

PERSPECTIVAS PARA OS ESTUDOS DA ESTRUTURA DA PAISAGEM NO BRASIL

Lucas Costa de Souza Cavalcanti¹

¹Departamento de Ciências Geográficas, Universidade Federal de Pernambuco, e-mail: lucascavalcanti3@gmail.com

Nota de Tradução

Este trabalho apresenta uma tradução do texto “Tendências recentes no estudo estrutural da paisagem” publicado por Alexander V. Khoroshev, originalmente como *Хорошев, А.В. Современные Направления Структурного Ландшафтоведения. Известия Рин. Серия Географическая, 2016, № 3, с. 7–15*. Tendo sido traduzido com permissão do autor.

O que motivou a tradução foi a relevância e atualidade da discussão sobre a paisagem e os geossistemas, que é cara à Geografia brasileira. Um dos grandes desafios para o desenvolvimento de uma Geografia Física Integrada no Brasil, reside justamente em fazer dialogar as diferentes áreas do estudo da paisagem: estrutura, funcionamento, evolução e aplicações.

Especificamente sobre a compreensão da *estrutura das paisagens*, um desafio que se coloca é a necessidade de se discutir os modelos estruturais e os princípios de sua concepção. No Brasil, a cartografia de paisagens, na maioria das vezes se restringe ao desenvolvimento de produtos para o planejamento, sendo comum constituir simples agrupamento temático do meio ambiente, como destaca Sales (2004), finalizados com uma breve avaliação do potencial e limitações das unidades mapeadas.

Discussões enriquecedoras sobre os modelos teóricos utilizados são secundarizadas ou esquecidas, muitas vezes resumidas em “*utilizou-se a perspectiva sistêmica*”. Os critérios para delimitação das unidades, sua fundamentação e relevância, geralmente adotam uma perspectiva determinista.

Legase ao relevo/geomorfologia um papel preponderante, finalista, de modo que muitos mapas apresentados como sendo de *geossistemas/unidades geoambientais/unidades de paisagem* são, na verdade, mapas geomorfológicos, estando os outros componentes ambientais suprimidos, muitas vezes até da legenda.

Outras possibilidades teóricas e metodológicas também são pouco trabalhadas, como a aplicação de estatística multivariada para conhecimento da estrutura da paisagem, considerações sobre a escala e organização hierárquica, e outros elementos essenciais para a definição de um sistema, como a questão das propriedades emergentes.

É preciso avançar na discussão sobre os geossistemas para além dos textos antigos de Bertrand e Sochava. Estas motivações encontraram firme fundamento na leitura do texto que será apresentado a seguir. Trata-se de uma revisão, em que o autor apresenta seis problemas contemporâneos do estudo da estrutura da paisagem e cujo conhecimento é profundamente enriquecedor para as discussões sobre o tema.

Antes de iniciar, apresentamos alguns conceitos fundamentais para compreender o texto de modo mais amplo. O primeiro destes compreende a ideia de *morfologia da paisagem*. Na superfície terrestre, grande parte dos conjuntos naturais de larga escala podem ser explicados por fatores climáticos, tectônicos e/ou geoestruturais. Todavia, localmente, outros fatores passam a ser mais efetivos na explicação das diferenças encontradas no terreno.

Estes fatores incluem a erosão, a redistribuição na água ao longo do relevo, a profundidade do nível freático, a atuação de animais (bioengenharia), a sucessão ecológica, a pedogênese e perturbações (fogo, desmatamento, sobrepastoreio, etc.). Na geografia russo-soviética, as diferenças locais internas de uma paisagem, geradas por estes fatores, constituem sua *morfologia*.

Por exemplo, uma planície aluvial, pode conter elementos internos (canal principal, ilhas fluviais, níveis de terraços, meandros abandonados, tributários *yazoo*, várzeas, áreas de terra seca, etc.). Estes elementos constituem a *morfologia da paisagem*. Este tipo de diferenciação do terreno, além de morfológica, também é genética, na medida em que abrange a origem erosiva ou deposicional das unidades.

Coube a Nikolai A. Solnetsev, na década de 1940, estudar extensivamente a estrutura *genético-morfológica* de um modo que se tornou consagrado na Ciência da paisagem na Rússia e países formadores da União Soviética. A estrutura genético-morfológica possui três unidades principais (fácies, trato e paisagem) e duas intermediárias (subtrato e localidade) (Cf. CAVALCANTI; CORRÊA; ARAÚJO FILHO, 2010; CAVALCANTI; CORRÊA, 2016).

Fácies: é a menor unidade da paisagem. Distingue-se por apresentar um único litotipo associado a um segmento de relevo (ex.: sopé coluvial), abrangendo os conceitos de pédon e de biogeocenose. Mudanças e rupturas de declive (ao longo de uma encosta, por exemplo) são também utilizadas para diferenciar fácies.

Tratos (urochisches): consiste numa associação de fácies definida por uma mesoforma de relevo seja côncava (vale) ou convexa (inselberg). Muitas vezes, é possível diferenciar grupos de fácies distintos no interior de um trato. No exemplo clássico, um vale constitui um *trato*, cada uma das encostas constitui um *subtrato (podurochisches)* e os segmentos de cada encosta constituem *fácies*.

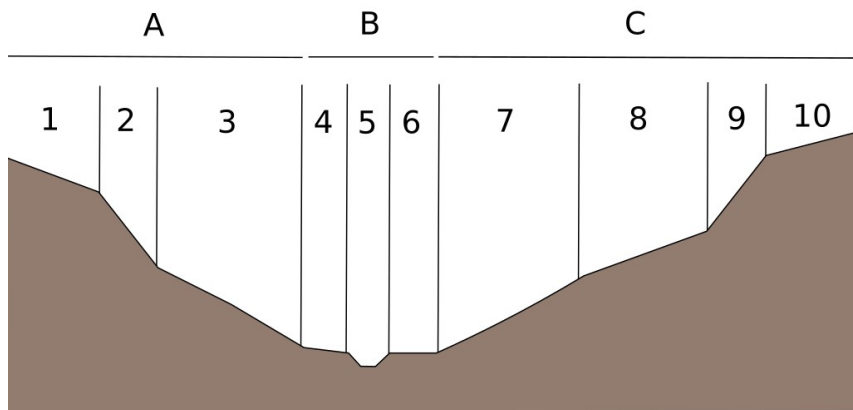


Figura 1. Trato em mesoforma de relevo côncava (vale fluvial). Subtratos: A-C; Fâcies: 1-10.

Paisagem (*landschaft*): unidade formada por uma unidade morfoestrutural com mesmo clima e uma combinação recorrente de tratos. Muitas vezes, uma paisagem pode ser subdividida em duas ou mais *localidades* (*mestnosts*) distintas, cada uma com uma combinação de tratos específica. Por exemplo, numa determinada paisagem, encontra-se uma *localidade* com recorrência de vales úmidos surge pela presença de uma camada argilosa em subsuperfície que funciona como aquífero e outra *localidade* sem a presença dessa camada, resultando num conjunto de vales secos.

A estrutura genético-morfológica é por vezes referida como *estrutura horizontal ou espacial* em contraste com uma *estrutura vertical*. Esta última responde pela composição (relevo, solo, vegetação, águas, etc.) e relações entre os componentes da paisagem, geralmente estando associada ao conceito de fâcies.

No Brasil, Christofolletti (1999), em sua caracterização do sistema ambiental, associa os fluxos verticais e horizontais na paisagem aos termos “ecossistema” e “geossistema”, respectivamente, afirmando que:

As combinações de massa e energia, no amplo controle energético ambiental, podem criar heterogeneidade interna no geossistema, expressando-se em mosaico paisagístico. Ao lado dos fluxos verticais de matéria e energia, em função dos diversos horizontes estruturais dos ecossistemas, há os fluxos na dimensão horizontal conectando as diversas combinações paisagísticas internas do geossistema (CHRISTOFOLETTI, 1999, p.42).

A validade informativa da *estrutura genético-morfológica* passa a ser questionada na medida em que outros modos estruturais foram reconhecidos na paisagem: o arranjo mancha-matriz-corredor (*estrutura biocêntrica*) e suas especificidades como a relação borda-interior; sistemas em cascata (*estrutura dinâmico-posicional*) que conectam fluxos de água, sedimentos e nutrientes; sistemas adjacentes formados a partir de um núcleo comum (geossistemas nucleares), conectados por fluxos horizontais de matéria e energia (*estrutura paragenética*) e; as bacias hidrográficas (*estrutura em bacias*) que organizam e retroalimentam o transporte de substâncias dentro de uma área comum.

Esta diversidade estrutural da paisagem levou ao desenvolvimento do conceito de poliestrutura ou multiestrutura, fomentando discussões acerca da compreensão dos geossistemas na perspectiva da interação entre seus diferentes modos estruturais. Além disso, as estruturas e processos que surgem destas interações revelam *propriedades emergentes* da paisagem.

Estruturas e processos podem se formar em decorrência de eventos operando em escalas distintas, permitindo diferentes graus de *integridade estrutural* e *estabilidade* dos geossistemas e o reconhecimento de limites difusos e núcleos de tipicidade (como as áreas *core* e faixas de transição *de Ab'saber*).

Em termos metodológicos, o estudo da estrutura dos geossistemas deixa de se apoiar em modelos taxonômicos prontos para investigar a organização das paisagens. Isto requer um aporte estatístico mais amplo para testar hipóteses sobre a formação de estruturas integrais, investigar propriedades das transições e propor soluções mais robustas para o planejamento de uso da terra.

TENDÊNCIAS RECENTES NO ESTUDO ESTRUTURAL DA PAISAGEM

Alexander V. Khoroshev²

²Faculdade de Geografia, Universidade Estatal de Moscou, Rússia. e-mail: avkh1970@yandex.ru

Resumo

É apresentada uma revisão dos problemas mais relevantes referentes à estrutura da paisagem no âmbito dos estudos produzidos em línguas russa e inglesa. No presente, a ideia de poliestrutura/multiestrutura da paisagem tem prevalecido. O arcabouço metodológico disponível permitiu reconhecer diferentes tipos de estrutura da paisagem, identificando a origem e espinha dorsal dos fluxos de matéria e energia por meio de seus atributos. O interesse metodológico está mudando rumo ao desvelamento dos atributos de continuidade da paisagem, incluindo o uso de mapeamento probabilístico. Uma variedade de abordagens para a descrição da poliestrutura tem contribuído para otimização das atividades econômicas tendo em conta a multifuncionalidade da paisagem. Torna-se relevante o desenvolvimento de soluções de planejamento que considerem a preservação de propriedades emergentes, que surgem pelo efeito cumulativo dos elementos que compõem a estrutura espacial dos geossistemas. Os problemas mais urgentes são destacados: mecanismos e condições para a interação e sobreposição de diferentes tipos de estruturas; a avaliação quantitativa dos graus de discretização/continuidade dos limites dos geossistemas; os critérios para caracterização das propriedades emergentes dos geossistemas; a consideração acerca da multiplicidade de estados estáveis da paisagem na tomada de decisões sobre o uso da terra.

Palavras-chave: Estudo da paisagem, paisagem, estrutura, poliestrutura, limites, propriedades emergentes, planejamento da paisagem.

MODERN TRENDS IN STRUCTURAL LANDSCAPE STUDY

Abstract

An overview of the most relevant problems solved under study of the landscape structure within the Russian and English landscape studies is presents. At present, the idea of polystructure of landscape is prevailed. The extension of the range of methods allows recognizing different types of landscape structure and identifying the genesis and backbone of the flows of matter and energy through their features. The interest of methodological studies is shifting towards ways showing the continual features of the landscape, including the use of probabilistic mapping. A variety of approaches to the description of the polystructure contributes to the improvement of adaptation of economic activity to landscape structure taking into account the multifunctionality of the landscape. The development of planning solutions taking into account the preservation of emergent properties arising from the cumulative effects of the elements of the spatial structure of geosystem is relevant. The most pressing problems are highlighted: mechanisms and conditions for the interaction or overlap of different types structures; a quantitative assessment of the degree of discreteness/continuity of borders of geosystems; the criteria of emergent properties of geosystems; accounting the multiplicity of steady states of the landscape when making planning decisions.

Keywords: landscape study, landscape, structure, polystructure, borders, emergent properties, landscape planning.

Introdução

Kiril N. Dyakonov (2008) destaca quatro enfoques da moderna Ciência da Paisagem: estrutural-genético, funcional-dinâmico, evolutivo e o enfoque aplicado. O limite entre os dois primeiros enfoques não deveria ser considerado tão rigoroso devido à estreita conexão entre os principais conceitos envolvidos.

As principais conquistas e realizações da Geografia no século 20 embasaram a formulação de que as relações entre fluxos de matéria e energia e suas manifestações espaciais, isto é, entre *estrutura, processos e estágio evolutivo* poderiam formar o cerne de um novo tipo de síntese em Geografia (HARVEY, 1974). Esta ideia aplica-se totalmente à Ciência da Paisagem contemporânea. As relações entre “estrutura e processo” são o assunto principal da Ecologia de Paisagens das línguas inglesa e alemã (KRONERT, STEINHARDT, VOLK, 2001; FORMAN, 2006).

O objetivo deste artigo é dar uma visão geral da gama de problemas mais prementes relacionados ao estudo da estrutura da paisagem, além de sugerir abordagens para a sua solução. O trabalho foi construído a partir de uma análise de publicações principalmente das últimas duas décadas. Este período distinguiu-se por um aumento acentuado na diversidade de tecnologias de análise de dados, o que deu impulso para o desenvolvimento de métodos quantitativos para estudar a estrutura da paisagem.

Em termos filosóficos, uma *estrutura* é composta pela totalidade dos elementos que constituem um sistema, bem como as relações entre esses elementos (FROLOVA, 1991). Costuma-se distinguir entre a *estrutura vertical e horizontal da paisagem*, mas esses conceitos possuem diferentes significados entre as distintas escolas de estudo da paisagem.

Na Ciência da Paisagem russa (*landschafstovedenie*), a “estrutura horizontal” é geralmente identificada com a “estrutura morfológica da paisagem” (NIKOLAEV, 2006; SOLNTSEV, 1948). A estrutura vertical da paisagem refere-se à composição e relações dos componentes. Em um sentido similar, o pesquisador holandês I. Zonneveld (1995) distingue entre heterogeneidade vertical e horizontal das paisagens.

Na escola alemã, o termo “estrutura vertical” também se aplica ao conjunto e às relações dos componentes da paisagem (BASTIAN, STEINHARDT, 2002). Relativo à *estrutura espacial* é feita uma distinção entre estrutura primária (relacionada com fatores naturais, gênese e história uso da terra) e estrutura secundária (referindo-se ao uso da terra recente) (KRONERT, STEINHARDT, VOLK, 2001).

Na escola eslovaca, costuma-se distinguir na paisagem a estrutura primária (componentes), secundária (antropogênica, principalmente relativa ao uso da terra) e terciária (socioeconômica) (RUŽIČKA, MIŠOVIČOVA, 2006).

Na Ecologia da Paisagem de língua inglesa, a paisagem é vista como um sistema complexo, possuindo uma estrutura vertical (entendida como relações assimétricas entre níveis) e uma estrutura horizontal (relações simétricas entre unidades espaciais, denominadas *hólons*) (WU, DAVID, 2002). Na maioria das vezes, apenas a heterogeneidade espacial é identificada com a estrutura.

O problema da diversidade da estrutura da paisagem refere-se à compreensão incompleta da relação entre os tipos de estruturas da paisagem. Se na fase inicial do desenvolvimento da Ciência da Paisagem a seleção de estruturas baseadas na gênese parecia a única correta (SOLNTSEV, 1948), a virada do século passa a ser dominada pela ideia de coexistência, no mesmo espaço, de diferentes tipos estruturas espaciais, é o conceito de poliestrutura.

Grodzynski (2011) distingue os seguintes tipos de estruturas espaciais: *genético-morfológica*, *dinâmico-posicional*, *paragenética*, *bacia* e *redes biocêntricas*. Cada uma delas descreve uma das partes da realidade geográfica e, dependendo dos objetivos do estudo, pode atuar como tipo de estrutura principal.

A “Configuração genético-morfológica”, estudada em detalhe nos trabalhos das escolas de N.A. Solntsev, A.G. Isachenko e K.I. Gerenchuk, se estabeleceu como tipo preferido em alguns livros didáticos (MILLER, PETLYN, MELNIK, 2002; GOLOVANOV, KOZHANOV, SUKHAREV, 2006; MARCINKIEWICZ, 2007), mas foi analisada criticamente em outros (KOLBOVSKY, 2006).

A ideia de *gênese* da paisagem no conceito de estrutura morfológica (estrutura horizontal ou espacial) é primeiramente identificada com a gênese da base morfolitogênica. Contudo, a prioridade informativa deste princípio genético está atualmente sendo questionada.

Neste sentido, G.A. Isachenko (1999) considera que as subdivisões genéticas do relevo são pouco informativas para a tipologia e compreensão da estrutura de geocomplexos, sobretudo por sua discussão generalista. Considera mais significativas a composição litológica dos sedimentos e a morfologia do relevo do que a gênese. Outros autores expressam dúvida sobre a prioridade da abordagem genética para o planejamento (KOLBOVSKY; 2013).

A.N. Lastochkin (2011) acredita que a abordagem morfológica na ciência da paisagem (principalmente através da formalização, definição estrita, das unidades do relevo e da alocação das unidades de paisagem locais) merece muito mais atenção. Ele chama as prioridades anteriores de meados do século XX de “fluxo genético”, manifesto na geomorfologia.

A abordagem genético-morfológica tradicional, amplamente utilizada na prática, baseia-se no princípio do determinismo e atribui a maior importância taxonômica à gênese dos sedimentos formadores do solo. Isso se reflete, por exemplo, numa paisagem que será definida principalmente como uma moraina glacial e, somente em um nível taxonômico inferior, será diferenciada por contrastes internos devido à redistribuição recente da umidade, migração de nutrientes, dinâmica da vegetação ou modificações antropogênicas.

Estritamente falando, a organização hierárquica das unidades de paisagem deveria ser provada por estimativas quantitativas das conexões entre os componentes, e não tomadas a priori. De certo modo, os estudos recentes da paisagem aproximam-se do estudo morfométrico do relevo (PUZACHENKO, DYAKONOV, ALESCHENKO, 2002; SYSUEV, 2003; MKRTCHYAN, 2008; KOSLOV, 2009; EROFEEV, 2012).

Os novos estudos da paisagem visam encontrar métodos quantitativos objetivos para reconhecer as estruturas da paisagem, interpretando sua gênese e identificando os fluxos de matéria e energia que a controlam. Esta tendência atual, de descrição e previsão dos processos através de estruturas espaciais se opõe, mas ao mesmo tempo complementa a tradição dos estudos da paisagem, uma vez que enfatiza os processos como fatores de formação da estrutura espacial (*fatores de diferenciação*).

Por outro lado, pesquisadores de língua inglesa insistem em desviar a atenção da organização espacial como tal, que era a prioridade da ecologia da paisagem na década de 1990 (FORMAN, 2006), para processos ecológicos e seu papel no surgimento de estruturas espaciais (WU, HOBBS, 2002). Nesse sentido, a Ciência da Paisagem russa e a Ecologia da Paisagem anglofônica, que inicialmente consideraram os conectivos “estrutura-processo” de diferentes lados, agora estão convergindo abordagens.

Em relação aos processos da paisagem, estes têm diferentes tempos característicos (ARMAND, TARGULIAN, 1972; ZONNEVELD, 1995). Podem interagir apenas objetos e processos com características semelhantes em termos de escalas espaciais e/ou temporais (SYSUEV, 2002; BOLLIGER, WAGNER, TURNER, 2009; SHUGART, 1999). Se os processos têm diferentes escalas temporais e espaciais características, na ausência de *interação*, suas consequências podem se *sobrepôr* (somar) ou estar em uma relação de *subordinação*.

No caso de processos de interação um efeito emergente é possível. Foi justamente a dificuldade de refutar os produtos da interconexão universal e inequívoca dos componentes que deu origem à ideia da paisagem *poliestructural*, desenvolvida desde 1970 (RAMAN, 1972; SOLNTSEV, 1981; KOLOMITZ, 1988). Neste conceito, a paisagem é representada como uma superposição de estruturas espaciais relativamente independentes, com a subdivisão tradicional das propriedades da base morfolitogênica sendo considerada como um caso específico.

Na visão dos pesquisadores de Irkutsk a paisagem é abordada na perspectiva matemática da topologia, sobretudo na teoria dos fibrados vetoriais, configurando um polissistema constituído de monossistemas disjuntos (CHERKASHIN, 2005; CHERKASHIN, ISTOMINA, 2013).

Nesta mesma linha da diversidade multiestrutural, o pesquisador ucraniano Ivan Kruglov (2006) sugere o conceito de “geo-ecossistema” e identifica grupos de geo-ecossistemas morfogênicos, litogênicos, biogênicos, hidrológicos (bacias), funcionais, de exposição climática e outros.

Estudar os efeitos da interação e sobreposição de diferentes tipos de estruturas constitui um dos tópicos mais relevantes atualmente. Neste sentido, faz-se necessário desenvolver métodos que permitam separar as contribuições para a diferenciação da paisagem provenientes do esqueleto rígido morfolitogênico daquelas dos processos de autodesenvolvimento

de outros tipos de estruturas independentes. Logo, torna-se fundamental avaliar o grau de objetividade das propostas de delimitação de unidades de paisagem.

O problema da delimitação reside na dificuldade de determinar a probabilidade de o pesquisador não estar enganado e de o limite morfolitogênico explicar totalmente a paisagem. Relaciona-se à manifestação de mudanças bruscas nas propriedades de todos (ou na maioria) dos componentes da estrutura da paisagem. Esta questão é agora agudamente colocada na Ciência da Paisagem em língua inglesa (OSTENDORF, REYNOLDS, 1998; HOECHSTETTER et al, 2008; BOLLIGER, WAGNER, TURNER, 2009).

Há algum tempo se observou que a essência de muitas paisagens é sua natureza transicional (ecotonal). Neste sentido, um importante tema da Ciência da Paisagem é ventilado: trata-se das razões pelas quais se formam limites nítidos ou graduais nas paisagens, tema que envolve a busca de explicação e métodos de identificação de núcleos e ecótonos típicos (BASTIAN, STEINHARDT, 2002; NIKOLAEV, 2006).

A discrepância entre os tempos característicos dos elementos componentes da paisagem, sua inércia diferente, sua interadaptação incompleta e a ampla distribuição de transições graduais entre os geossistemas, geralmente prevalecem na natureza (ISACHENKO, 1999).

Na Ciência da Paisagem anglófona, assim como na língua russa, as abordagens metodológicas estão mudando no sentido de refletir propriedades contínuas. Um exemplo é o modelo “gradiente de paisagem”, que envolve índices geomorfométricos e índices de vegetação provenientes de imagens de satélite (MCGARIGAL, TAGIL, CUSHMAN, 2009).

No trabalho de Tatyana Bobra (2005), os limites da paisagem são considerados como um objeto areal que possui escalas comparáveis com aquelas das áreas que são os núcleos de tipicidade (BOBRA, 2005). Para destacar as zonas de transição entre os complexos paisagísticos, a autora propõe uma medida de informação; Os mapas apresentados oferecem uma nova abordagem ao mapeamento da paisagem, baseada em ideias sobre a continuidade da estrutura da paisagem e uso de geoestatística (BOBRA, 2005).

A ideia de natureza probabilística das relações espaciais entre os componentes (ISACHENKO, 2004) é baseada em abordagens que usam mapeamento probabilístico (BURROUGH et al, 2001; HLASNY, 2006; KRENKE, PUZACHENKO, PUZACHENKO, 2011).

A utilização de abordagem probabilística para resolver o problema da objetividade dos limites da paisagem permite, com base na análise de interconexões, calcular e mapear a probabilidade de conformidade de uma unidade territorial operacional com características típicas de classe, bem como estabelecer uma medida da incerteza das classificações (KHOROSHEV et al, 2002).

Por exemplo, para uma unidade de paisagem em que as unidades vizinhas pertencem a classes diferentes e são caracterizadas por baixa incerteza (ou seja, uma probabilidade muito alta de atender características típicas de uma classe e características baixas de outras classes), uma borda nítida pode ser desenhada. Contudo, em caso de alta incerteza, uma combinação de propriedades de diferentes classes na estrutura vertical é declarada (por exemplo, devido à maior inércia de alguns componentes e menos de outros), a borda se torna imprecisa.

Nessas condições, é difícil prever mudanças sob influência externa. Do ponto de vista da dinâmica e evolução das paisagens, isso pode significar uma alta probabilidade de um componente mudar para se adaptar às propriedades de outro (maior inércia) ou a possibilidade de várias combinações estáveis de componentes (do ponto de vista do planejamento ambiental, uma variedade de possibilidades de uso).

Dependendo dos objetivos do trabalho, a prioridade é dada a um ou outro tipo de estrutura da paisagem, o que se reflete na variedade de tipos de mapeamento (SOLNTSEV et al, 2006; KOZOVÁ et al, 2007; GRODZYNSKYI, 2011). O desenvolvimento de fundamentos para o mapeamento deve ser direcionado para justificar a melhoria da qualidade ambiental sobretudo para terras de maior potencial econômico e para o desenvolvimento de tecnologias específicas de planejamento setorial.

O problema das propriedades emergentes consiste na necessidade de desenvolver critérios para avaliar o efeito cumulativo dos diferentes elementos da estrutura espacial sobre as propriedades da paisagem como um todo. V.A. Bokov (1992) chama a atenção para o significado do princípio da não-variação em relação à mudança de escala. Por exemplo, quanto maior a área de captação de uma bacia hidrográfica, maior a probabilidade de desvios individuais do fundo serem compensados por fenômenos opostos (BOKOV, 1992).

O efeito de compensar as funções ecológicas perdidas de alguns elementos da paisagem por outros elementos é um tema pouco estudado na Ciência da Paisagem, embora isso seja extremamente importante do ponto de vista prático. As perdas econômicas de certos serviços ambientais (abrigo para animais, regulação de fluxo, regulação térmica, etc.) durante as decisões de planejamento deveriam ser compensadas pela preservação, restauração ou criação de um complexo natural similar em outra porção da paisagem ou bacia hidrográfica.

Do ponto de vista aplicado, destacam-se a inserção de elementos de paisagem que sejam compensadores, conectivos e de amortecimento; que sejam reguladores de direção e intensidade dos fluxos; racionalizem o uso de recursos no espaço e no tempo; além de pensar o planejamento de proporções ótimas para a área de bairros e de terras agrícolas.

Os mecanismos por trás das propriedades emergentes da estrutura espacial da paisagem ainda estão à espera de uma pesquisa profunda em Ciência da Paisagem. Na Geografia de língua russa, o fascínio pela crítica ideológica do “Hettnerianismo”¹ desacelerou o desenvolvimento da análise espacial.

1 Refere-se à influência que o trabalho de Alfred Hettner teve na Geografia Russa. Destaca-se principalmente sua concepção de corologia, o entendimento da Geografia como ciência das localidades e regiões. O efeito empobrecedor desta visão unitária da Geografia foi a limitação do crescimento de suas especializações e também da diversificação metodológica. No

O progresso da análise espacial está associado ao desenvolvimento do conceito de *morfologia matemática da paisagem* (VIKTOROV, 2006), a partir do qual são criados modelos de paisagem considerando as origens de suas diferentes estruturas, visando contribuir para a predição de processos. Na Ecologia da Paisagem de língua inglesa, a análise espacial constitui um conceito central, embora com um aparato matemático mais simples.

Desde o início dos anos 90, um enorme conjunto de métricas foi desenvolvido, para caracterizar a estrutura espacial da paisagem. Elas estão resumidas em uma série de programas amplamente utilizados na Ecologia da Paisagem, como SPAN (TURNER, 1990), Fragstats (MCGARIGAL, MARKS, 1995), RULE e sua modificação tardia, QRULE (GARDNER, URBAN, 2006), EMAP-L (CAIN, RIITERS, ORVIS, 1997), entre outros. Programas posteriores expandiram as possibilidades da análise multiescala de objetos de contornos irregulares, sendo incorporados especialmente em SIG, como, por exemplo, o módulo “r.le” do GRASS (BAKER, 2001).

Contudo, o teste da informatividade das métricas da paisagem revelou uma série de problemas: sensibilidade à resolução espacial e escala, a correlação de muitas métricas entre si, a conexão ambígua de índices com estruturas espaciais, o fracasso da visão “bidimensional” da paisagem, etc. (TISCHENDORF, 2001).

Uma importante área de pesquisa é a avaliação da *diversidade da paisagem*, baseada não somente no mosaico espacial da cobertura vegetal, mas também na relação entre os componentes da paisagem – solos, águas, sedimentos, vegetação (ERNAULT, BUREAU, PUDEVIGNE, 2003; HANAN, ROSS, 2010). Apesar disso, a parte principal da discussão sobre as propriedades emergentes das paisagens permanece no nível teórico (NAVEH, 2000).

Resultados notáveis no estudo da *emergência* em Ecologia da Paisagem podem ser verificados pela análise da viabilidade populacional de populações animais (probabilidade de extinção num dado tempo) em relação à interposição de alguns elementos espaciais da paisagem, bem como de sua proporção relativa. Neste sentido, V.M. Pashchenko (1993) vê conexão entre emergência e atributos da paisagem com menor variação temporal no intervalo observado (invariantes) e relaciona isso com o estágio de desenvolvimento da paisagem.

A principal dificuldade é que a emergência surge como resultado da manifestação simultânea de processos em múltiplas escalas (HALL et al, 2004; KENNEDY, SPIES, GREGORY, 2008) e os métodos para transpor informações de uma escala para outra ainda são pouco desenvolvidos.

Por exemplo, o nível de eutrofização dos solos de várzea e a abundância de espécies nitrófilas no estrato herbáceo podem ser determinados por diferentes fatores operando em escalas distintas, como a descarga de águas subterrâneas no pé da encosta (efeito no nível da catena), o fornecimento adicional de minerais durante a inundação (efeito no nível da bacia hidrográfica) e a redistribuição de água, sedimentos e nutrientes pelos processos gravitacionais entre a porção mais elevada e a porção mais rebaixada da planície de inundação (o efeito no nível da *fácies*).

O problema de escala surge da contradição entre a escala pontual de coleta de dados e a natureza areal da tomada de decisão na gestão ambiental (TURNER, GARDNER, O’NEIL, 2001). A essência do problema é: como extrapolar a regularidade obtida dos dados pontuais (observações de campo) para o nível da paisagem (LISCHKE et al, 2009).

Neste contexto, surge a necessidade de uma definição precisa dos níveis hierárquicos em que certos processos ocorrem, promovendo uma variação interconectada nas propriedades de vários componentes, levando ao surgimento de *estruturas integrais*.

Do ponto de vista aplicado, a solução do problema busca auxiliar a gestão ambiental, apontando a melhor forma de diferenciar o território em áreas relativamente homogêneas (especialmente com o domínio de estruturas contínuas) que permitam as mesmas soluções de planejamento.

De particular interesse é a definição do intervalo de níveis hierárquicos, dentro do qual existe uma autossimilaridade entre estruturas e processos (PUZACHENKO, 1998). Estudos da complexidade da paisagem como uma função da forma de unidades espaciais autossimilares, por meio de análise fractal, assumiram um lugar firme na Ciência da Paisagem, em especial nos programas de computador (MILNE, 1991; FROHN, 1998; PUZACHENKO, DYAKONOV, ALESCHENKO, 2002).

O intervalo de escalas em que a dependência de energia é observada corresponde ao intervalo de autossimilaridade do fenômeno (WU, HOBBS, 2002). A autossimilaridade das interconexões pode ser refletida por uma série de equações do mesmo tipo (por exemplo, com os mesmos sinais e valores proporcionais dos coeficientes), e no caso ideal, pela mesma equação (KHOROSHEV, ALESCHENKO, 2008).

Por exemplo, digamos que a produtividade florestal numa dada região é explicada pela convexidade/concavidade das formas de relevo e, de acordo com tal regra, os níveis médios de produtividade diferem nas áreas de interflúvios e vales, respectivamente. Neste sentido é possível falar em autossimilaridade entre a redistribuição de substâncias horizontalmente na paisagem e sua absorção biológica.

O entendimento da paisagem como uma entidade multiestructural e multiescalar coloca em evidência o problema da identificação de uma escala ideal para a tomada de decisão no planejamento ambiental. Esta escala deveria ser adequada às características espaciais e temporais dos processos para os quais os diferentes tipos de uso da terra devem ser regulados e/ou adaptados.

O problema é que a decisão de planejamento, tomada na escala X para otimizar determinado serviço ambiental, pode minimizar o desempenho de outro serviço que requer uma solução na escala Y.

Por exemplo, visando aumentar a produtividade florestal em terrenos pantanosos para subsequente extração de madeira, é necessário melhorar o sistema de drenagem de uma unidade de paisagem pantanosa, que cobre uma porção extensa de um interflúvio. Ao mesmo tempo, estes pântanos podem constituir parte funcional do interflúvio na medida em que permitem e viabilizam o fluxo migratório de animais em risco (como animais de caça, por exemplo). Neste sentido, designar

esta unidade de paisagem pantanosa para conservação pode ser necessário devido à falta de habitats alternativos no interflúvio em questão.

O problema da estabilidade estrutural reside na presença de partes da paisagem em que as interconexões entre seus elementos possuem diferentes níveis de rigidez. Isso afeta a proporção de diferentes tipos de estabilidade. Estas diferenças decorrem primariamente da existência de núcleos de tipicidade (áreas *core*) e zonas de transição (ecótonos) com interadaptação incompleta dos elementos componentes.

Neste sentido, uma ampla gama de combinações possíveis de propriedades pode significar que vários estados estáveis são possíveis. Esta é a manifestação de um dos tipos de estabilidade da paisagem (PUZACHENKO, 1998; ARMAND, 2006; SVETLOSANOV, 2009; MOORE et al, 2009; WARMAN; MOLES, 2009; PAPADIMITRIOU, 2010). Com isso, é possível que combinações aleatórias de eventos possam levar à diferentes transições igualmente prováveis, nas quais um geossistema passa de um estado para outro e retorna.

Uma atenção especial deve ser dispensada ao problema da *bifurcação*: trata-se uma “escolha” improvável do geossistema que muda significativamente de um dos estados estáveis ou de um estado caótico depois de passar por um “ponto” crítico. A imprevisibilidade fundamental da trajetória de desenvolvimento dos geossistemas, depois de atingir o ponto de bifurcação, coloca um problema metodológico de identificar uma gama de possíveis estados estáveis.

Esta possibilidade decorre do fato de que conexões não-lineares entre os componentes da paisagem, podem apresentar mais de uma solução de estabilidade. Interações não-lineares estão agora no centro das atenções da Ciência da Paisagem (PUZACHENKO, 1998; NAVEH, 2000; WU; HOBBS, 2002; GRODZYNSKYI, 2005; PETLIN, 2010).

V.I. Chuprynin (2003) identifica os seguintes tipos de efeitos não-lineares em geossistemas: instabilidade, agravamento e localização, “esquecimento”, multiplicidade de modos de funcionamento, bifurcação, catástrofe, interdependência de subsistemas, emergência, coerência, auto-organização, diversidade de espécies, estocasticidade, evolução. Determinar a amplitude de estados possíveis da paisagem permitiria calcular a capacidade de uso da terra e determinar o conjunto de tipos de uso permitidos.

O problema das conexões locais específicas consiste na necessidade de determinar corretamente os intervalos permitidos para extrapolação de informações acerca das relações entre os componentes da paisagem.

Tendo obtido informações sobre a presença de uma relação não-linear entre as propriedades estudadas, pode-se discretizar os intervalos dos valores do argumento nos quais as respostas da função são lineares, mas possuem sinais diferentes ou não há resposta alguma.

Identificar a amplitude das relações lineares ou não-lineares é uma abordagem possível para resolver o problema de *conexões locais específicas* dentro da paisagem. Em particular, é possível estabelecer os limites dos sistemas que transferem matéria e energia a partir de um núcleo (geossistemas nucleares), cuja existência foi fundamentada teoricamente, mas sem critérios quantitativos rigorosos (RETEYUM, 1990).

Imagine que um geossistema nuclear seja formado pela descarga de águas subterrâneas altamente mineralizadas na taiga. Se a proporção de espécies megatróficas e oligotróficas varia em uma determinada área de acordo com uma única regra, como o nível da água subterrânea e/ou a dissecação do relevo (sendo descrita por uma única equação), então podemos descrever o tamanho e a forma desta área. Assim, é possível identificar e mapear o geossistema nuclear.

Neste exemplo, o processo de descarga de água subterrânea também serve como um fator integrador (une o território como uma regra única de organização espacial) e um fator de diferenciação (variações na intensidade do processo dentro deste território cria diferenças espaciais).

Então a oposição que se fazia na Ciência da paisagem russa entre *fatores de diferenciação* e *fatores de integração* acaba por ser algo muito condicional. Além disso, é possível adotar um procedimento mais formal para distinguir geossistemas com base em uma combinação uniforme de elementos contrastantes, cujas transições obedecem a uma única regra.

Resolver o problema das *conexões locais específicas*, cria a base para a solução de outro problema urgente que tem uma relação próxima com a determinação da capacidade de uso da terra: corrigir a aplicação da abordagem ergódica², que a Ciência da Paisagem vem examinando há muito tempo (SOLNETSEV, 1981; PASCHENKO, 1993; NIKOLAEV, 2006).

Se a regra da diferenciação de um território é conhecida (por exemplo, uma mudança na produtividade biológica em função do nível freático) e a amplitude de ação dessa regra também é conhecida (se o gradiente espacial puder ser representado como um gradiente da magnitude do processo), então nessa área é possível modelar cenários de mudanças na paisagem considerando tipos de uso da terra hipotéticos (por exemplo, aumento da produtividade biológica durante a melhoria da drenagem).

Conclusão

No estágio atual, o conceito de coexistência de diferentes tipos de estruturas da paisagem (poliestrutura) foi desenvolvido. Cada uma das estruturas descreve um aspecto da realidade geográfica e, dependendo dos objetivos do estudo, pode ser considerado como o principal.

A partir de modelos digitais de elevação e imagens de satélite, foram desenvolvidos métodos que permitem reconhecer as estruturas da paisagem e, por suas características, identificar sua gênese e a formação dos fluxos de matéria e energia. Há uma mudança metodológica gradual no sentido de buscar a representação de propriedades contínuas da paisagem, inclusive por meio de mapeamento probabilístico.

2 A hipótese ergódica de Ludwig Boltzmann sugere que em longos períodos de tempo, o tempo gasto por um sistema dinâmico numa região do seu espaço fase é proporcional ao volume dessa região. Isto tem implicações para a previsão em Ciência da Paisagem.

De qualquer modo, deve-se considerar o suporte à decisões de planejamento, levando em consideração a conservação das propriedades emergentes resultantes da influência cumulativa dos elementos da estrutura espacial do geossistema. Existe a necessidade de uma definição precisa dos níveis hierárquicos em que certos processos ocorrem, causando uma variação interconectada das propriedades da assembleia de componentes e o surgimento de estruturas integradas.

O crescente interesse nos efeitos não-lineares das interações entre os componentes revelou uma imprevisibilidade fundamental da trajetória de desenvolvimento após atingir o ponto de bifurcação. Isto impõe um problema metodológico para identificação da amplitude de estados possíveis.

A avaliação da contribuição de interações não-lineares é fundamental para determinar a amplitude das relações entre os componentes da paisagem, o que tornaria possível usar mais corretamente as possibilidades de uma abordagem de previsão ergódica.

No enfoque estrutural da Ciência da Paisagem contemporânea, as questões mais relevantes incluem: os mecanismos e condições de interação ou sobreposição de tipos de estruturas diferentes; avaliação quantitativa do grau de discretização/continuidade dos limites dos geossistemas; definição de critérios para identificar propriedades emergentes de geossistemas; consideração da multiplicidade de estados estáveis da paisagem nas decisões de planejamento.

Referências

Арманд А.Д. Необратимые изменения ландшафтов // Ландшафтоведение: теория, методы, региональные исследования, практика. Матер. XI Междунар. ландшафтной конф. М.: Географический факультет МГУ, 2006. С. 31–33.

Арманд А.Д., Таргульян В.О. Принцип дополнительности и характерное время в географии // Системный подход в географии. М.: ИГРАН, 1972. С. 18–23.

Бобра Т.В. Ландшафтные границы: выявление, анализ, картографирование. Симферополь: Таврия-Плюс, 2005. 168 с.

Боков В.А. Пространственно-временные отношения как фактор формирования свойств геосистем // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 1992. № 2. С. 10–16.

Викторов А.С. Основные проблемы математической морфологии ландшафта. М.: Наука, 2006. 252 с.

Голованов А.И., Кожанов Е.С., Сухарев Ю.И. Ландшафтоведение. М.: КолосС, 2006. 216 с.

Гродзинский М.Д. Історія ландшафтної екології як її самоорганізація // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия “География”. Т. (63). 2011. № 1. С. 15–25.

Гродзинский М.Д. Пізнання ландшафту: місце і простір. 2 т. Київ: Видавничо-поліграфічний центр “Київський університет”. 2005. Т. 1. 431 с.; Т. 2. 503 с.

Дьяконов К.Н. Базовые концепции и понятия ландшафтоведения // Географические научные школы Московского университета. М.: Городец, 2008. С. 348–386.

Ерофеев А.А. Ландшафтно-экологический анализ бассейнов малых рек на основе геоинформационного моделирования (на примере малых рек Томска и его окрестностей). Дис. ... канд. геогр. наук. Томск: ТГУ, 2012. 175 с.

Исаченко А.Г. Теория и методология географической науки: М.: Академия, 2004. 400 с.

Исаченко Г.А. Методы полевых ландшафтных исследований и ландшафтно-экологическое картографирование. СПб.: Изд-во СПГУ, 1999. 111 с.

Козлов Д.Н. Цифровой анализ ландшафта в крупномасштабном картографировании структур почвенного покрова. Дис. ... канд. геогр. наук. М.: ИГРАН, 2009. 138 с.

Колбовский Е.Ю. Ландшафтоведение. М.: Академия, 2006. 480 с.

Колбовский Е.Ю. Нерешенные вопросы ландшафтоведения и ландшафтное планирование // Изв. РАН. Сер. геогр. 2013. № 5. С. 19–29.

Коломыц Э.Г. Полиморфизм ландшафтно-зональных систем. Пущино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1998. 311 с.

Кренке А.Н.-мл., Пузаченко М.Ю., Пузаченко Ю.Г. Уточнение содержания тематических карт на основе данных дистанционного зондирования // Изв. РАН. Сер. геогр. 2011. № 4. С. 86–96.

Круглов І. Ландшафт як геоекосистема // Вісник Львів. ун-ту. Серія географічна. 2006. Вип. 33. С. 186–193.

Ландшафтно-интерпретационное картографирование / Отв. ред. А.К. Черкашин. Новосибирск: Наука, 2005. 424 с.

Ласточкин А.Н. Общая теория геосистем. СПб.:Лемма, 2011. 980 с.

Міллер Г.П., Петлін В.М., Мельник А.В. Ландшафтознавство. Теорія і практика. Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2002. 172 с.

Марцинкевич Г.И. Ландшафтоведение. Минск: БГУ, 2007. 206 с.

Мкртчян О. Принципи автоматизованого ландшафтно-екологічного картування // Ученые записки Таврического нац. ун-та им. В.И. Вернадского. 2008. Т. 21 (60). № 2. С. 238–247.

Николаев В.А. Ландшафтоведение. М.: Изд-во МГУ, 2006. 208 с.

Пашенко В.М. Теоретические проблемы ландшафтоведения. Киев: Наук. думка, 1993. 283 с.

Петлін В.М. Стан і перспективи розвитку природничої географії // Український географічний журн. 2010. № 2. С. 14–21.

Пузаченко Ю.Г. Методологические основы географического прогноза и охраны среды. М.: Изд-во УРАО, 1998. 212 с.

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.

Раман К.Г. Пространственная полиструктурность топологических геокомплексов и опыт ее выявления в условиях Латвийской ССР. Редакционно-издательский отдел ЛГУ им. Петра Стучки: Рига, 1972. 48 с.

Ретеюм А.Ю. Земные миры. М.: Мысль, 1988. 266 с.

Светлосанов В.А. Устойчивость природных систем к природным и антропогенным воздействиям. М.: Изд-во 11-й формат, 2009. 100 с.

Солнцев В.Н. Структурная организация ландшафтов. М.: Наука, 1981. 239 с.

Солнцев В.Н., Рыжков О.В., Трегубов О.В., Алексеев Б.А., Калуцкова Н.Н., Анцифирова А.А. 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.

Солнцев Н.А. Природный ландшафт и некоторые его общие закономерности. Труды II Всесоюзного географического съезда. Т. I. М.: Географгиз, 1948. С. 258–269.

Сысуев В.В. Физико-математические основы ландшафтоведения. М.: географический факультет МГУ, 2003. 175 с.

Философский словарь / Под ред. Фролова И.Т. М.: Политиздат, 1991. 560 с.

Харвей Д. Научное объяснение в географии. М.:Прогресс, 1974. 502 с.

Хорошев А.В., Прозоров А.А., Котлов И.П., Бочкарев Ю.Н., Столповский А.П. Изучение развития пространственной структуры ландшафта через понятие неопределенности классификационной принадлежности ПТК // Фундаментальные исследования взаимодействия суши, океана и атмосферы. М.: МАКС пресс, 2002. С. 197–198.

Хорошев А.В., Алещенко Г.М. Методы выделения геосистем с единством межкомпонентных отношений // География и природные ресурсы. 2008. № 3. С. 120–126.

Черкашин А. К., Истомина Е. А. Выделение границ функционально однородных ареалов на космических снимках на основе вычисления определителя Якоби // География и природные ресурсы. 2013. № 1. С. 157–165.

Чупрынин В.И. Нелинейности в геосистемах // Изв. РАН. Сер. геогр. 2003. № 6. С. 7–14.

Baker W. The r.le programs. A set of GRASS programs for the quantitative analysis of landscape structure. University of Wyoming, 2001. 60 p.

- Bastian O., Steinhardt U. (Eds.) *Development and perspectives of landscape ecology*. Boston: Kluwer Acad. Publ., 2002. 498 p.
- Bolliger J., Wagner H.H., and Turner M.G. Identifying and quantifying landscape pattern in space and time / Kienast F., Wildi O., Ghosh S. (Eds.) *A changing world. Challenges for landscape research*. Springer, 2009. P. 177–194.
- Burrough P.A., Wilson J.P., van Gaans P.F.M., and Hansen A.J. Fuzzy k-means classification of topo-climatic data as an aid to forest mapping in the Greater Yellowstone Area, USA // *Landscape Ecology*. 2001. Vol. 16. No. 6. P. 523–546.
- Cain D.H., Riitters K., and Orvis K. A multi-scale analysis of landscape statistics // *Landscape Ecology*. 1997. Vol. 12. P. 199–212.
- Ernault A., Bureau B. and Poudevigne I. Patterns of organisation in changing landscapes: implications for the management of biodiversity // *Landscape Ecology*. 2003. Vol. 18. P. 239–251.
- Forman R.T.T. *Land Mosaics*. Cambridge Univ. Press, 2006. 632 p.
- Frohn R.C. *Remote sensing for landscape ecology. New metric indicators for monitoring, modeling and assessment of ecosystems*. New York, Lewis Publ., 1998. 99 p.
- Gardner R.H. and Urban D.L. Neutral models for testing landscape hypotheses // *Landscape Ecology*. 2006. Vol. 22. P. 15–29.
- Hall O., Hay G.J., Bouchard A. and Marceau D.J. Detecting dominant landscape objects through multiple scales: An integration of object-specific methods and watershed segmentation // *Landscape Ecology*. 2004. Vol. 19. No. 1. P. 59–76.
- Hanan E.J. and Ross M.S. Across-scale patterning of plant-soil–water interactions surrounding tree islands in Southern Everglades landscapes // *Landscape Ecology*. 2010. Vol. 25. P. 463–476.
- Hlasny T. Probabilistic approaches to ecological modeling // *Ecology (Bratislava)*. 2006. Vol. 25. Supplement 1/2006. P. 66–75.
- Hoechstetter S., Walz U., Dang L.H., and Tinh 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.
- Kennedy R.S.H., Spies T.A. and Gregory M.J. Relationships of dead wood patterns with biophysical characteristics and ownership according to scale in Coastal Oregon, USA // *Landscape Ecology*. 2008. Vol. 23. P. 55–68.
- Kozova M., Hrnčiarova T., Drdoš J., Finka M., Hreško J., Izakovičova Z., O’ahel’ J., Ružicka M., Žigrai F. (Eds.) *Landscape Ecology in Slovakia. Development, Current State, and Perspectives*. IALE-SK, Bratislava, 2007. 541 p.
- Krönert R., Steinhardt U., Volk M. (Eds.) *Landscape balance and landscape assessment*. Springer Verlag, 2001. 304 p.
- Lischke H., Löffler T.J., Thornton P.E. and Zimmermann N.E. Model up-scaling in landscape research // Kienast F., Wildi O., Ghosh S. (Eds.) *A changing world. Challenges for landscape research*. Springer, 2009. P. 249–273.
- McGarigal K. and Marks B.J. *Fragstats: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. U. S. Forest Service General Technical Report PNW: 351. Portland, OR, USA. 1995.
- McGarigal K., Tagil S. and Cushman S.A. Surface metrics: an alternative to patch metrics for the quantification of landscape structure // *Landscape Ecology*. 2009. Vol. 24. P. 433–450.
- Milne B.T. Lessons from applying fractal models to landscape patterns // *Quantitative Methods in Landscape Ecology* (Turner M. G., Gardner R.H. (Eds.) New York: Springer-Verlag, 1991. P. 199–239.
- Moore S.A., Wallington T.J., Hobbs R.J., Ehrlich P.R., Holling C.S., Levin S., Lindenmayer D., Pahl-Wostl C., Possingham H., Turner M.G., and Westoby M. Diversity in Current Ecological Thinking: Implications for Environmental Management // *Environmental Management*. 2009. Vol. 43. P. 17–27.
- Naveh Z. What is holistic landscape ecology // *Landscape and Urban Planning*. 2000. Vol. 50. P. 7–26.
- Ostendorf B. and Reynolds J.F. A model of arctic tundra vegetation derived from topographic gradients // *Landscape Ecology*. 1998. Vol. 13. P. 187–201.
- Papadimitriou F. Geo-mathematical modelling of spatial-ecological complex systems: an evaluation // *Geography, Environment, Sustainability*. 2010. Vol. 3. No. 1. P. 67–80.

Ružička M. and Mišovičova R. Krajina ekologia. Edícia Biosfera. C. Seria učebných textov, Vol. 2. Nitra, 2006. 131 p.

Shugart H.H. Equilibrium versus non-equilibrium landscapes // Wiens J.A., Moss M.R. (Eds.). Issues in Landscape Ecology. Snowmass Village, Colorado, USA. 1999. P. 18–21.

Tischendorf L. Can landscape indices predict ecological processes consistently? // Landscape Ecology. 2001. Vol. 16. No. 3. P. 235–254.

Turner M.G. Spatial and temporal analysis of landscape patterns // Landscape Ecology. 1990. Vol. 4. P. 21–30.

Turner M., Gardner R.H. and O'Neill R.V. Landscape ecology in theory and practice: pattern and process. Springer Verlag, 2001. 352 p.

Warman L. and Moles A.T. Alternative stable states in Australia's Wet Tropics: a theoretical framework for the field data and a field-case for the theory // Landscape Ecology. 2009. Vol. 24. P. 1–13.

Wu J. and David J.L. A spatially explicit hierarchical approach to modelling complex ecological systems: theory and applications // Ecological modelling. 2002. Vol. 153. P. 7–26.

Wu J. and Hobbs R. Key issues and research priorities in landscape ecology: An idiosyncratic synthesis // Landscape Ecology. 2002. Vol. 17. No. 4. P. 355–365.

Zonneveld I.S. Land ecology. Amsterdam: SPB Acad. Publ., 1995. 199 p.