

Актуальность работы. Охрана и рациональное использование почв – важнейшие составные части стратегии обеспечения экологической безопасности России. Для контроля за состоянием почв проводится государственный экологический мониторинг, основой которого является периодически повторяемые агрохимическое, эколого-токсикологическое и почвенное обследования на всей площади сельскохозяйственных земель, выполняемые агрохимической службой. Важнейшей задачей мониторинга является формирование федеральной информационной базы данных экологического состояния почв, на основе анализа которой должны приниматься управленческие решения и оцениваться их последствия.

Однако пока не решенным является вопрос использования унифицированного к задачам агрохимической службы и конкретных сельхозпроизводителей единого программного продукта. Широко используемые геоинформационные системы (ГИС) зарубежных производителей для этих целей в настоящее время применяться не могут в связи с реализацией Указа Президента Российской Федерации № 166 от 30 марта 2022 года «О мерах по обеспечению технологической независимости и безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации». Отечественные программы не вполне учитывают специфику агрохимической службы. Поэтому задача разработки и внедрения отечественной ГИС, полностью отвечающей требованиям экологического мониторинга и охраны почв, весьма актуальна.

Основная научно-техническая идея заключалась в разработке и внедрении отечественной геоинформационной системы для хранения, автоматической обработки данных экологического мониторинга, которая позволит повысить качество принимаемых управленческих решений, поможет обеспечить контроль за эффективным выполнением мероприятий по охране почв и формированию устойчивых агроландшафтов.

Научная новизна работы. Впервые удалось разработать и внедрить геоинформационную систему, позволяющую проводить комплексный анализ

данных агрохимического, эколого-токсикологического, почвенно-эрозионного обследований, и на этой основе автоматически формировать паспорта полей, строить агрохимические и почвенные карты, проводить проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия (АЛСЗ) и охраны почв. Впервые реализована функция автоматического построения карт агроэкологической группировки земель. Разработана электронная книга истории полей, в которой аккумулируются данные агроэкологического мониторинга, информация об исполнении технологических регламентов возделывания сельскохозяйственных культур и природоохранных мероприятий, позволяющая осуществлять контроль освоения проектов адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Впервые на основе сложного современного алгоритма, учитывающего конкретные показатели агрохимического состояния почв и потребности сельскохозяйственных культур, разработан модуль расчета доз удобрений, позволяющий оптимизировать круговорот основных элементов питания растений в агроэкосистемах.

Апробация работы. По результатам работы было получено 6 свидетельств о государственной регистрации баз данных. Основные результаты изложены в 37 научных работах, из которых: 1 – монография, 12 – входят в базу цитирований **Scopus**, 14 – входят в список **Russian Science Citation Index**, 10 – в трудах всероссийских и международных конференций.

Практическая значимость работы. Внедрение отечественной ГИС Агроэколог Онлайн в работу агрохимической службы позволило автоматизировать процесс ввода, обработки данных агроэкологического мониторинга почв, что существенно ускорило и повысило качество принятия управленческих решений, направленных на формирование экологически устойчивых, высокопродуктивных агроэкосистем. Через данный программный продукт осуществляется удаленный доступ представителей региональных органов управления АПК и сельхозпроизводителей к электронным ресурсам агрохимической службы, что необходимо для эффективной работы по

обеспечению экологической безопасности в АПК и повышению продуктивности земледелия.

Объемы внедрения. Учётные данные для авторизации в ГИС Агроэколог Онлайн выданы 1893 пользователям, в число которых входят 99 центров агрохимической службы России, органы управления АПК, землепользователи. На 01.01.2023 в ГИС загружена информация об экологическом состоянии почв на площади 24,85 млн га. На территории Белгородской области к ГИС получили доступ землепользователи на площади 1,44 млн га. Данные в электронную книгу истории полей внесены на площади 0,84 млн га.

Достигнутый экономический эффект от внедрения данного программного продукта оценивается в 265,078 млн рублей.

Краткое изложение содержания работы. В разделе «Обзор современных геоинформационных систем, используемых при проведении экологического мониторинга почв» представлен подробный анализ следующих ГИС: ExactFarming, Агросигнал, Геоаналитика Агро, ArcGIS, ЕФИС ЗСН, Панорама (GIS WebServer AGRO, Панорама АГРО, комплект программ «АРМ агронома»).

В разделе «Структура ГИС Агроэколог Онлайн» детально описана структура программного продукта. Данная ГИС разработана по модульному принципу на основе технологии распределенных баз данных (БД) (рис 1). Подробно описана структура базы данных, которая содержит в себе всё необходимое для ввода, хранения и вывода данных, а также их предварительной обработки и передачи в ГИС для дальнейшей работы. В БД содержится около 325 таблиц с данными и справочной информацией, более 330 запросов, 30 функций и более 480 хранимых процедур. Доступ авторизованных пользователей к ГИС Агроэколог Онлайн осуществляется через сайт <http://www.agrochim31.ru>.



Рис. 1. Модульная структура ГИС Агроэколог Онлайн

В разделе «**Характеристика основных функциональных возможностей ГИС Агроэколог Онлайн при обработке данных экологического мониторинга почв**» подробно представлен перечень показателей и методы исследований, используемые при агрохимическом, эколого-токсикологическом, почвенном обследовании, а также при локальном агроэкологическом мониторинге, проводимом на реперных участках. Представлены основные картограммы и экспликации к ним, которые автоматически строятся на основе данных экологического мониторинга почв (рис. 2, 3).

Впервые в ГИС реализован алгоритм расчета индекса степени окультуренности почв на основе имеющейся в БД информации о кислотности, содержании в почвах органического вещества, подвижных форм фосфора и калия. Представлен пример автоматического построения картограммы по данному показателю.

Впервые в ГИС реализован сложный алгоритм построения картограмм агроэкологических групп земель. Данные картограммы строятся на основе комплексного анализа результатов, полученных в результате почвенного обследования. На основе картограмм агроэкологических групп земель проектируется система противоэрозионных мероприятий, включающая дифференцированное размещение севооборотов разной специализации в зависимости от крутизны склонов и фактической эродированности почв, размещение лесополос (прибалочных, приовражных, водорегулирующих), проведение почвозащитных обработок, размещение залуженных водотоков и др.

Впервые в ГИС реализован алгоритм расчета вариационно-статистических характеристик для данных почвенного обследования и локального агроэкологического мониторинга. Использование этого функционала существенно ускорило и упростило работу специалистов агрохимической службы при обработке больших массивов данных мониторинга почв.

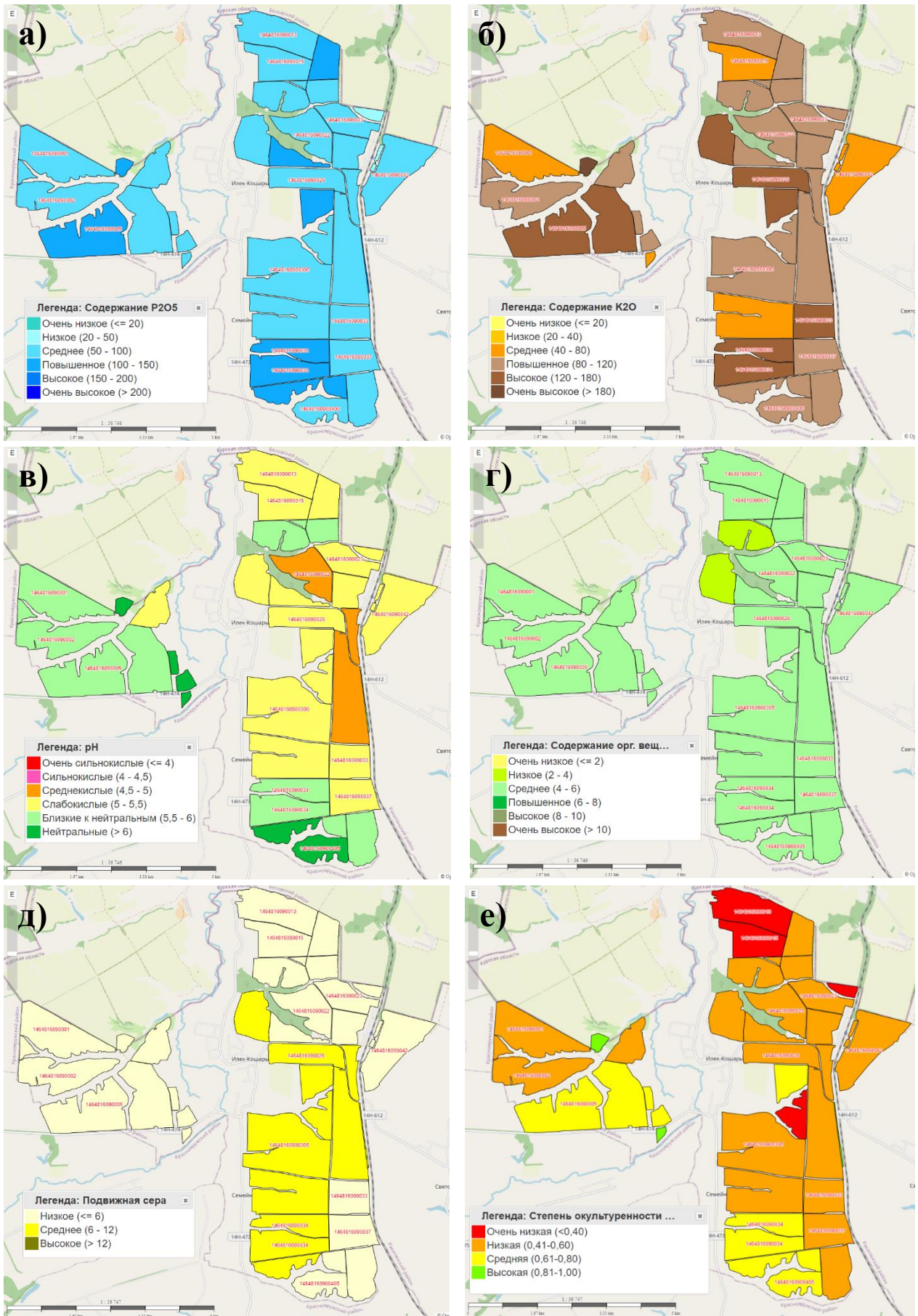


Рис. 2. Картограммы основных агроэкологических показателей: а) – содержание подвижных форм фосфора, б) – содержание подвижных форм калия, в) – степень кислотности, г) – содержание органического вещества, д) – содержание подвижной серы, е) – степень окультуренности почв

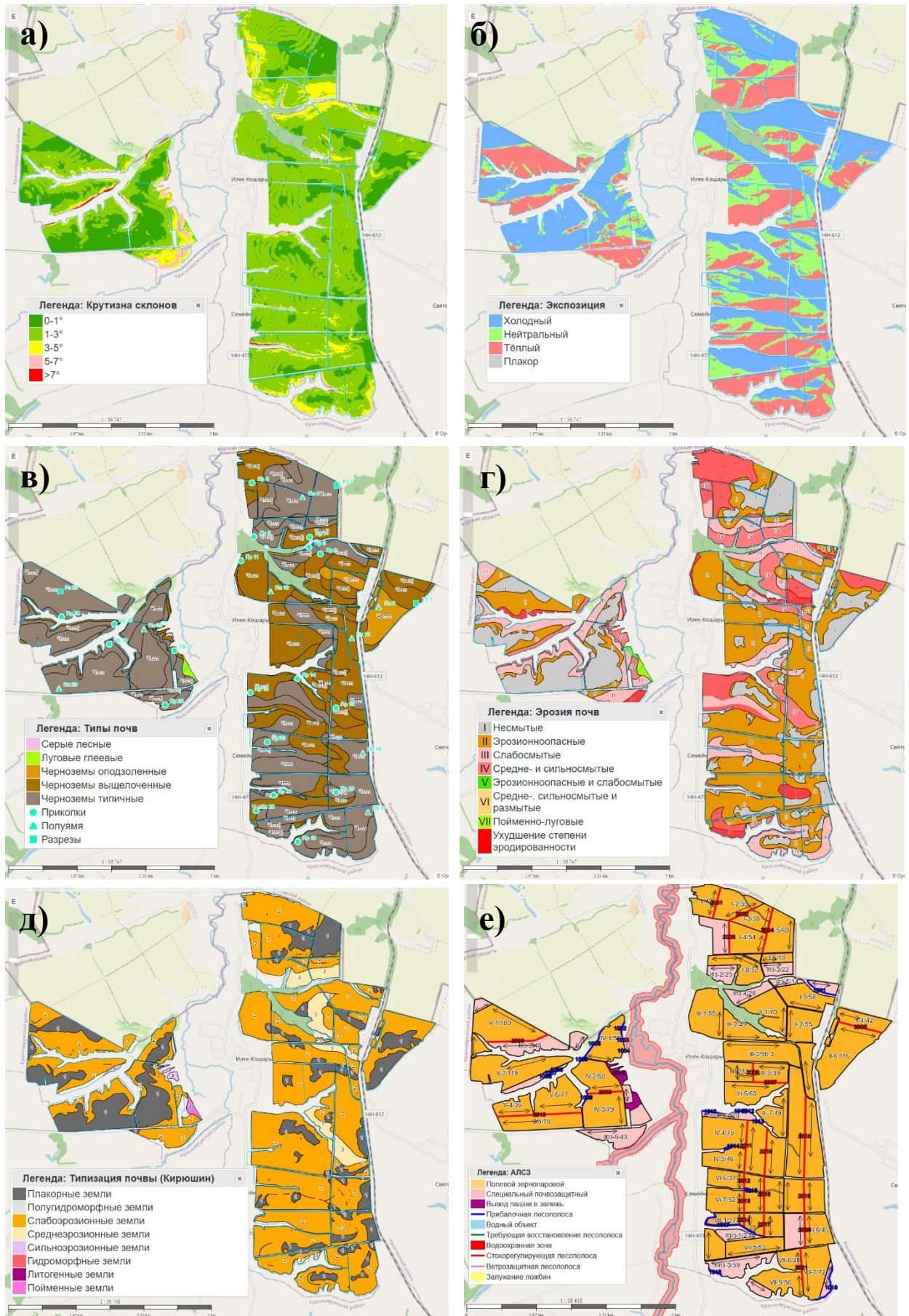


Рис. 3. Картограммы почвенно-эрозионного обследования: а) – крутизны склонов, б) – экспозиции склонов, в) – почвенная, г) – эрозии почв, д) – агроэкологических групп земель, е) – природоохранных мероприятий проекта АПСЗ

В разделе **«Использование ГИС Агроэколог Онлайн для разработки и контроля за реализацией мероприятий по охране почв»** представлены возможности данного программного продукта для решения прикладных задач.

Для данной ГИС впервые разработан модуль, позволяющий землепользователям через сайт <http://www.agrochim31.ru> оформлять техническое задание, а специалистам агрохимической службы в автоматическом режиме разрабатывать проектно-сметную документацию (ПСД) для известкования кислых почв. В Белгородской области с использованием данного модуля для землепользователей разработаны 111 комплектов ПСД, по которым проведено известкование кислых почв на площади 123 тыс. га.

В ГИС впервые разработан модуль расчета годовых доз удобрений (органических и минеральных) на планируемую урожайность сельскохозяйственных культур, учитывающий важные агроэкологические параметры почв (степень эродированности, гранулометрический состав, обеспеченность подвижными формами фосфора и калия) и особенности предшествующих культур. С использованием данного модуля на территории Белгородской области проведен расчет и оптимизировано применение 50,79 млн т органических удобрений. Реализация этой функции позволит решить острейшую экологическую проблему современного земледелия – формирование сбалансированного круговорота элементов питания растений в агроэкосистемах.

В ГИС впервые разработан модуль, существенно упрощающий процесс разработки и хранения проектов АЛСЗ. Все рекомендации по охране почв и формирования экологически устойчивых и высокопродуктивных агроландшафтов сосредоточены в данном документе. С использованием этого модуля подготовлено и реализовано 375 проектов АЛСЗ на площади 685 тыс. га.

Для контроля за реализацией проектов АЛСЗ и ПСД на известкование разработана электронная книга истории полей. Использование данного функционала позволяет землепользователям вводить всю необходимую информацию о выполнении технологических регламентов возделывания

сельскохозяйственных культур и реализации природоохранных мероприятий в базу данных агрохимической службы.

В разделе **«Основные результаты внедрения работы»** отмечается, что за период освоения проектов АЛСЗ, разработанных с использованием ГИС Агроэколог Онлайн, в Белгородской области существенно улучшились основные агроэкологические характеристики пахотных почв: доля кислых почв снизилась на 12,3%, содержание органического вещества увеличилось на 0,3%, подвижных форм фосфора выросло на 25, калия – на 35 мг/кг. При этом урожайность кукурузы на зерно увеличилась в 2,06, озимой пшеницы – в 1,59, ярового ячменя – в 1,44, подсолнечника – в 1,75, сои – в 2,16 раза.

В разделе **«Основные направления развития ГИС Агроэколог Онлайн»** отмечается о необходимости разработки новых модулей: формирования проектно-сметной документации для гипсования солонцовых почв, автоматического расчета накопления углеродных единиц и др.

В разделе **«Заключение»** отмечается, что в отличие от большинства отечественных программных продуктов, ГИС Агроэколог Онлайн полностью адаптирована к задачам, стоящим перед агрохимической службой при проведении экологического мониторинга почв. Данная ГИС позволяет осуществлять не только сбор и хранение данных мониторинга, но и их автоматическую обработку для принятия конкретных управленческих решений по охране почв. Об эффективности ГИС Агроэколог Онлайн свидетельствуют большие масштабы ее внедрения в агрохимической службе России и среди землепользователей.