

УДК 631.445.4:574

ГЕОИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРЕЦИЗИОННОГО
ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В УСЛОВИЯХ ЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ РОССИИ*

И.И. ВАСЕНЁВ, д. б. н.; А.В. БУЗЫЛЁВ, асп.; А.В. БЕЛИК, асп.

(Кафедра экологии)

В работе приводится краткое описание первоочередных задач и базовых программ геоинформационно-методического обеспечения агроэкологической оптимизации прецизионного и адаптивно-ландшафтного земледелия в условиях России. Рассматриваются примеры их применения в условиях Центрально-Черноземного региона РФ.

Анализ существующих тенденций развития мирового сельского хозяйства показывает активное распространение агроэкологических компьютерных моделей, высоких (особенно прецизионных) технологий и специализированного геоинформационного обеспечения для решения разноплановых задач агроэкологической оптимизации земледелия. Ведущую роль на мировом рынке продовольствия и с.-х. сырья играют страны, где в повседневную практику земледелия активно внедряются оптимизационные модели, высокоточные агротехнологии и информационно-справочные системы, нацеленные на устойчивое повышение рентабельности производства и сведение к минимуму его экономических и экологических рисков [1, 4, 11].

Широкое распространение и быстро растущее многообразие высокоточных технологий земледелия предъявляют жесткие требования к рациональному выбору и соблюдению необходимых и достаточных почвенно-агроэкологических условий их эффективного применения. Строгое соблюдение этих условий на практике осложняется повышенной агрогенной дифференциацией почвенного покрова, значитель-

ной неопределенностью погодноклиматических прогнозов, динамикой цен и агроэкологических проблемных ситуаций, резко выраженным дефицитом финансовых средств.

Одним из основных элементов технологии прецизионного земледелия является внесение обоснованно дифференцированных доз удобрений и средств защиты растений в соответствии с внутривидовой пестротой почвенного покрова, текущим состоянием посевов и лимитирующих факторов плодородия земель. Наблюдаемое в результате снижение непроизводительных затрат в растениеводстве значительно повышает его рентабельность. Дифференцированная дозировка удобрений и пестицидов способствует значительному оздоровлению окружающей среды, улучшению экологического состояния земель, водоемов и качества продукции. Повышение рентабельности растениеводства улучшает социально-экономическое состояние хозяйств.

Россия в технологических вопросах прецизионного земледелия значительно отстала от экономически развитых стран, несмотря на свою богатую историю детальных исследований структур почвенного покрова (СПП) и варь-

* Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, проект № 05-04-49368.

рования плодородия. Между тем открытые условия современного технологического и продовольственного рынка, преобладание крупных с.-х. производителей и традиционная унификация производства, жесткий дефицит материально-технических средств и необходимость обновления машинного парка создают хорошие предпосылки для ускоренного развития и внедрения перспективных технологий в России.

Информационно-методическое обеспечение почвенно-агроэкологических вопросов прецизионного земледелия включает в себя: анализ основных закономерностей реальной пестроты урожайности в пределах поля (в различных почвенно-агроэкологических условиях); исследование труднорегулируемых факторов пестроты урожайности (почвенный покров, геоморфологические и погодные условия, семена); исследование регулируемых факторов пестроты урожайности (рост и развитие растений, их стрессовые состояния, вредители и болезни); геоинформационное моделирование внутрипольного варьирования урожайности и основных агроэкологических факторов ее формирования; формирование детальных агроэкологических требований основных зональных культур, в перспективе сортов (на основных фазах их развития); разработку алгоритмов и нормативов агроэкологической оценки земель (для формирования дифференцированных агротехнологических карт); разработку рационально дифференцированных приемов (норм, доз и т. д.) применения агротехнологий (для снижения варьирования урожайности, непроизводительных потерь и экологического ущерба агроландшафта).

Важно отметить выявленное разными авторами [9, 10, 15] сильное варьирование урожайности зерновых культур на черноземах и существенное влияние на урожайность эрозийных процессов. При этом черноземная зона РФ традиционно относилась к

регионам с наименее контрастными структурами почвенного покрова и благоприятными условиями для применения однородных зональных технологий на больших, недифференцированных в агропроизводственном отношении полях.

Агрогенно активизированные процессы эрозии, другие виды деградационных процессов значительно усложнили структуру почвенного покрова, повысили его контрастность и способствовали формированию существенной внутрипольной дифференциации основных параметров плодородия, агротехнических и агроэкологических свойств почв [2, 3, 18]. Это привело к значительному снижению эффективности недифференцированно (однородно в пределах всего поля) применяемых технологий, повышенному загрязнению почвенно-грунтовых вод и водоемов.

Проведенные детальные исследования структуры почвенного покрова (СПП) представительных ключевых участков старопахотных черноземов выявили высокую пестроту и повышенную контрастность почвенного покрова и плодородия почв, особенно на склонах, где появляются смытые почвы, и возрастает удельный вес карбонатных черноземов [9, 15].

Одновременно существенно увеличивается внутрипольное варьирование урожайности. По данным 8-летних исследований [6, 7, 9, 13], урожайность культур на представительных ключевых участках и полях опытно-производственного хозяйства ВНИИЗиЗПЭ (Медвенский район Курской обл.) характеризуется высоким пространственным варьированием в различные по климатическим условиям годы: урожайность ячменя на ключевом участке 8 га в условиях 1996 г. и поле площадью 63 га в условиях 2000 г. изменялась более чем в 4 раза — от 14-15 до 61-64 ц/га⁻¹; урожайность озимой пшеницы на ключевом участке 4 га в условиях 1998 г. изменялась более чем в

3 раза — от 18 до 60 ц/га⁻¹; урожайность сахарной свеклы на полях площадью 63 и 56 га варьировала в 2-3 раза: по данным предварительного учета в 1999 г. от 110 до 242 ц/га⁻¹, в 2002 г. — от 200 до 590 ц/га⁻¹; урожайность ячменя на том же поле в условиях 2000 г. — в 2,5 раза — с 21 до 50 ц/га⁻¹; урожайность зеленой массы гороха на склоновом поле площадью 63 га в условиях 2001 г. — в 3 раза — от 100 до 300 ц/га⁻¹; даже в условиях семенного участка с повышенным уровнем плодородия почв и культуры земледелия урожайность

озимой пшеницы, гороха (на зерно) и ячменя — более чем в 1,5 раза.

Среди основных факторов внутрипольного варьирования урожайности доминируют: крутизна склона (0—8°), степень эродированности и выщелоченности черноземов, запасы продуктивной влаги в фазу цветения (от 88 до 148 мм/м¹), содержание доступных форм фосфора и калия, степень засоренности посевов. Важно отметить доминирующую роль агроэкологических типов земель, выявленную посредством построения дерева корреляций (рис. 1).

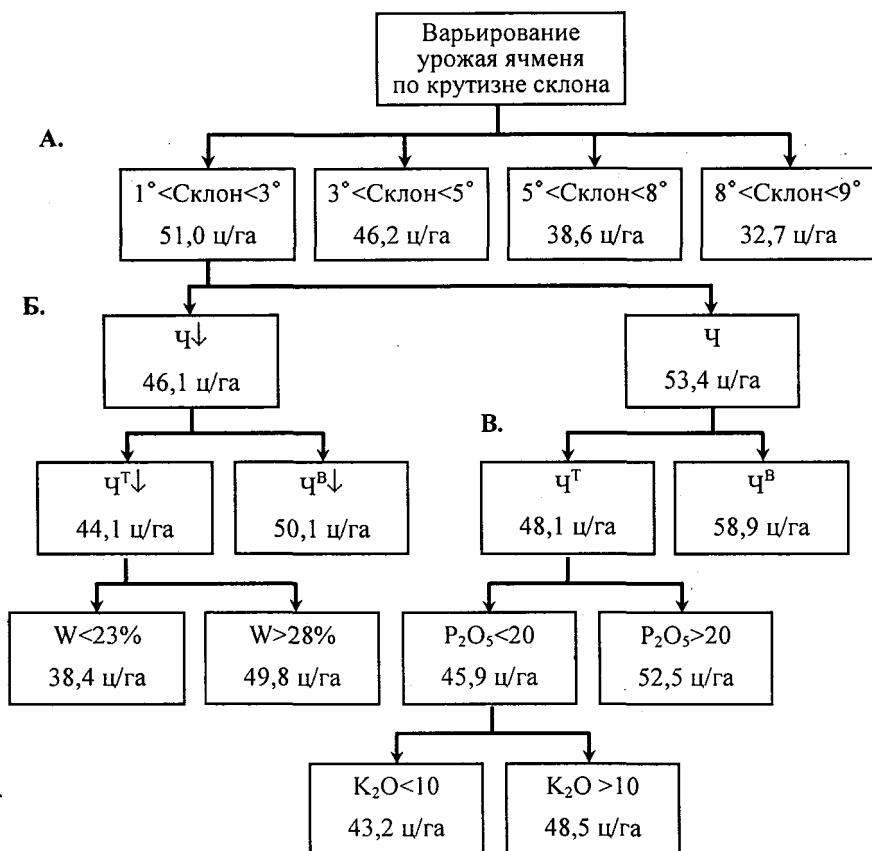


Рис. 1. Анализ иерархии лимитирующих факторов урожайности на склоновом участке с построением дерева корреляций

А. Уровень 1: варьирование по крутизне склона.

Б. Уровни 2-4: варьирование по степени эродированности черноземов, подтипу эродированного чернозема и влажности почв.

В. Уровни 3-5: варьирование по подтипу чернозема и содержанию в почве доступных форм питательных веществ.

Ч^T, Ч^B — черноземы типичные и выщелоченные, W — влажность почвы в период уборки

Применение метода дерева корреляций позволяет проводить иерархическое структурирование факторов внутрипольного варьирования урожайности в условиях конкретного года [8, 9, 19]. Проведенный для склонового участка анализ [9] позволил на 1-м уровне выделить 4 варианта земель по крутизне склона, которые существенно различались по средней урожайности ячменя (см. рис. 1.А).

При анализе участков склона крутизной от 1 до 3° выявлено наибольшее влияние на урожайность эрозии: разделяют эродированные и неэродированные черноземы (см. рис. 1.Б). Разница в средней урожайности между ними составляет 7 ц/га. При анализе урожайности эродированных черноземов важную роль играет генетический подтип: разница между средней урожайностью слабосмытых типичных и слабосмытых выщелоченных черноземов — 6 ц/га.

Урожайность среди слабосмытых типичных черноземов зависит от уровня их влагообеспечения (он условно характеризуется влажностью почв на момент уборки). Среди полнопрофильных черноземов склонового участка крутизной 1-3° наиболее сильное влияние на урожайность ячменя оказал также подтип почв (рис. 1.В). Разница в средней урожайности ячменя между контурами типичных и выщелоченных черноземов превысила 10 ц/га.

Следующие уровни варьирования урожая среди несмытых типичных черноземов определялись различиями в их обеспечении доступными формами фосфора и калия. Максимальная разница в урожайности при этом составила около 10 ц/га, что свидетельствует в пользу высказанного ранее предположения о хороших перспективах применения в Черноземной зоне технологий дифференцированного по площади внесения удобрений.

Влияние рельефа на урожайность четко проявляется и при детальном анализе (в масштабе 1:5000) внутри-

польного варьирования урожайности на полях со склонами значительного размера. В нижней части длинных склонов урожайность сахарной свеклы может быть в среднем в 2 раза ниже, чем в припоярковой части поля (рис. 2). Таким образом, рентабельность растениеводства на этом поле сильно зависит от того, какая его часть используется.

Прецизионное земледелие нуждается в серьезных информационно-методических исследованиях: точности определения текущей урожайности, работы системы в различных условиях, уровня затрат и экономической эффективности технологии. Важное значение имеют оценка допустимого варьирования данных, перевод стандартных карт урожайности в локальные ГИС и информационно-аналитическое обеспечение расчетных операций.

Удачным примером рамочных систем расчета является разработанная и апробированная при поддержке РФФИ, фондов Фулбрайта и МакАртуров Региональная автоматизированная система комплексной агроэкологической оценки земель (РАСКАЗ) [14]. В соответствии с конкретными задачами она проводит автоматизированный анализ земель по 1—7 их основным качествам — факторам землепользования: (А) агроклиматическому состоянию земель; (В) агрохимическому фактору продуктивности культур; (С) агрофизическому фактору продуктивности культур и условий для обработки земель; (D) фактору пространственной неоднородности поля; (Е) фактору устойчивости плодородия почв и потребности их в мелиорации; (F) санитарно-экологической буферности почв; (G) санитарно-экологическому состоянию земель.

Полученные результаты агроэкологической оценки ранжируются, с выявлением лимитирующих факторов и параметров землепользования [5, 6]. При включении информационно-аналитического модуля РАСКАЗ в функ-

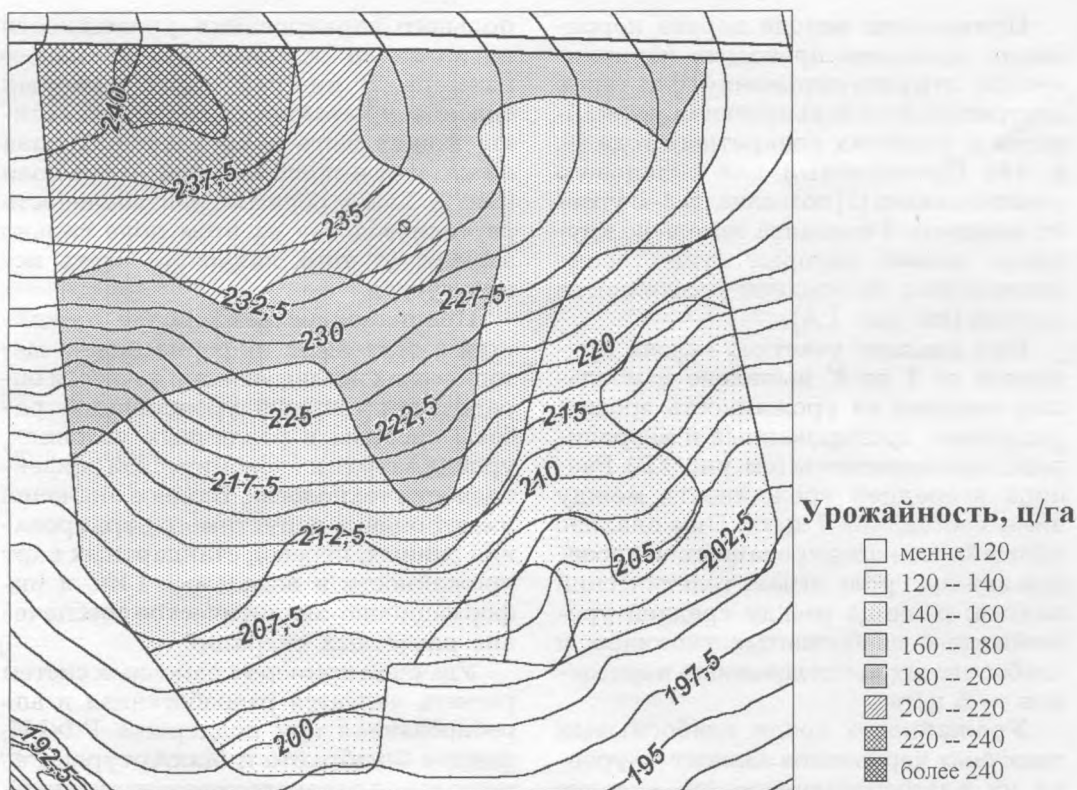


Рис. 2. Внутрипольная пестрота урожайности сахарной свеклы на склоновом участке с мощными черноземами и неконтрастным почвенным покровом (по данным предварительного учета)

циональную структуру локальной ГИС формируются электронные атласы агроэкологического состояния земель с оперативно обновляемым содержанием тематических картосхем (рис. 3).

Подобные системы очень полезны для информационно-справочного обеспечения прецизионных и адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Они помогают быстро проводить агроэкологическую паспортизацию земель, экологическую и экономическую экспертизу проблемных ситуаций и проектов землепользования на уровне поля и хозяйства [13].

Для агроэкологической оптимизации агротехнологий в пределах хозяйства и отдельного поля разработана Локальная информационно-справочная систе-

ма по оптимизации земледелия (ЛИС-СОЗ) [12]. С ее помощью проводится паспортизация и ведение книги истории полей, рациональный выбор и размещение культур, прогноз и программирование урожая, оптимизация технологических операций с оценкой их прогнозируемой эффективности [7, 8, 13, 16, 17].

Функциональная блок-схема информационно-справочной системы состоит из групп информационно-расчетных и информационно-справочных модулей. Основные информационно-расчетные модули обеспечивают: рациональный выбор культуры (с учетом поля и предшественника); оценку потенциального (расчетного) урожая по совокупности прогнозируемых микроклиматических

Структура почвенного покрова

Влажность пахотного горизонта почв, %

Урожайность озимой пшеницы, ц/га

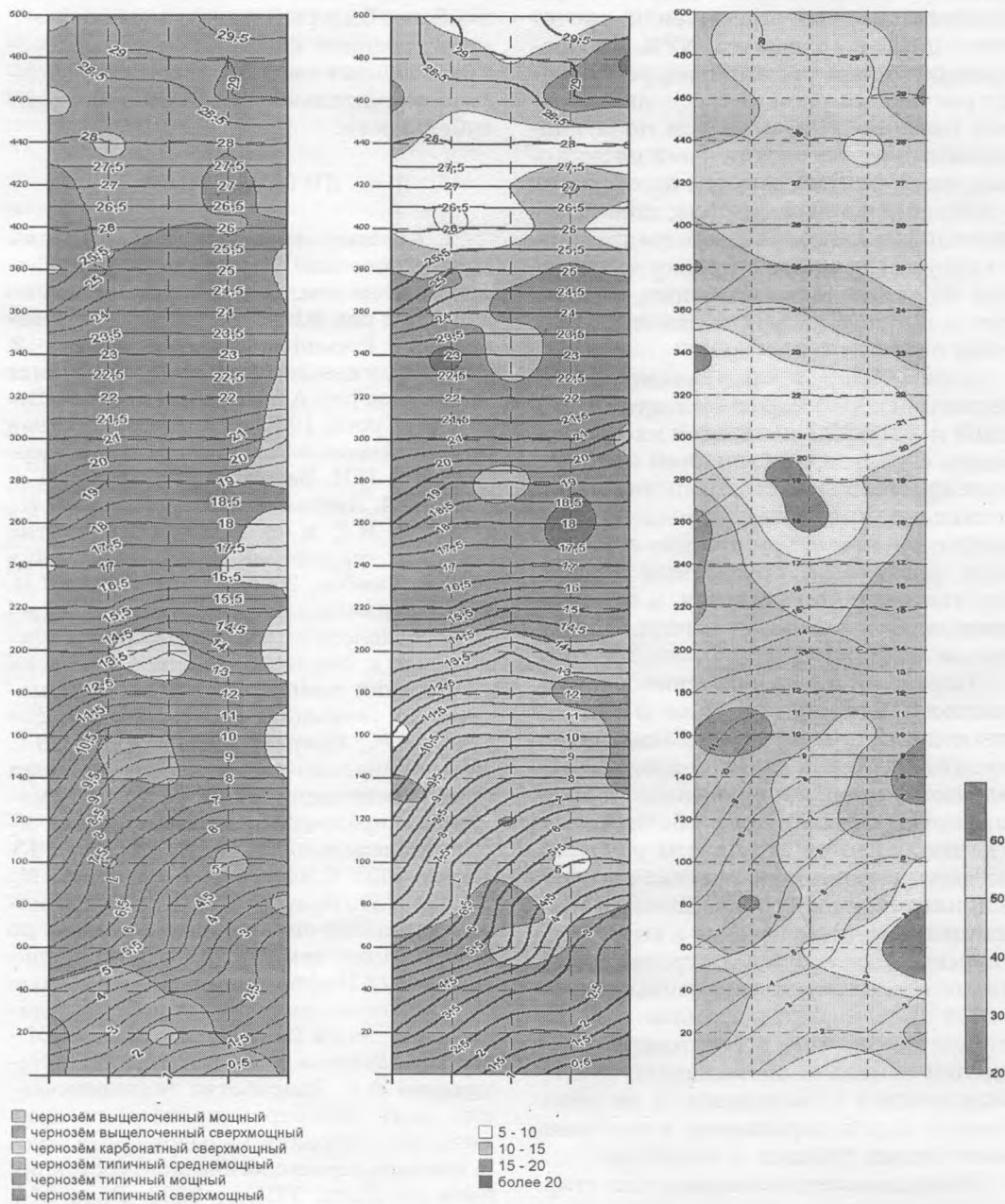


Рис. 3. Внутрипольное варьирование почвенного покрова, влажности почв и урожайности пшеницы на склоне

условий; уточнение расчетного урожая с учетом основных почвенно-мелиоративных, агротехнических и общих организационных ограничений; расчет потенциального выноса NPK с программируемым урожаем; корректировку расчетного урожая и основных статей баланса NPK с учетом почвенно-агрохимических ограничений и прогнозируемой рентабельности применения удобрений на данном поле; поливариантный анализ затрат на выращивание культур [13]; корректировку технологий по результатам текущего мониторинга и интегральная справочная система по защите растений.

Открытый для квалифицированного пользователя характер систем РАС-КАЗ и ЛИССОЗ позволяет их настраивать с учетом особенностей конкретного агроландшафта, хозяйства и года использования, облегчая решение широкого круга информационно-справочных, расчетных, прогнозных и оптимизационных задач, в т. ч. и с учетом возможных вариаций погодных и ценовых условий [5, 13].

Первоочередное значение для успешного распространения в России технологий прецизионного земледелия имеет подготовка качественных специалистов и специализированного информационно-справочного обеспечения, адаптированного к местным условиям основных природно-сельскохозяйственных регионов страны. Высокое провинциально-генетическое и агроэкологическое разнообразие агроландшафтов обуславливают устойчивый приоритет за разработкой рамочных («framework») систем агроэкологической оценки земель и оптимизации землепользования с последующей их адаптацией и районированием к условиям конкретных районов и хозяйств.

Наиболее перспективным для стартового развития и внедрения технологий прецизионного земледелия в России является Центральное Черноземье, где преобладают самые плодородные почвы и распространена высокая внут-

рипольная пестрота их плодородия. Прецизионное дифференцирование агротехнологий способно дать в этой зоне наиболее быстрый и значимый эффект: существенное снижение экономических и экологических рисков производства, значительное повышение его рентабельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агроэкологическая оценка земель. Проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий / Под ред. В.И. Кирюшина и А.Л. Иванова. М.: Росинформагротех, 2005. — 2. Агроэкологическое состояние черноземов ЦЧО / Под ред. А.П. Щербакова и И.И. Васенёва. Курск, 1996. — 3. Антропогенная эволюция черноземов / Под ред. А.П. Щербакова и И.И. Васенёва. Воронеж: ВГУ, 2000. — 4. Артамонов А.Д., Бетин О.И., Богданов И.Я. и др. Политика развития сельских территорий России: поселения XXI в. Тамбов, 2005. — 5. Васенёв И.И. Геоинформационное обеспечение задач по агроэкологической оптимизации земледелия и землепользования в России // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2005. №1. — 6. Васенёв И.И., Букреев Д.А., Хахулин В.Г. Функционально-экологическая оценка почв и типизация земель // Информационно-справочные системы оптимизации землепользования в условиях ЦЧЗ. Курск, 2002. С. 44-66. — 7. Васенёв И.И., Руднев Н.И., Букреев Д.А. Локальные информационно-справочные системы по оптимизации земледелия и землепользования // Информационно-справочные системы по оптимизации землепользования в условиях ЦЧЗ. Курск, 2002. С. 67-90. — 8. Васенёв И.И., Бузылёв А.Г., Неклюдова А.В. Разработка технологических карт дифференцированного применения удобрений на основе детального анализа агроэкологического состояния почв // Докл. ТСХА, 2006. Вып. 278. С. 635-641. — 9. Васенёва Э.Г., Васенёв И.И., Щербаков А.П. и др. Внутрипольная пестрота почвенного покрова и урожайности в центре черноземной зоны России // Антропогенная эволюция чер-

ноземов. Воронеж, 2000. С. 330—362. —

10. Денисова Н.В. Формы неоднородности почвенного покрова Черноземной зоны (43) Среднего Поволжья // Крупномасштабная картография почв и её значение в сельском хозяйстве черноземной зоны. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1976. С. 3-55. — **11.** Кирюшин В.И. Экологизация земледелия и технологическая политика. М.: МСХА, 2000. — **12.** Локальная информационно-справочная система по оптимизации земледелия в хозяйстве — ЛИССОЗ / Васенёв И.И., Руднев Н.И., Хахулин В.Г., Бузылёв А.В. Свид-во об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2005610898. 2005. — **13.** Методика агроэкологической типизации земель в агроландшафте / Васенёв И.И., Руднев Н.И., Хахулин В.Г. / Под ред. И.И. Васенёва. М.: Россельхозакадемия, 2004. — **14.** Региональная автоматизированная система комплексной агроэкологической оценки

земель - РАСКАЗ / И.И. Васенёв, В.Г. Хахулин, А.В. Бузылёв. Свид-во об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2005610897. 2005. — **15.** Сорокина Н.П. Методология составления крупномасштабных агроэкологических почвенных карт. М., 2006. — **16.** Панкин В.Д., Васенёв И.И., Руднев Н.И. Автоматизированный анализ эффективности применения ресурсосберегающих технологий с использованием ЛИССОЗ // Агроэкологическая оптимизация земледелия. Курск, 2004. С. 210-214. — **17.** Руднев Н.И., Васенёв И.И., Харченков Ю.И., Хахулин В.Г. Адаптация ЛИССОЗ к условиям Опытного-производственного хозяйства ВНИИЗиЗПЭ // Модели и технологии оптимизации земледелия. Курск, 2003. С. 277-282. — **18.** Эрозия почв / Под ред. Д.Д. Ноур. Кишинев: Понтос, 2001.— **19.** Anderson, D.L., Portier, K.M., Obreza, T.A., Collins, M.E. // Soil Sci. Soc. Amer. J., 1999. V. 63. P. 592-600.

SUMMARY

Brief description of top priority tasks and basic programmes of geo-information-methodical basis of agroecological optimization of precise and adaptive-land-landscape farming in Russia is cited in this article. Ways of their usage are being considered under conditions of Central Black-Earth-Zone in Russian Federation.