И.И. Васенев, Д.В. Пивченко, Ю.Л. Мешалкина

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СППР И МОДЕЛЕЙ ПРОДУКЦИОННОГО ПРОЦЕССА

Для эффективного и оперативного решения задач агроэкологической оптимизации земледелия, разработки и оперативной корректировки адаптированных к условиям конкретных ландшафтов агротехнологий в России постепенно развиваются специализированные разделы профильных систем поддержки принятия решений (СППР) в области экономической и агроэкологической оптимизации сельскохозяйственного производства и землепользования [2, 12].

Современные интенсивные агротехнологии предусматривают высокий уровень агротехники и применяемых доз удобрений, регуляторов роста и средств защиты растений. В результате значительно возрастает не только плановая рентабельность производства, но и «цена» возможных ошибок в интерпретации текущих почвенно-агроэкологических условий конкретного поля (табл. 1).

Неоднородность почвенного покрова и его отдельных свойств часто является причиной очень высокого (до 2-3 кратного) внутрипольного варьирования урожайности – даже в условиях однородного технологического фона текущего года [2, 3, 18, 19]. Принятие решений об использовании каждого земельного участка должно опираться на инвентаризацию, качественно-количественную характеристику всех *почвенно-агроэкологических* факторов, ответственных за пестроту урожайности, качества продукции и лимитирующих применение агротехнологий.

Вследствие этого при принятии решений о наиболее рациональном варианте использования поля (культура, агротехнология и отдельная операция) возрастает роль информации о его пространственной неоднородности, а следовательно, требования к точности почвенно-агрохимической, ландшафтно-геоморфологической и, в целом, агроэкологической информации (*табл.1*). Разработанные за последние десятилетия методы количественного анализа

СПП, регионально-типологических форм процессов агропедогенеза и элементарных структур почвенного покрова, агроэкологического анализа почв и земель [3, 8, 10, 13, 18, 19] позволяют наиболее адекватно отражать строение и пространственно-временную изменчивость почвенного покрова.

Таблица 1

**Современная актуализация проблем
агроэкологического анализа почв в России**

Актуализация социально-экономического спроса	Методологическая база исследований	Актуализация агроэкологических исследований СПП
<ul style="list-style-type: none"> - Рост рентабельности и капитализации сельхозоваропродуцентов в РФ; - Локально идущая технологическая революция и модернизация АПК; - Растущий спрос на качественную информацию о текущем агроэкологическом состоянии земель. 	<ul style="list-style-type: none"> - Общая теория <i>структуры почвенного покрова</i> (СПП); - Теория агропедогенеза; - Теория и методы количественного анализа <i>элементарных процессов почвообразования</i> (ЭПП); - Методология агроэкологической оценки, прогноза и типизации земель; - Геоинформационные и экспертные системы. 	<ul style="list-style-type: none"> - Анализ основных регионально-типологических форм СПП; - Агроэкологическая интерпретация элементарных СПП; - Разработка, верификация, локализация местных алгоритмов и моделей оценки СПП; - Дефицит районированных шкал и нормативов оценки почв и СПП.

С их использованием, при анализе крупномасштабных и детальных цифровых почвенных карт, получают геостатистически обоснованные ареалы пространственной экстраполяции почвенно-агроэкологической информации, содержательные тематические слои локальных ГИС и расчетно-аналитические модули геоинформационных и информационно-аналитических модулей СППР. Неоднородность, или структура почвенного покрова (включая состав компонентов, их долевое участие, пространственное размещение ареалов), как правило, относится к трудно регулируемым факторам, ограничивающим потенциальные возможности интенсивного использования земель и влияющим на эффективность управления легко регулируемые факторами плодородия (например, в связи с разной отзывчивостью компонентов почвенного покрова на удобрения).

В рамках адаптивно-ландшафтных стратегий землепользования становится актуальной задача предпроектной экспертной оценки почвенного покрова каждого поля – для определения агроэкологического «потенциала интенсификации»: точное земледелие; высокоинтенсивное земледелие; интенсивное земледелие; неинтенсивное («нормальное») земледелие [6]. Для ее реализации на практике должны быть сформулированы и верифицированы регионально типизированные количественные критерии агроэкологической оценки почв применительно к 3-4 «базовым» уровням технологий рентабельного и экологически безопасного выращивания наиболее распространенных сельскохозяйственных культур в условиях конкретного региона.

Региональные наборы природных и антропогенно измененных СПП отличаются большим разнообразием, но поддаются функционально-целевой типизации [19] – на основе методологии количественного анализа и агроэкологической оценки СПП, заложенной в классических работах В.М. Фридланда [20] и Ф.И. Козловского [7, 9, 10]. Сейчас она начинает активно внедряться в практику агроэкологической оценки земель и проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия [1] – благодаря бурному развитию современных информационных технологий и растущему спросу на оперативные корректировки базовых элементов систем земледелия, землепользования и агротехнологий [4, 5].

Приоритетной задачей информационно-методического обеспечения агроэкологической интерпретации материалов крупномасштабной цифровой почвенной картографии является разработка специализированных систем поддержки принятия решений по агроэкологической оптимизации земледелия с районированными нормативами агроэкологической оценки почвенного покрова и регионально-типологических моделей лимитирующих факторов продукционного процесса с алгоритмом «анализ СПП → оценка лимитирующих факторов → прогноз урожайности». В основе их районирования и верификации лежит почвенно-агроэкологическая информация, систематизированная в региональных ГИС, доступных для пользователей.

Системы поддержки принятия решений (СППР) по агроэкологической оптимизации земледелия

Примером подобных СППР является локальная информационно-справочная система по оптимизации земледелия [11], предназначенная для информационной поддержки и проведения оперативных прогнозно-

оценочных расчетов для выбора оптимальных вариантов размещения культур, технологий и отдельных технологических операций их возделывания (рис. 1) – с учетом локальных почвенно-микроклиматических особенностей конкретных рабочих участков, сложившейся или прогнозируемой системы цен и реальных возможностей материально-технического и финансово-экономического обеспечения хозяйства [3].

Рис. 1. Функциональная блок-схема ЛИССОЗ (окончание)

ЛИССОЗ включает в себя информационно-расчетные, нормативные и справочные базы данных, информационно-аналитические модули для решения целого комплекса оценочных, прогнозных и оптимизационных задач (рис. 1). Она располагает дружественным интерфейсом и содержит удобные для пользователя формы представления аналитической и справочной информации. Применение настроенной к условиям конкретного хозяйства ЛИССОЗ способно значительно повысить пространственно-

временную и технологическую гибкость активно разрабатываемых в последние годы систем земледелия на ландшафтной основе [12].

Адаптация и настройка ЛИССОЗ к условиям конкретного хозяйства включает выбор оптимальной нормативной и алгоритмической базы для расчета планируемого урожая и потребности основных выращиваемых культур в питательных элементах, заполнение первичной базы данных по комплексной характеристике полей (рабочих участков) хозяйства, оцифровку топографической основы, почвенной карты и базовых картосхем производственной инфраструктуры, агроэкологическую оценку земель и оптимизацию земледелия. Созданная в рамках ЛИССОЗ комплексная база данных справочно-нормативной информации по хозяйству состоит из функционально-тематических баз данных по сельскохозяйственным полям, культурам и севооборотам. База данных по характеристике полей хозяйства включает следующие разделы:

- общая характеристика земель конкретного поля (*размер, рельеф, привязки к основным объектам производственной инфраструктуры...*);
- состав почвенного покрова поля;
- средних (*или средневзвешенных*) значений основных параметров плодородия почв (*заполняется в соответствии с имеющейся информацией по данному полю*);
- сведений по предшественникам и их урожайности (*до 10 лет*);
- данных по применению минеральных, органических удобрений и мелиорантов за последние 10 года (*для прогноза параметров почв по данным предыдущих обследований и ретроспективной верификации моделей оценки*).

При ее формировании и обновлении осуществляется ведение компьютеризированной книги истории полей хозяйства. Разработанная СУБД позволяет пользователю в простой и удобной для него форме наполнять информацией специализированные базы данных по полям хозяйства, возделываемым в хозяйстве культурам и основным севооборотам, присущим данному региону. Созданная программа дает возможность формирования новых объектов (поле, культура), просмотра и корректировки значений параметров уже занесенных в базу данных объектов, а также возможность удаления из базы данных ненужных объектов.

В состав параметров по каждому полю (рис. 2) входят:

- ❖ название поля, год заполнения формы, площади различных вариантов почв по их генетическому типу (подтипу) и степени эродированности;
- ❖ группа метрических характеристик поля;

- ❖ группа средних значений почвенных параметров для поля; информация по внесению удобрений и истории поля.

Форма ввода-корректировки почвенно-агрохимических данных по полю включает систематизированный перечень используемых параметров, с указанием их размерности, и систему вложенных подменю – для заполнения данных о качественных параметрах. Программа содержит встроенные корреляционные таблицы, которые позволяют использовать данные о содержании доступных форм питательных элементов, полученные разными методами экстрагирования.

В группе внесения удобрений по годам приводятся сведения о внесении органических, азотных, фосфорных, калийных удобрений и сведения по известкованию почв за текущий год и 9 предшествующих лет. В группе “история поля” приводятся названия возделываемых культур и их урожаи за текущий год и 9 предшествующих лет.

Метрические характеристики поля			Средние параметры почв		
Наименования	Размерн.	Значения	Наименования	Размерн.	Значения
Площадь поля	га	46.1	Кислотность (рН солевой)	рН	6.17
Длина гона	км	1.25	Гидролит. кислотность	мг-экв/100г	3.11
Удаление от склада ГСМ	км	2.4	Содержание гумуса	%	5.71
Удаление от склада урожая	км	1.0	Мощность гум. горизонта	см	70
Удаление от склада удобрений	км	1.5	Содерж. фосфора (по Чирикову)	мг/кг	183
Крутизна склонов	град	2	Содерж. калия (по Чирикову)	мг/кг	100
Плотность сложения	г/куб.см	1.1	Содерж. азота (по Корндильду)	мг/кг	191
Экспозиция склонов (сев.\южн.)	-	южн.	Сумма поглощенных оснований	мг-экв/100г	24.26
			Насыщенность основаниями	%	86
			Бонитировочная оценка пашни	балл	73

Тип (подтип) почв: Черноземы типичные
 Степень эрозии почв: Слабоэродированные
 Мех. состав почвы: Тяжелосуглинистый

Вводите паспортные данные для поля - 01-2-5-3

Продолжение

Рис. 2. Форма ввода-корректировки почвенно-агрохимических данных

В состав параметров базы данных по каждой возделываемой в хозяйстве культуре (рис. 3) входят:

- ❖ название культуры,
- ❖ ее период вегетации и фазы развития (даты: начало – конец);
- ❖ калорийность культур, коэффициенты водопотребления;
- ❖ сумма частей в отношении основной продукции к побочной;
- ❖ нормативы окупаемости агрохимических показателей подтипов почв;
- ❖ коэффициенты снижения урожайности культур на эродированных почвах;

❖ стандартная влажность культуры по ГОСТу...

Характеристики с/х культуры

Выберите из списка название с/х культуры
 Выберите название с/х культуры

Определите эту культуру к какой либо группе -->
 Выберите группу

Внимание! Если в списке нет нужной Вам культуры, наберите новое название, нажмите кнопку "OK", затем повторите выбор из списка

Название новой культуры

Прочтите для информации названия с/х культур, содержащиеся в базе. Имя уникально!!!
 Озимая пшеница

Нормативы окупаемости с/х показателей (ВНИИЗ и ЗПЗ, 2000 г). ц на 1 мг/кг значения показателя

Тип почвы	азот	фосфор	калий
Св. серые и серые лесные	0.19	0.20	0.22
Темные лесные, Черноземы оподзоленные	0.21	0.22	0.24
Черноземы выщелоченные и типичные	0.23	0.24	0.26

Коэффициенты использования NPK

Название коэффициента	азот	фосфор	калий
Вынос NPK с урожаем, кг/ц	3.4	1.2	2.5
Использование NPK из орг. удобр. в 1 год	0.25	0.30	0.50
Использование NPK из орг. удобр. во 2 год	0.20	0.15	0.10
Использование NPK из мин. удобр. в 1 год	0.50	0.18	0.50
Использование NPK из мин. удобр. во 2 год	0.0	0.10	0.20

Смотрите и коррект. параметры СХК - Озимая пшеница

Периоды вегетации (1,2) начало конец

количество 2

номер-->	день	месяц	день	месяц
весна	15	4	15	7
осень	1	9	12	10

Полевые коэффициенты

Коэффициент водопотребления, мм га/ц	350
Калорийность с/х культуры, ккал/кг	4500
Сумма частей основной и побочной продукции	2.5
Стандартная влажность с/х культуры, %	14

Внимание! Разделителем при заполнении является "точка"

Выполнить Close

Рис. 3. Форма характеристики сельскохозяйственных культур

Наличие заполненных первичных и нормативных баз данных, согласованных с принятой системой расчетов информационно-аналитических модулей (ИАМ) программы, позволяет проводить быстрые прогнозные оценки эффективности проведения тех или иных технологических операций (рис. 4).

Затраты технологические

Расчет затрат на возделывание с/х культуры - "Озимая пшеница" на поле площадью = 46.1 га
 Интенсивная технология возделывания озимой пшеницы
 (Экстенсивная 20-29 ц/га, нормальная 30-39 ц/га, интенсивная 40-60 ц/га)

Вводите планируемый урожай, ц/га
 50 OK Расчет стандартной технологии

Дозы NPK в кг д.в. на 1 га N= 94.2 P= 37.4 K= 51.5

Выберите очередную операцию для расчета затрат

Название выбранной технологической операции
 11. Прикатывание посева

Наименование	Величина
1. Срок проведения (оптимальный)	20/08-30/08
2. Техническое средство - трактор, автомобиль	ДТ-75
3. Техническое средство - машина	ЗККН-2,8
4. Условные гектары	0.17
5. Обслуживающий персонал - механизаторы	1
6. Обслуживающий персонал - рабочие	0
7. Затраты труда механизаторов на 1га, чел/час	0.13
8. Затраты труда рабочих на 1га, чел/час	0
9. Затраты горючего на 1га, кг	1.2

Нажмите для заполнения таблицы -->>> Выполнить

Затраты на операцию составили 26.9руб.
 Суммарные затраты на 1 га: 3119.2руб.

Затраты на поле (тыс.руб.): суммарные 143.8 на операцию 1.2

Справка затрат Close

Рис. 4. Основная форма ИАМ по оценке затрат на выращивание культуры по выбранной технологии в условиях конкретного поля

Наличие оцифрованных базовых и тематических картосхем по характеристике, агроэкологической типизации земель и структуре севооборотов позволяет оперативно обновлять картографические материалы по агроэкологическому состоянию рабочих участков и оперативно формировать технологические картограммы.

Агроэкологические модели продукционного процесса

Проритет внедрения цифрового земледелия в России актуализирует задачи использования агроэкологических моделей продукционного процесса, описывающих продукционный процесс в конкретный период и на конкретном поле. Однако, существующие модели продукционного процесса как правило имеют региональную привязку при использовании глобальных программ [11, 14, 15, 16, 17, 22, 23]. Таким образом, возникает потребность в разработке инструментария, который бы позволил прогнозировать результаты внедрения определенных агротехнологий на любой срок и в любом месте.

Повышенный спрос на математические модели в сельском хозяйстве обуславливается необходимостью точной оценки прогнозируемого урожая на ранних стадиях развития растений, анализом преимуществ и рисков той или иной системы земледелия до начала возделывания культуры [21]. Система DSSAT (The Decision Support System for Agrotechnology Transfer, далее – DSSAT) – наиболее распространенная в мире система поддержки и принятия агротехнологических решений.

Она применяется для моделирования развития биомассы и прогнозирования урожая 42 сельскохозяйственных культур с учетом почвенных и климатических условий и метеорологических особенностей конкретного года. Использование инструментов для облегчения адекватного выбора агротехнологий особенно актуально для дерново-подзолистых почв, характеризующихся пониженным уровнем природного плодородия и повышенной пестротой почвенного покрова.

Объектом мониторингового исследования стали полевые агроэкосистемы с озимой пшеницей, расположенные на Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Условия выращивания культур на Полевой станции, рассматриваются как представительные для Центрального района Нечернозёмной зоны Российской Федерации. Исследование охватывало два периода выращивания озимой пшеницы: период 2015-

2016 гг был близок к среднегодовому, а период 2016-2017 гг. был значительно влажнее и холоднее среднегодовых данных.

Агроэкологический мониторинг за динамикой биомассы и учет структуры урожая перед уборкой проводились для выявления закономерностей изменения во времени параметров биомассы озимой пшеницы для двух контрастных с точки зрения метеоусловий периодов. Исследование включало проведение агроэкологического мониторинга, который проводился для получения характеристик динамики биомассы, а также, для оценки, так называемых, «среднесезонных» данных для настройки и тестирования системы DSSAT, а также локализацию агроэкологической модели CERES-Wheat (в структуре DSSAT v. 4.6) по материалам проводимых мониторинговых наблюдений.

Статистический анализ динамики высоты растений пшеницы в вегетационном сезоне 2015-2016 гг., близком по метеоусловиям к среднегодовым данным, показал (табл. 2), что от фазы кущения к фазе цветения происходит закономерное увеличение средних значений их высоты.

Во все сроки наблюдений распределения высоты растений симметричны (рис. 5), что говорит об отсутствии какого-либо ярко выраженного фактора, влияющего на рост растений в рамках эксперимента. Относительное варьирование высоты растений, выраженное коэффициентом вариации, уменьшается от фазы кущения до полной спелости, однако стандартное отклонение увеличивается, так как высота увеличивается.

Таблица 2

Динамика высоты растений (см) в вегетационный период 2015-2016 гг.

Фаза	Дата	n	Среднее	Стандартное отклонение	Коэффициент варьирования, %	Минимум	Максимум
Кущение	02.10.2015	180	8,7	3,1	35	4	17
	30.04.2016	264	19,6	3,3	17	11	27
Выход в трубку	11.05.2016	216	37,2	4,7	13	23	48
Колошение	28.05.2016	161	54,7	4,5	8	43	65
	05.06.2016	126	73,5	8,1	11	54	94
Цветение	13.06.2016	122	84,8	8,5	10	59	108
Полная спелость	21.07.2016	180	84,3	9,0	11	58	109

Рис. 5. Распределение высоты растений озимой пшеницы в 2015-2016 гг.

Чертой показаны медианы, коробочкой – нижний и верхний квартили, усиками – минимумы и максимумы, отдельными точками – выбросы.

Статистический анализ динамики высоты растений пшеницы в вегетационный сезон 2016-2017 гг., более холодный и влажный по метеоусловиям по сравнению со среднемноголетними метеоданными, показал (табл. 3 и рис. 6), что растения озимой пшеницы развивались медленнее и были ниже для всех фаз развития.

В сезоне 2015-2016 гг. максимальное значение высоты озимой пшеницы достигло 109 см, а в сезоне 2016-2017 гг. максимальное значение достигло 98 см. Средние значения во все фазы развития в сезоне 2015-2016 гг. превышали соответствующие значения в сезоне 2016-2017 гг. В начале вегетации растения озимой пшеницы в 2017 г. были ниже в среднем более чем на 10 см. Средние значения высоты растений в сезоне 2015-2016 гг. к концу

Таблица 3

Динамика высоты растений (см) в вегетационный период 2016-2017 гг.

Фаза	Дата	n	Среднее	Стандартное отклонение	Коэффициент варьиров., %	Минимум	Максимум
Кущение	03.10.2016	180	7,3	1,6	22	4	10
	15.05.2017	180	9,2	1,6	17	5	14
Выход в трубку	09.06.2017	178	45,6	4,4	10	33	57
Колошение	20.06.2017	180	65,1	5,6	9	50	79
Цветение	29.06.2017	1390*	69,8	7,0	10	54	98
Полн. спелость	05.08.2017	180	70,5	6,2	9	55	96

* объем выборки связан с увеличением числа повторностей в точках пробоотбора

Рис. 6. Распределение высоты растений озимой пшеницы в 2016-2017 гг.

вегетации составили 84,3 см, что почти на 14 см больше чем в сезоне 2016-2017 гг. (среднее 70,5 см). Отличия в средних высотах для одинаковых фаз развития растений по годам статистически значимы. Весной после начала вегетации высота растений озимой пшеницы увеличивается до фазы цветения практически линейно (рис.3.3). Зависимость может быть описана линейной функцией:

$$2016 \text{ г.} \quad - \quad y = 1,4537 * x - 156,53,$$

$$2017 \text{ г.} \quad - \quad y = 1,4051 * x - 179,49,$$

где y – высота растений пшеницы, в см; x – дни от начала года.

Коэффициенты корреляции для обоих вегетационных сезонов составляют 0,993. Углы наклона для обоих прямых практически равны, наблюдается двухнедельный сдвиг по оси времени, то есть развитие растений в 2017 г. отстает практически ровно на 14 дней.

Густота стеблестоя, мониторинговые наблюдения за которой велись в 2017 г., увеличивается от фазы кущения до фазы цветения: минимальное значение густоты стеблестоя (737,9 шт./м²) наблюдается в фазу кущения, а максимальное (921,3 шт./м²) – в фазу цветения (рис. 7). После этого, в связи с окончанием периода интенсивной вегетации до полной спелости происходит плавное уменьшение количества стеблей в связи с полеганием и другими факторами.

Сопоставление параметров биомассы озимой пшеницы, полученных на ранних этапах вегетации в фазу кущения (15 мая 2017 г.) с характеристиками урожая, полученными в конце вегетации на фазе полной спелости, показало наличие зависимостей. Наиболее высокий коэффициент корреляции

был найден между числом зерен на м^2 и густотой стеблестоя (шт./ м^2), коэффициент корреляции составил $R=0,83$ (рис. 8). Таким образом, до 70% варьирования такого показателя урожая как количество зерен (шт./ м^2) может быть предсказано по густоте стеблестоя (шт./ м^2) в фазу кущения.

Рис. 7. Распределение густоты стеблестоя растений озимой пшеницы в 2016-2017 гг.

Рис. 8. Зависимость количества зерен на м^2 от густоты стеблестоя в фазу кущения

Зависимость может быть описана линейной функцией:

$$y = 24,216 \cdot x + 2118,$$

где y – количество зерен в фазу полной спелости, шт./ м^2 ; x – густоты стеблестоя в фазу кущения, шт./ м^2 .

Коэффициент корреляции между числом зерен на м^2 и высотой растений (см) составил $R=0,71$ (рис. 9). Таким образом, до 50% варьирования такого показателя урожая как количество зерен (шт./ м^2) может быть предсказано по высоте растений пшеницы (см) в фазу кущения. Зависимость может быть описана линейной функцией:

$$y = 26481 * x - 40685,$$

где y – количество зерен в фазу полной спелости, шт./м²; x – высота пшеницы в фазу кущения, см.

Рис. 9. Зависимость количества зерен на м² от роста растений в фазе кущения

Локализация модели DSSAT проводилась в три этапа. Сначала на основе материалов агроэкологического мониторинга озимой пшеницы на представительном варианте окультуренной дерново-подзолистой почвы была произведена настройка модели CERES-Wheat для условий, близких к среднемноголетним агроклиматическим (табл. 4). Затем был проведен анализ чувствительности модели с использованием комбинаций входных данных эксперимента по системе применения удобрений и способу обработки почвы. Тестирование модели по данным сезона 2016-2017 гг. было проведено для оценки отклика модели CERES-Wheat к изменению погодных условий.

Результаты агроэкологического мониторинга, проведенного в вегетационном сезоне 2015-2016 гг., близком к среднемноголетним агроэкологическим условиям, показали принципиальную возможность

Таблица 4

Результаты настройки модели CERES-Wheat для озимой пшеницы

Настройка модели по данным (2015–2016 гг.)	Число дней от посева до цветения		Число дней от посева до созревания		Урожай зерна, т/га	
	М	Н	М	Н	М	Н
	272	269	304	302	5,462	5,200
Расхождение	3 дня		2 дня		5%	

М – смоделированные значения, Н – результаты наблюдений использования модели CERES-Wheat для агроэкологического моделирования продукционного процесса озимой пшеницы на дерново-подзолистых почвах в условиях Центральной России. Расхождение по урожайности экспериментально полученных данных продукционного процесса озимой пшеницы с их расчетными значениями по локализованной к условиям эксперимента модели CERES-Wheat не превысило 5 %. Сопоставление параметров биомассы озимой пшеницы, полученных на ранних этапах вегетации в фазу кущения, с характеристиками урожая, полученными в конце вегетации, показало возможность их эффективного использования для предсказания урожая. По результатам двух сезонов проведения мониторинговых агроэкологических исследований показано, что изменения во времени параметров биомассы озимой пшеницы (рост, проективное покрытие посевов) от фазы кущения до фазы цветения носят линейный характер с коэффициентами детерминации 0,95-0,98. Наиболее высокая зависимость была найдена между числом зерен на m^2 и густотой стеблестоя (шт./ m^2) в фазу кущения ($R = 0,83$). Проведение мониторинговых агроэкологических исследований в условиях двух контрастных по агроклиматическим условиям сезонов (близкого к среднегодовым данным 2015-2016 гг. и существенно более холодного и влажного 2016-2017 гг.) показало высокую чувствительность модели CERES-Wheat системы DSSAT к изменению погодных условий, что определяет необходимость создания серии настроек модели на разные погодные условия с учетом региональных особенностей проявления сортовой специфики озимой пшеницы.

Литература

1. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий (под ред. В.И. Кирюшина и А.Л. Иванова). М.: Росинформагротех. 2005. 783 с.
2. 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.
3. Васенев И.И., Бузылев А.В. Автоматизированные системы агроэкологической оценки земель / Учебно-практическое пособие. М.: РГАУ-МСХА. 2010. 174 с.

4. Васенев И.И., Гераськин М.М., Макаров О.А., Куликов А.А. Кадастровая оценка и регистрация земель / Учебно-практическое пособие. М.: РГАУ-МСХА. 2010а. 334 с.
5. Васенев И.И., Бузылев А.В., Курбатова Ю.А. и др. Агроэкологическое моделирование и проектирование / Учебно-практическое пособие. М.: РГАУ-МСХА. 2010б. 260 с.
6. Кирюшин В.И. Агрономическое почвоведение. М.: КолосС. 2010. 360 с.
7. Козловский Ф.И. Почвенный индивидуум и методы его определения // Закономерности пространственного варьирования свойств почв и информационно-статистические методы его изучения. М.: Наука. 1970.
8. Козловский Ф.И. Агрогенная эволюция почв степей и ее экологическая интерпретация // Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1987, № 1, С. 14 – 32.
9. Козловский Ф.И. Современные естественные и антропогенные процессы эволюции почв. М.: Наука. 1991, 196 с.
10. Козловский Ф.И. Теория и методы изучения почвенного покрова. М. 2003. 536 с.
11. ЛИССОЗ – Локальная информационно-справочная система по агроэкологической оптимизации земледелия. Свидетельство № 2005610898 от 14.04.05 / Васенев И.И., Руднев Н.И., Хахулин В.Г., Бузылев А.В.
12. Методика агроэкологической типизации земель в агроландшафте (*под ред. И.И. Васенёва*). Москва: Россельхозакадемия. 2004. 80 с.
13. Мешалкина Ю.Л., Васенев И.И., Кузякова И.Ф., Романенков В.А. Геоestatистика в почвоведении и экологии. / Учебно-практическое пособие. М.: РГАУ-МСХА. 2010. 95 с.
14. Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур / Р.А. Полуэктов [и др.]. – СПб.: Изд. С.-Петербург. ун-та. 2006. 396 с.
15. Региональная автоматизированная система комплексной агроэкологической оценки земель – РАСКАЗ / И.И. Васенёв [и др.]. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2005610897.
16. Романенков В.А. Исследование эффективности управления плодородием в агроэкосистемах на основе изучения рядов урожайности в

длительных полевых опытах // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2015. Т. 26. № 2. С. 97 – 114.

17. Савин И.Ю. Имитационная модель роста сельскохозяйственных растений WOFOST 7.1 (руководство пользователя русифицированной версией): учеб. пособие / И.Ю. Савин [и др.]. М.: РУДН. 2000. 116 с.

18. Сорокина Н.П. Агроэкологическая группировка и картографирование пахотных земель для обоснования адаптивно-ландшафтного земледелия (Методические рекомендации). М.: Почв. Ин-т. 1995. 108 с.

19. Сорокина Н.П. Структура почвенного покрова пахотных земель: типизация, картографирование, агроэкологическая оценка. Автореф. докт. дисс. Москва, 2003. 49 с.

20. Фридланд В.М. Структура почвенного покрова. М., 1972. 423 с.

21. Шатилов И.С., Чудновский А.Ф. Агрофизические, агрометеорологические и агротехнические основы программирования урожая. Л.: Гидрометеоиздат. 1980. 320 с.

22. The DSSAT cropping system model / J.W. Jones [et al.] // European Journal of Agronomy. 2003. № 18 (3–4). С. 235 – 265.

23. Tsuji G.Y., Uehara G., Balas S. DSSAT / Honolulu. Hawaii: University of Hawaii. 1994. Vol. 3. 244 с.