

КОНЦЕПЦИЯ СТРУКТУРНОЙ КАРТЫ ГЕОСИСТЕМ

А.В. Хорошев

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии и ландшафтоведения, проф., д-р геогр. наук; e-mail: avkh1970@yandex.ru

Большинство традиционных ландшафтных карт до сих пор ориентированы на отражение закономерных сочетаний геокомпонентов в зависимости от генезиса геосистемы и положения на градиентах экологических условий, но содержат мало информации о характере связей между пространственными элементами геосистем. В статье предлагается новая концепция карт геосистем, которая содержит обоснование путей развития методики, которая отражала бы внутреннюю структуру геосистем как причину и как результат латеральных связей между пространственными элементами. Предлагается концепция структурной карты геосистем. Концепция направлена на усиление системного понимания гетерогенных пространств. Предлагается программа карт, которые могли бы относиться к семейству ландшафтных, но содержали бы объяснение латеральных отношений между пространственными элементами геохоры, результирующей текстуры и способности пространственной структуры к саморазвитию. Геохоры характеризуются в категориях сложности внутреннего устройства, положения на региональных экологических градиентах, набора внутренних экологических градиентов, диапазона значений экологического градиента, набора и напряженности латеральных потоков, текстуры, тенденция изменения сложности строения, наличия резких и постепенных границ и устойчивости их положения. Структурная карта представляет слой ГИС, который надстраивается над слоем традиционной ландшафтной карты, показывающей геосистемы более низкого ранга. Главная цель пользования структурными картами – получение представления о степени мозаичности пространства, возможностях и лимитирующих факторах хозяйственной деятельности, устойчивости свойств компонентов и пространственной структуры. Карты будут показывать условия отбора типов и технологий землепользования, чувствительных к размерам угодий и латеральным влияниям соседних угодий. С точки зрения землепользователя эта информация облегчает оценку надежности угодий в выполнении социально-экономических функций и себестоимости. На примере Архангельской области приводится характеристика структуры геохор. Структурные карты геосистем являются не альтернативой, а дополнением к традиционным ландшафтным картам. В дальнейшем потребуются разработка более строгих регионально-специфичных критериев для идентификации значимых структурных характеристик.

Ключевые слова: геосистема, геохора, структура, градиент, латеральная связь, текстура, сложность, границы геосистем

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.4.5

ВВЕДЕНИЕ

Хотя понятие «геосистема» было введено в ландшафтоведении еще в 1960-х гг. [Сочава, 1963], лишь к началу XXI в. постепенно пришло осознание необходимости обновления перечня задач, встающих перед ландшафтным картографированием, для приведения его практики в соответствие с общей теорией систем. Следуя общим системным представлениям [Ласточкин, 2011], при характеристике гетерогенной геосистемы (т. е. геохоры) необходимо отражать: а) набор пространственных элементов; б) связи между ними и условия их возникновения, т. е. потоки вещества; в) эмерджентное свойство, не присущее элементам по отдельности; г) положение в геосистеме более высокого ранга. Большинство традиционных ландшафтных карт до сих пор ориентировано на отражение закономерных сочетаний геокомпонентов в зависимости от генезиса геосистемы и положения на

градиентах экологических условий. Описание ландшафтной структуры обычно сводится к пространственным пропорциям таксонов, что, строго говоря, характеризует не структуру, а строение. Структура – это совокупность устойчивых связей между элементами [Садовский, 1974], т. е. первые два пункта из перечня критериев системного описания [Ласточкин, 2011]. Тенденция двух последних десятилетий – разработка способов объективизации выделения элементарных единиц с опорой либо на геотопологический детерминизм [Ласточкин, 2011], либо на физическое обоснование полисистемных представлений [Черкашин, 2007; Сысуев, 2020].

В настоящее время ощущается нереализованность в ландшафтном картографировании серии теоретических достижений, которые позволяли бы при размещении видов хозяйственной деятельности и природоохранных мероприятий более полно

учитывать механизмы пространственной дифференциации, аккумулятивные и дальнедействующие эффекты внешних воздействий. К числу связанных с этим нерешенных вопросов относятся:

а) неявное отражение в традиционных легендах ландшафтных карт эмерджентных свойств природно-территориальных комплексов (ранга урочища, местности, ландшафта), возникающих как результат взаимодействия пространственных элементов;

б) противоречие между устоявшимся генетикоморфологическим подходом к идентификации и классификации ландшафтных единиц и осознанием реальной полиструктурной организации ландшафта, эффектов суперпозиции (аддитивных эффектов) разнотипных ландшафтных структур и их эмерджентных (неаддитивных) эффектов;

в) противоречие между декларируемой гетерогенностью природных территориальных комплексов ранга выше фации и стремлением найти для каждого из них единственную доминирующую характеристику каждого компонента;

г) противоречие между традиционным подходом к отражению ландшафтных границ как статичных линейных объектов и реальной высокой встречаемостью постепенных (континуальных) и/или подвижных (во временном масштабе территориального планирования) границ, которые могут отражать реакцию на глобальные изменения, саморазвитие или возможность нескольких равновероятностных устойчивых состояний.

Способы отражения на ландшафтных картах эмерджентных эффектов и даже их выявления пока не разработаны. То же можно сказать об эффектах суперпозиции ландшафтных структур, хотя примеры полиструктурного картографирования существуют [Солнцев и др., 2006; Гродзинский, 2014]. Вопросы адекватного отражения внутренней гетерогенности ландшафтных единиц, разновидностей границ и их динамичности поставлены давно [Видина, 1973; Викторов, Чикишев, 1990], но до сих пор не привлекли достаточного внимания; этот пробел и пытается отчасти восполнить данная статья.

В то же время разработан целый ряд концепций, которые позволяют приблизить ландшафтное картографирование к системному содержанию. Эти концепции частично развивают идеи более ранних этапов ландшафтоведения. Уместно привести цитату из работы А.А. Крауклиса: «...Любая фация существует только в системе пронизывающих ее материальных связей с пространственно-смежными и более удаленными фациями, т. е. в составе определенной геохоры. Ввиду интенсивности эти горизонтальные взаимодействия в элементарных ландшафтных выделах определяют ход и направление смен не в меньшей мере, чем это делают взаи-

модействие компонентов внутри отдельных топов и влияния широкомасштабных фоновых процессов» [Крауклис, 1979, с. 107].

Легенды традиционных ландшафтных карт, составляемых с 1950-х гг., обычно содержат информацию о геолого-геоморфологическом строении, характере увлажнения, почвах, фитоценозах [Видина, 1973]. Легенды ландшафтных карт в наиболее простом и, по мнению автора, устаревающем варианте строились на основании компиляции сведений об их компонентах и их свойствах («форма рельефа ... на ... породах с ... растительностью на ... почвах»). Такая словесная модель оптимальна для характеристики элементарной единицы – фации. Для единиц более высокого ранга часто обходятся либо генерализацией (характеристикой доминирующей единицы), либо сочетанием характеристик компонентов с переходом на более высокий таксономический уровень (подзолистые почвы вместо слабоподзолистых, темнохвойные леса вместо еловых и т. п.). Однако для более высоких рангов геосистем-геохор требуется еще и информация о внутренней неоднородности и ее причинах, в том числе связующих потоках. Стандартный путь для отражения наличия нескольких типов пространственных элементов – использование оборотов типа «с сочетанием А и Б», «с чередованием А и Б», «с А на гребнях и Б в ложинах», «с редкими пятнами А на фоне Б» или просто «с А и Б» (здесь А и Б – символические обозначения разнотипных природных комплексов). Такой способ дает некоторое представление о неоднородности, но не объясняет ее. Более полувека назад рекомендовалось отражать сложность внутренней структуры и характер взаиморасположения элементов [Милкина, 1970; Видина, 1973; Мамай, 1973; Викторов, Чикишев, 1990], но широкого применения эта идея, к сожалению, не получила.

На современном этапе развития ландшафтоведения с учетом требования системного понимания к перспективным направлениям развития карт геосистем относятся следующие [Солодянкина и др., 2021 с дополнениями]:

1. Характеристика сложности внутреннего устройства (мозаичности, гетерогенности) ландшафтов как геосистем, состоящих из набора взаимодействующих элементов.

2. Указание на положение геосистемы на экологических градиентах регионального масштаба и указание соответствующих информативных свойств.

3. Объяснение ключевых внутренних экологических градиентов (увлажнения, трофности, засоленности, освещенности, свойств мерзлоты и т. п.), которые создают мозаичность геосистемы и закономерные соседства пространственных элементов.

4. Отражение диапазона значений экологических факторов, определяющего интенсивность латеральных потоков.

5. Характеристика напряженности латеральных потоков вещества и энергии, связывающих пространственные элементы геохоры.

6. Характеристика текстуры (рисунка) – одновременно результата направленных процессов и рамочного условия для развития процессов – как критерия для прогноза наиболее вероятных трендов в соотношениях пространственных элементов и распространения эффектов нарушений по территории ландшафта.

7. Отражение тенденции изменения сложности строения как критерия скорости естественных трендов саморазвития и, следовательно, устойчивости компонентной и пространственной структуры к внешним нагрузкам.

8. Дифференцированный показ резких и постепенных границ как критерия возможности нескольких устойчивых состояний, неодинаковой инертности компонентов к внешним воздействиям (в том числе антропогенным) или наличия долговременных трендов.

9. Отражение устойчивости пространственного положения границ, возможности их смещения, скорости и направления такого смещения как показателя стабильности пространственной структуры ландшафта и критерия надежности планировочных решений в долговременной перспективе.

Этот перечень явно выходит за рамки сложившейся традиции ландшафтного картографирования, которое исходит из задачи показа закономерных сочетаний свойств компонентов, т. е. радиальной структуры.

Цель данной статьи – разработка концепции специальных карт, которые показывали бы внутреннюю структуру геосистем как причину и как результат латеральных связей между пространственными элементами. Результатом является обоснованный перечень характеристик геохор, раскрывающих их системное содержание. Возможность реализации концепции и практического смысла предлагаемых карт обсуждается на примере таежного ландшафта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Мы исходим из идеи о востребованности нового типа карт, которые могли бы относиться к семейству ландшафтных, но содержали бы объяснение причин внутренней гетерогенности, латеральных отношений между пространственными элементами геохоры, результирующей текстуры и динамичности пространственной структуры. Поскольку связи (а не просто набор элементов) – это и есть структура системы, то такие карты могут быть названы «структурными картами геосистем».

Для обоснования реализуемости концепции использован пример хорошо изученного среднетаежного ландшафта структурно-моренно-эрозионной равнины с сочетанием лесных, болотных, луговых и пахотных урочищ в Устьянском районе на юге Архангельской области в бассейне р. Заячья [Хорошев, 2005]. Геохоры выделялись на основе ландшафтной карты урочищного уровня масштаба 1 : 50 000 [Хорошев, 2005], составленной на основе традиционных методов, разработанных в московской школе ландшафтоведения [Видина, 1973]. Информация о свойствах геокомпонентов в конкретных урочищах, экологических градиентах, степени стабильности границ получена в ходе полевых исследований автора и его сотрудников в 1990–2020-х гг., обеспеченных более чем 1000 комплексными описаниями фаций. Для объяснения концепции выделены три модельные геохоры, отличающиеся по набору и рисунку чередующихся урочищ. Мы исходили из предположения, что набор и рисунок урочищ различается в зависимости от характерного диапазона эдафотопов (т. е. комбинаций гигротопы и трофотопы) и интенсивности латеральных связей между ними. Сущность модельных геохор примерно соответствует трем типам местности, выделяемым воронежской школой ландшафтоведения: террасовой, склоновой и междуречной недренированной.

Для описания структуры геохор используется понятийный аппарат и серия классификаций, которые в разные периоды разработаны в ландшафтоведении и смежных науках: эдафотопов [Погребняк, 1968], геотопов [Ласточкин, 2011], эколого-ценотических групп [Смирнов и др., 2006], ландшафтных рисунков [Викторов, 2006], факторально-динамических рядов [Крауклис, 1979], системообразующих потоков [Сысуев, 2020], ландшафтных границ [Гродзинский, 2014].

Морфометрические характеристики рельефа, необходимые для объяснения и иллюстрирования внутренней неоднородности геохор, рассчитаны в ГИС SAGA 7.4 по цифровой модели с разрешением 10 м на основе топографической карты масштабом 1 : 10 000. Рассчитаны топографический индекс влажности (*TWI*), который отражает градиент влагообеспеченности, и эрозионный индекс (*LS-factor*), который показывает условия интенсивности латеральных потоков, связывающих урочища.

Поскольку поставлена цель многоплановой характеристики геохор, не все из которых могут быть одновременно изображены на карте, чтобы не перегружать ее, для одного из двух вариантов карты в качестве подложки использован космический снимок компании CNES Airbus с портала Google Earth от 25 июня 2020 г. Снимок дает визуальный образ мозаичности и рисунка растительного покрова, ин-

дицирующего экологические градиенты, и адаптацию к ним хозяйственной деятельности.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Предлагаемое содержание структурных карт геосистем-геохор дополняет содержание карт с покомпонентными характеристиками элементов. В геоинформационной терминологии место структурной карты мы видим как слой, который надстраивается над слоем традиционной ландшафтной карты, показывающей геосистемы более низкого ранга. Иначе говоря, характеризуется структура, например, местности, а свойства составляющих ее урочищ описываются в подстилающем слое традиционным образом.

На структурных картах целесообразно отражать следующие характеристики геохор.

Сложность. Геосистема характеризуется в координатах «гомогенность / гетерогенность» с указанием на наличие или отсутствие доминирующих по площади элементов. Гетерогенность (в ландшафтно-экологическом понимании – как синоним мозаичности, не вкладывая генетического смысла) означает внутреннюю сложность, зависящую от количества индивидуальных пространственных элементов, количества и площадного соотношения их видов. Очевидно, что абсолютная гомогенность свойственна только фации, поэтому в данном контексте этот термин употребляется лишь как точка отсчета, не свойственная более крупным единицам. Целесообразно использовать принятое в ландшафтоведении деление природных территориальных комплексов (ПТК) на монодоминантные (с относительно простым внутренним устройством), бидоминантные (с примерно равным участием двух доминантных видов ПТК), полидоминантные (несколько равноправных доминантных видов ПТК) [Видина, 1973]. Одновременно с характеристикой сложности следует назвать главные элементы. Например: 1) бидоминантная местность лесотундровой террасы с урочищами бугров пучения и термокарстовых котловин; 2) монодоминантное урочище степного плато с фациями сурчин на фоне плоской поверхности с разнотравно-типчково-ковыльным сообществом. Сложность пространственной структуры уже довольно давно характеризуется количественными показателями – индексами разнообразия Шеннона, Симпсона, Маргалефа и др. [Пузаченко и др., 2002]. Поэтому можно в основу характеристики сложности положить градации индекса разнообразия, которые, разумеется, разрабатываются применительно к каждому конкретному региону. Как известно, при росте неравномерности распределения площадей, значение индекса разнообразия

убывает. Другой возможный способ характеристики сложности – тип статистического распределения площадей таксонов.

Текстура (пространственный рисунок). Первые классификации рисунков (как способов взаиморасположения фаций) применялись еще в начале 1970-х гг. [Милкина, 1970; Мамай, 1973]: различались, например, мозаичный, пятнистый, полосчатый, кулисный, поясной, древовидный типы расположения урочищ внутри местности. Наиболее подробная иерархическая классификация ландшафтных рисунков разработана А.С. Викторовым [2006]. Он выделил системы однородных, квази-однородных и неоднородных рисунков, в каждой из которых различаются классы диффузных, полосчатых и полигональных. Особенности рисунка определяются составом, формой, ориентировкой, взаиморасположением контуров [Викторов, 2006]. Главный смысл характеристики текстуры геохоры – индикация процесса, формирующего внутренние различия, и конкурентных (либо взаимодополняющих) отношений между элементами. Например, диффузный пятнистый рисунок бидоминантной озерно-аллювиальной равнины в криолитозоне может отражать парадинамические отношения бугров пучения и термокарстовых котловин (мерзлое ядро бугров подпитывается водой из котловин) и их «конкуренцию за пространство», так как термокарст постепенно разрушает урочище бугра, а бугор может «вырасти» в днище котловины.

Положение на региональных экологических градиентах. Указывается характеристика геохоры по отношению к главному экологическому фактору для почвенно-растительного покрова ландшафта (лимитирующему или дифференцирующему). Так, в таежной зоне таковым часто оказывается градиент дренированности. Тогда могут выделяться местности: 1) недренированные; 2) слабодренированные; 3) дренированные. В мерзлотных ландшафтах возможно различие местностей с глубоким (речная долина, песчаная терраса) и неглубоким залеганием мерзлоты (суглинистая терраса).

Внутренние экологические градиенты. Обычно существует пространственное варьирование значений одного ведущего фактора, определяющего обособление пространственных элементов. Например, в местности с неглубоким залеганием мерзлоты таковым окажется мощность сезонно-талого слоя. Тогда можно говорить о «криогенной дифференциации», причем дифференциация относится ко всем геокомпонентам. Если сопряженно с градиентом глубины мерзлоты меняется оглеение почв, мощность торфа, соотношение мезофитов и гигрофитов, то характеристика может быть двойной: «с криогенно-гидрогенной дифференциацией». Если

в качестве фактора дифференциации упоминается рельеф («топо-»), то в зависимости от второй составляющей можно получить представление о доминирующем механизме латеральных связей между пространственными элементами, в данном случае – о потоках воды, переносящих вещество от выпуклых форм к вогнутым. Так, если влажность почв меняется по мере изменения кривизны или уклона рельефа, то дифференциация – топогидрогенная. Фактически речь идет о преобладающих факторально-динамических рядах, классификация которых подробно разработана А.А. Крауклисом [1979]: субгидроморфный, сублитоморфный, субкриоморфный, субстагнозный, субпсамморфный и др. Список Крауклиса может быть расширен применительно к конкретным регионам. Во многих случаях фактором дифференциации может быть различие сукцессионных (серийных) состояний или степени антропогенной нарушенности [Викторов, Чикишев, 1990]. Указание на основной фактор внутренней дифференциации (например, «гидрогенный ряд» у А.А. Видиной [1973]) облегчает описание геохор с постепенными переходами между элементами – например, при постепенном нарастании мощности торфяного горизонта и сопряженных изменениях глубины залегания мерзлоты, видового состава и продуктивности фитоценоза. Отметим, что обычный способ ландшафтного картографирования подразумевает четкие границы, а это означает необходимость волевого решения о критерии состояния или наибольшего градиента некоторого геокомпонента-индикатора. Конкретный набор элементов факторально-динамического ряда может быть указан при характеристике более низкого ранга, например при перечислении фаций, составляющих урочище, причем порядок перечисления в легенде должен соответствовать положению на градиенте. Именно различие основных факторально-динамических рядов отличает одну геохору от другой. Тогда бугристая боровая терраса может характеризоваться топогидрогенной дифференциацией (варьированием влажности в зависимости от положения по отношению к вершине эолового бугра), смежная озерно-аллювиальная равнина с буграми пучения – топо-термокриогенной (варьированием мощности сезонно-талого слоя и влажности сопряженно с формами рельефа), а участок той же равнины с плоскобугристыми торфяниками – криогенной.

Диапазон значений свойств, формирующих экологический градиент. Указываются крайние члены факторально-динамического ряда. Подразумевается, что в абсолютном большинстве случаев присутствуют и промежуточные члены. А.А. Видина [1973] использовала для этой цели подробные таблицы с перечислением возможных вариантов

фаций внутри урочищ. Без громоздких таблиц характеристика в легенде может выглядеть так: при гидрогенном ряде элементов – «в диапазоне от сухих до мокрых гигротопов», «от свежих до сырых гигротопов»; при литогенном – «от сильнокаменистых до слабокаменистых», «от слабокаменистых до некаменистых»; при галогенном – «от незасоленных почв до солонцов», «от солонцов до солончаков»; при криогенном – «в диапазоне мощности сезонно-талого слоя от 20 до 120 см». Поскольку не для всех признаков разработана типология, тем более регионально-специфичная, то допустимо указание количественного диапазона.

Интенсивность латеральных потоков. Латеральные связи осуществляются потоками вещества (водные, воздушно-аэрозольные, биотические, литогенные и др.) и энергии (тепловые). В большинстве случаев, чем напряженнее экологический градиент, тем интенсивнее латеральный поток [Сысуев, 2020]. Под интенсивностью потока понимается количество вещества, проходящего через единицу площади в единицу времени; в данной статье термин употребляется только для обозначения качественных уровней интенсивности. Под напряженностью понимается разность потенциалов величины на единицу расстояния, т. е. градиент, порождающий поток. Так, интенсивность подземного стока воды и растворенных веществ может определяться коэффициентом увлажнения, коэффициентом стока, проницаемостью водоносного пласта, углом падения водоупорных пластов. Например, в боровой местности смена гигротопов в пределах эолового бугра от сухого (вершина) до мокрого (межбугровое понижение) на коротком расстоянии при большом градиенте высот свидетельствует о быстрой фильтрации в песках до водоупорных отложений. При господстве водных (сток воды и наносов) и литогенных (осыпи, лавины, оползни, солифлюкция) потоков их интенсивность зависит от расчлененности рельефа: чем больше перепады высот, тем сильнее латеральная связь. Кроме того, следует различать геохоры с водозастойным, периодически проточным и постоянно проточным режимом: в этом ряду интенсивность латеральных связей возрастает. В других случаях (распространение семян, метелевый перенос, эоловые процессы) интенсивность связей зависит от скорости ветра, которую, в свою очередь, можно ранжировать с учетом соседства форм рельефа. Так, разными величинами интенсивности латеральных аэрогенных связей характеризуются: зона затишья в котловине, выпуклая вершина холма, участок долины в зоне действия стоковых ледниковых ветров, «аэродинамическая труба» в каньоне. Сложнее ранжировать геосистемы по интенсивности биотических связей между их элементами, осуществляемых перемещениями живот-

ных и, соответственно, зоомасс, фитомасс, мортмасс, твердых частиц. Вероятно, в основу может быть положена контрастность свойств необходимых стадий и расстояния между ними, т. е. опять же напряженность градиента. Итак, предлагается включать в название геохоры характеристику интенсивности доминирующих латеральных связей: «с сильными водными и литогенными потоками» (между гребнями и оврагами), «со слабыми водными потоками» (между междуречными болотными и приболотными урочищами), «с сильными аэральными потоками» (между дюнами и котловинами выдувания) и т. п. Энергетические взаимодействия урочищ могут быть отражены через понятие тепловых потоков, обусловленных градиентом температур. Например, при переносе тепла от термокарстовых озер к буграм пучения, вызывающим обрушение их склонов, можно констатировать наличие «сильных тепловых потоков», а при отсутствии обрушения – «слабых потоков».

Тенденция изменения сложности строения. При наличии информации или временного ряда наблюдений может быть указана характеристика развития пространственной структуры геохоры в категориях «стабильная», «усложняющаяся», «упрощающаяся». Основным критерий – наличие признаков сокращения или увеличения количества таксонов. Например, эрозионная местность может оказаться усложняющейся в связи с регулярным появлением новых оврагов или промоин, равнинная лесолуговая местность – упрощающейся вследствие постепенного зарастания луговых урочищ. Как предпосылку изменения сложности строения можно рассматривать изменение контрастности градиентов. Так, в геохоре степного плато можно констатировать тенденцию упрощения фациальной структуры на основании признаков разрушения сурчин и сближения состава их фитоценозов с фоновым.

Резкость границ. В зависимости от господствующего факторально-динамического ряда границы между пространственными элементами могут быть резкими, островными, полосными (синергетичными), размытыми (континуальными) [Викторов, Чикишев, 1990; Гродзинский, 2014]. Например, граница термокарстовой котловины и бугра пучения на озерно-аллювиальной равнине может быть всегда резкой, а между лесными фациями разной степени увлажнения на бугристой террасе – постепенными. Следует принимать во внимание, что резкость границ может оцениваться по-разному в зависимости от масштаба исследования. Кроме того, резкость границ может указывать на тенденцию усложнения или упрощения строения. Так, при отмирании покинутых сурчин фациальные границы из резких превращаются в постепенные.

Устойчивость положения границ. Если пространственная структура геохоры претерпевает постоянные изменения (как правило, при нестабильном рельефе), то для целей эволюционно-динамического или прикладного исследования полезна такая информация, как «с нестабильными / стабильными внутренними границами». Можно выделять агрессивные геосистемы по признаку экспансии. Если очевидна тенденция развития структуры, то ее описание даст информацию о латеральных отношениях элементов: «с ростом оврагов за счет террасы», «с ростом термокарстовых котловин за счет бугров» и т. п.

Представленная концепция структурной карты дает возможность раскрыть закономерности формирования гетерогенности в геосистемах. Картографическое отображение степени гетерогенности предоставляет возможность корректной адаптации землепользования и природоохранных мероприятий к ландшафтной структуре территории.

Приведем примеры реализации предложенной концепции структурных карт геосистем на примере части среднетаежного ландшафта в бассейне р. Заячьей. На рис. 1А показаны границы и текстовые характеристики строения и внутренних латеральных связей трех модельных геохор. Рис. 1Б представляет упрощенную картографическую характеристику внутренней структуры геохор, определяемой двумя главными экологическими градиентами на данной территории – трофности и влажности.

Интерпретация структурной карты для оценки условий хозяйственной деятельности может выглядеть следующим образом. Рассмотрим геохору 2 (см. рис. 1). Ее бидоминантность при нестабильности границ означает ограниченные размеры полевых участков за пределами балок и возможность постепенного сокращения их площади. Древовидный рисунок потребует искривления границ угдий, что повышает себестоимость обработки земли или создает труднообрабатываемые клинообразные выступы приводораздельных поверхностей. Соседство полей с балками благоприятствует латеральному оттоку холодного воздуха в понижения, что снижает риск заморозков. Большое количество балок в пределах зоны избыточного увлажнения улучшает дренированность межбалочных участков склонов. Наиболее пригодные для земледелия свежие гигротопы, очевидно, приурочены к дренированным выпуклым участкам с высокой обеспеченностью элементами минерального питания (см. рис. 1Б; рис. 2А, светлый тон). Напряженность водных потоков на покатых (до 8–10°) выпуклых склонах указывает на риски плоскостной и линейной эрозии в случае распашки (см. рис. 2Б, темно-серый тон), а также на возможность быстрого переноса загрязняющих веществ и наносов по балкам к водоемам.

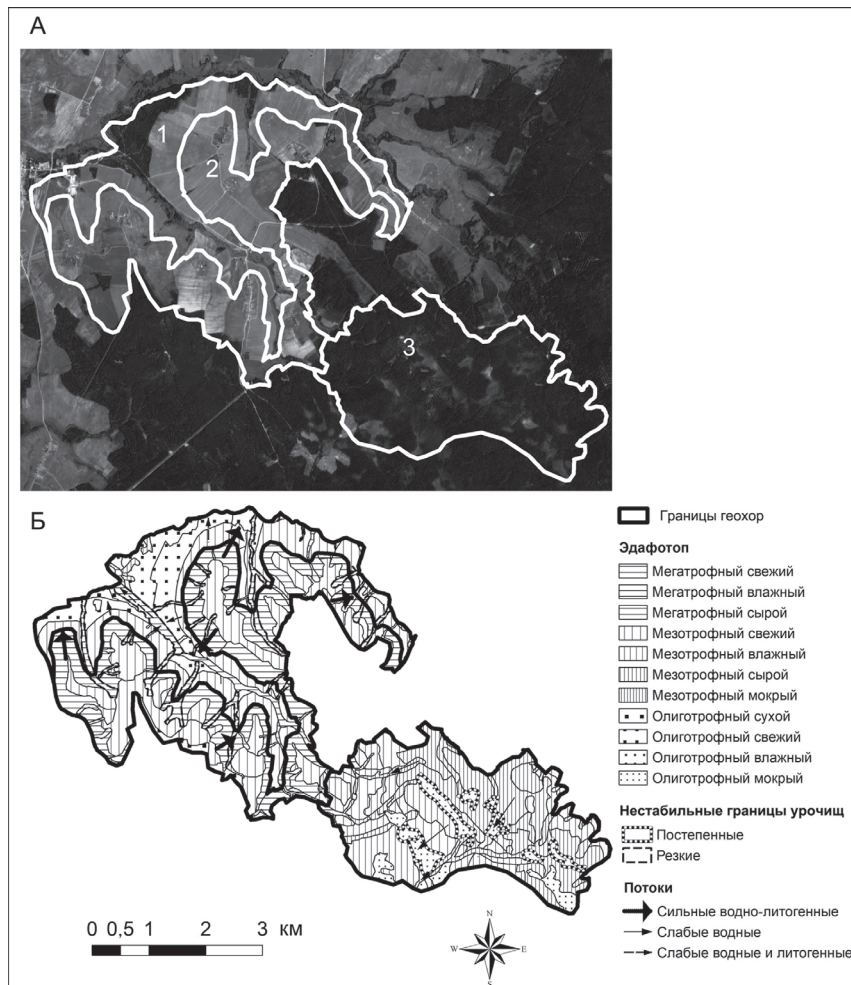


Рис. 1. Варианты структурной карты геосистем в пределах среднетаежного ландшафта структурно-моренно-эрозионной равнины с сочетанием лесных, болотных, луговых и пахотных урочищ на юге Архангельской области:

А – с текстовым описанием структуры. Модельные геохоры: 1 – монодоминантная геохора распаханых террас с субдоминантными остаточными борями и лугово-лесными слабоврезанными ложбинами редкполосчато-массивной текстуры с тополитогенной и топогидрогенной дифференциацией в диапазоне от сухих олиготрофных до сырых мегатрофных эдафотопов, со слабыми литогенными и водными потоками с резкими нестабильными границами, с ростом ложнинных урочищ за счет террасовых; 2 – бидоминантная геохора покатых коренных склонов с распаханными выпуклыми поверхностями и лесо-луговыми балками древовидной текстуры, с тополито-гидрогенной дифференциацией в диапазоне от свежих до сырых мегатрофных эдафотопов, с сильными водными и литогенными потоками, с резкими нестабильными внутренними границами; 3 – бидоминантная геохора ступенчатого междуречья с таежными и болотными урочищами, параллельно-прямолинейно-кластерной текстуры, с прогрессирующей гидрогенной и сукцессионной дифференциацией в диапазоне от свежих до мокрых гигротопов, со слабыми водными потоками, с постепенными нестабильными внутренними границами, с ростом болотных урочищ за счет лесных. (Основа – космический снимок CNES Airbus, дата съемки 25.06.2020, источник – Google Earth); Б – с отображением основных особенностей внутренней структуры модельных геохор через ключевые свойства урочищ, отражающих факторы дифференциации, стабильность границ урочищ, направления и интенсивность латеральных потоков (показаны выборочно). (Основа – ландшафтная карта территории [Хорошев, 2005])

Fig. 1. Options of a structural map of geosystems for the middle taiga landscape of a structural-moraine-erosion plain with a combination of forest, mire, meadow and arable tracts in the south of the Arkhangelsk region: A – with a text description of the structure. Model geochores: 1 – monodominant geochore of plowed terraces with subdominant remnant pine forests and meadow-forest weakly incised hollows of sparsely banded-massive texture, with topo-lithogenic and topo-hydrogenic differentiation ranging from dry oligotrophic to wet megatrophic edaphotopes, with weak lithogenic and water flows, with sharp unstable boundaries, with the growth of hollow tracts at the expense of terrace ones; 2 – bidominant geochore of gentle valley slopes with plowed convex surfaces and forest-meadow flat-bottomed valleys with dendritic texture, with topo-litho-hydrogenic differentiation ranging from fresh to wet megatrophic edaphotopes, with strong water and lithogenic flows, with sharp unstable internal boundaries; 3 – bidominant geochore of a stepped interfluvium with taiga and mire tracts, parallel-rectilinear-cluster texture, with progressing hydrogenic and successional differentiation in the range from fresh to wet hygrotopes, with weak water flows, with gradual unstable internal boundaries, with the growth of swamp tracts at the expense of forest ones. (The basis is a CNES Airbus satellite image, shooting date 06.25.2020, source – Google Earth); Б – displaying the main features of the internal structure of model geochores through the key properties of tracts, reflecting differentiation factors, stability of tract boundaries, directions and intensity of lateral flows (shown selectively). (The basis is a landscape map of the territory [Khoroshev, 2005])

В связи с этим способы землепользования, способствующие закреплению почв (сенокосение, выпас, многолетние насаждения), могут оказаться предпочтительными, либо потребуются дополнительные затраты на мероприятия, предотвращающие эрозию на пашнях и рассеяние загрязнителей. Литогенная дифференциация на мезотрофные и мегатрофные местообитания (см. рис. 1Б), связанная с перегибами рельефа, эффектами эрозии и разной близостью коренных пород, может создавать условия для неоднородности почвенного плодородия в пределах полевых участков (негативный эффект для земледелия) и большого разнообразия местообитаний в пределах балок (позитивный эффект для биоразнообразия). В случае выбора природоохранного землепользования широкий диапазон гигротопов (см. рис. 1Б) при богатстве почв укажет на повышенное биоразнообразие. В случае распашки или строительства на покатых склонах высок риск поступления нежелательных растворенных и твердых веществ в экологически ценные местообитания днищ балок. Сочетание лесных и луговых сообществ в балках с высокой вероятностью свидетельствует о возможности быстрых изменений фациальной структуры за счет зарастания лугов древесной растительностью при условии отсутствия пастбищных или сенокосных нагрузок. Наличие лесных и луговых местообитаний в балках может создавать потоки животных на полевые участки с эффектами для сельского хозяйства: как позитивным (например, регулирование численности грызунов лисицами), так и с негативным (например, выедание урожая кабанами). Луговые и лесные фитоценозы в балках способствуют осаждению и биопоглощению части поллютантов и наночастиц.

Таким образом, упрощая эту информацию для оценки условий землепользования в пределах геоохоры 2, можно констатировать следующее. Сложный рельеф не вполне благоприятен для земледелия и строительства, хотя и создает благоприятные условия дренированности. Водные и механические потоки могут создавать риски деградации почв и загрязнения водоемов. Воздушные потоки снижают риски заморозков для земледелия. Биотические потоки могут оказать как позитивное, так и негативное воздействие на земледелие. Естественный почвенно-растительный покров в балках выполняет функции экологического каркаса.

Два варианта структурной карты (см. рис. 1) представляют два варианта компромисса между полнотой характеристики и наглядностью. В первом случае (см. рис. 1А) дается полная текстовая характеристика, которая может быть рекомендована для мелкомасштабных карт масштаба 1 : 100 000 или мельче, где нет возможности отразить индивидуальные урочища, подурочища и фации. Кос-

моснимок-подложка позволяет увидеть контрасты растительного покрова и его рисунок. Во втором случае (см. рис. 2А) упрощенно показывается реальное внутреннее содержание геоохор с точки зрения экологических градиентов, потоков и характера границ между урочищами. Однако во избежание перегруженности такой крупномасштабной карты приходится жертвовать непосредственным отображением ряда характеристик. Часть их считывается визуально: например, рисунок урочищ. Другая группа может быть вынесена в текстовую легенду. Возможны и другие варианты карты: например, с псевдоформулами, состоящими из буквенно-цифровых обозначений, отнесенных к каждой геоохоре (как часто делается на ландшафтно-геохимических, гидрогеологических, лесных и других картах).

В предлагаемом содержании структурной карты геосистем сделана попытка интегрировать идеи нижеперечисленных концепций и методов, разработанных в последние десятилетия в ландшафтоведении и ландшафтной экологии.

1. Ландшафтно-индикационное картографирование [Викторов, Чикишев, 1990], опирающееся на представление о ландшафтно-генетических рядах, и информативность показателей доминирования, числа элементов, степени контрастности, размеров площадей элементов, их повторяемости и взаиморасположения для характеристики структуры, определения факторов дифференциации и тенденций развития ландшафта.

2. Геосистемное картографирование [Конова, 2010], в котором требуется не только описание генетических связей между пространственными элементами, но и латеральных связей между ними, а также эмерджентных эффектов. Современные варианты анализа ландшафтной структуры представлены в виде количественных показателей разнообразия [Борисова, 2016; Фетисов, 2018], оценки корреляций между количественными показателями структуры [Дорофеев, 2017], количественных мер сходства ландшафтной структуры [Zolotov, Chernykh, 2020].

3. Ландшафтно-интерпретационное картографирование [Ландшафтно-интерпретационное..., 2005; Miklos et al., 2019], предлагающее методы использования ландшафтных карт для создания карт специального тематического содержания, прогнозного моделирования. Данная разработка рассматривается как прототип для развития формализованных алгоритмов адаптации ландшафтной информации к целям территориального планирования.

4. Математическая морфология ландшафта, предлагающая канонические модели общих правил формирования ландшафтных рисунков, их саморазвития, прогноз процессов на основе этих моделей [Викторов, 2006].

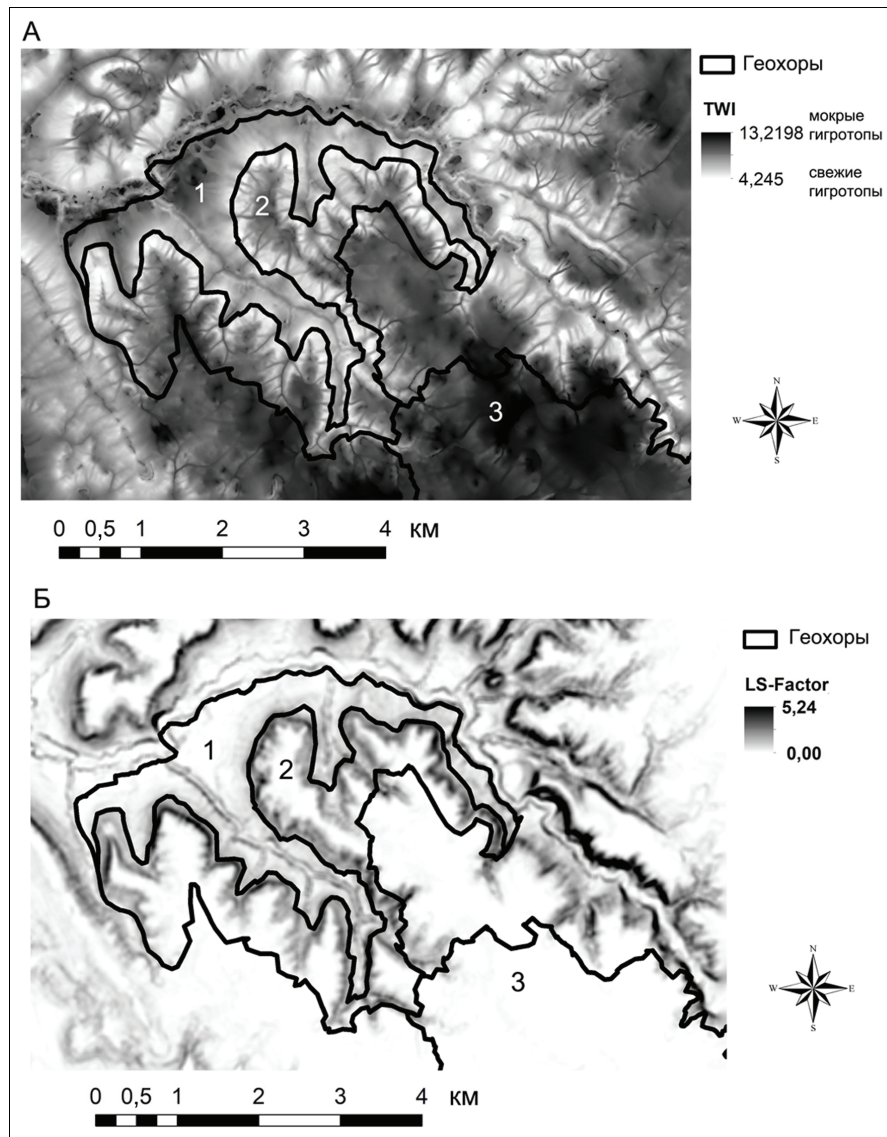


Рис. 2. Топографический индекс влажности TWI (А) и эрозионный индекс LS-Factor (Б) в модельных геохорах: 1, 2, 3 – номера геохор (описание см. рис. 1)

Fig. 2. Topographic wetness index TWI (A) and erosion index LS-Factor (Б) in model geochores; 1, 2, 3 – geochore numbers (for description see Fig. 1)

5. Полиструктурность ландшафта, отраженная в виде серии карт, отображающих разные типы структур на одной и той же территории [Солнцев и др., 2006; Гродзинский, 2014].

6. Ландшафт как корреляционная, а не жестко детерминированная, динамическая система с преобладанием вероятностных связей, с принципиально важной ролью положительных обратных связей в формировании дискретных границ [Пузаченко, 2017; Litaor et al., 2002; Makhdoum, 2008].

7. Ландшафтно-экологическое картографирование, формализованное на основе методов геоморфометрии и классификации многоканальных космических изображений [Сысуев, 2020; Dorner et al., 2002; Hoeschtetter et al., 2008; Хромых, Хромых, 2011; Синюткина, 2017].

8. Ландшафтно-динамический анализ [Исаченко, 2014], основанный на интеграции понятий «местоположение» и «состояние».

Предложенная концепция структурных карт геосистем, относящихся к семейству ландшафтных карт, направлена на усиление системного понимания гетерогенных пространств, в том числе при территориальном планировании. Такие карты будут показывать условия отбора типов и технологий землепользования, чувствительных к размерам угодий и латеральным влияниям соседних угодий. Конечно, содержание структурных карт ориентировано на специалиста-природоведа и для использования в практическом планировании потребует специального «перевода», пример которого приведен выше. С точки зрения экономики природопользования эту

информацию можно интерпретировать через понятия «надежность» (способность территории достаточно долго выполнять социально-экономическую функцию в определенных границах) и «себестоимость». Для этого важно знать: как велики могут быть предельные размеры земельных участков, стабильны ли эти размеры, есть ли негативное или позитивное влияние со стороны соседних участков, возможен ли какой-либо ущерб от предполагаемой деятельности для соседних землепользователей или экологически ценных территорий.

В данной статье предложена лишь общая программа содержания структурных карт геосистем-геохор. Структурные карты являются не альтернативой, а дополнением к традиционным ландшафтным картам, ориентированным на отражение взаимообусловленности геокомпонентов. В дальнейшем потребуются разработка более строгой терминологии и регионально-специфичных критериев для идентификации значимых структурных характеристик. В более отдаленном будущем такие карты должны будут отражать ареалы возникновения тех или иных эмерджентных

эффектов, возникающих в результате взаимодействий пространственных элементов геохор.

ВЫВОДЫ

Структурные карты геосистем-геохор опираются на информацию о наборе факторально-динамических рядов, характере и интенсивности латеральных потоков и обусловленной ими текстуре.

Главный эффект пользования структурными картами – получение представления о степени мозаичности пространства, устойчивости свойств компонентов и пространственной структуры, возможностях и лимитирующих факторах хозяйственной деятельности.

Практическая значимость структурных карт заключается в предоставлении информации для выбора оптимальных угодий с учетом лимитирующих факторов, определения приемлемых пространственных характеристик угодий и оценки возможных латеральных связей со смежными угодьями, в том числе вызывающих негативные экологические эффекты.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках Госзадания географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова № 121051300176-1 «Факторы и процессы пространственно-временной организации природных и антропогенных ландшафтов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Борисова И.Г. Ландшафтное разнообразие Амурской области // География и природные ресурсы. 2016. № 2. С. 125–131.
- Видина А.А. Типологическая классификация морфологических частей ландшафтов на равнинах // Ландшафтный сборник / под ред. Н.А. Солнцева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1973. С. 50–101.
- Викторов А.С. Основные проблемы математической морфологии ландшафта. М.: Наука, 2006. 252 с.
- Викторов С.В., Чикишев А.Г. Ландшафтная индикация и ее практическое применение. М.: Изд-во МГУ, 1990. 200 с.
- Гродзинский М.Д. Ландшафтная экология. Киев: Знання, 2014. 550 с.
- Дорофеев А.А. Количественные характеристики ландшафтов Тверской области // Ландшафтоведение: теория, методы, ландшафтно-экологическое обеспечение природопользования и устойчивого развития: материалы XII Международной ландшафтной конференции. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2017. Т. 1. С. 180–184.
- Исаченко Г.А. Концепция многолетней динамики ландшафтов и вызовы времени // Вопросы географии. Т. 138: Горизонты ландшафтоведения. М.: Кодекс, 2014. С. 215–232.
- Коновалова Т.И. Геосистемное картографирование. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2010. 186 с.
- Крауклис А.А. Проблемы экспериментального ландшафтоведения. Новосибирск: Наука, 1979. 232 с.
- Ландшафтно-интерпретационное картографирование / отв. ред. А.К. Черкашин. Новосибирск: Наука, 2005. 424 с.
- Ласточкин А.Н. Общая теория геосистем. СПб.: Лемма, 2011. 980 с.
- Мамай И.И. О влиянии закономерностей морфологического строения ландшафтов на методику полевых ландшафтных исследований // Ландшафтный сборник / под ред. Н.А. Солнцева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1973. С. 110–116.
- Милкина Л.И. Типы фациальной структуры урочищ в карпатских ландшафтах // Ландшафтный сборник / под ред. Н.А. Солнцева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. С. 189–196.
- Погребняк П.С. Общее лесоводство. М.: Колос, 1968. 440 с.
- Пузаченко Ю.Г. Биогеоценоз как сложная динамическая система // Биогеоценология в XXI веке: идеи и технологии. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2017. С. 11–114.
- Пузаченко Ю.Г., Дьяконов К.Н., Алещенко Г.М. Разнообразие ландшафта и методы его измерения // География и мониторинг биоразнообразия. Экоцентр МГУ, 2002. С. 76–177.
- Садовский В.Н. Основания общей теории систем. М.: Наука, 1974. 279 с.
- Синюткина А.А. Геоморфологические условия как фактор формирования пространственной дифференциации заболоченных территорий (на примере бассейна реки

- Васюган) // *Ландшафтоведение: теория, методы, ландшафтно-экологическое обеспечение природопользования и устойчивого развития. Материалы XII Международной ландшафтной конференции. Тюмень: Изд-во Тюменского гос. ун-та, 2017. Т. 1. С. 114–118.*
- Смирнов В.Э., Ханина Л.Г., Бобровский М.В. Обоснование системы эколого-ценотических групп видов растений лесной зоны Европейской России на основе экологических шкал, геоботанических описаний и статистического анализа // *Бюлл. МОИП, отд. биол.* 2006. Т. 111. Вып. 2. С. 36–47.
- Солнцев В.Н., Рыжков О.В., Трегубов О.В. и др. Использование GPS- и ГИС-технологий для изучения природных комплексов особо охраняемых природных территорий (на примере ландшафтной структуры Воронежского Биосферного заповедника). Тула: Гриф и Ко, 2006. 216 с.
- Солодянкина С.В., Кошкарев А.В., Ганзей К.С. и др. Некоторые итоги и перспективы ландшафтного картографирования России // *География и природные ресурсы.* 2021. Т. 42. № 3. С. 23–36. DOI: 10.15372/GIPR20210303.
- Сочава В.Б. Определение некоторых понятий и терминов физической географии // *Докл. Ин-та геогр. Сибири и Дальнего Востока.* 1963. № 3. С. 50–59.
- Сысуев В.В. Введение в физико-математическую теорию геосистем. М.: ЛЕНАНД, 2020. 600 с.
- Фетисов Д.М. Ландшафтное разнообразие Еврейской автономной области // *Региональные проблемы.* 2018. Т. 21. № 1. С. 46–56.
- Хромых О.В., Хромых В.В. Ландшафтный анализ Нижнего Притомья на основе ГИС: естественная динамика долинных геосистем и их изменения в результате антропогенного воздействия. Томск: Изд-во НТЛ, 2011. 160 с.
- Черкашин А.К. Полисистемное картографирование // *Географические исследования в Сибири. Т. 4: Полисистемное тематическое картографирование.* Новосибирск: Гео, 2007. С. 96–132.
- Dorner B., Lertzman K., Fall J. Landscape pattern in topographically complex landscapes: issues and techniques for analysis, *Landscape Ecology*, vol. 17, 2002, p. 729–743.
- Hoechstetter S., Walz U., Dang L.H., Thinh N.X. Effects of topography and surface roughness in analyses of landscape structure – A proposal to modify the existing set of landscape metrics, *Landscape Online*, 2008, vol. 3, p. 1–14, DOI: 10.3097/LO.200803.
- Litaor M.I., Seastedt T.R., Walker D.A. Spatial analysis of selected soil attributes across an alpine topographic/snow gradient, *Landscape Ecology*, vol. 17, 2002, p. 71–85.
- Makhdoum M.F. Landscape ecology or environmental studies (Land Ecology) (European versus Anglo-Saxon schools of thought), *J. Int. Environmental Application & Science*, vol. 3, 2008, no. 3, p. 147–160.
- Miklos L., Kočická E., Izakovicova Z. et al. *Landscape as a geosystem*, Springer, 2019, 161 p., DOI: 10.1007/978-3-319-94024-3.
- Zolotov D.V., Chernykh D.V. Comparison of landscape and floristic diversity in plain catchments at the level of elementary regions, A.V. Khoroshev, K.N. Dyakonov (eds.), *Landscape patterns in a range of spatio-temporal scales*, Springer Nature Switzerland AG, Cham, 2020, p. 191–206.
- Электронный ресурс*
Хорошев А.В. Ландшафтная структура бассейна р. Заячь (Важско-Северодвинское междуречье, Архангельская область). М., 2005. Деп. ВИНТИ 27.09.2005 № 1253-B2005. 158 с. URL: <https://istina.msu.ru/publications/book/7864329/> (дата обращения 19.06.2023).

Поступила в редакцию 19.10.2023

После доработки 14.02.2024

Принята к публикации 24.04.2024

THE CONCEPT OF A STRUCTURAL MAP OF GEOSYSTEMS

A.V. Khoroshev

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Physical Geography and Landscape Science, Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: avkh1970@yandex.ru

Most traditional landscape maps are still focused on reflecting regular combinations of geocomponents depending on the genesis of the geosystem and the position on the gradients of environmental conditions. But they contain little information about the nature of relationships between the spatial elements of geosystems. The article proposes a new concept of geosystem maps, which substantiate the development of methods for reflecting the internal structure of geosystems as both a cause and a result of lateral connections between spatial elements. Thus a concept of a structural map of geosystems is suggested. The concept is aimed at strengthening the systemic understanding of heterogeneous spaces. We propose a program of maps belonging to the landscape family, but providing an explanation of the lateral relationships between the spatial elements of a geochore, the resulting texture and the ability of a spatial structure to self-develop. The geochores are characterized in terms of the complexity of internal structure, the position on regional ecological gradients, the set of internal ecological gradients, the range of the ecological gradient values, the types and intensity of lateral flows, the texture, the tendency of changes in the complexity of the structure, the presence of sharp and gradual boundaries, and the stability of their position. A structural map is a GIS layer that is built over a traditional landscape

map layer showing lower-ranking geosystems. The main purpose of using structural maps is to get an idea of the degree of space mosaic, the possibilities and limiting factors of economic activity, as well as the stability of the properties of components and the spatial structure. The maps will show the conditions for choosing the land use types and technologies that are sensitive to the size of land parcel and lateral influences of neighboring lands. From the viewpoint of a land user, this information facilitates the assessment of the reliability of land in the performance of socio-economic functions and cost. We use a case study in the Arkhangelsk region to characterize the geochore structure. Structural map of a geosystem is not an alternative, but an addition to traditional landscape maps. In the future, more explicit regional-specific criteria will be needed to identify significant structural characteristics.

Keywords: geosystem, geochore, structure, gradient, lateral connection, texture, complexity, geosystem boundaries

Acknowledgments. The study was carried out under the State task of the MSU Faculty of Geography 121051300176-1 Factors and processes of the spatio-temporal organization of natural and anthropogenic landscapes.

REFERENCES

- Borisova I.G. Landshaftnoe raznoobrazie Amurskoj oblasti [Landscape diversity of the Amur region], *Geografija i prirodnye resursy*, 2016, no. 2, p. 125–131. (In Russian)
- Cherkashin A.K. [Polysystem mapping], *Geograficheskie issledovaniya v Sibiri*, vol. 4, Polissistemnoe tematicheskoe kartografirovanie [Geographical research in Siberia, vol. 4, Polysystem thematic mapping], Novosibirsk, Geo Publ., 2007, p. 96–132. (In Russian)
- Dorner B., Lertzman K., Fall J. Landscape pattern in topographically complex landscapes: issues and techniques for analysis, *Landscape Ecology*, vol. 17, 2002, p. 729–743.
- Dorofeev A.A. [Quantitative characteristics of the landscapes of the Tver region], *Landshaftovedenie: teorija, metody, landshaftno-jekologicheskoe obespechenie prirodopol'zovaniya i ustojchivogo razvitiya: materialy XII Mezhdunarodnoj landshaftnoj konferencii* [Landscape science: theory, methods, landscape-ecological support of nature management and sustainable development: materials of the XII International Landscape Conference], Tjumen', Tjumen University Publ., 2017, vol. 1, p. 180–184. (In Russian)
- Fetisov D.M. Landshaftnoe raznoobrazie Evrejskoj avtonomnoj oblasti [Landscape diversity of the Jewish Autonomous Region], *Regional'nye problemy*, 2018, vol. 21, no. 1, p. 46–56. (In Russian)
- Grodzinskiy M.D. *Landshaftna ekologija* [Landscape ecology], Kyiv, Znannya Publ., 2014, 550 p. (In Ukrainian)
- Hoechstetter S., Walz U., Dang L.H., Thinh N.X. Effects of topography and surface roughness in analyses of landscape structure – A proposal to modify the existing set of landscape metrics, *Landscape Online*, vol. 3, 2008, p. 1–14, DOI: 10.3097/LO.200803.
- Isachenko G.A. [The concept of long-term dynamics of landscapes and the challenges of time], *Voprosy geografii*, t. 138, *Gorizonty landshaftovedeniya* [Issues in geography, vol. 138, Horizons of landscape science], Moscow, Kodeks Publ., 2014, p. 215–232. (In Russian)
- Khromykh O.V., Hromykh V.V. *Landshaftnyj analiz Nizhnego Pritom'ja na osnove GIS: estestvennaja dinamika dolinyh geosistem i ih izmeneniya v rezul'tate antropogennogo vozdejstviya* [Landscape analysis of the Lower Tom region based on GIS: natural dynamics of valley geosystems and their changes as a result of anthropogenic impact], Tomsk, Tomsk University Publ., 2011, 160 p. (In Russian)
- Kononova T.I. *Geosistemnoe kartografirovanie* [Geosystem mapping], Novosibirsk, Geo Publ., 2010, 186 p. (In Russian)
- Krauklis A.A. *Problemy jeksperimental'nogo landshaftovedeniya* [Problems of experimental landscape science], Novosibirsk, Nauka Publ., 1979, 232 p. (In Russian)
- Landshaftno-interpretacionnoe kartografirovanie* [Landscape interpretation mapping], A.K. Cherkashin (ed.), Novosibirsk, Nauka Publ., 2005, 424 p. (In Russian)
- Lastochkin A.N. *Obshhaja teorija geosistem* [General theory of geosystems], Sankt-Peterburg, Lemma Publ., 2011, 980 p. (In Russian)
- Litaor M.I., Seastedt T.R., Walker D.A. Spatial analysis of selected soil attributes across an alpine topographic/snow gradient, *Landscape Ecology*, vol. 17, 2002, p. 71–85.
- Makhdom M.F. Landscape ecology or environmental studies (Land Ecology) (European versus Anglo-Saxon schools of thought), *J. Int. Environmental Application & Science*, vol. 3, 2008, no. 3, p. 147–160.
- Mamaj I.I. [On the influence of the regularities of the morphological structure of landscapes on the methodology of field landscape research], *Landshaftnyj sbornik* [Landscape collection], N.A. Solntsev (ed.), Moscow, Moscow University Publ., 1973, p. 110–116. (In Russian)
- Miklos L., Kočická E., Izakovicova Z. et al. *Landscape as a geosystem*, Springer, 2019, 161 p., DOI:10.1007/978-3-319-94024-3.
- Milkina L.I. [Facies structure types of tracts in the Carpathian landscapes], *Landshaftnyj sbornik* [Landscape collection], N.A. Solncev (ed.), Moscow, Moscow University Publ., 1973, p. 189–196. (In Russian)
- Pogrebnjak P.S. *Obshhee lesovodstvo* [General forestry], Moscow, Kolos Publ., 1968, 440 p. (In Russian)
- Puzachenko Ju.G. [Biogeocenosis as a complex dynamic system], *Biogeocenologija v XXI veke: idei i tehnologii* [Biogeocenology in the 21st century: ideas and technologies], Moscow, KMK Publ., 2017, p. 11–114. (In Russian)
- Puzachenko Ju.G., D'jakonov K.N., Aleshchenko G.M. [Landscape diversity and how to measure it], *Geografija i monitoring bioraznoobrazija* [Geography and biodiversity monitoring], Moscow, Jekocentr MGU Publ., 2002, p. 76–177. (In Russian)
- Sadovskij V.N. *Osnovaniya obshhej teorii sistem* [Foundations of general systems theory], Moscow, Nauka Publ., 1974, 279 p. (In Russian)

- Sinjutkina A.A. [Geomorphologic conditions as a factor of spatial differentiation of wetlands (case study of the Vasyugan River basin)], *Landshaftovedenie: teorija, metody, landshaftno-jekologicheskoe obespechenie prirodnopol'zovanija i ustojchivogo razvitija*, Materialy XII Mezhdunarodnoj landshaftnoj konferencii [Landscape science: theory, methods, landscape-ecological support of nature management and sustainable development, materials of the XII International Landscape Conference], Tjumen', Tjumen University Publ., 2017, vol. 1, p. 114–118. (In Russian)
- Smirnov V.Je., Hanina L.G., Bobrovskij M.V. Obosnovanie sistemy jekologo-cenoticheskikh grupp vidov rastenij lesnoj zony Evropejskoj Rossii na osnove jekologicheskikh shkal, geobotanicheskikh opisaniy i statisticheskogo analiza [Justification of the system of ecological-coenotic groups of plant species in the forest zone of European Russia on the basis of ecological scales, geobotanic descriptions and statistical analysis], *Bjull. MOIP, otd. biol.*, vol. 111, no. 2, 2006, p. 36–47. (In Russian)
- Sochava V.B. Opredelenie nekotoryh ponjatij i terminov fizicheskoj geografii [Definition of some concepts and terms of physical geography], *Dokl. In-ta geogr. Sibiri i Dal'nego Vostoka* [Report Institute of Geography Siberia and the Far East], 1963, no. 3, p. 50–59. (In Russian)
- Solntsev V.N., Ryzhkov O.V., Tregubov O.V. et al. *Ispol'zovanie GPS i GIS tehnologij dlja izuchenija prirodnyh kompleksov osobo ohranjaemyh prirodnyh teritorij (na primere landshaftnoj struktury Voronezhskogo Biosfernogo zapovednika)* [Using GPS and GIS technologies to study natural complexes of specially protected natural areas (case study of the landscape structure of the Voronezh Biosphere Reserve)], Tula, Grif i Ko Publ., 2006, 216 p. (In Russian)
- Solodyankina S.V., Koshkarev A.V., Ganzei K.S. et al. Some results and prospects of landscape mapping of Russia, *Geography and Natural Resources*, 2021, vol. 42, no. 3, p. 211–224, DOI: 10.1134/S1875372821030112.
- Sysuev V.V. *Vvedenie v fiziko-matematicheskiju teoriju geosystem* [Introduction to the physical and mathematical theory of geosystems], Moscow, LENAND Publ., 2020, 600 p. (In Russian)
- Vidina A.A. [Typological classification of morphological parts of landscapes on the plains], *Landshaftnyj sbornik* [Landscape collection], N.A. Solntsev (ed.), Moscow, Moscow University Publ., 1973, p. 50–101. (In Russian)
- Viktorov A.S. *Osnovnye problemy matematicheskoy morfologii landshafta* [Main problems of mathematical landscape morphology], Moscow, Nauka Publ., 2006, 252 p. (In Russian)
- Viktorov S.V., Chikishev A.G. *Landshaftnaya indikatsiya i ee prakticheskoe primenenie* [Landscape indication and its application in practice], Moscow, MSU Publ., 1990, 200 p. (In Russian)
- Zolotov D.V., Chernykh D.V. Comparison of landscape and floristic diversity in plain catchments at the level of elementary regions. *Landscape patterns in a range of spatio-temporal scales*, A.V. Khoroshev, K.N. Dyakonov (eds.), Cham, Springer Nature Switzerland AG, 2020, p. 191–206.
- Web source*
Khoroshev A.V. *Landshaftnaja struktura bassejna r.Zajach'ja (Vazhsko-Severodvinskoe mezhdurech'e, Arhangel'skaja oblast')* [Landscape structure of the Zayachya River basin (Vazhsko-Severodvinsk interfluvium, Arkhangelsk region)], Moscow, VINITI 27.09.2005 no. 1253-V2005, 2005, 158 p., URL: <https://istina.msu.ru/publications/book/7864329/>. (In Russian)

Received 19.10.2023

Revised 14.02.2024

Accepted 24.04.2024