

УДК 911:574:528.2/5
DOI 10.17513/use.38316

**ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ЛАНДШАФТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗОНИРОВАНИЯ
КУЛЬТУРНОГО ЛАНДШАФТА
(НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИЯ)**

Зарубин О.А.

*Национальный исследовательский Мордовский государственный университет, Саранск,
e-mail: oleg-zarubin@list.ru*

Цель исследования заключается в разработке предложений по геоинформационному моделированию морфометрических ландшафтных показателей для целей геоэкологического зонирования культурного ландшафта Республики Мордовия. Геоэкологическое зонирование выступает важнейшим инструментом территориального планирования и формирования устойчивого культурного ландшафта. Реализуемый при этом каркасный подход требует учета множества факторов, одним из которых является ландшафтное разнообразие. В качестве базовой информационной модели была использована ландшафтная карта в структуре геоинформационной системы «Мордовия». С помощью программного комплекса ArcGIS рассчитаны ландшафтные метрики и спроектированы соответствующие карты индекса уникальности, индекса относительного богатства, индекса ландшафтной мозаичности, индекса ландшафтной сложности, индекса суммарной расчлененности, индекса энтропийной меры разнообразия. По результатам геоинформационного моделирования были выделены несколько участков с повышенным ландшафтным разнообразием, что определяет их высокий потенциал для формирования опорных зон экологического каркаса, организации природоохранного статуса. Аномальные значения ландшафтных показателей формируют необходимость регламентации хозяйственных процессов, оптимизации региональной сети особо охраняемых природных территорий в силу уникальности сочетаний природных условий на ограниченной территории. Полученные результаты могут быть использованы для внесения изменений в документы территориального планирования регионального уровня.

Ключевые слова: ландшафтные метрики, геоэкологическое зонирование, геоинформационные системы, карта, ландшафт

**GEOINFORMATION MODELING OF MORPHOMETRIC
LANDSCAPE INDICATORS FOR THE PURPOSES
OF GEOECOLOGICAL ZONING OF THE CULTURAL LANDSCAPE
(ON THE EXAMPLE OF THE REPUBLIC OF MORDOVIA)**

Zarubin O.A.

National Research Mordovia State University, Saransk, e-mail: oleg-zarubin@list.ru

Purpose of the study is to develop proposals for geoinformation modeling of morphometric landscape indicators for the purposes of geoecological zoning of the cultural landscape of the Republic of Mordovia. Geoecological zoning is the most important tool for territorial planning and formation of a sustainable cultural landscape. The implemented framework approach requires taking into account many factors. One of the factors is landscape diversity. The landscape map in the structure of the geoinformation system "Mordovia" is used as a basic information model. Landscape metrics are calculated using the ArcGIS software package, maps of the uniqueness index, relative richness index, landscape mosaic index, landscape complexity index, total dissection index, and entropy diversity measure index are designed. Several areas with increased landscape diversity are identified based on the results of geoinformation modeling. This fact determines their high potential for the formation of supporting zones of the ecological framework, organization of nature conservation status. Anomalous values of landscape indicators create the need to regulate economic processes, optimize the regional network of specially protected natural areas due to the unique combination of natural conditions in a limited area. The results obtained can be used to amend regional territorial planning documents.

Keywords: landscape metrics, geoecological zoning, geoinformation systems, map, landscape

Введение

Решение вопросов оптимальной пространственной организации природных, социальных и производственных подсистем культурного ландшафта является важным условием геоэкологического планирования устойчивого эколого-социально-экономического развития региона [1]. С позиции принципов системы территориального планиро-

вания, ее основы устанавливаются Приказом Минрегиона России от 19.04.2013 г. № 169 в виде идеи о проектировании экономического, социального и экологического каркасов территории.

Тематики управления территориальной дифференциацией [2] и реализации каркасного подхода в работах последних лет находят свое приложение в контексте решения

природоохранных задач [3], проектирования городских территорий [4], организации сельскохозяйственного землепользования [5], развития рекреационного типа хозяйственного освоения культурного ландшафта [6] и др.

Методики геоинформационного моделирования каркасов территории в приведенных и других трудах различаются подходами к используемой для этого пространственной информации о природных, социальных и производственных подсистемах культурного ландшафта, составом баз данных и электронных слоев при проектировании картографического материала в геоинформационных системах (ГИС) и др.

Опыт проведенных исследований по геоэкологическому зонированию и моделированию каркасной модели культурного ландшафта региона [1; 7] показывает, что выполнение работ целесообразно проводить на базе ландшафтной карты в структуре региональной ГИС (рис. 1). Использование данного информационного ресурса позволяет решить целый комплекс задач, одна из которых – оценка ландшафтного разнообразия территории через моделирование морфометрических ландшафтных показателей (метрик).

Практический смысл ГИС-моделирования заключается в выявлении зон, отличающихся наибольшими показателями ландшафтного разнообразия, сохранение которого является важной задачей региональной экологической политики [8]. Такие геоэкологические зоны призваны определять пространственную организацию структурных элементов экологического каркаса, локализацию развития эколого-рекреационной и природоохранной деятельности.

Цель исследования – разработка предложений по ГИС-моделированию ландшафтных метрик для целей геоэкологического зонирования культурного ландшафта Мордовии.

Материалы и методы исследования

В качестве базовой информационной основы была использована ландшафтная карта, разработанная под руководством А.А. Ямашкина [9, с. 109–136], которая в структуре ГИС «Мордовия» в зависимости от целей геоэкологических исследований отражает ландшафтные выделы на различных уровнях структурно-генетической классификации геосистем. ГИС-моделирование морфометрических ландшафтных показателей проводилось при средне- и крупномас-

штабном картографировании на уровне родов геосистем, выделяемых с учетом морфоскульптурных форм и генезиса рельефа земной поверхности. В качестве основного программного продукта была использована ГИС ArcGIS, с учетом функционала которой спроектирована система баз данных и электронных карт.

Методики расчета ландшафтных метрик изложены в трудах Л.И. Ивашутиной, В.А. Николаева [10], А.С. Викторова [11], в многочисленных региональных работах современного периода [12; 13 и др.]. Ключевыми факторами выбора метрик стали возможность однозначной интерпретации полученных значений и разнонаправленный характер демонстрируемых параметров. В работе рассчитаны индекс уникальности, I_y ; индекс относительного богатства, $I_{o.б.}$; индекс ландшафтной мозаичности, $I_{л.м.}$; индекс ландшафтной сложности, $I_{л.с.}$; индекс суммарной расчлененности, $I_{с.р.}$; индекс энтропийной меры разнообразия, $I_{э.м.р.}$.

Метрика I_y рассчитывалась по формуле (1)

$$I_y = \sum(S_i / S_j), \quad (1)$$

где S_i – общая площадь выделов i -го рода геосистем в операционной ячейке;

S_j – общая площадь выделов j -го рода геосистем в границах Республики Мордовия.

Параметр характеризует долю какого-либо рода геосистем по отношению к совокупной площади выделов этого же рода в изучаемых границах. Чем выше значение метрики, тем более уникален набор родов геосистем по отношению к остальному региону, а значит такая территория потенциально более привлекательна для включения в экологический каркас и требовательна к обеспечению охранного режима природопользования.

Метрика $I_{o.б.}$ рассчитывалась по формуле (2)

$$I_{o.б.} = N / N_o, \quad (2)$$

где N – количество родов геосистем в пределах операционной ячейки;

N_o – количество родов геосистем в границах Республики Мордовия.

Данный параметр тем выше, чем репрезентативнее содержание спектра типологических выделов на ограниченном пространстве операционной ячейки. Индекс является метрикой локальной репрезентативности, показывая долю выборки от генеральной совокупности.

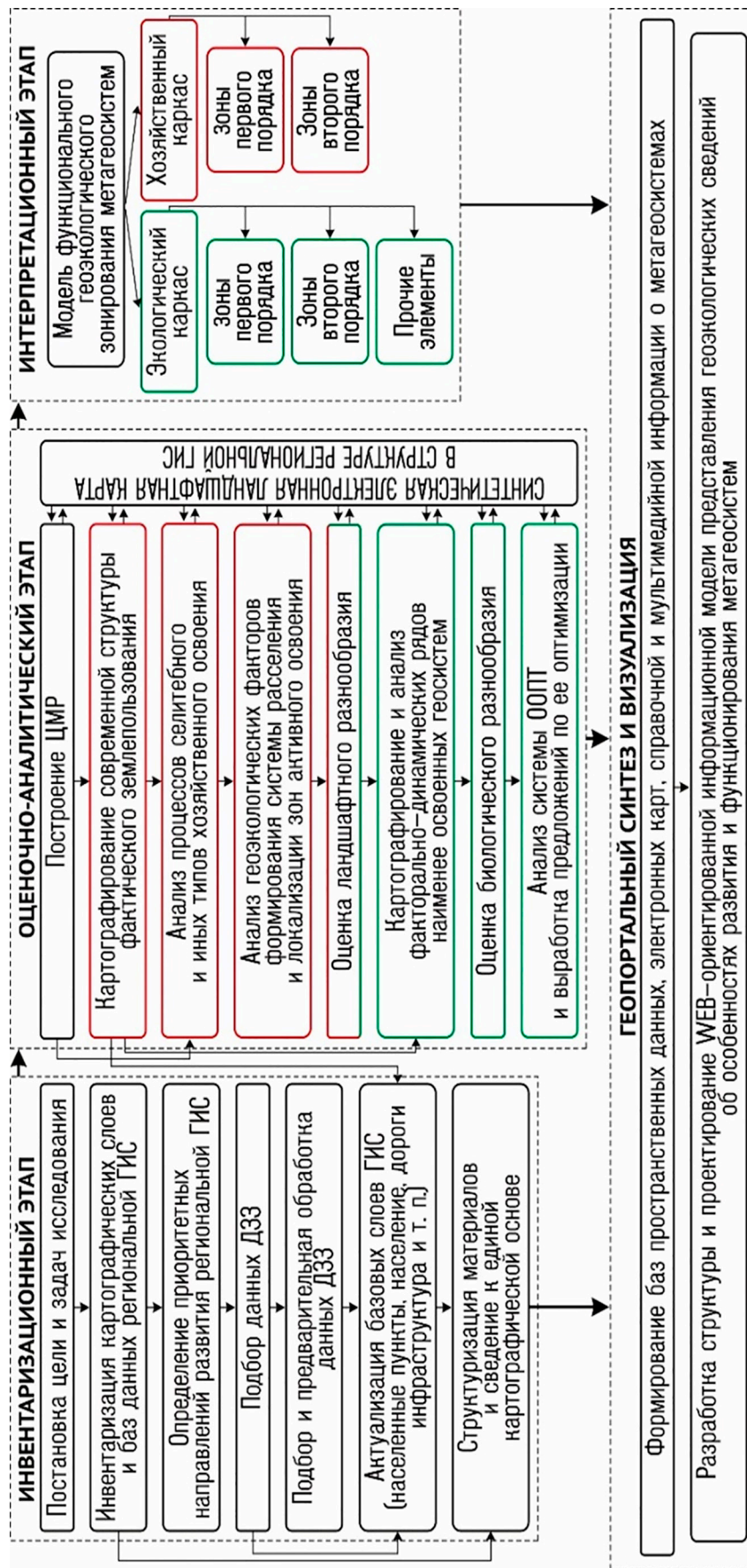


Рис. 1. Этапы геоэкологического зонирования культурного ландшафта региона [7]

Метрика $I_{л.м.}$ определялась по формуле (3)

$$I_{л.м.} = 1 - (N / n), \quad (3)$$

где N – количество родов геосистем в пределах операционной ячейки;

n – количество выделов в пределах операционной ячейки.

Показатель характеризует сложность сочетания или чередования выделов родов геосистем в границах операционной ячейки. Чем больше значение, тем меньше родов геосистем при равном количестве выделов в границах операционной ячейки. Данный параметр крайне важен для выделения однородных по ландшафтному рисунку территорий, формирующих предпосылки для планирования опорного (хозяйственного) каркаса.

Метрика $I_{л.с.}$ рассчитана по формуле (4)

$$I_{л.с.} = 10\,000 \times (n / S_o), \quad (4)$$

где n – количество выделов в пределах операционной ячейки;

S_o – средняя площадь выделов в границах Республики Мордовия.

Параметр свидетельствует о пестроте ландшафтного рисунка, не учитывая при этом закономерности конфигурации типологических единиц (родов геосистем). Как и $I_{л.м.}$, параметр $I_{л.с.}$ применим, прежде всего, для картографирования пространственной конфигурации хозяйственного каркаса.

Метрика $I_{с.р.}$ смоделирована по формуле (5)

$$I_{с.р.} = \sum \frac{p_i}{2\sqrt{\pi \times s_i}}, \quad (5)$$

где p_i – периметр контура выдела i -го рода геосистем в операционной ячейке;

s_i – площадь контура выдела i -го рода геосистем в операционной ячейке.

Параметр свидетельствует о ландшафтной расчлененности территории: при прочих равных условиях чем более извилистый характер контуров, тем больше значение индекса, чем больше количество парных соответствий «род геосистем – выдел», тем также значение индекса выше. Следовательно, наиболее высокие параметры данной метрики свидетельствуют о неоднородности пейзажных границ, чередовании природных комплексов, что является важным фактором эколого-рекреационной аттрактивности.

Метрика $I_{э.м.р.}$ была рассчитана в соответствии с формулой (6)

$$I_{э.м.р.} = -\sum \frac{n_i}{n} \ln \frac{n_i}{n}, \quad (6)$$

где n_i – количество выделов i -го рода геосистем в операционной ячейке;

n – количество выделов в операционной ячейке.

Показатель имеет высокие значения в том случае, если в операционной ячейке содержатся одиночные выделы для представленных i -х родов геосистем. Метрика показывает информативность локальных сочетаний геосистем для картографирования участков с повышенным ландшафтным разнообразием, которые рекомендуется относить к структуре экологического каркаса с целью установления режима особой охраны.

Результаты исследования и их обсуждение

На основе ландшафтной карты [9], отражающей структуру региона на уровне родов геосистем, было проведено ГИС-моделирование ландшафтных показателей с построением соответствующих баз данных и электронных карт (рис. 2 и 3). По результатам ГИС-моделирования было выделено несколько зон с повышенным ландшафтным разнообразием, что определяет их высокий потенциал для формирования опорных зон экологического каркаса, организации природоохранного статуса.

Темниковская зона приурочена к участку субширотного характера течения реки Мокша. Для нее характерны высокие значения I_y (до 0,221), $I_{л.с.}$ (до 1,640), $I_{э.м.р.}$ (до 1,856), наибольшие значения $I_{с.р.}$ (более 16,218). Повышенное ландшафтное разнообразие основано на контрастных границах, формируемых в зоне контакта таежных геосистем древнеаллювиальных равнин с пологоволнистыми водно-ледниковыми равнинами на севере, в Мокшинско-Алатырском междуречье, и южнее – с лесостепными геосистемами, формируемыми на смежных вторичных моренных равнинах. В результате формируются весьма ценные в эколого-рекреационном и природоохранном отношении сочетания природных условий.

Мокшинская зона приурочена к участку субмеридионального течения реки Мокша. Особенность заключается в контакте пойменных комплексов с лесостепными геосистемами левобережья и лесными геосистемами правобережья. Были зарегистрированы повышенные значения $I_{о.б.}$ (более 0,437), $I_{э.м.р.}$ (более 1,856) и $I_{л.с.}$ (более 1,336).

Вадская зона регистрируется в среднем течении реки Вад в местах центростремительного впадения притоков (Парца, Виндрей, Явас и др.).

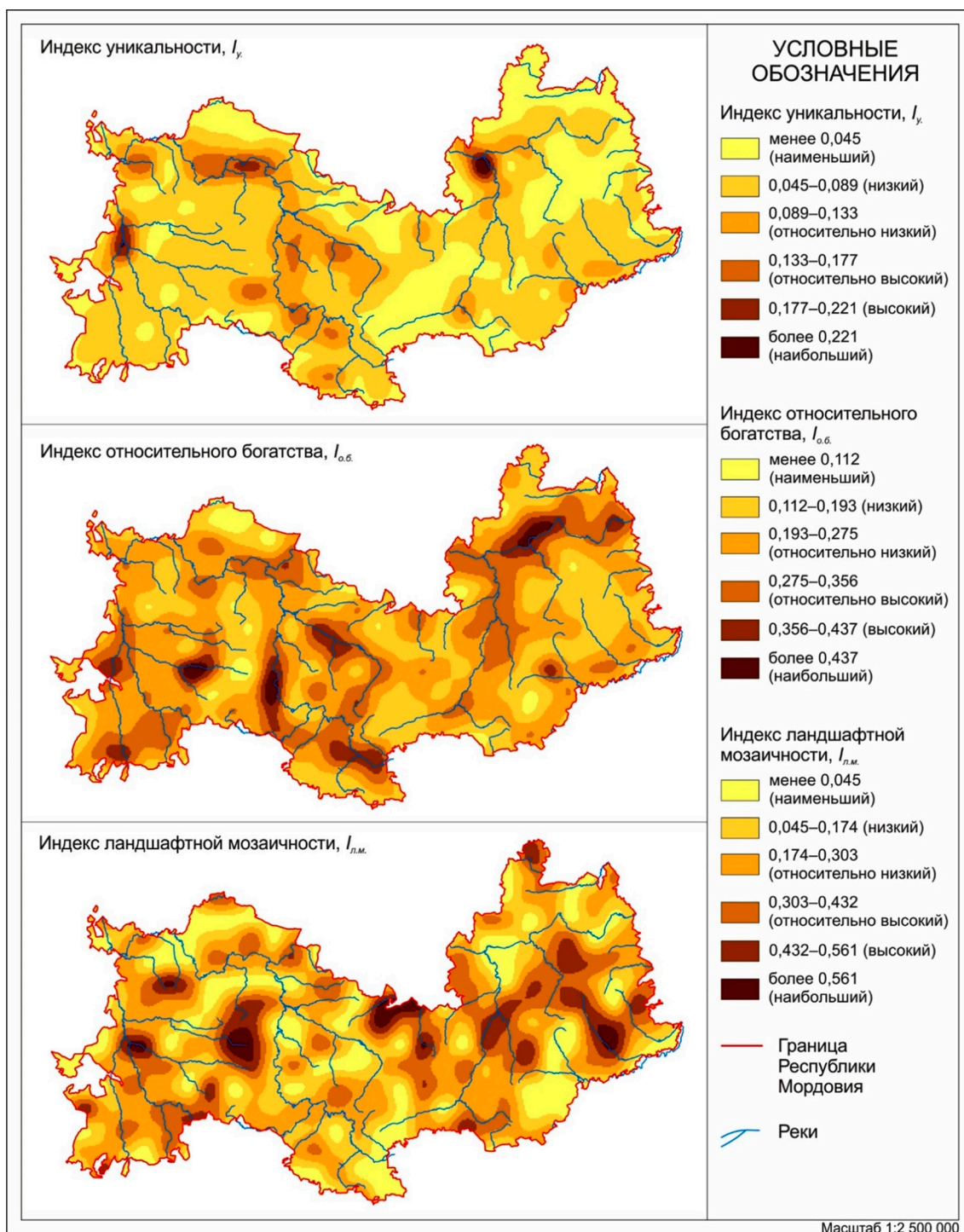


Рис. 2. Результаты ГИС-моделирования метрик I_u , $I_{o.б.}$, $I_{л.м.}$ (на основе ландшафтной карты, разработанной под руководством А.А. Ямашкина [9])

Высокое ландшафтное разнообразие обусловлено зонами контакта слабоволнистых междуречий, слабодренированных пологоволнистых геосистем надпойменных террас и пойм, что определяет развитие субстагнозных факторально-динамических рядов на слабодренированных геосистемах.

Зарегистрированы повышенные значения всех метрик.

Алатырская зона локализуется по осевой доминанте – реке Алатырь, в месте впадения в нее реки Нуя. Повышенные значения ландшафтных метрик связаны с пространственным сочетанием на ограниченной тер-

ритории лесных геосистем водно-ледниковых, аллювиально-флювиогляциальных равнин и гидроморфных геосистем с лесостепью Приволжской возвышенности. Были зарегистрированы повышенные значения следующих ландшафтных метрик: $I_{о.б.}$ (более 0,356), $I_{л.с.}$ (более 1,032), $I_{с.р.}$ (более 10,182), $I_{э.м.р.}$ (более 1,460).

Локализация Сурской зоны приурочена к отдельным проявлениям повышенных значений метрик (прежде всего $I_{э.м.р.}$) в зоне контрастных экотонных ландшафтных сопряжений долинных геосистем реки Суры и лесостепных склоновых геосистем возвышенной эрозионно-денудационной равнины.

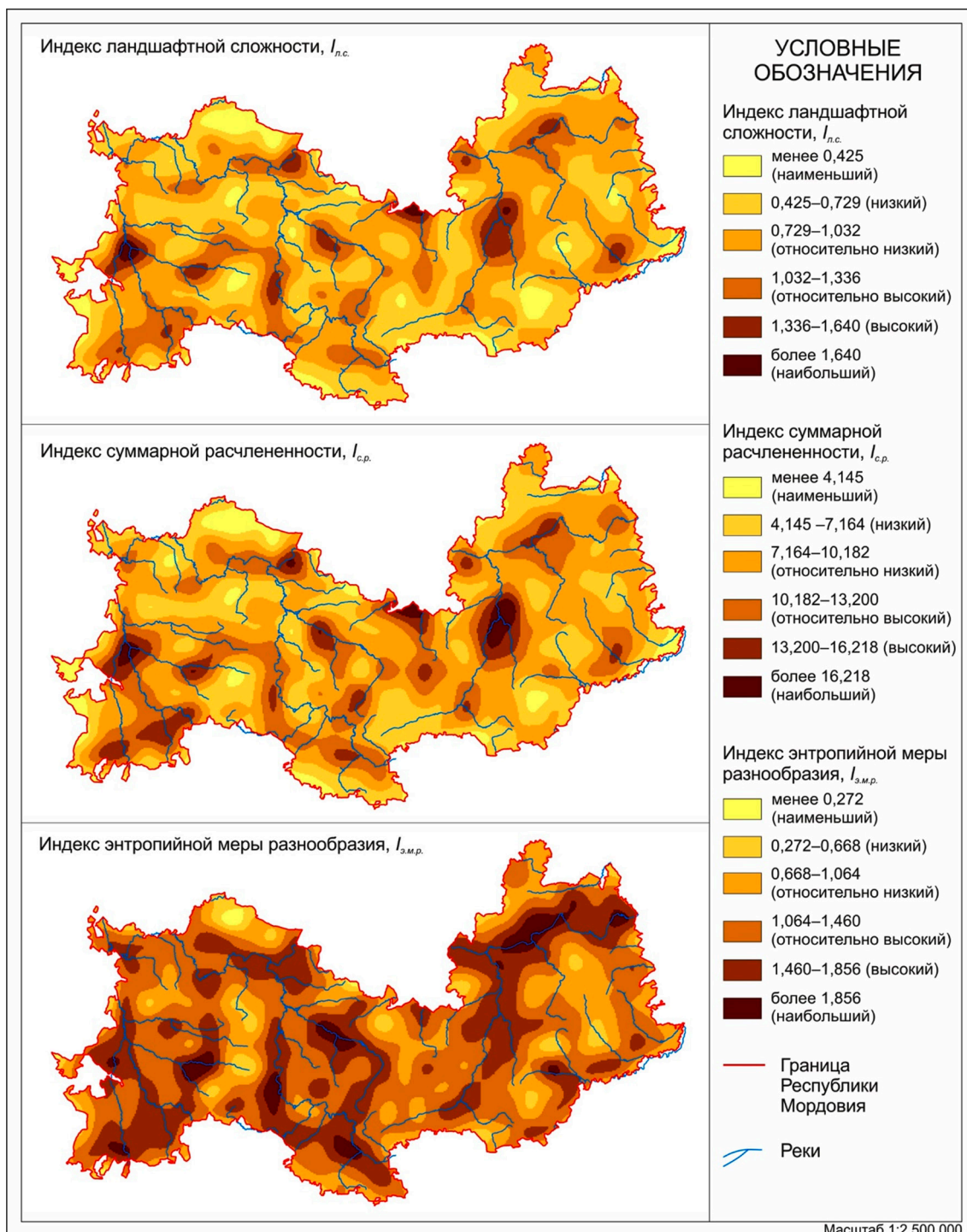


Рис. 3. Результаты ГИС-моделирования метрик $I_{л.с.}$, $I_{с.р.}$, $I_{э.м.р.}$ (на основе ландшафтной карты, разработанной под руководством А.А. Ямашкина [9])

Результаты ГИС-моделирования ландшафтных показателей учитывались при проектировании карт геоэкологического зонирования культурного ландшафта региона с выделением зон экологического равновесия и хозяйственного каркаса [1; 7].

Заключение

Геоэкологическое зонирование выступает важнейшим инструментом гармоничного сочетания природных, социальных и производственных подсистем культурного ландшафта. Реализуемый при этом каркасный подход требует учета множества факторов, одним из которых является ландшафтное разнообразие. Повышенные расчетные значения ландшафтных метрик позволяют локализовать участки, которые должны стать опорными зонами развития регионального экологического каркаса, ядрами развития эколого-рекреационной деятельности, что, в свою очередь, формирует необходимость регламентации хозяйственных процессов, введения природоохранного статуса в силу уникальности сочетаний природных условий на ограниченной территории.

Список литературы

1. Зарубин О.А., Рычкова О.В., Агеева А.Р. Функциональное геоэкологическое зонирование метагеосистем региона (на примере Республики Мордовия) // Успехи современного естествознания. 2023. № 9. С. 28-34. DOI: 10.17513/use.38099.
2. Колбовский Е.Ю. Стратегическое пространственное планирование как инструмент регионального развития // Ярославский педагогический вестник. 2011. Т. 3, № 3. С. 110-115.
3. Чибилев А.А. (мл.), Чибилев А.А. Современное состояние и проблемы модернизации природно-экологического каркаса регионов степной зоны европейской России // Юг России: экология, развитие. 2019. Т. 14, № 1. С. 117-125.
4. Климанова О.А., Колбовский Е.Ю., Илларионова О.А. Экологический каркас крупнейших городов Российской Федерации: современная структура, территориальное планирование и проблемы развития // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2018. Т. 63, № 2. С. 127-146.
5. Барышникова О.Н., Ольферт А.П., Репко А.Г., Фатуева Ю.И. Проблемы создания экологического каркаса агроландшафтов на территории Алтайского края // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2019. Т. 29, № 3. С. 353-361.
6. Левашева М.В., Рязанова Л.Р. Ландшафтно-экологический каркас как основа целевого проектирования на примере организации территории для рекреационного освоения (модельный участок Шаманка) // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2020. Т. 32. С. 77-89.
7. Ямашкин А.А., Зарубин О.А., Ямашкин С.А. Методика функционального геоэкологического зонирования метагеосистем для целей устойчивого эколого-социально-экономического развития региона (на примере Республики Мордовия) // International Agricultural Journal. 2022. Т. 65, № 3. С. 1100-1119.
8. Мирзеханова З.Г., Климина Е.М. Сохранение ландшафтного разнообразия для региональной экологической политики: значимость и проблемы применения // Вестник Воронежского университета. Серия: География. Геоэкология. 2023. № 1. С. 113-121.
9. Ямашкин А.А. Физико-географические условия и ландшафты Мордовии. Саранск: Издательство Мордовского университета. 1998. 156 с.
10. Ивашутина Л.И., Николаев В.А. К анализу ландшафтной структуры физико-географических регионов // Вестник Московского университета. 1969. № 4. С. 49-59.
11. Викторов А.С. Рисунок ландшафта. М.: Мысль, 1986. 179 с.
12. Позаченюк Е.А., Агиенко А.А. Оценка ландшафтного разнообразия Алуштинского амфитеатра // Учёные записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2017. Т. 3 (69), № 2. С. 102-116.
13. Занозин В.В., Бармин А.Н., Ямашкин С.А., Ямашкин А.А. Методы и алгоритмы оценки ландшафтного разнообразия в морфологическом аспекте на примере центральной части дельты реки Волги: материалы Международной конференции ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий. М.: Издательство Московского университета. 2020. Т. 26, Ч. 4. С. 114-130. DOI: 10.35595/2414-9179-2020-4-26-114-130.