

УДК 502.3:63(470.34)

КУДРЯВЦЕВ М.А., аспирант, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва»,
г. Саранск

ЭКОЛОГИЗАЦИЯ АГРОГЕОСИСТЕМ В МОРДОВИИ: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В современном мире вопросы экологической безопасности и рационального использования ресурсов становятся все более актуальными. Особенно это касается сельскохозяйственного производства, где необходимо находить баланс между эффективностью и сохранением природных экосистем.

Агрогеосистемы представляют собой сложные природно-хозяйственные комплексы, включающие в себя как природные компоненты (почва, растительность, водные ресурсы), так и антропогенные элементы (сельскохозяйственная техника, инфраструктура). В условиях растущего давления на окружающую среду особую значимость приобретает внедрение принципов бережливого производства в агросекторе.

Можно выделить основные направления экологизации агрогеосистем:

1. Оптимизация использования ресурсов:
 - Внедрение точного земледелия;
 - Рациональное применение удобрений и пестицидов;
 - Эффективное использование водных ресурсов.
2. Минимизация отходов:
 - Переработка органического мусора;
 - Использование биогазовых установок;
 - Рециркуляция материалов;
3. Сохранение биоразнообразия:
 - Создание защитных лесополос;
 - Поддержка естественных экосистем;
 - Внедрение севооборотов.
4. Энергоэффективность:
 - Использование возобновляемых источников энергии;
 - Модернизация оборудования;
 - Автоматизация процессов.

Успешное развитие агрогеосистем возможно только при условии гармоничного сочетания экономических интересов с экологическими требованиями и принципами бережливого производства. Это требует системного подхода, внедрения инновационных технологий и постоянного совершенствования производственных процессов.

В современных агрохозяйствах успешно применяются системы точного земледелия, позволяющие оптимизировать расход ресурсов. GPS-навигация и датчики помогают определять потребности растений в удобрениях и воде, что снижает нагрузку на окружающую среду.

Особое внимание также уделяется переработке органических отходов: модернизированные биогазовые установки позволяют превращать навоз и растительные остатки в электроэнергию и органическое удобрение.

Кроме того, важным аспектом является внедрение замкнутых циклов производства. Например, побочные продукты растениеводства могут использоваться для кормления животных, а отходы последних – для производства удобрений.

Экономический эффект от внедрения принципов бережливого производства в агрогеосистемах проявляется в снижении издержек, повышении урожайности и улучшении качества продукции. При этом создается устойчивая система, способная к самовосстановлению и развитию.

Мордовия, расположенная в лесостепной зоне европейской части России, обладает уникальными природно-климатическими условиями для развития сельского хозяйства. В последние годы регион активно внедряет современные подходы к сохранению экологического равновесия агрогеосистем, а также вводит в процессы сельскохозяйственного производства экологически безопасные технологии.

Ключевым направлением экологизации является внедрение адаптивно-ландшафтного земледелия, учитывающего природную дифференциацию территории. В республике успешно применяются технологии минимальной обработки почвы, что способствует сохранению гумусового слоя и предотвращению эрозии. Особое внимание уделяется восстановлению плодородия почв через внедрение научно обоснованных севооборотов и применение органических удобрений.

Важным аспектом экологизации становится развитие органического земледелия. В Мордовии создаются специализированные хозяйства, работающие по стандартам органического производства, внедряющие биологические методы защиты растений и использующие натуральные удобрения [2]. Это позволяет не только получать экологически чистую продукцию, но и восстанавливать биоразнообразие агроландшафтов.

Например, ООО «Биосфера» в Старошайговском районе на малопродуктивных землях успешно освоило выращивание по органическим технологиям сырья для биокруп – гречихи, пшеницы, ячменя, овса, ржи, полбы, спельты, чечевицы, льна [2]. Помимо этого аграрии активно высаживают медоносные культуры, важные для развития экологического пчеловодства, основанного на принципах натуральности и отсутствия химических добавок. Это позволяет создавать устойчивые агросистемы, где растениеводство и пчеловодство дополняют друг друга, обеспечивая взаимную выгоду и экологическую гармонию. Предприятие ООО «Биосфера» первым в России получило биосертификат европейского образца на мед.

В числе передовых сельскохозяйственных предприятий региона выделяется также СППК «Крутенское», расположенный в Ковылкинском районе. Здесь успешно реализуется инновационная методика выращивания высококачественной говядины. Особенность подхода заключается в использовании интенсивных пастбищных технологий, при которых животные

получают только экологически чистое кормление. Такое производство позволяет получать мясо превосходного качества, соответствующее всем стандартам натурального продукта.

Современные агрогеосистемы региона характеризуются внедрением цифровых технологий мониторинга состояния почв и растений. Использование ГИС-технологий позволяет оптимизировать применение удобрений и средств защиты растений, минимизируя их негативное воздействие на окружающую среду [1].

Перспективным направлением также является развитие мелиоративного комплекса. В Мордовии реализуются проекты по восстановлению и модернизации оросительных систем с применением современных энергосберегающих технологий [2]. Это способствует рациональному использованию водных ресурсов и повышению эффективности сельскохозяйственного производства.

Особое внимание уделяется сохранению природных экосистем в структуре агроландшафтов. В регионе создаются защитные лесные насаждения, сохраняются природные кормовые угодья, развивается пчеловодство. Всё это способствует поддержанию экологического баланса и сохранению биоразнообразия.

Индекс NDMI (Normalised Difference Moisture Index) — это специальный показатель, который используется для определения уровня влажности растений. В отличие от других индексов, NDMI фокусируется именно на содержании влаги в растительности. NDMI является относительно новым в агрометеорологической практике, исследования по его интерпретации продолжаются и сейчас.

В Мордовии данный индекс находит широкое применение в различных сферах сельского хозяйства и экологического мониторинга:

1. Мониторинг состояния сельскохозяйственных угодий:
 - Выявление участков с недостаточным увлажнением в зонах интенсивного земледелия;
 - Контроль влагообеспеченности основных сельскохозяйственных культур (пшеница, кукуруза, картофель);
 - Оценка эффективности оросительных систем в южных районах республики.
2. Лесохозяйственный мониторинг:
 - Контроль водного режима в лесах Мордовского государственного природного заповедника им П.Г. Смидовича;
 - Выявление потенциально пожароопасных участков в лесах;
 - Оценка состояния лесных массивов после засушливых периодов.
3. Экологический мониторинг:
 - Оценка состояния водоемов и водных экосистем;
 - Контроль уровня заболачивания почв в поймах рек;
 - Мониторинг состояния природных комплексов национального парка «Смольный».
4. Агротехнологическое применение:

- Оптимизация систем полива в тепличных хозяйствах;
- Планирование сроков уборки урожая;
- Выявление проблемных зон для точечного внесения удобрений.

5. Природоохранная деятельность:

- Контроль состояния особо охраняемых природных территорий;
- Мониторинг процессов опустынивания;
- Оценка эффективности мелиоративных мероприятий.

Особое значение NDMI имеет для прогнозирования урожайности и планирования агротехнических мероприятий в условиях переменчивого климата региона. Регулярный мониторинг индекса позволяет сельхозпроизводителям своевременно принимать решения по оптимизации водного режима культур и предотвращению возможных потерь урожая.

Для расчета стандартизованного индекса различий увлажненности (NDMI) используется следующая формула:

$$NDMI = (NIR - SWIR1)/(NIR + SWIR1),$$

где NIR (Near Infrared) — ближний инфракрасный канал;
(Short-Wave Infrared SWIR1) — коротковолновый инфракрасный канал.

Важные характеристики индекса:

- Выводит значения в диапазоне от -1,0 до 1,0;
- Значения выше 0 указывают на наличие воды;
- Индекс особенно чувствителен к уровню влажности в растительности;
- Эффективно подавляет влияние освещения и атмосферных явлений.

Для корректного расчета необходимо:

- Иметь мультиспектральные или гиперспектральные снимки территории;
- Использовать ГИС-систему с базовым функционалом;
- Учитывать сезонные особенности региона при интерпретации итогов.

Проведенные исследования показали, что в республике наблюдается цикличность в распределении влаги в многолетней динамике — как в зимний, так и в летний периоды. Один цикл равен приблизительно трём годам, за которые происходит возрастание влаги. Используя подобные наблюдения, можно прогнозировать условия увлажнения. Так, накопление влаги в почве обычно начинается осенью с момента прекращения вегетации растений и достигает абсолютных максимальных значений к февралю–марту, после снеготаяния, а минимальных — ко времени начала вегетации в апреле. Относительные максимальные летние значения NDMI привязаны к пику вегетации и времени выпадения максимального количества осадков в июне. Во второй половине лета начинается спад значений — вплоть до минимальных к концу вегетационного периода; в лесных ландшафтах этот процесс более плавный по сравнению с лесостепными. В вегетационный период NDMI коррелирует с NDVI. На протяжении зимы в лесных ландшафтах с супесчаными почвами влажность

растет постепенно, в лесостепных с суглинистыми почвами наблюдается резкий за период с февраля по март, достигающий значений, близких к 1.

В целях определения продуктивности ландшафта и для прогнозирования урожайности предлагается использовать индекс листовой поверхности – Leaf Area Index (LAI). Его роль в определении активной фитомассы растительности и связь с нетто–продуктивностью ландшафта отмечена ещё Н. Л. Беручашвили [4].

Ландшафтные метрики как методы ландшафтной индикации состояния геосистем, рассчитанные при помощи мультиспектральных космических снимков, являются серьёзным дополнением к традиционным методам изучения ландшафта. При исследовании агрогеосистем их возможно применять не только в традиционном ключе, т.е. для понимания процессов вегетации, но и для мониторинга условий произрастания культур, таких как качество почвы и количество солнечной радиации.

Нами предлагается использовать индекс желтизны Normal Difference Yellowness Index (NDYI) (см. рис. 1). Он отлично справляется с обнаружением цветущих растений. Изначально этот индекс был создан для мониторинга цветения рапса, что также имеет важное прикладное значение для пчеловодства. Рапс – культура семейства крестоцветных, легко подвергающаяся нападению вредителей, поэтому его приходится обильно опрыскивать пестицидами. Он является медоносом, а в Республике Мордовия, как и по всему миру, растёт количество случаев «пчеломора»: тысячи пчелиных семей погибают, опыляя засеянный рядом с населёнными пунктами рапс. Проблема учёта таких полей может быть решена с помощью применения этого индекса.



Рисунок 1. Индекс жёлтого цвета (NDYI)

С помощью методов ландшафтной индикации также становится возможным определить наличие в почве, например, песка и железа. Взглянув на территории с повышенным содержанием песка, можно определить эрозионную опасность, а в агроландшафтах – поля с низкой хозяйственной ценностью (см. рис. 2).

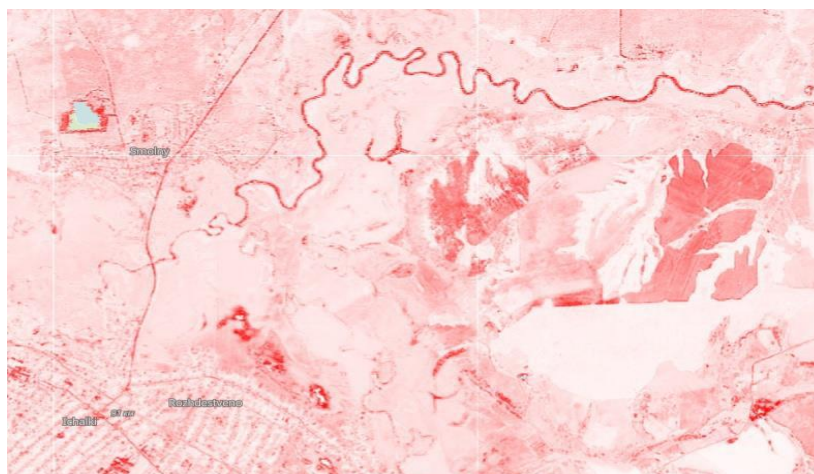


Рисунок 2. Индекс содержания песка в почве

В силу того, что отложение железистых соединений обычно происходит в руслах рек и болотах, подобное знание даёт возможность по снимкам определить затапливаемые в прошлом территории.

Беспилотные летательные аппараты часто применяются в Мордовии для сплошного мониторинга состояния агроландшафтов. Масштаб подобных съёмок более точен, нежели у космических ЛА, так как они меньше зависят от погодных условий; как следствие, на небольших площадях (например, при исследовании земель одного хозяйства) БПЛА станут хорошей альтернативой космическому мониторингу.

На данный момент некоторые аспекты дистанционного зондирования отдельных компонентов агрогеосистем, таких как количество влаги и состояние почв, значительно методологически отстают от уровня исследований, например, вегетации. При взаимодополнении спутниковой и БПЛА-съёмки становится возможным достичь точности и полноты знаний о состоянии агробиоценоза и преодолеть некоторые неточности современных методик.

Успешный опыт экологизации агрогеосистем в Мордовии демонстрирует, что внедрение экологически безопасных технологий в сочетании с принципами бережливого производства не только способствует сохранению природных ресурсов, но и обеспечивает высокую экономическую эффективность. Такой подход требует внедрения инновационных технологий и постоянного совершенствования производственных процессов, позволяя создать устойчивую систему сельскохозяйственного производства, способную адаптироваться к изменяющимся условиям и обеспечивать продовольственную безопасность региона.

Важно отметить, что достигнутые результаты стали возможными благодаря комплексному подходу, включающему технологическое обновление, научные исследования и государственную поддержку. Этот опыт может быть успешно тиражирован в других регионах с аналогичными природно-климатическими условиями.

Список литературы:

1. Комарова А. Ф. Открытые мультиспектральные данные и основные методы дистанционного зондирования в изучении растительного покрова / А. Ф. Комарова, И. В. Журавлева, В. М. Яблоков. – Текст: – №1 (17). – 2015. – URL: <https://cyberleninka.ru/> (дата обращения: 04.02.2025).
2. Концепция геоинформационного обеспечения органического сельского хозяйства в условиях Республики Мордовия / А. В. Каверин, А. В. Алферина, И. С. Ушаков, Р. С. Ушаков. – Текст: электронный // Научное обозрение. Международный научно-практический журнал. – 2021 – №1.
3. Нестерова, Е.А. Химические вызовы в агросекторе: современные проблемы и перспективы/ Е.А. Нестерова//Химические проблемы современности 2024: Сборник материалов VIII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Донецк, 14–16 мая 2024 года. – Донецк: ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», 2024. – С. 149-153. – EDN GXXZTC.
4. Черепанов А. С. Вегетационные индексы // Геоматика. – 2011. – № 2. – С. 98–102.