

Научная статья

Original article

УДК 911.9, 004.652

doi: 10.55186/2413046X\_2023\_8\_8\_410

**АГРОЛАНДШАФТЫ В СТРУКТУРЕ МЕТАГЕОСИСТЕМ**  
**AGRICULTURAL LANDSCAPES IN THE STRUCTURE OF METAGE-**  
**OSYSTEMS**



*Благодарности.* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-00651, <https://rscf.ru/project/22-27-00651/>

**Ямашкин Анатолий Александрович**, доктор географических наук, профессор, директор Института геоинформационных технологий и географии Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва, г. Саранск, [yamashkin56@mail.ru](mailto:yamashkin56@mail.ru)

**Ямашкин Станислав Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва, г. Саранск, [yamashkinsa@mail.ru](mailto:yamashkinsa@mail.ru)

**Суслов Роман Витальевич**, Институт геоинформационных технологий и географии Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва, г. Саранск, [rsus03@yandex.ru](mailto:rsus03@yandex.ru)

**Агеева Анастасия Романовна**, аспирант Института геоинформационных технологий и географии Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва, г. Саранск, [dedkova.ar@yandex.ru](mailto:dedkova.ar@yandex.ru)

**Рычкова Ольга Владимировна**, аспирант Института геоинформационных технологий и географии Национального исследовательского Мордовского

Московский экономический журнал. № 8. 2023

Moscow economic journal. № 8. 2023

государственного университета им. Н. П. Огарёва, г. Саранск, [rychkovaolga13@gmail.com](mailto:rychkovaolga13@gmail.com)

**Yamashkin Anatoly Alexandrovich**, Doctor of Geography, Professor, Director of the Institute of Geoinformation Technologies and Geography of the National Research Mordovian State University, Saransk, [yamashkin56@mail.ru](mailto:yamashkin56@mail.ru)

**Yamashkin Stanislav Anatolievich**, PhD in Engineering, Associate Professor, Institute of Electronics and Lighting Engineering of the National Research Mordovian State University, Saransk, [yamashkinsa@mail.ru](mailto:yamashkinsa@mail.ru)

**Suslov Roman Vitalievich**, of the Institute of Geoinformation Technologies and Geography of the National Research Mordovian State University, Saransk, [rsus03@yandex.ru](mailto:rsus03@yandex.ru)

**Ageeva Anastasia Romanovna**, post-graduate student of the Institute of Geoinformation Technologies and Geography of the National Research Mordovian State University, Saransk, [dedkova.ar@yandex.ru](mailto:dedkova.ar@yandex.ru)

**Rychkova Olga Vladimirovna**, post-graduate student of the Institute of Geoinformation Technologies and Geography of the National Research Mordovian State University, Saransk, [rychkovaolga13@gmail.com](mailto:rychkovaolga13@gmail.com)

**Аннотация.** Статья посвящена вопросам разработки методов и способов исследования состояния агроландшафтов в структуре метагеосистем на основе пространственных данных. Опыт картографирования структуры и состояния агрогеосистем показывает, что типизация сельскохозяйственных земель для принятия управленческих решений по оптимизации природопользования должна основываться на комплексном моделировании взаимодействия природных, социальных и производственных подсистем. Доказано, что информационные ресурсы пространственных данных востребованы при подготовке инвестиционных предложений и принятии управленческих решений для обеспечения получения стабильно высоких и экономически-эффективных результатов производства сельскохозяйственной продукции. Разработанная на основе синтетической карты типология земель геосистем Республики Мор-

довия позволяет выделить особенности развития процессов хозяйственного освоения для целей устойчивого развития.

**Abstract.** The article is devoted to the development of methods and techniques for studying the state of agrolandscapes in the structure of metageosystems based on spatial data. The experience of mapping the structure and state of agro-geosystems shows that the typification of agricultural lands for making managerial decisions on optimizing nature management should be based on a comprehensive modeling of the interaction of natural, social and production subsystems. It is proved that information resources of spatial data are in demand in the preparation of investment proposals and management decisions to ensure consistently high and cost-effective results of agricultural production. The developed typology of lands based on a synthetic map of geosystems of the Republic of Mordovia and GIS modeling of their role in the structure of metageosystems makes it possible to highlight the features of the development of economic development processes for the purposes of sustainable development.

**Ключевые слова:** метагеосистемы, агроландшафты, цифровая карта, геоинформационные системы, пространственные данные

**Keywords:** metageosystems, agrolandscapes, digital map, geoinformation systems, spatial data

**Введение.** Актуальными проблемами современности являются поиск сбалансированных путей сельскохозяйственного освоения ландшафтов, формирования устойчивых агроландшафтов, основывающаяся на комплексном анализе метагеосистем – пространственно-временной структуры иерархической структуры геосистем, опыта сельскохозяйственного освоения, оценки состояния угодий, прогнозирования состояния агрогеосистем [1].

Развитие научно-практической деятельности в области разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия имеет длительную историю. Среди первых фундаментальных работ – «Русский чернозём» В.В. Докучаева, «Введение в комплексное почвенно-ботаническое исследование земель»

Л.Г. Раменского, «Структура почвенного покрова» Фридланда В. М. (1972).

Вектор современных исследований по разработке методов типологии агрогеосистем для оптимизации сельскохозяйственного освоения территории нашел развитие в работах Баранова В. А. (2012), Буряка Ж. А. (2015), Диденко П. А. (2014), Зворыкина К. В. (2008, 2012), Каштанова А. Н. (2012), Кирюшина В. И. (2010, 2011), Лисецкого Ф. Н. (2011), Швевса Г. И. (2008), и др. Научно-практическая деятельность показывает, что эффективное землепользование может быть сформировано только при комплексном анализе взаимодействия природных, социальных и производственных особенностей территории.

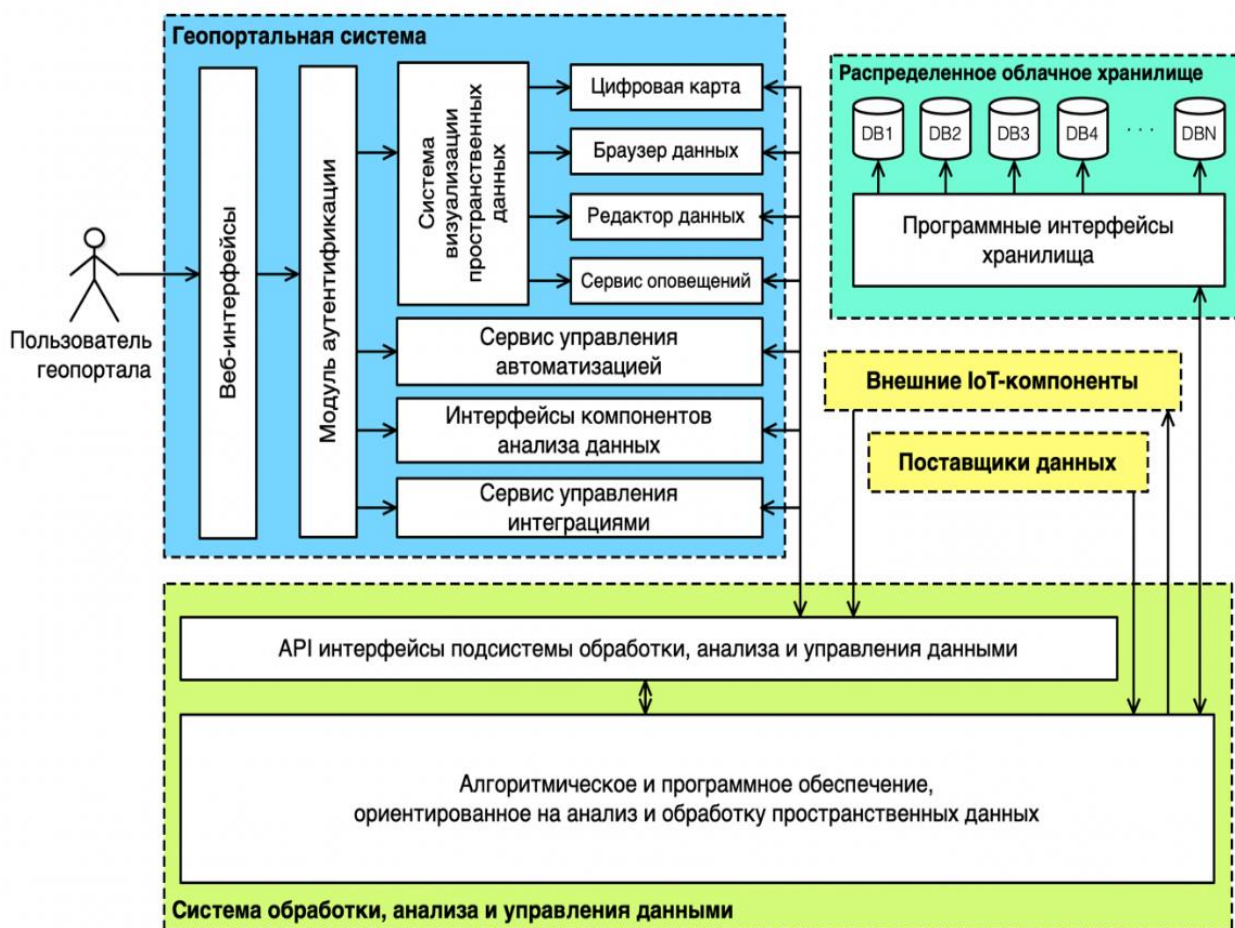
Цель статьи – разработка методов и способов исследования состояния агроландшафтов в структуре метагеосистем на основе пространственных данных.

**Методология и методы исследования.** В качестве основных объектов исследования выступают геосистемы – «...особый класс управляющих систем; земное пространство всех размерностей, где отдельные компоненты природы находятся в системной связи друг с другом и как определенная целостность взаимодействуют с космической сферой и человеческим обществом» [2, с. 292]; в более расширенной трактовке – «метагеосистемы» – определенные типы взаимодействия природных, социальных и техногенных подсистем разных уровней организации, естественно функционирующих, с пространственно распределенными структурными элементами и компонентами, генетически, структурно, функционально связанные между собой [3]. Исследование агроландшафтов в структуре метагеосистем оптимизирует исследование процессов метаболизма вещества и энергии для принятия в управленческих решений по оптимизации природопользования [4].

Важнейшим инструментарием исследования агроландшафтов в структуре метагеосистем являются геоинформационные методы и технологии, предполагающие развитие междисциплинарных исследований наук о Земле, с новыми формами и средствами накопления, организации, хранения, обра-

ботки, интерпретации и распространения разнообразной пространственно-временной информации [5, 6].

*Региональная геоинформационная система (ГИС) «Мордовия».* Исследование структуры, функционирование динамики и развития метагеосистем в региональной ГИС основывается на использовании материалов дистанционного зондирования Земли, электронных топографических, инвентаризационных и аналитических карт, характеризующих природные, социальные, производственные системы и их взаимодействие. Современная архитектура инфраструктура пространственных данных ГИС представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1. Схема цифровой инфраструктуры пространственной информации**

Система сбора, обработки, анализа и управление пространственными данными включает базы данных, отраслевые и комплексные карты, отражающие количественные и качественные характеристики природных, социаль-

ных и производственных подсистем.

*«Природные условия и ресурсы»*, включают информацию о ресурсовоспроизводящих и средообразующих функций геосистем, которая является базовой основой для ландшафтно-экологической типологии агрогеосистем. Природный блок сочетал в себе спектр тематических карт – геология и минерально-сырьевые ресурсы, гидрогеодинамика и гидрогеохимия подземных вод, рельеф и экзогеодинамические процессы, мезо- и микроклимат, гидрологический режим поверхностных вод, агрофизические и агрохимические характеристики почв, растительность, особо охраняемые природные территории, которые в совокупности определяют пространственно-временную структуру, функционирование, динамику и развитие геосистем.

*«Социальные условия и процессы»* – пространственно-временная структура общества, или социума: расселение, население, демография, миграция, социальный состав населения, рынок труда, образ жизни, потребности; пространственно-временная структура устойчивых форм человеческой деятельности: культурные ландшафты.

*«Экономические условия и процессы»* – территориальная организация хозяйственной деятельности общества: промышленность, сельское хозяйство, третичный сектор, инвестиционный комплекс, агротехнические мероприятия и структурные элементы агрогеосистем – земельные угодья, рабочие участки, лесные насаждения.

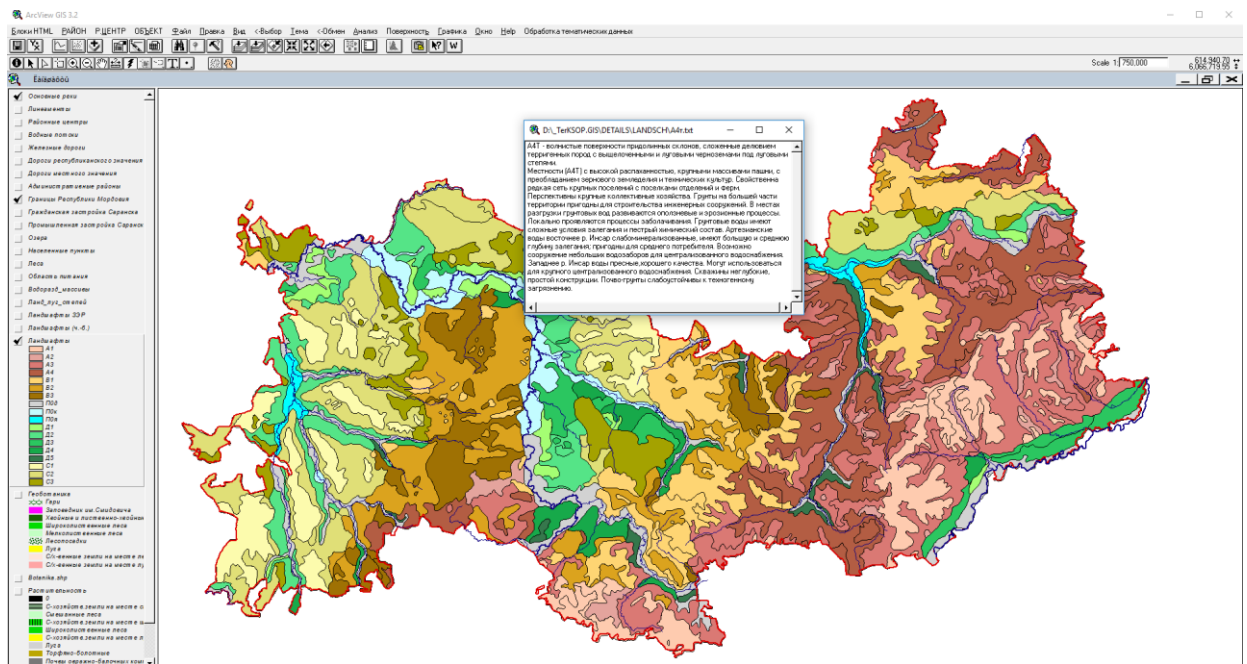
В качестве самостоятельного блока выступают аналитические карты, результаты математико-статистической обработки и пространственного моделирования геосистем их элементов и связей. Поскольку исходные данные о распределении явлений по территории региона представляли собой наборы значений показателя в нерегулярно расположенных точках, выполнялось моделирование показателей в узлах регулярной прямоугольной сети. Для этого использовались интерполяторы, основанные на известных методах кригинга и сплайна. Достоинство этих интерполяторов в том, что характеристики восстановленной поверхности дают хорошее приближение к аналогичным ха-

рактикам исходной поверхности. В данный блок в ГИС «Мордовия» включены цифровые модели: рельефа, базисных поверхностей, овражного, балочного, долинного и гидрографического расчленения.

*Синтетическая общенаучная ландшафтная карта как базовая основа типология агрогеосистем.* Исследование метагеосистем многоаспектно, относительно к формированию устойчивого земледелия особый акцент делается на анализ пространственно-временной структуре геосистем региона, процессов хозяйственного освоения, методов ведения сельского хозяйства, динамики урожайности агрокультур, разработке мелиоративные мероприятия. Реализация геосистемного подхода для типологии земель и оценке пространственно-временной структуры агрогеосистем оптимизирует диагностику особенностей взаимодействия с соседними объектами одинакового иерархического уровня, а также их взаимоотношение с системами более высокого и низкого уровня из которых состоит анализируемая территория.

Проведенные опыты по типологии сельскохозяйственных земель в зоне взаимодействия лесных геосистем Окско-Донской низменности и северной лесостепи Приволжской возвышенности в границах Республики Мордовия показал, что наиболее оптимальным является использование иерархической системы таксонов В. А. Николаева [7]: *разряд (подразряд)* – поясно-зональные различия водно-теплового режима: солнечная радиация, тепло- и влагообеспеченность, ветровой режим, мезо- и микроклимат; *класс (подкласс)* – морфоструктуры высшего порядка, определяющие основные закономерности морфологии склонов, развитие экзогеодинамических процессов; *группа (подгруппа)* – тип водно-геохимического режима; *тип (подтип)* – почвенно-биологические признаки (тип почв, класс растительной формации), распространение зональных, экстразональных и интразональных ландшафтов; *род (подрод)* – генетический тип рельефа и литологический состав поверхностных отложений и коренных горных пород, выше первого регионального водоупора; проявление водной и ветровой эрозии, суффозии, оползнеобразования и т.п.

Общая схема составления интерактивной общенаучной электронной карты геосистем в региональной ГИС «Мордовия» реализована по следующему алгоритму: 1) подготовка системы отраслевых карт и баз данных; 2) ансамблевый анализ многозональных космических снимков с построением синтетической карты геосистем; 3) выделение лимитирующих факторов хозяйственного освоения; 4) разработка рекомендаций по оптимизации природопользования (рисунок 2).



**Рисунок 2. Региональная ГИС «Мордовия»: визуализация характеристик типа геосистем**

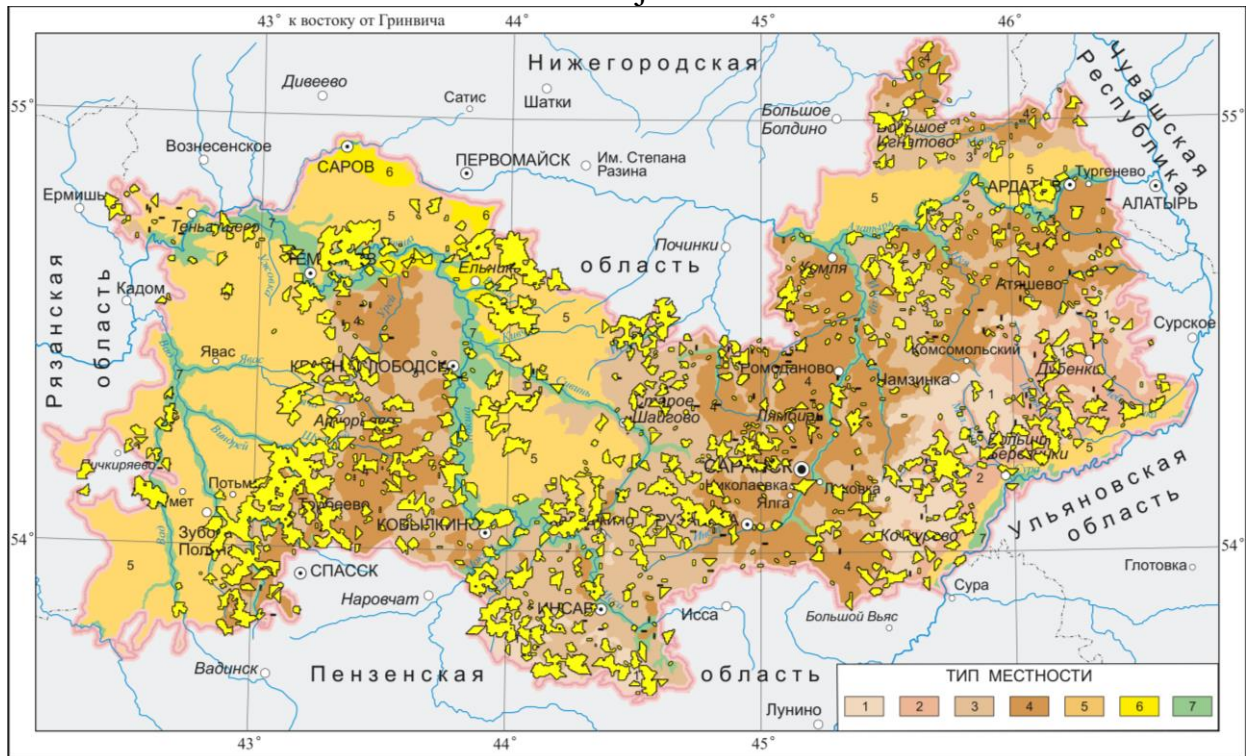
Пространственно-временная структура геосистем имеет многоплановое отражение на космических снимках – развитие экзогеодинамических процессов (плоскостная и линейная эрозия, подтопление и затопление земель, оползнеобразование и т.п.), изменение водного баланса (формирование поверхностного стока, инфильтрации), состоянии почвенного плодородия и т.п. Важными аспектами в исследовании метагеосистем являются мониторинг сельскохозяйственных угодий, инфраструктуры, качества обработки земель сельскохозяйственного назначения, развития состояния посевов сельскохозяйственных культур [8]. Диагностика состояния земель проводилась через



определение вегетативного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

**Результаты исследований и их обсуждение.** Ландшафтно-экологический анализ территории при формировании систем земледелия ориентирован на оптимизацию использования природно-ресурсного потенциала территории, смягчению и/или предупреждению развития деструктивных геоэкологических ситуаций. улучшению продуктивности земельных угодий, повышению общей экологической устойчивости и адаптивности агроландшафтов к структуре метагеосистем.

*Типологическая классификация земель агрогеосистем* основывается на комплексном анализе взаимодействия природных, социальных и производственных систем, образующих иерархически организованные метагеосистемы. В региональной ГИС «Мордовия» в качестве базовой основы типологии сельскохозяйственных земель используется синтетическая ландшафтная карта, отражающая пространственно-временную структуру на уровне тип геосистем. На исследуемом полигоне наблюдается закономерная смена типов земель от останцово-водораздельных массивов Приволжской возвышенности к зандровым низинам Окско-Донской низменности (рисунок 3).



**Рисунок 3. Региональная ГИС «Мордовия»:**

**типология сельскохозяйственных земель и неиспользуемые пашни  
(легенда в тексте; желтые контуры – неиспользуемые земли)**

1 – земли с серыми лесными в разной степени щелнистыми почвами, выборочно распаханнные; активное развитие плоскостной и линейной эрозии требует внедрения контурной организации территории, противоэрозионных, лесомелиоративных и гидротехнических мероприятий;

2 – земли с остаточнo-карбонатные и оподзоленными черноземами, значительно распаханнные; повышенная активность плоскостной и линейной эрозии, локальное проявление суффозионно-карстовых просадок определяют расширение площади неиспользуемой пашни; оптимизация функционирования земель сопряжена с развитием контурного земледелия, внедрения противоэрозионных и лесомелиоративных мероприятий;

3 – земли с серыми лесными почвами, выборочно распаханнные; сильно подверженные развитию эрозионных процессов; со значительными площадями зарастающей пашни; хозяйственное освоение сопряжено с развитием

почвозащитных систем земледелия, известкованием и др.;

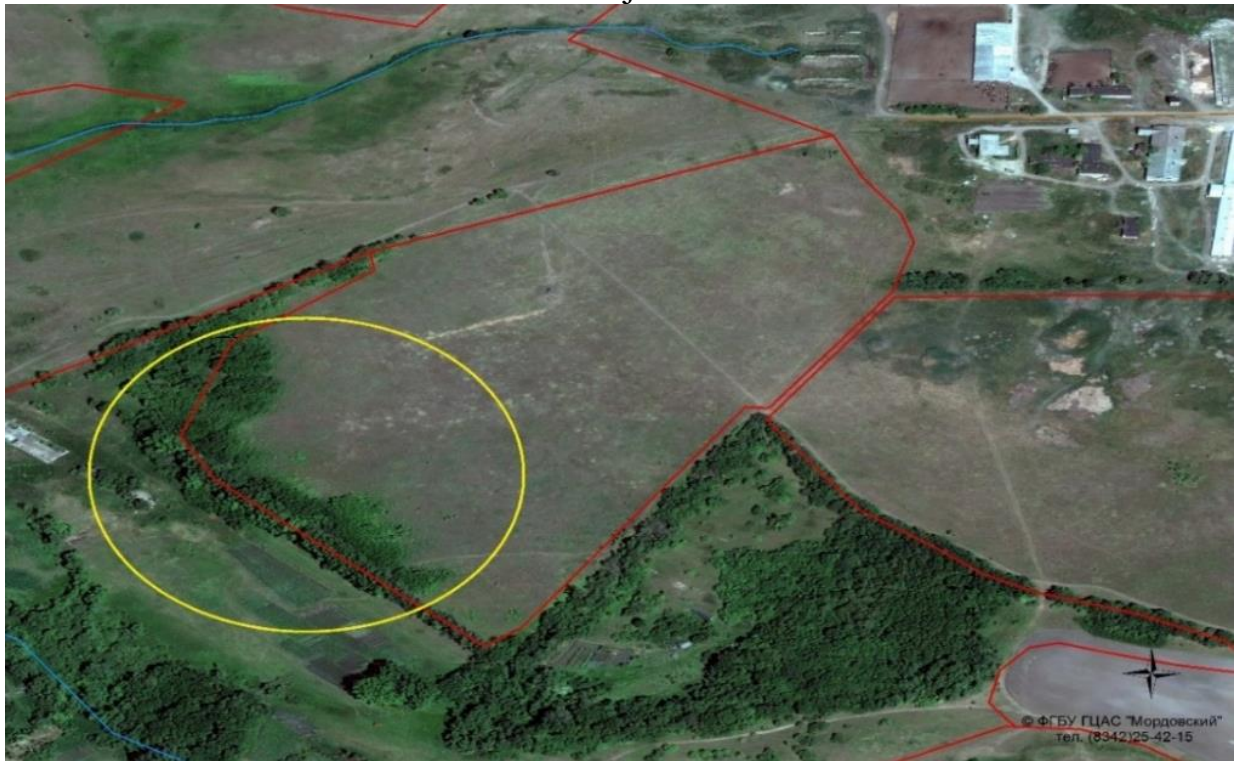
4 – земли с выщелоченными и луговыми черноземами, сильно распаханые, пригодные для возделывания сельскохозяйственных культур без особых ограничений;

5 – земли с дерново-подзолистыми и светло-серыми супесчаными почвами, ограниченно распаханые, с большими массивами необрабатываемой пашни; вследствие распространения маломощных почв доминируют малоприспособленные для возделывания сельскохозяйственных культур земли;

6 – земли с дерново-подзолистыми и болотно-подзолистыми, торфяно-болотными почвами по западинным и котловинным формам рельефа, ограниченно распаханые; с большими массивами заброшенной пашни;

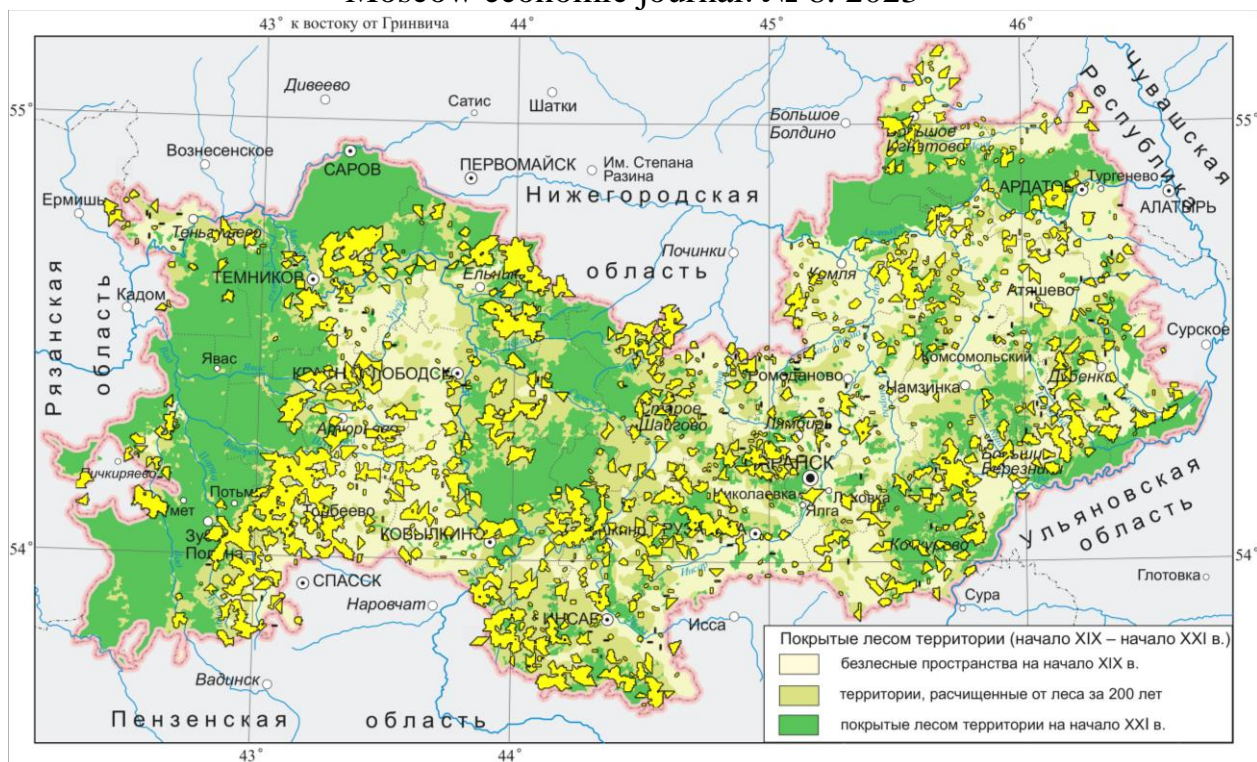
7 – земли пойм, с аллювиальными дерновыми, аллювиальными луговыми, аллювиальными болотными почвами потенциально пригодными для возделывания сельскохозяйственных культур после гидротехнической мелиорации.

Результаты ГИС-моделирования типологии земель и неиспользуемых сельскохозяйственных земель показывает их значительную взаимосвязь. География распространения неиспользуемых в сельском хозяйстве земель зависит от пространственно-временной структуры геосистем и особенностей хозяйственного освоения ландшафтов (рисунок 4).



**Рисунок 4. Заращение части поля лесом**

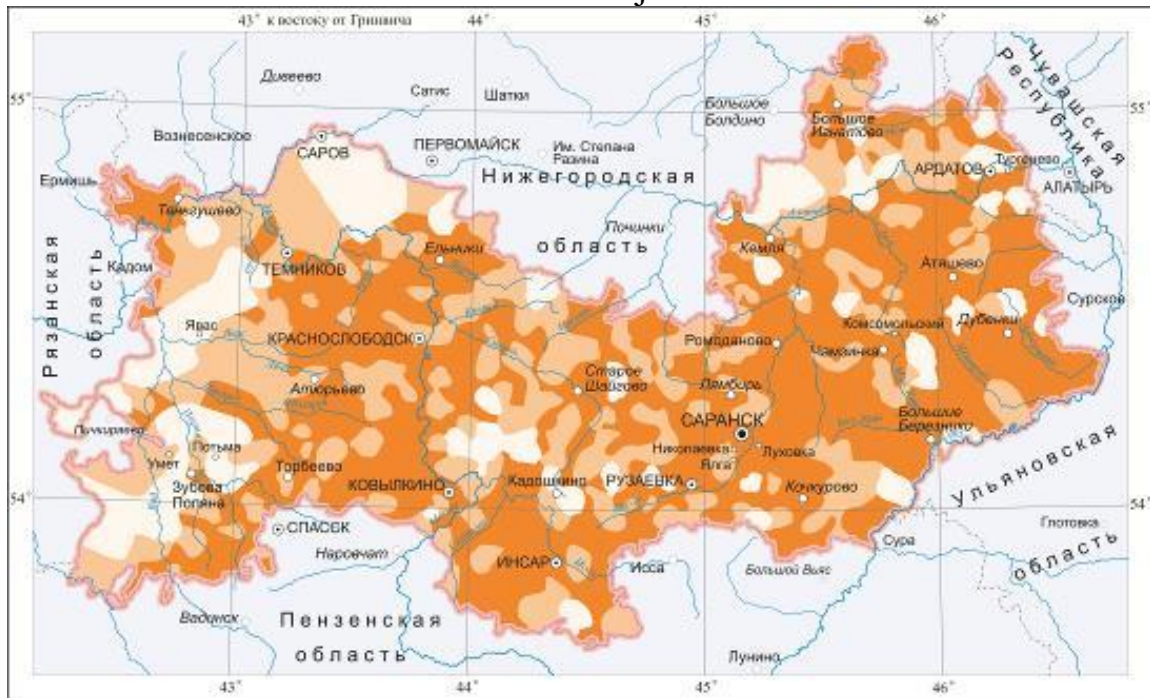
Значительно научно-практический интерес представляет использование материалов Генерального межевания земель, представленные планами земельных участков и экономическими примечаниями (сведения о населении, землях, принадлежащих отдельным селам, деревням) и природных объектах – реках, лесах, отдельных урочищах и т.п.). На рисунке 5 проведено сопоставление границ лесов на период Генерального межевания земель (кон. XVIII в. – нач. XIX в.) и современных.



**Рисунок 5. Региональная ГИС «Мордовия»: наложение карты неиспользуемых в сельском хозяйстве земель на карту изменения площади лесов**

Анализ карты позволяет сделать вывод, что хозяйственное освоение региона носило выборочный характер. К началу XIX в. в сельскохозяйственное использование были преимущественно вовлечены лугово-степные геосистемы с черноземами, в то время как в лесных типах геосистем приводелю-раздельных пространств вторичных мореных равнин и эрозионно-денудационных равнин; водно-ледниковые равнины доминировали крупные лесные массивы. Их трансформация в агрогеосистемы происходит во второй половине XIX в.

Важнейшим процессом изменения состояния метагеосистем в XX – начале XXI в. является изменение системы расселения и концентрация населения в центрах муниципальных районов (рисунок 6).



а) начало XX в.



б) начале XXI в.

**Рисунок 6. Региональная ГИС «Мордовия»:  
изменение плотности населения**

Сравнительный анализ разновременной информации и карты типологии земель позволяет расставить временные реперы для оценки интенсивности развития деструктивных геоэкологических процессов, а следовательно –

детализировать закономерностей хозяйственного освоения ландшафтов и модель типов земель.

Анализ карт региогальной ГИС «Мордовия» показывает, что хозяйственное освоение территории Республики Мордовия сопровождается развитием в метагеосистемах определенных спектров процессов, приводящих к перестройке их структуры – изменению структуры расселения и плотности населения (рис. 5), распаханности сельскохозяйственных земель и зарастанию необрабатываемых угодий мелколесьем (см. рис. 4 и 5), развитие деструктивных геоэкологических процессов (плоскостная и линейная эрозия, дефляция земель, переувлажнение, подтопление и заболачивание), техногенному загрязнению природных сред.

Наибольшая доля необрабатываемой пашни (до 8,6 %) приходится на лесные агрогеосистемы останцово-водораздельных массивов эрозионно-денудационных равнин, где в почвенном покрове преобладают серые лесные почвы с повышенным содержанием щебня и в агрогеосистемах водно-ледниковых равнинах с дерново-подзолистыми почвами, обладающими от природы низким бонитетом (до 10 %). Значительная развитие экзогеодинамических процессов характерно для сельскохозяйственных земель, вовлеченных в земледельческое использование во второй половине XIX в.

Рациональное формирование метагеосистем предполагает целенаправленное формирование хозяйственного каркаса и зон экологического равновесия, обеспечивающих минимизацию развития деструктивных геоэкологических процессов, регулирование мезо- и микроклимата, поверхностного стока и восполнения запасов подземных вод, сохранение биологического разнообразия.

**Заключение.** Картографирование состояния агрогеосистем в структуре метагеосистем однозначно показывает, что типизация сельскохозяйственных земель для принятия управленческих решений по оптимизации природопользования должна основываться на комплексном моделировании взаимодействия природных, социальных и производственных подсистем.

Разработанная типология земель на основе синтетической карты геосистем и ГИС-моделирование их роли в структуре метагеосистем позволяет выделить следующие особенности развития процессов хозяйственного освоения для целей устойчивого развития.

*Зона хозяйственного каркаса* – характеризующаяся распространением плодородных черноземов, основного пахотного фонда, наиболее пригодного для производства товарной продукции, высокой концентрацией населенных пунктов и населения, геотехнических системам.

*Республиканские зоны экологического равновесия* – земли выборочного использования для производства товарной продукции – агроландшафты останцово-водораздельных массивов Приволжской возвышенности; актуально проведение противоэрозионных мероприятий, осуществление перевода истощенных земель в другие категории, увеличение площади многолетних кормовых угодий, создатн полезащитных насаждений.

*Региональные зоны экологического равновесия* – земли ограниченного использования в земледелии – целесообразно использовать в качестве улучшенных кормовых угодий или перевод в менее интенсивные виды угодий (например, из пашни — в сенокосы или пастбища) или в другие категории земель; их значение весьма велико с позиций поддержания равновесия водного баланса и восполнения ресурсов водоносного верхнемелового карбонатно-терригенного комплекса.

Информационные ресурсы востребованы при подготовке инвестиционных предложений и принятии управленческих решений для обеспечения получения стабильно высоких и экономически-эффективных результатов производства сельскохозяйственной продукции.

#### **Список источников**

1. Географический Атлас Республики Мордовия / А. А. Ямашкин, С. М. Вдовин, Н. П. Макаркин и др. // под ред. А. А. Ямашкина. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2012. – 204 с.



2. Сочава В. Б. Введение в учение о геосистемах / В. Б. Сочава. – Новосибирск, 1978. – 319 с.
3. Черкашин А. К. Теоретическая и метатеоретическая география // Геогр. вестн. – 2020. – № 1 (52). – С. 7–21.
4. Lee J. Geospatial Big Data: Challenges and Opportunities / J. Lee, M. Kang // Big Data Research. – 2017. – vol. 2. – № 2. – P. 74–81. – DOI: 10.1016/j.bdr.2015.01.003.
5. Heaton J. A case study competition among methods for analyzing large spatial data / J. Heaton, A. Datta, A. O. Finley // Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics. – 2019. – vol. 24. – № 3. – P. 398–425. – DOI: 10.1007/s13253-018-00348-w.
6. Тикунов В. С. Экологическое состояние: определение, показатели, картографирование / В. С. Тикунов, Т. В. Котова, С. К. Белоусов // ИнтерКарто. ИнтерГИС. – 2021. – Т. 27. – С. 165–194. – DOI: 10.35595/2414-9179-2021-1-27-165-194.
7. Николаев В. А. Классификация и мелкомасштабное картографирование ландшафтов / В. А. Николаев. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 2007. – 62 с.
8. Ямашкин А. А. Геоэкологический анализ процесса хозяйственного освоения ландшафтов Мордовии / А. А. Ямашкин. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2001. – 232 с.

### References

1. Geograficheskij Atlas Respubliki Mordoviya / A. A. Yamashkin, S. M. Vdovin, N. P. Makarkin i dr. // pod red. A. A. Yamashkina. – Saransk : Izd-vo Mordov. un-ta, 2012. – 204 s.
2. Cochava V. B. Vvedenie v uchenie o geosistemax / V. B. Sochava. – Novosi-birsk, 1978. – 319 s.
3. Cherkashin A. K. Teoreticheskaya i metateoreticheskaya geografiya // Geogr. vestn. – 2020. – № 1 (52). – S. 7–21.

4. Lee J. Geospatial Big Data: Challenges and Opportunities / J. Lee, M. Kang // Big Data Research. – 2017. – vol. 2. – № 2. – P. 74–81. – DOI: 10.1016/j.bdr.2015.01.003.
5. Heaton J. A case study competition among methods for analyzing large spatial data / J. Heaton, A. Datta, A. O. Finley // Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics. – 2019. – vol. 24. – № 3. – P. 398–425. – DOI: 10.1007/s13253-018-00348-w.
6. Tikunov V. S. E`kologicheskoe sostoyanie: opredelenie, pokazateli, kartografirovanie / V. S. Tikunov, T. V. Kotova, S. K. Belousov // InterKarto. InterGIS. – 2021. – Т. 27. – S. 165–194. – DOI: 10.35595/2414-9179-2021-1-27-165-194.
7. Nikolaev V. A. Klassifikaciya i melkomasshtabnoe kartografirovanie landshaftov / V. A. Nikolaev. – М. : Izd-vo Mosk. un-ta, 2007. – 62 s.
8. Yamashkin A. A. Geoe`kologicheskij analiz processa khozyajstvennogo osvoe-niya landshaftov Mordovii / A. A. Yamashkin. – Saransk : Izd-vo Mordov. un-ta, 2001. – 232 s.

**Для цитирования:** Ямашкин А.А., Ямашкин С.А., Суслов Р.В., Агеева А.Р., Рычкова О.В. Агрolandшафты в структуре метагеосистем // Московский экономический журнал. 2023. № 8. URL: <https://qje.su/nauki-o-zemle/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-8-2023-44/>

© Ямашкин А.А., Ямашкин С.А., Суслов Р.В., Агеева А.Р., Рычкова О.В., 2023.

*Московский экономический журнал, 2023, № 8.*