди которых первый — закон полноты частей системы, согласно которому выполнение функций системы возможно лишь при наличии и работоспособности каждой из ее составных частей: принцип полноты состава и функционирования. В ландшафтоведении полными многокомпонентными являются коренные геосистемы, что противопоставляется парциальным аazonальным редуцированным геосистемам, которые в процессе эволюции рельефа обычно стремятся к коренной зональной норме (внешне проявленной полноте F_{\max}). Аналогично прослеживается полнота (завершенность) естественного восстановления нарушенных геосистем до коренного состояния. Зональный образец представляет ландшафтную норму, которая во всей полноте иллюстрирует местный потенциал развития. Полнота природопользования по [10] выражается в наличии и работоспособности каждой из составных частей хозяйственной системы, в полноте ее состава и функционирования в производственном цикле, начиная с инвентаризации ресурсов, планирования, проектирования, заготовки, переработки и поставки сырья и продукции заводам-потребителям по договорам с условием полноты и своевременности снабжения.

Для обоснования концепции территориально-производственных комплексов (ТПК) Н.Н. Колосовский [11] разработал метод подбора таких составных частей материального производства, которые в пределах района образуют взаимосвязанное единство, не производящее излишков и не знающее недостатков, экономно использующее вещество природы, т. е. производство полное по отраслевому составу предприятий, условий и факторов, ресурсному обеспечению и комплексному потреблению ресурсов.

В общественной сфере полнота жизни выражается в показателях качества жизни, характеризующих эффективность всех сторон жизнедеятельности человека и благосостояния населения, полноту удовлетворения материальных, духовных и социальных потребностей и ценностей, поэтому она может служить обобщенным критерием эффективности управления регионом [12]. Полнота системы территориального управления определяется наличием разнообразных институтов власти и гражданского общества для свободной реализации всех необходимых функций регулирования ситуации в самых разных аспектах [13].

Качество принятия управленческих решений первично зависит от полноценности используемой информации — полноты информационного обеспечения деятельности. Сюда относятся полнота и глубина изучения специальной литературы и карт при обучении и проектировании, достаточный объем базы пространственных данных натурных исследований, достоверного содержания ходатайства (заявки) на строительство и природопользование, а также материалов мониторинга и контроля результатов деятельности. Ландшафтное описание характеристик компонентов в базе данных ГИС должно проводиться с необходимой полнотой, детальностью и достоверностью, что обеспечивает высокий уровень статистического анализа и тематического картографирования территорий. По мнению Э.Ю. Петри [14], задача географии — свести материал разных наук в единый свод и применить его к полной характеристике Земли.

Особое место в исследованиях занимает требование полноты классификации, подразумевающей наличие в таксономической системе всех видов существующих объектов. Пример — полнота картографической легенды, отражающая все условные обозначения на карте. На этом требовании основана методика картографирования заполнения региональных единиц типологическими, в соответствии с которой на карте ландшафтной структуры в границах районов отображены все примыкающие друг к другу геомеры [15]. Ни один контур карты не должен оставаться «пустым» — ему необходимо найти место в системе классификационных построений. Полнота представлений о земном мире и логическая строгость систематики ландшафтов обеспечивается сравнительно-картографическим методом исследования. Основу для сбора и объединения разнообразных фактов, относящихся к природной среде, представляет собой ландшафт, с наибольшей полнотой отражающий сочетание местных условий на картах [4]. Ландшафт как геокомплекс (природно-территориальный комплекс, ПТК) — это функциональное единство множества разнокачественных частей территориального целого, самое полное описание пространственного объекта во всех системных формах его проявления.

Особенностью человеческого восприятия является способность распознавать общие объекты по разреженным (неполным) геометрическим моделям формы объекта [16, 17], достраивая (оптимизируя) изображение до полных форм (психологический закон закрытия). Не только мозг имеет тенденцию заполнять пробелы в информации: это общесистемный процесс стремления к полноте как некоторому пределу в виде тотальной завершенности. Суть теоретической хронологической концепции Риттера-Геттнера «заполнения пространства» заключалась в том, что география исследует территории разного масштаба с точки зрения взаимодействия «наполняющих» их объектов различного происхождения.

Процесс заполнения наглядно прослеживается в географическом цикле, выраженном в переходе горных территорий с фрагментами плакорных и долинных коренных геосистем в равнинные пенеблены с геосистемами полного компонентного состава. В циклических колебательных переходах находятся кинетическая и потенциальная энергия, циклы жизни продуктов производства от изготовления опытного образца до насыщения и перенасыщения рынка и спада реализации, исходные данные и завершённые (полные) теории в процедурах обработки и интерпретации данных. Так, современное развитие концепции ландшафтно-географического (геосистемного) научного метода требует объединения и доработки имеющихся отрывочных методологических суждений и выводов [4]. Нормативные понятия описания процесса освоения территории должны максимально соответствовать условиям хозяйственной деятельности «для более полного познания закономерностей пространственной дифференциации производства» [7, с. 22]. Нарождающаяся «зеленая» экономика исходит из принципа ограниченности пространственных и природных ресурсов и выражается в стремлении к полному и эффективному технологическому освоению постоянного потока солнечной энергии и возобновляемых ресурсов планеты при сохранении природы в необходимых для УР пределах. Для «зеленых» экономистов характерна метапредметная методология исследований, стремление к математической строгости расчетов и применение междисциплинарного комплексного подхода при многокритериальной оптимизации [18].

Комплексная оценка использования природно-ресурсного потенциала территории (структуры и функции) предполагает создание системы параметров природных, экономических и социальных объектов (факторов и условий), обоснование их эквивалентности (возможности замещения) в определении состояния географических систем, формирование критериев комплексной оценки с учетом их пространственного и временного развития. В качестве одного из таких критериев совершенства рассматривается показатель полноты, а несовершенства — неполноты как разницы между текущим и идеальным состоянием геосистем. Неполнота — это разреженная редуцированная форма существования систем, не соответствующая условиям географической среды и задачам УР. Например, горные леса не достигают единичной полноты производительности в силу особенностей условий обитания, но в другой среде встречаются леса с полнотой больше единицы табличного стандарта. По Н.Н. Баранскому [19], вопрос о влиянии природной среды на различия от места к месту производственного направления и интенсивности хозяйства — коренная задача экономической географии.

Возникает проблема избыточности и недостаточности полноты существования геосистем в конкретной среде. На растительности отрицательно сказывается избыточное увлажнение почвы, что требует проведения гидромелиоративных мероприятий. Избыточная густота древостоев (плотность или концентрация деревьев) делает необходимыми рубки ухода и промежуточного пользования для эффективного воспроизводства лесов и получения дополнительной лесной продукции в режиме неистощительного устойчивого лесопользования. Отрицательно на естественном ландшафте сказывается избыточная, превышающая норму, антропогенная нагрузка. Полнота информации означает, что она содержит минимальный, но достаточный, набор данных для принятия правильного решения, а любая дополнительная информация уже избыточна для восприятия. Перепроизводство и переполнение рынка товарами ведет к усилению конкуренции, падению цен, снижению прибыли, а недостаток человеческого капитала не позволяет создать следующий технологический уклад экономического развития. Невыполнение или превышение властных полномочий является причиной социальных конфликтов. В целом эффекты неполноты и переполнения индуцирует рост рисков, увеличение опасности и появление ущербов для деятельности. Естественно используются в управлении показатели степени полноты типа индекса лесистости территории, полноты хозяйственного освоения земель или меры серийности явлений относительно природных и общественных норм. В частности, это необходимо для решения задач типизации и картографирования, например, для выделения категорий особо охраняемых территорий и создания карт природопользования с различной степенью полноты охраны и использования ландшафтов.

Одно из направлений по охране и защите оз. Байкал связано с механизмом наполнения и регулирования уровня режима озера в метровом диапазоне. Прослеживается влияние гидроэнергетики на социально-экономическую жизнь и природную среду Байкальского региона при разных гидрологических условиях и организации управления водными ресурсами [20, 21]. Постановлением Правительства Российской Федерации от 26.03.2001 № 234 [22] были определены значения управляемого колебания уровня воды в Байкале в пределах минимальной (456 м) и максимальной (457 м) отметок (в тихоокеанской системе высот). В 2014–2015 гг. в связи с катастрофическим маловодьем в бассейне оз. Байкал наметились негативные последствия в жизни природы и общества региона. Такой маловодный период был отмечен впервые за 60 лет, в связи с чем 21 января 2015 г. Минприроды

ввело режим чрезвычайной ситуации на Байкале из-за его обмеления. Однако в конце февраля уровень воды в оз. Байкал преодолел установленную правительством минимальную отметку в 456 м и продолжал снижаться [23], поскольку правительством было разрешено сверхнормативное использование водных ресурсов озера в осенне-зимний период 2014–2015 гг. с последующим восстановлением в период половодья 2015 г. До строительства Иркутской ГЭС наблюдались значительные — 2,3 м (примерно в интервале 455,54–457,85 м) — колебания уровня озера. После строительства при превышении уровня озера на 1,3 м сформировался устойчивый уровеньный режим с нормой 457 м и метровым нормативом отклонения, к которому за прошедшие 60 лет экосистема Байкала путем перестройки своей структуры постепенно приспособилась. Незаконное преодоление принятых норм и нормативов могло привести к катастрофическим последствиям для экосистемы озера, разрушить полноту и гармонию свойственных ему процессов.

В практике лесопользования применяется понятие «полнота насаждения» — степень сомкнутости крон деревьев, которая определяется в десятых долях единицы. По сомкнутости полога относительную полноту p определяют как частное от деления площади проекции полога древостоя на занимаемую им площадь (лесоводственная полнота) или по соотношению имеющейся суммы поперечных сечений деревьев на высоте груди к площади сечений по стандартным таблицам хода роста нормальных насаждений — НН (таксационная полнота). Полнота $p(x)$ зависит от многих факторов $x = \{x_i\}$: размеров деревьев и состояния древостоя, стадии восстановления, густоты древостоя, лесобразующей породы, условий роста (класса бонитета), типа лесорастительных условий, типа леса и т. д. НН имеют полноту $p = 1,0$, что соответствует максимальным запасам древесины и используется для определения полноты изреженных древостоев по соотношению их запасов и запасов НН. В НН природные возможности участка леса реализуются в максимальной степени; здесь нет излишка или недостатка деревьев. В изреженный древостой $p < 1,0$ без ущерба для леса можно добавить деревья пропорционально разнице $1 - p$. Проблема в том, что стандартные суммы площадей сечений в таблицах хода роста в разных географических районах для одной породы, возраста и класса бонитета различаются, поэтому измеряемые в разных районах насаждения с одинаковыми суммами площадей сечений и запасов будут иметь разную относительную полноту, т. е. эффективность использования потенциала среды.

В системе лесопользования естественным (коренным, восстановленным) состоянием-нормой являются спелые и перестойные леса, продуктивность, породный состав и наземный покров которых соответствует характеристикам местной среды. Формированию нормы способствуют мероприятия по охране лесных массивов от пожаров и незаконных рубок, а норматив лесопользования равен расчетной лесосеке, следование которой обеспечивает устойчивое, неистощительное лесопользование даже при экстенсивном ведении хозяйства. Переход к интенсивному лесному хозяйству предполагает содействие восстановлению древостоев оптимального состава и продуктивности, проведение рубок ухода и выборочных рубок с получением дополнительных продуктов на прежней природной основе. УР в этой сфере предполагает активное вовлечение населения в процесс освоения лесных ресурсов не только в виде побочного лесопользования, но, главным образом, для рекреационных целей: туризм и отдых — способ потребления природных благ, при котором минимизируется воздействие общества на окружающую среду. Индикаторами нарушений могут служить падение лесистости территории, снижение сомкнутости крон, полноты лесонасаждений, наличие гарей и захламленность почвенного покрова, негативное преобразование эстетического облика ландшафтов.

Полнота пространственных структур природопользования имеет отношение к особенностям пространственного распределения ресурсов и территориальной организации производства, взаимосвязанной работе предприятий ТПК, совершенству транспортно-инфраструктурного обеспечения. Например, она выражается в организации лесного хозяйства лесосырьевой базы лесозаготовительных предприятий или в полноте заполнения водохранилища ГЭС для устойчивого получения энергии и постоянного водоснабжения городов, заводов и фабрик, расположенных по берегам реки. Иными словами, полнота природопользования выражается в том, чтобы обеспечить достаточность ресурсного потребления всегда, везде и во всем при условии сохранения качественной и количественной полноты природно-ресурсной базы для обеспечения устойчивого развития.

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ

Для моделирования качества полноты территориальных образований рассматривается пространство их возможностей — система независимых координат $x = \{x_i\}$, полная в смысле исчерпывающей характеристики значениями координат x_i состояния $F(x)$ объектов исследования и управления (рис. 1).

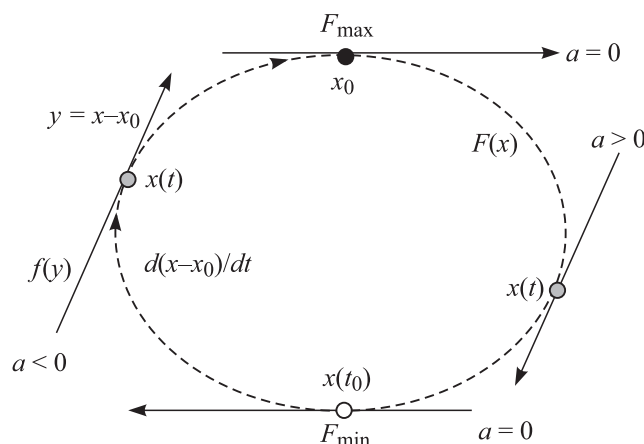


Рис. 1. Цикл изменения степени полноты системы $F(x)$ и касательные векторы (слои) локальных тенденций $f(y)$ с выделением минимальных F_{\min} и максимальных F_{\max} по полноте проявлений характеристик при чувствительности $a = 0$.

Системная функция состояния (оценка полноты) $F(x)$ проявляется, например, в изменении рельефа в географическом цикле Дэвиса эндогенного тектонического поднятия F_{\max} и последующей экзогенной денудации поверхности F_{\min} литосферы [24] и в целом в циклическом характере развития природы Земли [25], социальной и экономической жизни [26]. К координатам относятся, в первую очередь, координаты географического пространства-времени в соответствующей геометрической интерпретации, к которым добавляются тематические координаты, в совокупности отражающие природные, экономические и социальные показатели: ресурсы, активы, капиталы, факторы производства, продолжительность и качество жизни.

Различаются тотальное пространство $x = \{x_i\}$ и локальные подпространства (слои) $y = x - x_0$, $y = \{y_i\}$, $x_0 = \{x_{0i}\}$ с началом координат x_0 . Например, как в случае ландшафтно-типологической дифференциации территории по типам геоморфов x_0 , районирования страны по административным и экономическим районам, разделения властей по функционалам управления.

В составе любой i -й геосистемной локально-координатной характеристики $y_i = x_i - x_{0i}$ слоя есть наблюдаемая x_i и ненаблюдаемая (скрытая) x_{0i} части: величиной x_{0i} определяется положение всякой геосистемы в исходном пространстве x и на поверхности многообразий состояния $F(x_0)$, где исследуются связи различных видов x_0 систем, проводится их сравнение и классификация по типу средовых условий. Для выявления нормативных значений x_{0i} и $F(x_0)$ по каждому показателю x_i и оценочной функции $F(x)$ проводится сравнительно-статистический регрессионный анализ пространственных данных. Различие в слое текущих и нормативных оценок $f(y) = F(x) - F(x_0)$ описывается [27] универсальным дифференциальным уравнением, известным как уравнение Эйлера:

$$f(y) = \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial y_i} y_i, \quad a_i = \frac{\partial f}{\partial y_i}, \quad (1)$$

где $a_i = \frac{\partial f}{\partial y_i}$ — показатель чувствительности изменения оценочных функций $f(y)$ или $F(x)$ при изменении переменных y_i или x_i на единицу при постоянных значениях x_{0i} . Величина $a_{ij} = a_i/a_j$ — норма замещения одного фактора y_i на другой y_j при сохранении значения функции $f(y) = f_0$. Попарно сравниваются характеристики природы, хозяйства и общества, демонстрируя возможность замещения одного фактора другим при обеспечении полноты и устойчивости географических систем.

По функциям $f(y)$ рассчитываются разного рода метрики: расстояния, средние значения, отклонения от средних, а также нелинейные зависимости типа производственных функций экономики. Все расчеты проводятся в относительных значениях $y = x - x_0$ и $f(y) = F(x) - F(x_0)$. Исходные оценки $F(x) = f(y) + F(x_0)$ получаются на основе $f(y)$ с нормативной поправкой $F(x_0)$, равной оценке $F(x) = F(x_0)$ при минимуме отклонения $y_i = x_i - x_{0i} = 0$ текущих переменных значений x_i от x_{0i} : $f(0) \equiv 0$. Оптимальное значение $f(y)$ достигается при $a_i \equiv 0$ с $f(y) \equiv 0$, когда $F(x) = F(x_0)$ соответствует минимуму или максимуму функции $F(x)$ (см. рис. 1).

Решение задачи моделирования УР предполагает выбор параметров-индикаторов модели $x = \{x_i\}$, с использованием которых достаточно просто описываются связи $F(x)$ индикаторов x , оценивается степень устойчивости географических систем для прогнозирования и планирования деятельности в направлении обеспечения УР. Для индикации УР Х. Боссель [28] выделяет шесть базовых параметров-ориентиров системы, обусловленных окружением (существование, эффективность, свобода действий, безопасность, адаптируемость, сосуществование), и три базовых ориентира самой системы (репродуктивность, психологические потребности, ответственность). Индикаторы должны быть согласованы со стратегическими целями УР на всех уровнях для проведения сравнительного анализа и учитывать

зависимость от географической среды. Ключевой показатель такого качества — это безопасность, так или иначе определяющая другие индикаторы УР [1], поэтому любая система не может обеспечить свою долговременную стабильность и безопасность без перехода на путь УР, а УР невозможно вне безопасного существования. Безопасность исчисляется как мера ответственности за жизнь и результаты деятельности. Полная безопасность обеспечивается полнотой состава и функционирования геосистемы.

Механизм регулирования безопасности системы описывается уравнениями типа (1) для одномерного случая $f(y) = \frac{\partial f}{\partial y} y$ при $f(y) = \frac{dy}{dt}$ [29]:

$$\frac{dy}{dt} = ay + u(t), \quad \frac{d[x(t) - x_0]}{dt} = a[x(t) - x_0] + u(t), \quad (2)$$

где $x_0, x(t)$ — средообусловленная полная и текущая информация о безопасности состояния и изменения системы; $x(t)$ изменяется под влиянием растущего фактора t типа времени или расстояния;

$a = \frac{\partial f}{\partial y}$ — коэффициент саморегулирования; $u(t)$ — добавленная функция внешнего управления (воздействия). Уравнение (2) — простейшая модель адаптивного поведения, или переходного процесса, направленного при $u(t) = 0$ и $a < 0$ на достижение цели $x(t_0) \rightarrow x(t) \rightarrow x_0$, начиная с исходного состояния $x(t_0)$ (см. рис. 1). Согласно (2), при $a < 0$ положительное воздействие $u(t) > 0$ повышает x_0 до величины $x_m = x_0 - u/a$, т. е. преобразует среду функционирования, снижает средовую нагрузку ($u(t) > 0$), например за счет создания инфраструктуры УР.

Для расчета степени полноты $p(t)$ величина безопасности $x(t)$ принимается равной $x(t) = -\ln p(t)$, когда $p(t)$ сравнивается с мерой надежности функционирования [29]. Полнотой $p(t)$ безопасности $x(t)$ (safety integrity) называется вероятность того, что система обеспечения безопасности будет надежно выполнять требуемые функции безопасности во всех оговоренных условиях в течение заданного периода времени. Значение $x_m = -\ln p_m$ определяется нормой полноты p_m , допустимой в данных условиях. Разность $y(t) = x(t) - x_m = -\ln [p(t)/p_m]$ соответствует мере неполноты, т. е. отклонению текущего состояния p от местной нормы p_m по отношению $p(t)/p_m$, поэтому величину безопасности $x(t)$ можно считать разновидностью меры информации. Величина $y_k = -\ln (p_k/p_m) = 1$ определяет норматив p_k предельно допустимого отклонения от нормы p_m .

Например, для водохранилища Иркутской ГЭС нормальный подпорный уровень $p_m = 457,0$ м, а уровень разрешенной предельной сработки $p_k = 456,0$ м. От этих значений необходимо отнять величину естественного уровня отсчета p_0 для получения равенства $\Delta x = -\ln [(p_k - p_0)/(p_m - p_0)] = 1$, из которого следует $p_0 = (p_m - ep_k)/(1 - e) = 455,4$ м. Это значение несколько ниже горизонта сработки водохранилища, уровня мертвого объема (УМО) — отметки водной поверхности с наибольшим опорожнением водохранилища, допускающей в силу гидрогеологических и технических условий нормальную эксплуатацию водохранилища. По первоначальному проекту УМО составлял 455,54 м, потом по эколого-экономическим требованиям он был повышен до 456,0 м. При $p_0 = 455,54$ м и $p_m = 457,0$ м величина $p_k = 456,0$ м немного выше установленной законодательно. Показатель зарегулированности $u/a = x_m - x_0 = -\ln p_m + \ln p_0 = \ln (p_0/p_m)$ относительно форсированного подпорного уровня $p_m = 458,2$ м при пропуске паводка обеспеченностью 0,01 % равен $u/a = -0,60$, что соответствует $p_m - p_0 = 1,2$ м — примерно настолько был повышен уровень Байкала и понижен уровень экстремальных паводков.

В лесах разного типа, в зависимости от местных условий и степени антропогенного воздействия, максимальная полнота p_m достигает разных значений обычно в интервале 0,9–1,0. Высокогорные леса имеют предельный показатель полноты 0,4–0,6, редколесья — до 0,3. В нормальных насаждениях $p_m = 1$ норматив отклонения $\Delta x = -\ln (p_k/p_m) = 1$ соответствует значению $p_k = p_m/e = 0,37$, примерно равному естественной границе полноты между лесом и редколесьями.

Согласно (2), изменение значения полноты $p(t)$ описывается уравнением

$$p(t) = p_m [p(t_0)/p_m]^{\exp[a(t-t_0)]}, \quad (3)$$

где $a < 0$, $p(t_0)$ — полнота в начальный момент $t = t_0$ восстановительного процесса, например, в момент изреживания древостоя $p_m \rightarrow p(t_0)$ в результате пожара или рубки.

Уравнение (3) описывает процесс формирования полноты $p(t)$ реализации системной функции после трансформирующего воздействия. В отсутствие саморегулирования $a = 0$ система долго остается в прежнем состоянии $p(t) = p(t_0)$. Для начала развития необходима перестройка поведения, вы-

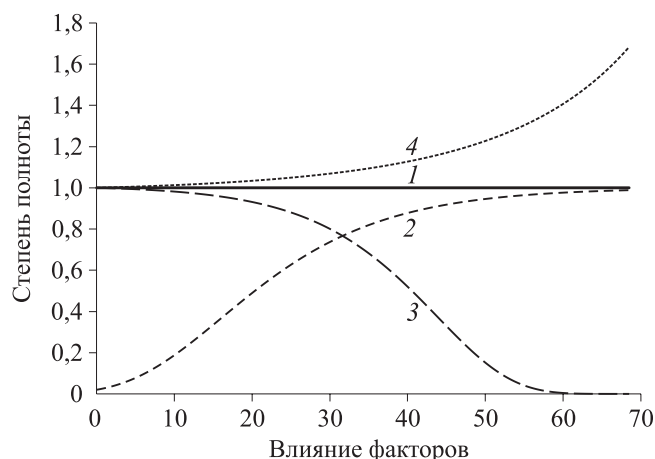


Рис. 2. Разные режимы изменения степени полноты $p(t)$ при различных показателях чувствительности к влиянию факторов.

1 — неизменное состояние $a \equiv 0$; 2 — поступательный рост $a < 0$; 3 — постепенное снижение $a > 0$ при $p_0 < p_m$; 4 — устойчивое развитие $a > 0$ при $p_0 > p_m$.

небольшом различии $p_m > p(t_0)$ она вырождается $p(t) \rightarrow 0$, а при $p_m < p(t_0)$ устойчиво растет до величины $p(t) = 1$ и выше (рис. 2). Схема бифуркации трендов развития (см. рис. 2) подобна морфологическим закономерностям эволюции организмов А.Н. Северцова [30]: ароморфозы выражаются в прогрессивных эволюционных изменениях строения, в повышении уровня сложности организмов (4); идиоадаптации соответствуют малозначимым эволюционным изменениям, связанным с мелкими приспособлениями к конкретным условиям окружающей среды (2); общая дегенерация связана с регрессивными изменениями (3).

В отсутствие первоисточника $p(t_0) = 0$ (точки роста) развитие невозможно. Обязательные стартовые условия (предпосылки УР) наблюдаются в процессе роста деревьев из семян, наличия ресурсного потенциала, становления производства с использованием начального капитала или формирования теории на аксиоматическом базисе. При производственном освоении новых территорий приходится ориентироваться на стартовые позиции исходных районов пионерного освоения и слабо освоенных территорий. Обычно это сырьевые регионы с высокой концентрацией разнообразных природных ресурсов, слабой опорной базой и неразвитой инфраструктурой [31], где социально-экономическое развитие возможно лишь при инновационной и инвестиционной активизации предпринимательской деятельности.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Применение моделей и методов проиллюстрируем на примере анализа пространственных природных и экономических данных, характеризующих полноту и плотность проявления потенциала географических систем разных местоположений по фактору собственного времени и его количественных аналогов. В сравнительно-географических исследованиях собственное время системы $\tau = t - t_0$ определяется ее экологическим, экономическим и социальным относительным временем (возрастом). Например, сукцессионный возраст восстановления лесного покрова со сменой пород, начиная с состояния свежей гари или вырубki $t = t_0$. В экономике собственный возраст — это норма реализации регионального инвестиционного процесса, что характеризует производственную среду региона, когда большее значение τ соответствует лучшим экономическим условиям: освоенности и инфраструктурной обустроенности территории на данный момент. В качестве аналога возраста применяются постоянно растущие временеподобные показатели: высота и диаметр деревьев в экологии, стоимость продукции в технологическом цикле производства. Это позволяет сравнивать тенденции, которые прослеживаются в разной географической среде.

Для точного отражения главнейших различий территориальной организации природы и общества предлагается использовать показатели плотности процессов и явлений для показа на картах дифференциации земного пространства [7]. Плотность явления оценивается в расчете его величины на единицу площади территории: густота леса, средний запас ресурсов, плотность населения, плотность городской застройки, густота дорожной сети, насыщенность административными границами и т. д. Этот показатель характеризует уровень развития отдельных участков и районов независимо от их размеров и удобен при проведении сравнительно-географического анализа. Потенциал (емкость) среды рассчитывается по сравнению с лучшими или худшими условиями производства, а полнота

использования потенциала индивидуально характеризует саму производственную деятельность. Анализ полноты связан с поиском границ эффективности — огибающей поверхности потенциала среды в целом или достижения максимума эффективности в среде определенного типа.

Восстановление лесных ресурсов. Полнота древостоев зависит от многих факторов. Нормальные насаждения имеют полноту $p = 1,0$, что соответствует наибольшим запасам древесины в данном возрасте, т. е. природные возможности участка леса осваиваются в максимальной степени.

В вычислениях использовалась база данных ГИС Слюдянского лесхоза (Иркутская область), расположенного в прибрежной зоне оз. Байкал [32]. Неоднозначная зависимость плотности запаса (объема) древостоев (m^3) в расчете на гектар от полноты (рис. 3, а) обусловлена варьированием перечисленных выше факторов и условий. Для наибольших запасов при данной полноте $W = ap$ ($a = 676 \pm 63 \text{ м}^3/\text{га}$, $R = 0,99$), что позволяет рассчитать максимальный запас $W_m = 676 + 63 = 738 \text{ м}^3/\text{га}$ древостоев при наивысшей эффективности проявления природного потенциала ($p = 1$) в данном районе.

При разной полноте в зависимости от диаметра стволов запас сильно варьирует, проявляя общую тенденцию роста с увеличением диаметра. Проявляются районные тенденции в форме огибающих максимального и минимального запасов в зависимости от размера среднего дерева $x = D$ см древостоев при $x_0 = 30$ см (см. рис. 3, б).

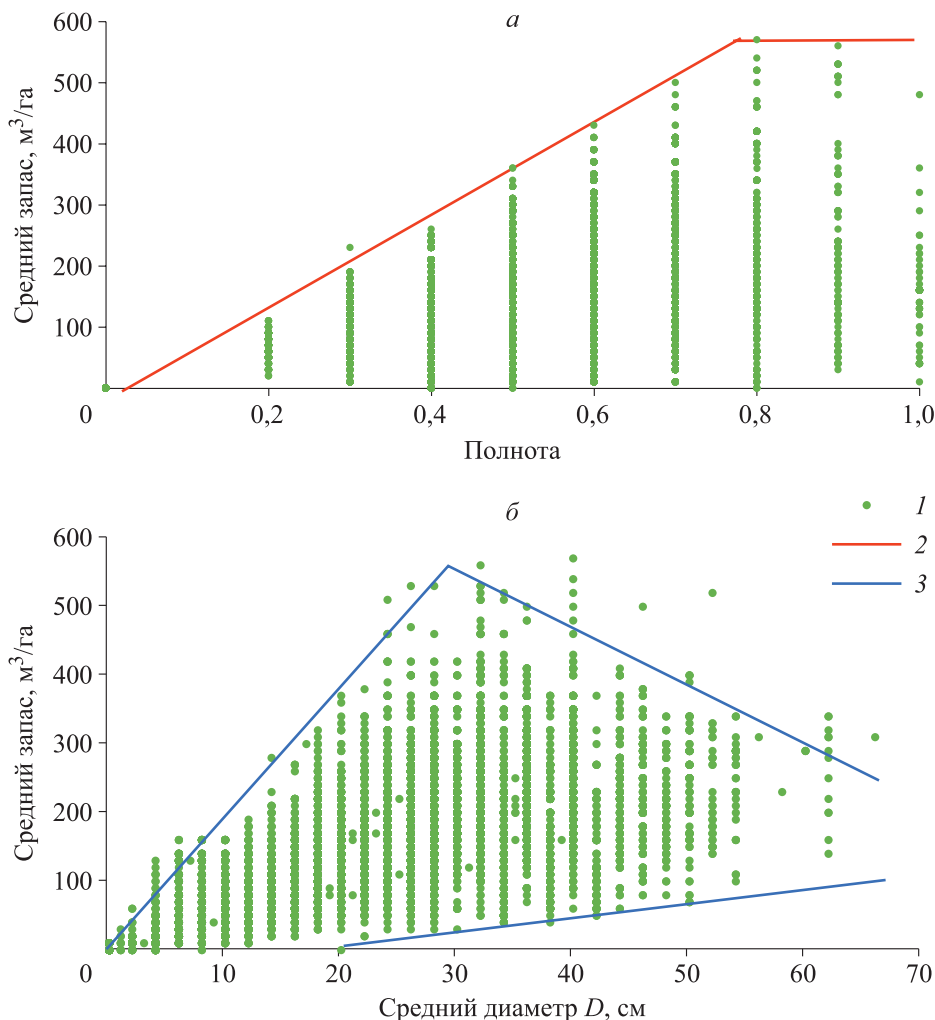


Рис. 3. Зависимость среднего запаса древесины (W , $m^3/\text{га}$) от полноты древостоя (p) (а); зависимость среднего запаса древесины ($W(D)$, $m^3/\text{га}$) лесонасаждений от величины среднего диаметра деревьев (D , см) по лесотаксационным выделам Слюдянского лесхоза (б).

1 — данные по выделам; 2 — линии предельных запасов; 3 — верхние и нижние огибающие, соответствующие лучшим и худшим условиям относительно величины среднего запаса.

Инвестиционный процесс. Темпы развития экономики определяются направленностью и интенсивностью инвестиционных процессов. Регионы России находятся на разных стадиях организации воспроизводственного процесса (рис. 4, а), что зависит от факторов географического положения, природно-климатического и ресурсного обеспечения, развития местной инфраструктуры и территориального управления, инвестиционного климата.

Изучаются изменения объема внутренних инвестиций по субъектам Российской Федерации во времени. Инвестиции рассчитываются на единицу площади региона — показатель плотности инвестиций $I(t, \tau)$, что отражает инвестиционную освоенность территории и позволяет проводить сравнительно-географический анализ данных по регионам с помощью огибающих кривых.

Используются социально-экономические показатели отчетов Росстата за 2000–2015 гг. [33]. Максимальные (огибающие) значения плотности инвестиций по регионам соответствуют данным Московской области и Краснодарского края (см. рис. 4, а). Региональная полнота инвестиционного процесса по освоению потенциала географической среды оценивается относительно ежегодных показателей по Московской области, принятых за 100 %. Полнота — почти постоянная во времени величина, например, для Иркутской области она незначительная — $1,6 \pm 0,3 \%$, для Краснодарского края — $60,3 \pm 17,8 \%$. Исследовалась зависимость изменения плотности инвестиций $I(t, \tau) = G[f(\tau)]$ (тыс. руб/год/км² в текущих ценах) от текущего времени t (годы) и от уровня развития τ экономики региона по формуле, аналогичной соотношениям (1) и (2) при $y = \tau = t - t_0$:

$$f(\tau) = \ln I(t, \tau) - \ln I_0 = a(t - t_0) = a\tau, \quad (4)$$

где I_0 и a — константы. Рассчитывается средовой показатель t_0 для каждого года t : $t_0 = -(\ln I - \ln I_0)/a + t$. Региональная величина t_0 меньше для развитых экономик, поэтому реальное (экономическое) время $\tau = t - t_0$ влияния (4) на инвестиционный процесс в этом случае больше при одном и том же номинальном времени t . Величина чувствительности a отражает относительную скорость (интенсивность) роста плотности инвестиций, включая инфляцию. Расчеты демонстрируют относительное постоянство значения t_0 во времени, например, для Иркутской области $t_0 = 2001,9 \pm 1,4$ лет, $\tau = t - t_0 = 15$ лет (при $t = 2015$ г.). Это позволяет дифференцировать и картографировать регионы по показателю τ , отражающему экономический возраст региона, его уровень экономического развития [34].

Для сопоставления неоднородных данных исследуется зависимость $\ln I$ от реального времени $t_r = t + \tau$ развертывания инвестиционного процесса по регионам. Линейная зависимость $\ln I(t_r)$ (см. рис. 4, б) с корреляцией $R = 0,97$ подтверждает достоверность уравнения (4) и применимость универсального соотношения (1). Уравнение (4) отражает первую фазу (подъема) инвестиционного цикла. Семейство более общих функций [34] моделирует соприкасающиеся кривые развертывания инвестиционных процессов по времени t в разных регионах и на различных этапах экономического роста t_0 . Эти кривые ограничены (огибаются) сверху кривой, отражающей полноту и тенденцию инновационного развития экономики России (см. рис. 4, в). Огибающие функции $F(t)$ соответствуют многообразию связей природных и социально-экономических факторов и условий, влияющих на эти процессы, и в этом смысле характеризуют структуру географической среды их проявления.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Существует несколько методов оптимизации системной полноты, которые могут быть полезны в дальнейших исследованиях. Отметим некоторые, наиболее интересные из них. В методе анализа среды функционирования [35, 36] система описывается показателями входа и выхода, их соотношениями и ограничениями значений. Определяются объекты с максимальными показателями, которые рассматриваются как целевые характеристики для остальных объектов, что позволяет выделить огибающие кривые, соответствующие лучшим по эффективности системам. Метод анализа иерархий [37, 38] — системный подход для принятия решений с выбором наилучшей альтернативы действия с учетом цели, критериев и свойств объектов выбора. Строятся матрицы парных сравнений и рассчитываются приоритеты достижения цели. В концепции критических уровней [39] процессы заполнения пространства показателей представлены последовательностью фаз роста и перестройки, после которой начинается качественно новый цикл развития до достижения предельного состояния и т. д. Выявленные соотношения критических уровней (рубежей) могут применяться для планирования и прогнозирования мероприятий по охране природы и рациональному использованию природных ресурсов [39].

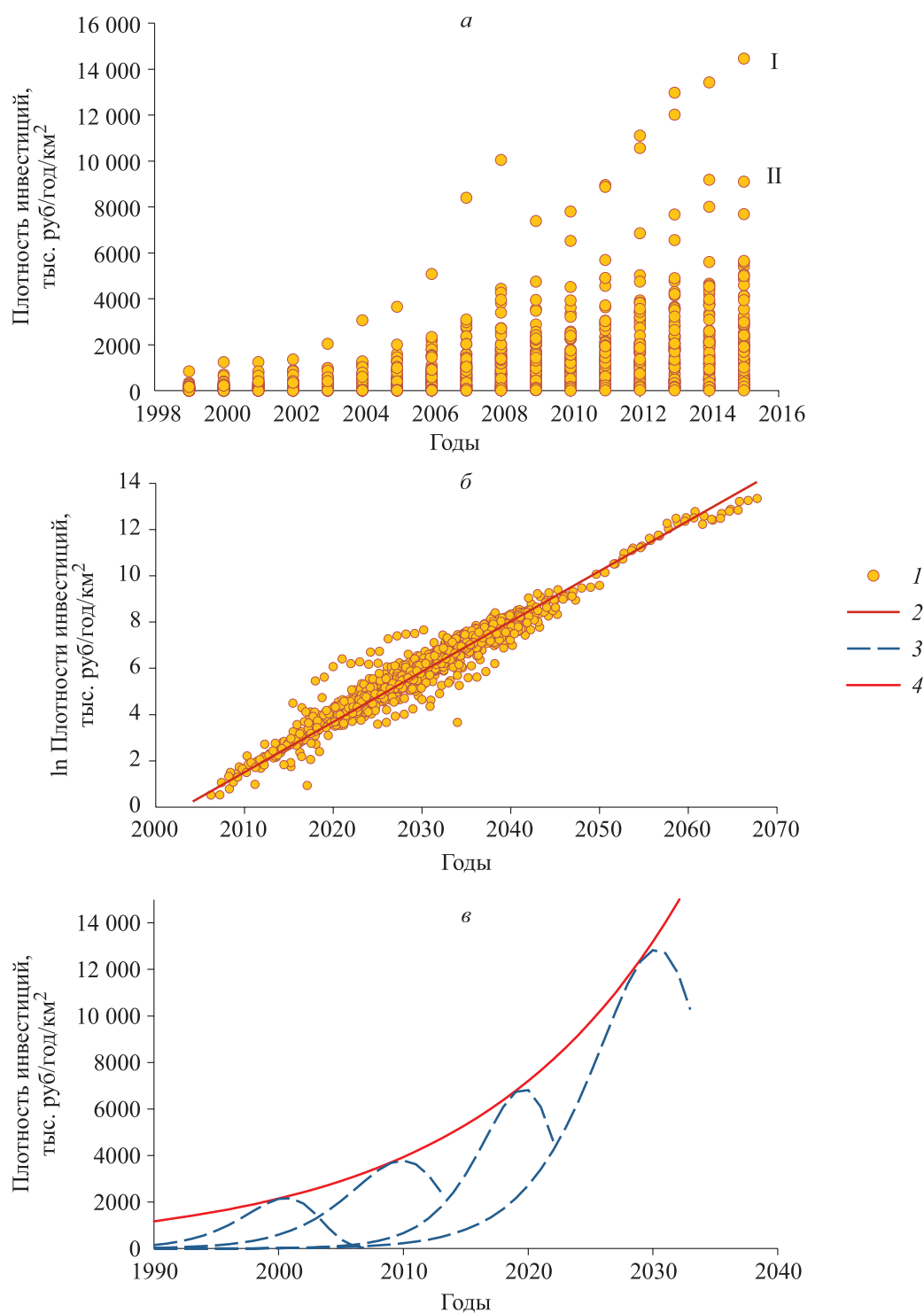


Рис. 4. Изменение плотности инвестиций $I(t)$ (тыс. руб/год/км²) со временем t в разных регионах России (I — Московская область, II — Краснодарский край) (*а*); изменение плотности инвестиций ($\ln I$) в реальном времени t_r (*б*); результаты расчета кривых инвестиционных циклов в показателях плотности инвестиций (*в*).

I — статистические данные; 2 — линейная тенденция; 3 — соприкасающиеся кривые; 4 — огибающая кривая.

Оценка проявления качества полноты в геосистемах устойчивого природопользования связана с задачей объяснения способов прохождения критических рубежей, выраженного в переполнении (преодолении, надстройке) свойств управляемых систем и перестройкой их состава с выходом на новое качество роста и развития посредством пространственных, временных и иных трансграничных переходов. В области природопользования это в основном выражается в переходе от экстенсивного к интенсивному ведению хозяйства. Проблема УР связана с общей задачей изучения механизма эволюции сложных систем по спектру возможных, альтернативных путей изменения. Предполагается, что возможна сквозная теория описания эволюционных изменений в форме самоорганизации и саморегулирования систем посредством механизмов положительной ($a > 0$) и отрицательной ($a < 0$) обратной связи в процессах направленной и циклической динамики [24] (см. формулу (2)).

Такие задачи широко рассматриваются и обсуждаются в рамках тектологии и синергетики, раскрывающих механизмы самоорганизации пространственных систем, т. е. закономерности образования, сохранения и разрушения упорядоченных структур в открытых, неравновесных и нелинейных системах, а также в рамках других направлений науки: теории детерминированного хаоса, исследования фракталов, теории автопоэзиса, теории диссипативных структур, современной теории сложности [40]. В географии в качестве отличительного свойства самоорганизации принимается факт возникновения новой структуры (информации) на основе отбора из множества случайных вариантов [24]. На Земле наиболее значимым звеном в цепи самоорганизации было появление человека и связанное с этим возникновение природопользования [24].

Задача УР состоит в том, чтобы вырваться из круга преобразований (см. рис. 1), перейти путем реорганизации (трансформации) на новый уровень саморегулирования, в частности, включиться в новый цикл природопользования в естественной или искусственной среде. Для этого разрабатываются меры обеспечения комплексного развития хозяйства на новой инфраструктурной базе, имеющих инноваций и доступных инвестиций с эффективным использованием ограниченных ресурсов. Это знаменует переход к постиндустриальному и информационному обществу УР, где особое значение имеет управление экологической ситуацией и рост полноты использования природно-хозяйственной емкости территории.

До настоящего времени нет полной ясности, каким образом в процессе самоорганизации разные географические системы преодолевают критические рубежи и переходят на новый уровень существования. Исследования в направлении моделирования механизма УР в области природопользования продолжаются с учетом важности критериев полноты и безопасности процессов развития для ответа на вопрос, как превратить отдельные недостатки в устойчивые преимущества.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полнота рассматривается как сквозной показатель оптимальности (эффективности) функционирования систем разного рода на минимальном (предпосылка, источник, базис) и максимальном (итоговый результат, потенциал) уровнях их существования и изменения, в частности, устойчивого развития в режиме сохранения природы, роста экономики и совершенствования общества. Полнота — это базовое, опорное понятие в системном анализе УР. Степень полноты — вариант оценочной функции, отличающей геосистемы разных местоположений и переменных состояний по набору взаимозаменяемых влияющих факторов природного, экономического и социального происхождения и особенностей местных условий географической среды. Для характеристики полноты требуется многомерное описание естественных и искусственных компонентов геосистем, взаимосвязь которых передается универсальным уравнением в относительных переменных. Все наблюдаемые процессы отражают целевое стремление к совершенству в форме полноты своего системного выражения, к идеалу существования, приоритетной цели развития, при достижении и преодолении которой только возможно УР. Аналогичные вопросы рассматриваются в рамках современной теории самоорганизации, содержание и выводы которой должны приниматься во внимание при моделировании предпосылок и переходных механизмов реализации УР по критериям полноты и безопасности.

Графически тенденции проявления полноты выделяются как верхние и нижние огибающие линии многообразия связи данных натурных и статистических наблюдений. Огибающие определяют объекты с максимальными и минимальными показателями, которые рассматриваются как базовые и целевые нормы для остальных объектов и управляемого воздействия для повышения эффективности систем. Аддитивные управления смещают ландшафтную норму полноты разных местоположений. При реше-

нии задач территориального управления природопользованием особое внимание уделяется полноте состава и функций управляемых систем и систем управления. Здесь необходимо учитывать ограничения на степень неполноты и переполнения — отклонений от нормативных состояний, допустимых для обеспечения УР.

Предложены модели и методы количественного анализа полноты географических систем для отражения закономерностей изменения и механизма регулирования их состояния. Их применение проиллюстрировано на примере сравнительного анализа пространственных природных и экономических данных, характеризующих полноту и плотность проявления потенциала геосистем разных местоположений в аналоговых показателях собственного времени. Обсуждение полученных результатов указывает на важное место критерия полноты в определении условий устойчивого природопользования и необходимость дальнейших исследований процессов самоорганизации для лучшего понимания механизмов устойчивого развития в целом.

Работа выполнена за счет средств государственного задания Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (AAAA-A21-121012190056-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селезнев Г.Н., Христенко В.Б., Залиханов М.Ч., Львов Д.С., Матросов В.М., Гранберг А.Г., Левашов В.К., Урсул А.Д., Шелехов А.М. Научная основа стратегии устойчивого развития Российской Федерации // Безопасность Евразии. — 2001. — № 4. — С. 497–638.
2. Бакланов П.Я., Ганзей С.С. Трансграничные территории: проблемы устойчивого природопользования. — Владивосток: Дальнаука, 2008. — 216 с.
3. Герасимов И.П. Советская конструктивная география. Задачи, подходы, результаты. — М.: Наука, 1976. — 208 с.
4. Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. — М.: Высшая школа, 1991. — 366 с.
5. Бобылев С.Н., Соловьева С.В. Цели устойчивого развития для будущего России // Мир новой экономики. — 2016. — № 1. — С. 26–33.
6. Мильков Ф.Н., Бережной А.В., Михно В.Б. Терминологический словарь по физической географии. — М.: Высшая школа, 1993. — 288 с.
7. Космачев К.П. Новые подходы к совершенствованию информационной основы процесса освоения // Теория хозяйственного освоения территории. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО АН СССР, 1979. — С. 5–30.
8. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. — Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1978. — 319 с.
9. Батурич В.А., Гурман В.И., Дроздовский Э.Е., Дыхта В.А., Константинов Г.Н., Москаленко А.И., Черкашин А.К. Модели управления природными ресурсами. — М.: Наука, 1981. — 264 с.
10. Альтшуллер Г.С. Творчество как точная наука. — Петрозаводск: Скандинавия, 2004. — 208 с.
11. Колосовский Н.Н. Избранные труды. — Смоленск: Ойкумена, 2006. — 336 с.
12. Тюрников А.Г., Якунин А.С. Оценка социальной эффективности управления регионом по критерию качества жизни населения // Вестн. Воен. ун-та. — 2011. — № 1 (25). — С. 111–117.
13. Черкашин А.К., Лесных С.И., Склинова И.П. Координационное управление природоохранной деятельностью региона: концептуальная модель // Теоретическая и прикладная экономика. — 2019. — № 3. — С. 81–97.
14. Берг Л.С. Предмет и задачи географии // Изв. ИРГО. — 1915. — Т. 51, вып. 9. — С. 463–475.
15. Абалаков А.Д., Новикова Л.С., Марышкин Д.И. Ландшафты научно-учебного полигона «Сарма» на Байкале // Изв. высших учебных заведений. Поволжский регион. — 2017. — № 3 (19). — С. 78–90.
16. Biederman I. Visual object recognition // Visual cognition: An invitation to cognitive science. Vol. 2. — Cambridge, MA: MIT press, 1995. — P. 121–165.
17. Smith L.B. From fragments to geometric shape: Changes in visual object recognition between 18 and 24 months // Current Directions in Psychological Science. — 2009. — Vol. 18 (5). — P. 290–294.
18. Лебедев Ю.В. Формирование научной базы «зеленой» экономики // Изв. Самар. науч. центра РАН. — 2015. — № 5 (2). — С. 495–499.
19. Баранский Н.Н. Экономическая география. Экономическая картография. — М.: Географгиз, 1956. — 368 с.
20. Никитин В.М., Савельев В.А., Бережных Т.В., Абасов Н.В. Гидроэнергетические проблемы озера Байкал: прошлое и настоящее // Регион: экономика и социология. — 2015. — № 3. — С. 273–295.
21. Никитин В.М., Абасов Н.В., Болгов М.В., Осипчук Е.Н. Устойчивость водохозяйственной системы бассейна реки Ангары в различных условиях водности // География и природ. ресурсы. — 2021. — Т. 42, № 2. — С. 103–113.
22. Постановление Правительства РФ от 26.03.2001 № 234 (с изменениями от 16.03.2022) «О предельных значениях уровня воды в озере Байкал при осуществлении хозяйственной и иной деятельности» [Электронный ресурс]. — <https://base.garant.ru/2157975/> (дата обращения 15.12.2018).

23. **Уровень** воды в Байкале упал ниже установленного правительством минимума. — 2015 // Сайт Интерфакс [Электронный ресурс]. — <http://www.interfax.ru/russia/426453> (дата обращения 12.10.2017).
24. **Арманд А.Д.** Самоорганизация и саморегулирование географических систем. — М.: Наука, 1988. — 264 с.
25. **Котляков В.М.** Современность географии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. География. — 2011. — № 6. — С. 4–12.
26. **Пространство** циклов: Мир — Россия — регион / Под ред. В.Л. Бабурина, П.А. Чистякова. — М.: Изд-во ЛКИ, УРСС, 2007. — 320 с.
27. **Черкашин А.К.** Инновационная математика: поиск оснований и ограничений моделирования реальности // Информационные и математические технологии в науке и управлении. — 2019. — № 2 (14). — С. 69–87.
28. **Боссель Х.** Показатели устойчивого развития: теория, методика, практическое использование: отчет, представленный на рассмотрение Балатонской группы. — Тюмень: Изд-во Ин-та проблем освоения Севера СО РАН, 2001. — 122 с.
29. **Черкашин А.К., Склянова И.П.** Количественная оценка демографической реакции на изменения условий жизнедеятельности в моногородах // Регион: экономика и социология. — 2015. — № 4. — С. 179–197.
30. **Северцов А.Н.** Морфологические закономерности эволюции. — М.; Л.: Изд-во АН, 1939. — 610 с.
31. **Мирзаханова З.Г.** Регионы нового освоения: стартовые позиции формирования экологической политики в условиях активизации хозяйственной деятельности // Региональная экономика: теория и практика. — 2016. — № 11. — С. 54–65.
32. **Лесных С.И., Черкашин А.К.** Создание интегральных карт на примере территории муниципального района // География и природ. ресурсы. — 2017. — № 4. — С. 180–188.
33. **Мядзелец А.В., Черкашин А.К.** Количественный анализ инвестиционных процессов в регионах с использованием метода огибающих кривых // Вестн. Кемеров. ун-та. Сер. Полит., социол. и эконом. науки. — 2017. — № 3. — С. 63–69.
34. **Инвестиции** в России // Федеральная служба государственной статистики Российской Федерации (Росстат) / Статистические издания [Электронный ресурс]. — <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13238> (дата обращения 16.08.2019).
35. **Моргунов Е.П., Моргунова О.Н.** Модификация метода «Анализ среды функционирования» на основе использования эталонных границ эффективности // Системы управления и информационные технологии. — 2007. — № 1.2. — С. 262–268.
36. **Kazan H., Baydar M.** Performance measurement with data envelopment analysis in service industry: banking application // Business Management Dynamics. — 2013. — Vol. 3, N 5. — P. 37–50.
37. **Саати Т.** Принятие решений. Метод анализа иерархий. — М.: Радио и связь, 1993. — 278 с.
38. The Analytic Hierarchy Process in Natural Resource and Environmental Decision Making // Managing Forest Ecosystems / Ed. D. Schmoldt, J. Kangas, G.A. Mendoza, M. Pesonen. — 2001. — Vol. 3. — 307 p.
39. **Жирмунский А.В., Кузьмин В.И.** Критические уровни в развитии природных систем. — Л.: Наука, 1990. — 223 с.
40. **Цикин В.А.** Философия самоорганизации сложных систем. — Суми: Сумськ. держав. пед. ун-тет ім. А.С. Макаренка, 2001. — 196 с.

Поступила в редакцию 30.09.2021

После доработки 27.02.2023

Принята к публикации 23.11.2023