

Научная статья

Original article

УДК 502/504:711.14(470.345)

DOI 10.55186/25876740_2022_6_3_9

**МЕТОДИКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО
ЗОНИРОВАНИЯ МЕТАГЕОСИСТЕМ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОГО
ЭКОЛОГО-СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА
(НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИЯ)**

THE METHOD OF FUNCTIONAL GEOECOLOGICAL ZONING
OF METAGEOSYSTEMS FOR THE PURPOSES OF SUSTAINABLE
ENVIRONMENTAL AND SOCIAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF THE
REGION (BY THE EXAMPLE OF THE REPUBLIC OF MORDOVIA)



Ямашкин Анатолий Александрович, доктор географических наук, профессор, декан географического факультета, заведующий кафедрой землеустройства и ландшафтного планирования, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005 Россия, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), тел. +7 (8342) 243732, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9995-8371>, yamashkin56@mail.ru

Зарубин Олег Александрович, кандидат географических наук, доцент кафедры землеустройства и ландшафтного планирования, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005 Россия, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), тел. +7 (8342) 243732, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3410-1139>, oleg-zarubin@list.ru

Ямашкин Станислав Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005 Россия, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68), тел. +7 (8342) 243732, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7574-0981>, yamashkinsa@mail.ru

Anatoly A. Yamashkin, doctor of geographical sciences, professor, dean of the faculty of geography, head of the department of land management and landscape planning, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya st., Saransk, 430005 Russia), tel. +7 (8342) 243732, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9995-8371>, yamashkin56@mail.ru

Oleg A. Zarubin, candidate of geographical sciences, associate professor of the department of land management and landscape planning, National Research Mordovia State University, (68 Bolshevistskaya st., Saransk, 430005 Russia), tel. +7 (8342) 243732, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3410-1139>, oleg-zarubin@list.ru

Stanislav A. Yamashkin, candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department of automated information processing and control systems, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya st., Saransk, 430005 Russia), tel. +7 (8342) 243732, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7574-0981>, yamashkinsa@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена актуальным вопросам пространственной организации метагеосистем культурного ландшафта для целей оптимизации регионального землепользования. В работе представлен опыт поляризации северной лесостепи западных склонов пластово-ярусной Приволжской возвышенности и краевой части лесных геосистем пластовой Окско-Донской низменности в границах Республики Мордовия. Авторами предложена система методов, основанная на принципах геоинформационного моделирования, анализа данных дистанционного зондирования Земли, расчета морфометрии геосистем и биологического разнообразия, анализа процессов хозяйственного освоения,

геоэкологических проблем и деструктивных процессов. В результате проведенного исследования предложена цифровая модель геоэкологической поляризации геосистем для целей устойчивого развития и оптимизации системы регионального землепользования с выделением структуры хозяйственного каркаса и зон экологического равновесия. В качестве базового ресурса использована геоинформационная система (ГИС) «Мордовия», узловым звеном которой является электронная синтетическая ландшафтная карта. В основе ее функционирования заложена типологическая классификация геосистем на уровне систем (подсистем), классов (подклассов), типов (подтипов), родов (подродов). Для целей исследования ландшафтный модуль в региональной ГИС был дополнен тематическими блоками «Геоэкология хозяйственного каркаса», «Геодиагностика зон экологического равновесия и биоразнообразия» и «Расчет морфометрических ландшафтных показателей». Данные блоки обеспечивают систематизацию и интерпретацию разнородных геоданных для определения пространственной конфигурации, геоэкологического анализа и прогноза функционирования структурных элементов хозяйственного каркаса и зон экологического равновесия разных порядков. Результаты проведенного исследования могут быть использованы для целей оптимизации системы территориального планирования, регионального землепользования и планирования культурных ландшафтов.

Abstract. The article is devoted to topical issues of the spatial organization of cultural landscape metageosystems for the purposes of optimizing regional land use. The experience of polarization of the northern forest-steppe of the western slopes of the layered-tier Volga Upland and the marginal part of the forest geosystems of the layered Oka-Don lowland within the boundaries of the Republic of Mordovia is presented in the article. The authors proposed a system of methods based on the principles of geoinformation modeling, analysis of Earth remote sensing data, calculation of morphometry of geosystems and biological diversity, analysis of economic development processes, geoeological problems and destructive processes. A digital model of geoeological polarization of geosystems for the purposes of sustainable development and optimization of the system of regional land use with the allocation of

the structure of the economic framework and zones of ecological balance is proposed as a result of the research. The geographic information system (GIS) «Mordovia» is used as a basic resource. The electronic synthetic landscape map is the main module. The typological classification of geosystems at the level of systems (subsystems), classes (subclasses), types (subtypes), genera (subgenera) is the basis of its functioning. The landscape module in the regional GIS was supplemented with thematic blocks «Geoecology of the economic framework», «Geodiagnostics of zones of ecological balance and biodiversity» and «Calculation of morphometric landscape indicators» for the purposes of the research. These blocks provide systematization and interpretation of heterogeneous geodata to determine the spatial configuration, geoecological analysis and forecast of the functioning of the structural elements of the economic framework and zones of ecological balance of different orders. The results of the research can be used to optimize the system of territorial planning, regional land use and planning of cultural landscapes.

Ключевые слова: метагеосистемы, геоинформационная система (ГИС), устойчивое развитие, геоэкологическое зонирование, региональное землепользование, территориальное планирование

Keywords: metageosystems, geographic information system (GIS), sustainable development, geoecological zoning, regional land use, territorial planning

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ в рамках научного проекта № 22-27-00651.

Acknowledgments: the research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation within the framework of the scientific project No. 22-27-00651.

Введение. Метахронный характер развития глобальных и региональных геоэкологических проблем, сложный характер взаимосвязей и взаимоотношений природных, социальных и производственных подсистем культурных ландшафтов определяет высокий практический интерес к формированию и развитию

цифровых моделей метагеосистем, ориентированных на диагностику, анализ и прогнозирование тенденций регионального землепользования. Разработка таких цифровых моделей, основанная на методологии и методах геоинформационного картографирования, геопортального проектирования, автоматических и автоматизированных алгоритмах обработки данных дистанционного зондирования Земли, в том числе многозональных космических снимков, является стратегическим направлением фундаментальных и прикладных исследований [1, 2 и др.], ориентированных на научно обоснованную поддержку принятия управленческих решений на основе пространственных данных. С другой стороны, устойчивое региональное развитие исходит из целенаправленной разработки эффективной системой землепользования и стратегии пространственного взаимодействия природных, социальных и производственных подсистем.

Материалы и методы исследования. Разработка цифровых моделей геоэкологической оптимизации регионального землепользования и управления метагеосистемами является наиболее перспективным и сложным в науках о Земле. В. А. Николаев [3] выделяет два принципиальных подхода: жесткое управление (строительство инженерных сооружений) и мягкая активизация регуляторных свойств геосистем, основанная на грамотном ландшафтном планировании и адаптации системы землепользования к структуре вмещающего ландшафта. Мягкий метод управления метагеосистемами связан с территориальной дифференциацией. Ее механизм де-юре закреплен в приказе Минрегиона России от 19.04.2013 г. № 169 «Об утверждении Методических рекомендаций по подготовке проектов схем территориального планирования субъектов Российской Федерации» в контексте пространственного моделирования экономического, социального и экологического каркасов территории (п. 2.3.6), призванных обеспечить «идеальную модель» развития культурного ландшафта региона. Безотносительно к оценке качества реализации каркасной концепции оптимальной пространственной организации метагеосистем в документах территориального планирования (такая оценка является предметом отдельного исследования) констатируем, что де-факто рассматриваемый подход

содержится в графических разделах и в материалах по обоснованию на уровне субъектов и муниципальных районов, а часто и на более низком иерархическом уровне – в генеральных планах поселений.

Методология каркасного подхода основывается на идеях поляризованной модели биосферы Б. Б. Родомана [4]. В результате такой целенаправленной пространственной поляризации обособляются взаимосвязанные структурные элементы экологического равновесия и хозяйственного каркаса, характеризующиеся разными режимами землепользования.

Реализация каркасного подхода при обеспечении функционального зонирования метагеосистем, в том числе на основе использования цифровых технологий, является одной из узловых тем современных геоэкологических и землеустроительных исследований. Среди научных работ, вышедших в свет в последние годы, целесообразно выделить тематическое направление, связанное с применением каркасной концепции в оптимизация структуры регионального землепользования и функционирования агрогеосистем [5–9].

В настоящей статье представлен авторский подход, реализованный при поиске модели оптимальной пространственной организации регионального землепользования лесостепи западных склонов пластово-ярусной Приволжской возвышенности и краевой части лесных геосистем пластовой Окско-Донской низменности в границах Республики Мордовия на основе функционального зонирования метагеосистем с выделением зон экологического равновесия и хозяйственного каркаса. Его реализация базируется на использовании региональной ГИС «Мордовия», структурно состоящей из тематических модулей, представленных на рисунке 1.

Узловое звено занимает ландшафтный модуль, включающий многозональные космические снимки и синтетическую электронную ландшафтную карту [10], которая иерархически структурируется с выделением классов (подклассов), типов (подтипов), родов геосистем в соответствии с принципами структурно-генетической классификации геосистем [11]. Легенда карты содержит покомпонентное описание геосистем, и каждый выдел сопровождается

развернутой характеристикой (особенности природы, населения, хозяйства, геоэкологических ограничений). Цифровые классификаторы легенды позволяют с помощью связанных баз данных ГИС извлекать необходимую информацию о ландшафтной структуре региона, особенностях землепользования, развитии геоэкологических проблем. Для решения задач обоснования функционального геоэкологического зонирования метагеосистем модуль развит в контексте внедрения нескольких блоков, представленных на рисунке 1. Работы выполнялись в ГИС ArcGIS и ScanEx Image Processor.

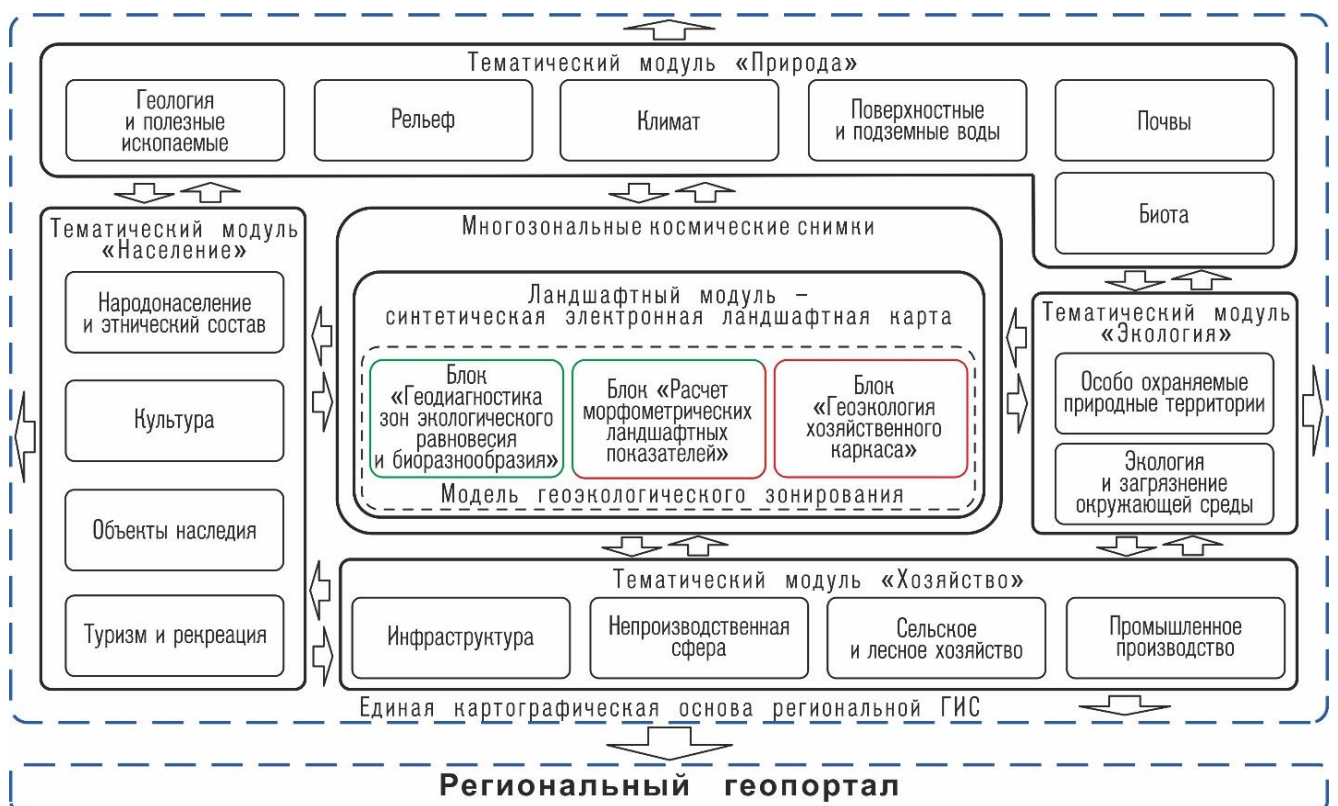


Рисунок 1. Структура региональной ГИС «Мордовия» для целей функционального геоэкологического зонирования метагеосистем
Figure 1. The structure of the regional GIS «Mordovia» for the purposes of functional geoeological zoning of metageosystems

Методику проектирования цифровых моделей метагеосистем целесообразно структурировать на 4 этапа, основной состав которых представлен на рисунке 2.

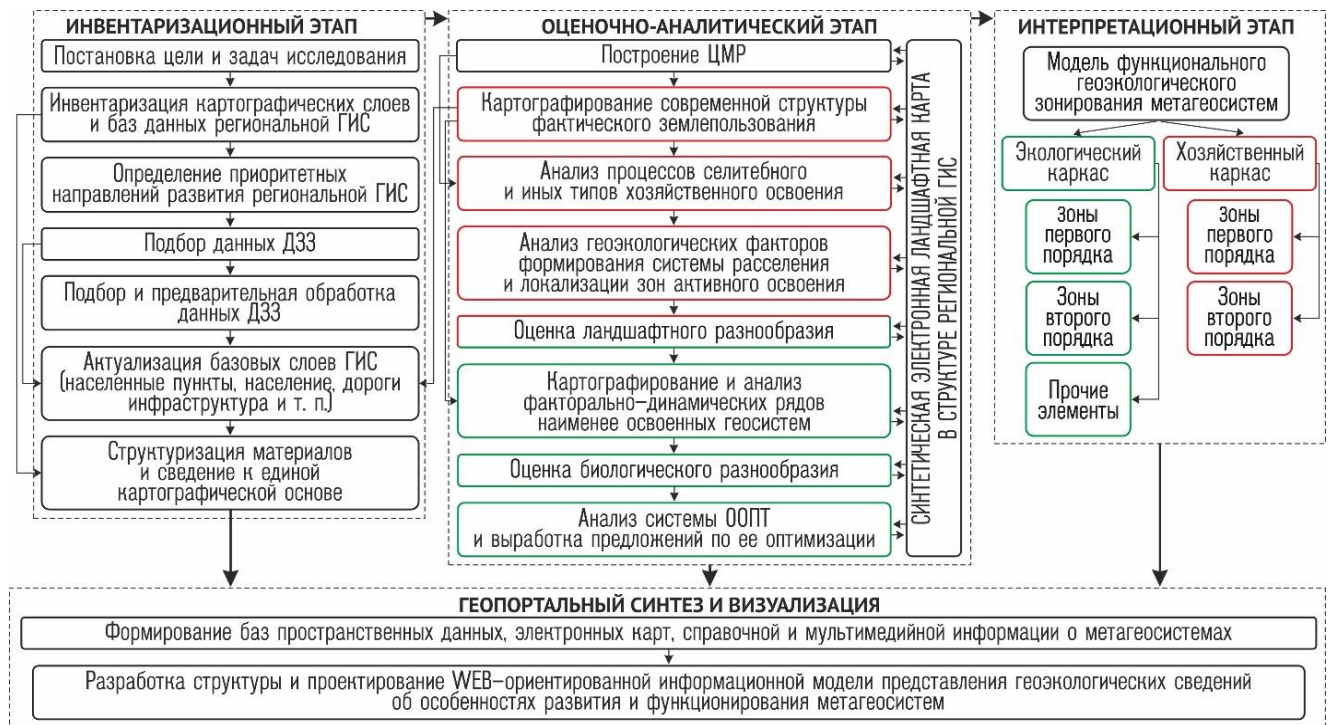


Рисунок 2. Методика функционального геоэкологического зонирования метагеосистем

Figure 2. Methods of functional geoeological zoning of metageosystems

Стержневым этапом является оценочно-аналитический. Решение его задач основано на использовании синтетической электронной ландшафтной карты. Ее узловая роль в региональной ГИС сводится к двум принципиальным положениям: во-первых, данный модуль в совокупности с результатами моделирования морфометрических ландшафтных показателей формирует цифровую модель региона, ориентированную на геодиагностику геоэкологических процессов; во-вторых, модуль является основой для анализа закономерностей свойств метагеосистем и обоснования их функционального зонирования.

Обоснование пространственного выделения элементов хозяйственного каркаса проведено на основе картографирования современной структуры фактического землепользования на базе автоматизированного дешифрирования многозональных космических снимков Landsat, геоинформационного анализа развития селитебного процесса как стержневого типа хозяйственного освоения и факторов формирования системы расселения с выделением геоэкологических ограничений и приоритетных направлений развития системы землепользования.

Для целей обоснования зон экологического равновесия в предложенной системе методов предусмотрены анализ факторально-динамических рядов геосистем с последующей оценкой биоразнообразия по распространению редких и исчезающих видов растений; анализ изменения лесистости, основанный на сопоставлении материалов генерального межевания земель, топографических карт и результатов дешифрирования разновременных снимков Landsat; оценка фитомассы геосистем на основе расчета вегетационных индексов и др. Важную роль сыграл расчет ландшафтных метрик, результаты которого учитываются как для обоснования хозяйственного каркаса, так и зон экологического равновесия.

Результаты исследования и их обсуждение. Применение вышеуказанной системы методов позволило выработать предложения по геоэкологическому зонированию метагеосистем на основе каркасного подхода. Остановимся на наиболее важных в данном контексте результатах.

Узловое значение для реализации предложенного подхода имеет расчет ландшафтных метрик, которые были использованы для предварительной оценки геосистем в контексте анализа развития геоэкологических процессов, выделения хозяйственного каркаса и зон экологического равновесия. Для расчета были отобраны 6 индексов, методика вычисления которых раскрывается в ряде работ [12, 13 и др.]: уникальности (I_o), относительного богатства (I_r), ландшафтной мозаичности (I_p), ландшафтной сложности (I_c), суммарной расчлененности (K), энтропийной меры разнообразия (коэффициент Шеннона) (H).

По результатам моделирования (рисунок 3) установлено, что для целей обоснования экологического каркаса наиболее репрезентативные значения имеют индексы I_o , I_r , H . Высокие показатели индекса I_o детектируют уникальные пространственно локализованные сопряжения родов геосистем, т. к. в пределах операционной ячейки регистрируются такие их наборы, которые редки для остальной территории. Индекс I_r представляет меру локальной репрезентативности. Он максимален, если в операционной ячейке широко представлен спектр единиц типологических подразделений ландшафтной оболочки. Показатель H повышается при детектировании в операционной ячейке

одиноким выделом каждого рода геосистем, что ценно при регистрации ареалов с высоким разнообразием и информативностью, рекомендуемых для введения природоохранного режима и регламентации режима землепользования.

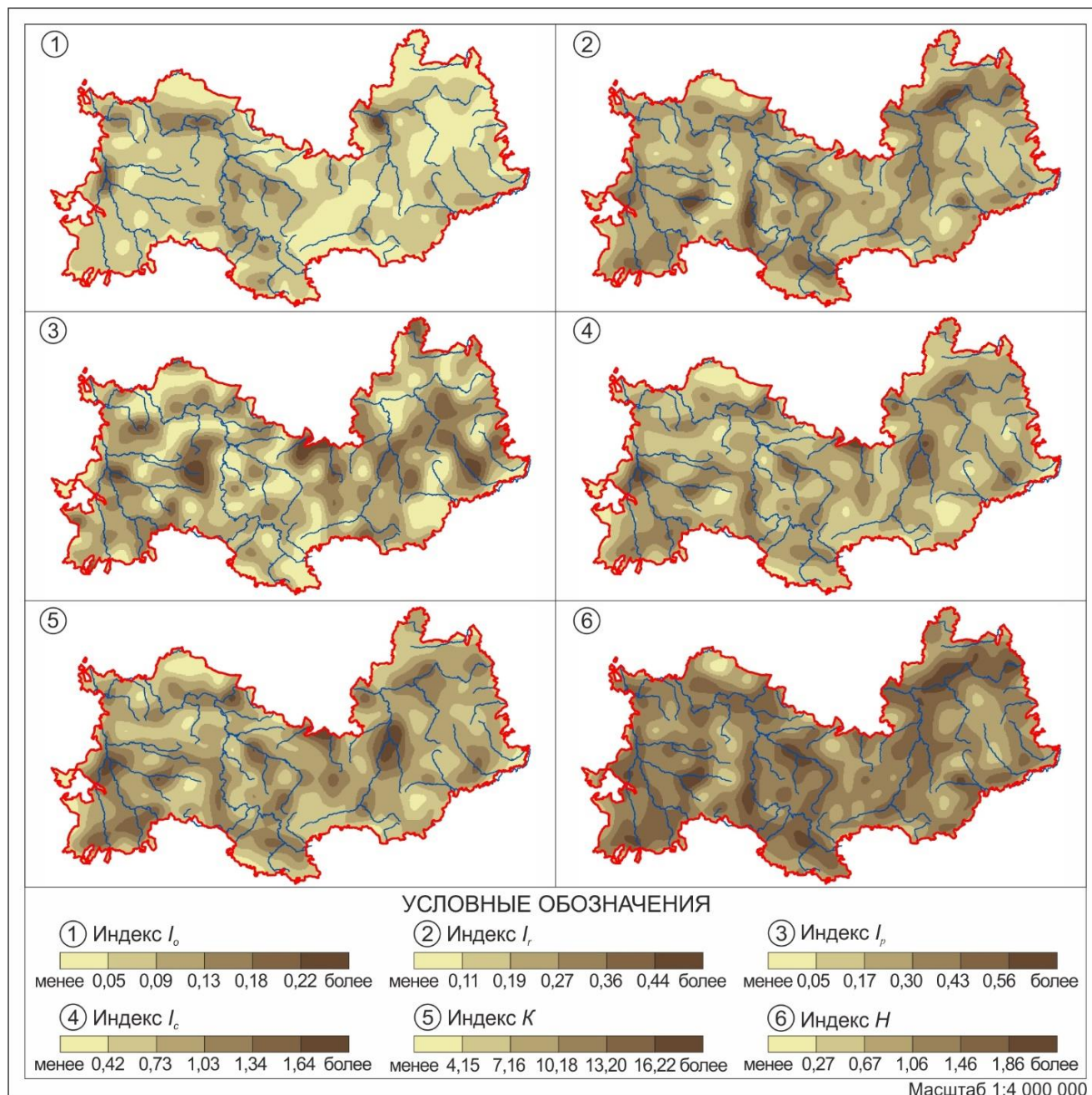


Рисунок 3. ГИС «Мордовия»: блок «Расчет морфометрических ландшафтных показателей»

Figure 3. GIS «Mordovia»: block «Calculation of morphometric landscape indicators»

Разработка блока «Расчет морфометрических ландшафтных показателей» в структуре ландшафтного модуля позволила на базе анализа цифровых параметров предварительно выделить ядра экологического каркаса, отличающиеся аномальными значениями метрик. Так, Средневадское ядро (слияние р. Вад, Парца, Виндрей, Явас), обуславливается развитием субстагнозных факторально-динамических рядов. Для правобережной части долины р. Вад характерны высокое расчленение притоками, высокие показатели всех ландшафтных метрик. Аномальные значения сопряжены с зонами контакта слабоволнистых междуречных пространств, пологоволнистых надпойменных террас и пойм.

Повышенные значения морфометрических ландшафтных показателей зарегистрированы в Примокшанье. Одно из ядер локализуется в соответствии с субширотным участком течения реки в районе г. Темников. Здесь отмечаются аномальные значения I_o , I_c , H , K . Участки древнеаллювиальной равнины на севере и северо-востоке переходят в зандровые пологоволнистые водно-ледниковые равнины Мокшинско-Алатырского междуречья. Южнее пойменных комплексов Мокши простираются вторичные моренные равнины, представленные лесостепью. Второе ядро детектируется на субмеридиональном участке реки, разделяя лесостепное левобережье и лесные геосистемы низменного правобережья. Характерны высокие показатели I_r , H , I_c .

Проявления повышенных значений ландшафтных метрик H , I_c , K зарегистрированы для Присурья, что определяется эконтонным эффектом в зоне соседства лесостепных ландшафтов склонов эрозионно-денудационных равнин и лесных геосистем песчаных надпойменных террас Суры.

В свою очередь, в детектировании структуры хозяйственного каркаса хорошо зарекомендовал себя индекс I_p . При прочих равных значения данного индексы выше, чем меньше количество типологических подразделений в операционной ячейке, что указывает на относительно однородные условия хозяйственного освоения и формирует предпосылки для включения территорий в структуру хозяйственного каркаса.

На следующем этапе для планирования зон экологического равновесия в структуру ландшафтного модуля внедрен блок «Геодиагностика зон экологического равновесия и биоразнообразия». Для этого использовались операции автоматизированного анализа данных дистанционного зондирования Земли в контексте картографирования проективного покрытия, определения фитомассы геосистем на базе вычисления индекса NDVI, картографирования динамики лесистости, оценки биоразнообразия на основе расчета метрик распространения редких и исчезающих видов растений.

Методика оценки биоразнообразия предварительно выделенных ядер экологического равновесия основана на: 1) составлении матриц видового богатства по зарегистрированным местопроизрастаниям редких и исчезающих видов растений; 2) оценке биоразнообразия отдельных элементов экологического каркаса на основе индекса Шеннона; 3) вычислении корреляционных связей между ними. Интересный результат был получен при выполнении расчетов показателя корреляции. Так, для Присурья характерны отрицательные коэффициенты, т. е. данный элемент экологического каркаса зеркально отличается от других. Данный факт подтверждается результатами предыдущих исследований, в ходе которых установлены следующие закономерности: 1) на экотонных участках коренных бортов долины Суры при пересечении долинами малых рек значительное распространение получили полусерийные и серийные фации сублитоморфного факторально-динамического ряда лесостепных ландшафтов с высокой концентрацией кальцефильных видов; 2) для древнеаллювиальных и аллювиально-флювиогляциальных равнин концентрация редких и исчезающих видов характерна для посусерийных и серийных фаций субстагнозного ряда бореальных ландшафтов [14]. Для целей сохранения местообитаний редких и исчезающих видов растений в этих зонах целесообразно организовать крупноареальные ООПТ.

Для обеспечения устойчивого эколого-социально-экономического развития территории предложена структура экологического каркаса (рисунок 4).

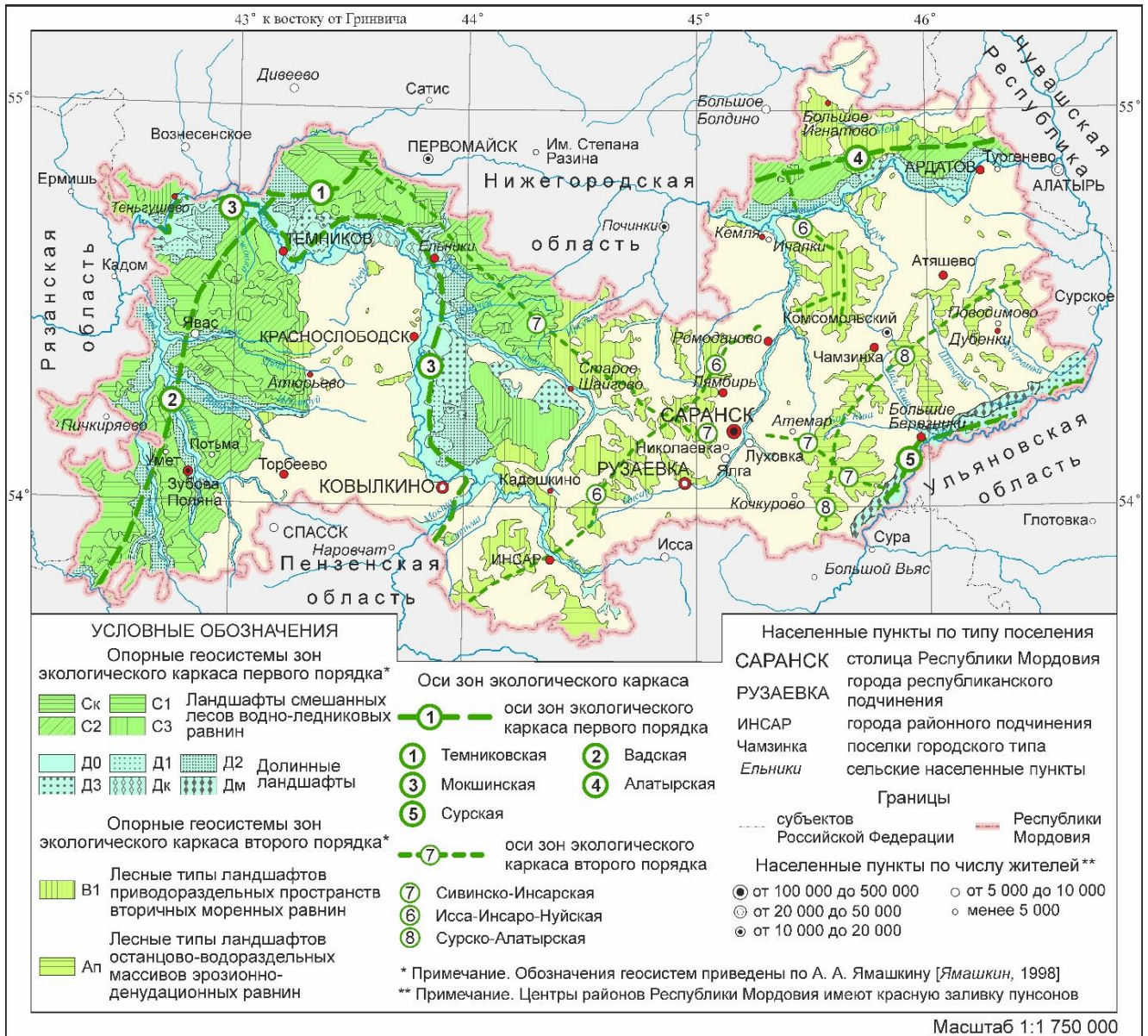


Рисунок 4. ГИС «Мордовия»: оси зон экологического равновесия
 Figure 4. GIS «Mordovia»: axes of zones of ecological balance

Зоны первого порядка локализуются на лесных геосистемах водно-ледниковых равнин и смежных с ними долинных комплексов. Ключевая роль для оптимизации пространственного развития региона заключается в регуляции гидродинамического режима и защите области питания карбонатного каменноугольно-пермского водоносного горизонта от техногенных процессов. Зоны более низкого порядка формируются на основе лесных участков приводораздельных пространств вторичной моренной равнины и останцово-водораздельных массивов эрозионно-денудационной равнины. Основными

функциями являются: ограничение развития эрозионных процессов; ограничение техногенного влияния на водоносные комплексы палеогена и верхнего мела; обеспечение миграционной связи между зонами первого порядка и др.

Для планирования регионального землепользования в структуре ГИС «Мордовия» разработан блок «Геоэкология хозяйственного каркаса». Выявленные закономерности хозяйственного освоения детектируются в ориентации высоких показателей плотности поселений на участках границ лугово-степных и лесных геосистем, лесостепных ландшафтов вторичных моренных равнин и смешанных лесов водно-ледниковых равнин. Плотность размещения населенных пунктов разной людности свидетельствует о выборочном характере хозяйственного освоения. Для большинства средних и крупных поселений прослеживается локализация в лугово-степных и лесостепных геосистемах, отличающихся значительным почвенным потенциалом и высокой сельскохозяйственной освоенностью. В лугово-степных ландшафтах регистрируются самые высокие показатели средней людности поселений, характерны наибольшее их количество и самая высокая доля поселений с численностью более 1 000 чел. (таблица 1). Данные тенденции характерны и для распределения плотности населения.

Таблица 1. Распределение населенных пунктов по типам геосистем

Table 1. Distribution of settlements by types of geosystems

Группировка геосистем	Количество, ед.	Плотность, ед./км ²	Доля населенных пунктов разной людности, %							
			менее 26	26–50	51–100	101–200	201–500	501–1 000	1001–2 000	более 2 000
Провинция лесостепи Приволжской возвышенности										
Лугово-степные ландшафты	509	0,07	29,5	10,8	9,2	15,7	19,8	8,23	3,1	3,5
Лесостепные ландшафты	352	0,05	33,5	6,23	12,2	12,8	23,9	7,7	1,4	2,3
Ландшафты широколиственных лесов	141	0,04	39,0	9,9	9,2	9,9	23,4	5,0	0,0	3,6
Остепненные нагорные дубравы	19	0,01	47,4	5,3	5,3	5,6	21,1	15,8	0,0	0,0
Лесная провинция Окско-Донской низменности										
Ландшафты хвойных и смешанных лесов	240	0,03	42,9	10,0	10,8	11,7	14,2	3,8	1,7	5,0

С учетом расчета показателей, некоторые из которых приведены в таблице 2, на территории региона определены зоны хозяйственного каркаса двух порядков и основные геоэкологические ограничения их развития. Важный ограничивающий фактор – качество вод карбонатного каменноугольно-пермского комплекса, используемого для централизованного водоснабжения. Основные лимитирующие показателями – минерализация и содержание фтора. Наиболее сложная ситуация в центральной и восточной части региона (Саранско-Рузаевская, Ардатовско-Чамзинская и другие зоны), где сосредоточены основные водопотребители.

Таблица 2. Показатели селитебной и сельскохозяйственной освоенности зон хозяйственного каркаса

Table 2. Indicators of residential and agricultural development of the economic framework zones

Зоны	Плотность нас. пунктов, ед./км ²	Плотность населения, чел./км ²	Средняя людность нас. пунктов, чел.	Сельскохозяйственная освоенность, %	Лесистость, %
Первый порядок					
Саранско-Рузаевская	0,06	112,2	1 791,1	75,6	11,3
Ковылкинско-Краснослободская	0,08	26,7	338,6	79,0	9,4
Ардатовско-Чамзинская	0,05	30,4	563,9	77,5	10,1
Инсарская	0,04	12,1	328,4	71,6	19,1
Кадошкинско-Старошайговская	0,05	11,3	238,9	75,5	13,1
Большеигнатовская	0,06	12,6	202,9	78,8	7,2
Большеберезниковская	0,04	14,2	359,2	61,7	26,6
Второй порядок					
Ельниковская	0,07	14,0	204,4	54,1	26,0
Теньгушевская	0,08	17,4	230,4	59,7	17,7
Среднее по зонам					
	0,06	27,9	473,1	71,5	15,6

Область применения результатов исследования. Предложенную методику и результаты исследования целесообразно учитывать при разработке документов территориального планирования, развитии системы природоохранных территорий, оптимизации региональной системы землепользования, ориентированной на создание истинно культурных ландшафтов, выполняющих средозащитные и ресурсовоспроизводящие функции.

Выводы. Таким образом, реализация методики позволила сделать обоснование модели функционального геоэкологического зонирования метагеосистем региона. Результаты исследования показывают, что геоинформационная поддержка проектирования хозяйственного каркаса и зон экологического равновесия должна включать использование синтетической ландшафтной карты, дополняемой специализированными тематическими блоками. Проектируемая цифровая модель метагеосистем формирует информационную основу, обеспечивающую целенаправленный поиск стратегических направлений оптимизации регионального землепользования. В исследовании показано, что для функционального геоэкологического зонирования метагеосистем целесообразно решение следующих задач:

- развитие ландшафтного модуля региональной ГИС в контексте внедрения ряда блоков и реализации каркасного подхода к планированию культурных ландшафтов;

- расчет морфометрических ландшафтных показателей и оценка биоразнообразия по распространенности редких и исчезающих видов растений;

- геоинформационное моделирование процессов хозяйственного освоения ландшафтов, картографирование структуры землепользования и геоэкологический анализа развития деструктивных процессов;

- обоснование схем экологического и хозяйственного каркаса для проектирования цифровых моделей функционального зонирования, в том числе в составе схем территориального планирования региона и муниципальных районов.

Литература

1. Зайцев А.Б., Кивва К.В., Тикунов В.С. Использование геоинформационных технологий в схемах территориального планирования // Известия РАН. Серия географическая, 2014. № 3. С. 87–102. DOI: 10.15356/0373-2444-2014-3-87-102.

2. Кошкарёв А.В. Геоинформатика в инфраструктурном обеспечении цифровой экономики // Геодезия и картография, 2019. № 1. С. 119–126. DOI: 10.22389/0016-7126-2019-943-1-119-126.
3. Николаев В.А. Ландшафтоведение: семинар. и практ. занятия. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2006. 208 с.
4. Родоман Б.Б. Пространственная концентрация антропогенных явлений (поиски географических законов). Учен. зап. Тартус. гос. ун-та, 1981. Вып. 578. Региональные проблемы развития социально-экономических пространственных систем. С. 52–78.
5. Лужков Р.С., Пакина А.А. Анализ структуры землепользования староосвоенного региона для целей формирования природно-экологического каркаса с применением ГИС-технологий (на примере Белгородской области) // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Географический факультет МГУ, 2021. Т. 27. Ч. 4. С. 105–119. DOI: 10.35595/2414-9179-2021-4-27-105-119.
6. Тишков А.А., Белоновская Е.А., Золотухин Н.И., Титова С.В., Царевская Н.Г., Чендев Ю.Г. Сохранившиеся участки степей как основа будущего экологического каркаса Белгородской области. Аридные экосистемы, 2020. Т. 26, № 1 (82). С. 43–53. DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10082.
7. Чибилёв А.А. (мл.), Чибилёв 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. DOI:10.18470/1992-1098-2019-1-117–125.
8. Jalkanen J., Toivonen T., Moilanen A. Identification of ecological networks for land-use planning with spatial conservation prioritization // Landscape Ecology, 2020. Vol. 35. P. 353–371. DOI: 10.1007/s10980-019-00950-4.
9. Liccari F., Sigura M., Tordoni E., Boscutti F., Vacaro G. Determining plant diversity within interconnected natural habitat remnants (ecological network) in an agricultural landscape: a matter of sampling design? // Diversity, 2022. Vol. 14 (1), Issue 12. DOI: 10.3390/d14010012.

10. Ямашкин А.А. Физико-географические условия и ландшафты Мордовии. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 1998. 156 с.
11. Николаев В.А. Классификация и мелкомасштабное картографирование ландшафтов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. 62 с.
12. Викторов А.С. Рисунок ландшафта. М.: Мысль, 1986. 179 с.
13. Ивашутина Л.И., Николаев В.А. К анализу ландшафтной структуры физико-географических регионов // Вестн. Москов. ун-та. Серия 5. География, 1969. № 4. С. 49–59.
14. Ямашкин А.А., Силаева Т.Б., Ямашкин С.А., Зарубин О.А. Геоинформационная модель долины среднего течения реки Суры для формирования системы особо охраняемых природных территорий // Вестн. Рязан. гос. ун-та им. С.А. Есенина, 2019. № 1 (62). С. 92–104.

References

1. Zaitcev A.B., Kivva K.V., Tikunov V.S. (2014). Ispol'zovanie geoinformatsionnykh tekhnologii v skhemakh territorial'nogo planirovaniya [Geoinformation technologies in land-use planning]. Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya, no 3, pp. 87–102. DOI: 10.15356/0373-2444-2014-3-87-102.
2. Koshkarev A.V. (2019). Geoinformatika v infrastrukturnom obespechenii tsifrovoi ehkonomiki [Geoinformatics in infrastructural support of the digital economy]. Geodesy and cartography, no 1, pp. 119–126. DOI: 10.22389/0016-7126-2019-943-1-119-126.
3. Nikolaev V.A. (2006). Landshaftovedenie: seminarckie i prakticheskie zanyatiya [Landscape science: seminars and practical classes]. Moscow: Moscow University Press. 208 p.
4. Rodoman B.B. (1981). Prostranstvennaya kontsentratsiya antropogennykh yavlenii (poiski geograficheskikh zakonov) [Spatial concentration of anthropogenic phenomena (search for geographical laws)]. Scientific Notes of Tartu State University,

issue 578. Regional problems of development of socio-economic spatial systems, pp. 52–78.

5. Luzhkov R.S., Pakina A.A. (2021). Analiz struktury zemlepol'zovaniya staroosvoennogo regiona dlya tselei formirovaniya prirodno-ehkologicheskogo karkasa s primeneniem GIS-tehnologii (na primere Belgorodskoi oblasti) [GIS-analysis of the old-developed region's land use structure for the purposes of ecological framework design (on example of the Belgorod region)]. InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference. Moscow: MSU, Faculty of Geography, vol. 27, part 4, pp. 105–119. DOI: 10.35595/2414-9179-2021-4-27-105-119.

6. Tishkov A.A., Belonovskaya E.A., Zolotukhin N.I., Titova S.V., Tsarevskaya N.G., Chendev Yu.G. [2020]. Sokhranivshiesya uchastki stepei kak osnova budushchego ehkologicheskogo karkasa Belgorodskoi oblasti [The surviving sections of the steppes as the basis for the future ecological framework of the Belgorod region]. Arid ecosystems, vol. 26, no 1 (82), pp. 43–53. DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10082.

7. Chibilyov A.A. (jr.), Chibilyov A.A. (2019). Sovremennoe sostoyanie i problemy modernizatsii prirodno-ehkologicheskogo karkasa regionov stepnoi zony Evropeiskoi Rossii [Current state and problems of modernization of ecological framework of regions of the steppe zone of European Russia]. South of Russia: ecology, development, vol. 14, no 1, pp. 117–125. DOI:10.18470/1992-1098-2019-1-117–125.

8. Jalkanen J., Toivonen T., Moilanen A. (2020). Identification of ecological networks for land-use planning with spatial conservation prioritization. Landscape Ecology, vol. 35, pp. 353–371. DOI: 10.1007/s10980-019-00950-4.

9. Liccari F., Sigura M., Tordoni E., Boscutti F., Bacaro G. (2022). Determining plant diversity within interconnected natural habitat remnants (ecological network) in an agricultural landscape: a matter of sampling design? Diversity, vol. 14 (1), issue 12. DOI: 10.3390/d14010012.

10. Yamashkin A.A. (1998). Fiziko-geograficheskie usloviya i landshafty Mordovii [Physico-geographical conditions and landscapes of Mordovia]. Saransk: Mordovian University Press. 156 p.

11. Nikolaev V.A. (1978). Klassifikatsiya i melkomasshtabnoe kartografirovaniye landshaftov [Classification and small-scale mapping of landscapes]. Moscow: Moscow University Press. 62 p.

12. Victorov A.S. (1986). Risunok landshafta [Drawing of the landscape]. Moscow: Mysl', 1986. 179 p.

13. Ivashutna L.I., Nikolaev V.A. (1969). K analizu landshaftnoi struktury fiziko-geograficheskikh regionov [To the analysis of landscape structure of the physical and geographical regions]. Moscow University Bulletin. Series 5. Geography, no 4, pp. 49–59.

14. Yamashkin A.A., Silaeva T.B., Yamashkin S.A., Zarubin O.A. (2019). Geoinformatsionnaya model' doliny srednego techeniya reki Sura dlya formirovaniya sistemy osobo okhranyaemykh prirodnykh territorii [The geoinformation model of the valley of the middle reaches of the Sura river for the development of a system of protected areas]. The Bulletin of Ryazan State University named for S. A. Yesenin, no 1 (62), pp. 92–104.

© Ямашкин А.А., Зарубин О.А., Ямашкин С.А., 2022. *International agricultural journal*, 2022, № 5, 1100-1119.

Для цитирования: 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. № 5, 1100-1119.