

EDN: HXMLNC

DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-4-57-65



Научная статья

УДК 631



Оценка потребности сельского хозяйства в технологиях точного земледелия

Антон Павлович Акпасов,кандидат технических наук, заведующий отделом,
e-mail: 1a9@mail.ru;**Ренат Бариевич Туктаров,**кандидат сельскохозяйственных наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: tuktarov.rb@gmail.com;**Марина Евгеньевна Кадомцева,**кандидат экономических наук,
старший научный сотрудник,
e-mail: kozyreva_marina_@mail.ru;**Дмитрий Алексеевич Греков,**младший научный сотрудник,
e-mail: greckov.dmitry@yandex.ru

Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации, г. Энгельс, Российская Федерация

Реферат. Отметим, что в условиях нарастающих климатических изменений в регионах Российской Федерации в виде учащения засух, неравномерных осадков и роста температур технологии точного земледелия становятся важнейшим инструментом обеспечения устойчивости сельскохозяйственного производства. Одним из направлений точного земледелия является фертигация – метод одновременного орошения и внесения удобрений. (*Цель исследования*) Оценка потребности российского аграрного сектора в технологиях фертигации, анализ тенденций и региональных особенностей внедрения. (*Материалы и методы*) На основе анализа данных Росстата и Росгидромета проведена оценка взаимосвязи параметров развития растениеводства в 28 выбранных регионах Южного, Северо-Кавказского и Приволжского федеральных округов с климатическими и производственными характеристиками. Исследование тенденций развития технологий фертигации в Российской Федерации основано на патентном обзоре, экспертных оценках, данных отраслевых отчетов и информации от производителей. (*Результаты и обсуждение*) Корреляционный анализ показал зависимость урожайности основных сельскохозяйственных культур от внесенных объемов минеральных и органических удобрений. Однако эффективность применения удобрений существенно варьируется в зависимости от региональных особенностей. Полученные результаты сопоставлены с динамикой климатических рисков, наиболее часто проявляющихся на территории выбранных регионов. Нарастающее воздействие неблагоприятных климатических факторов в регионах растениеводческой специализации обуславливает значительный потенциал фертигации. Анализ отечественного рынка данных технологий показал, что доля российских разработок остается недостаточной для импортозамещения. Исследование российской и международной баз данных о патентах подтвердил глобальный тренд на цифровизацию и автоматизацию фертигации. (*Выводы*) Фертигация как важнейшая часть технологий точного земледелия имеет высокую значимость для перехода к климатически оптимизированному сельскому хозяйству в условиях аридизации. Региональный анализ выявил зависимость урожайности от объемов удобрений, однако эффективность их применения варьируется под влиянием климатических факторов и агротехнических условий. Для снижения импортозависимости и внедрения интеллектуальных систем фертигации необходимы государственная поддержка НИОКР и локализация технологий, учитывающих специфику российских регионов.

Ключевые слова: изменение климата, сельское хозяйство, аридные зоны, орошаемое земледелие, фертигация, минеральные и органические удобрения, урожайность, цифровизация, импортозамещение.

■ **Для цитирования.** Акпасов А.П., Туктаров Р.Б., Кадомцева М.Е., Греков Д.А. Оценка потребности сельского хозяйства в технологиях точного земледелия // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. Т. 19. N4. С. 57-65. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-4-57-65. EDN: HXMLNC.

Scientific article

Evaluating the Need for Precision Farming Technologies in the Agricultural Sector

Anton P. Akpasov,Ph.D.(Eng.), head of department,
e-mail: 1a9@mail.ru;**Renat B. Tuktarov,**Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: tuktarov.rb@gmail.com;**Marina Ye. Kadamtseva,**Ph.D.(Eng.), senior researcher,
e-mail: kozyreva_marina_@mail.ru;**Dmitry A. Grekov,**junior researcher,
e-mail: greckov.dmitry@yandex.ru

Volzhsky Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Engels, Russian Federation

Abstract. The paper highlights that in the context of intensifying climate change across various regions of the Russian Federation, marked by more frequent droughts, irregular precipitation, and rising temperatures, precision agriculture technologies are becoming an essential for enhancing the resilience of agricultural production. One of such technologies is fertigation, which combines irrigation with the application of fertilizers. *(Research purpose)* The study aims to assess the demand for fertigation technologies in the Russian agricultural sector and to analyze trends and regional characteristics of their adoption. *(Materials and methods)* The research draws on data from Rosstat and Roshydromet to evaluate the relationship between crop production indicators and both climatic and production conditions in the Southern, North Caucasian, and Volga Federal Districts. Trends in fertigation development in Russia were examined through patents reviews, expert evaluations, industry reports, and information from equipment manufacturers. *(Results and discussion)* Correlation analysis revealed a relationship between the yields of major crops and the volumes of mineral and organic fertilizers applied. However, fertilizer use efficiency varies significantly across regions due to differing local conditions. These findings were analyzed alongside the dynamics of climate risks prevalent in the selected regions. The increasing impact of adverse climatic factors in crop-specialized areas highlights the growing potential of fertigation. An analysis of the domestic fertigation technology market indicates that Russian-developed solutions are still insufficient to meet import substitution goals. A review of Russian and international patent databases also confirms a global trend toward the digitalization and automation of fertigation processes. *(Conclusions)* As a key component of precision agriculture, fertigation is crucial for promoting climate-resilient farming practices amid increasing aridity. Regional analysis confirms that crop yields depend on fertilizer input, while fertilizer use efficiency is influenced by both climatic and agronomic factors. To reduce import dependence and enable the development of smart fertigation systems, targeted government support is required, particularly in research and development, and in localizing technologies suited to the specific conditions of Russian agricultural regions.

Keywords: climate change, agriculture, arid zones, irrigated farming, fertigation, mineral fertilizers, organic fertilizers, crop yield, digitalization, import substitution

■ **For citation:** Akpasov A.P., Tuktarov R.B., Kadomtseva M.Ye., Grekov D.A. Evaluating the need for precision farming technologies in the agricultural sector. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N4. 57-65 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-4-57-65. EDN: HXMLNC.

Глобальное изменение климата проявляется на территории Российской Федерации преимущественно в учащении засух, неравномерного распределения осадков и повышении температуры. Важнейшим условием устойчивого земледелия становится внедрение технологий фертигации. Согласно определению Всемирной продовольственной и сельскохозяйственной организации (ФАО ООН), фертигация – это практика подачи растворенных удобрений через системы орошения, что позволяет точно дозировать питательные вещества в соответствии с потребностями растений на разных стадиях роста.

Данный метод повышает эффективность использования воды и удобрений, снижая экологическую нагрузку. С одной стороны, фертигация позволяет оперативно корректировать режим подкормки сельскохозяйственных растений в текущих погодных условиях. Например, в периоды аномальной жары увеличить подачу калия для укрепления растений, а при затяжных дождях – добавить микроэлементы, предотвращающие грибковые заболевания. С другой стороны, фертигация может играть значимую роль в сохранении плодородия земель. В условиях прогрессирующих процессов почвенной эрозии и засоления из-за повышения испаряемости

точная подача питательных веществ к корням растений будет минимизировать воздействие на почву.

Значительное количество теоретических и практических исследований посвящено обоснованию эффективности технологий фертигации, развитию методов и проектированию технических средств орошения с одновременным внесением удобрений и необходимых химикатов [1]. Известны работы по технологиям фертигации, их влиянию на урожайность и экономику [2, 3]. Проведена оценка экономической эффективности фертигации для различных сельскохозяйственных культур [4, 5]. Исследователи приходят к выводу, что фертигация не только повышает рентабельность сельского хозяйства, но и становится ключевым инструментом для перехода к устойчивому земледелию [6, 7].

Изучение и развитие технологий фертигации в Российской Федерации критически важны для адаптации аграрного сектора к новым климатическим реалиям [8]. Важно оценить потенциал этого направления в повышении эффективности использования производственных ресурсов, выявить региональные особенности внедрения от засушливых южных районов до зон рискованного земледелия в Поволжье. Вектор интеграции технологий точного земледелия в национальные программы устой-

чивого сельского хозяйства должен строиться на научно обоснованных количественных результатах исследований. Это будет способствовать разработке адресных стратегий для разных типов хозяйств и перспективных механизмов государственной поддержки.

Цель исследования: оценка потребности российского аграрного сектора в технологиях фертигации, анализ тенденций и региональных особенностей их внедрения.

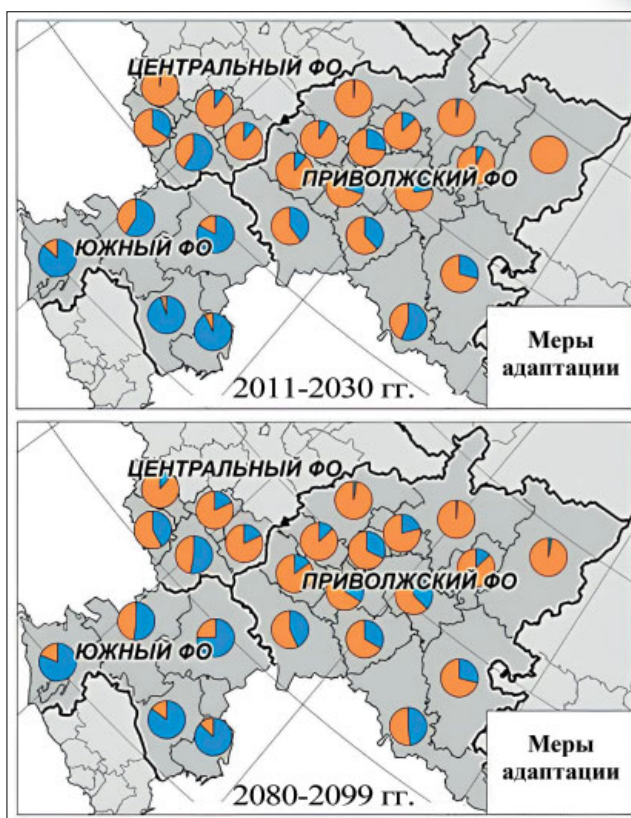
Материалы и методы. Методология исследования включает последовательную реализацию нескольких этапов.

На первом этапе сформирована выборка из 28 субъектов Российской Федерации в Северо-Кавказском, Южном и Приволжском федеральных округах. Данные регионы характеризуются высоким удельным весом производства продукции растениеводства в общероссийском объеме. Вместе с тем в этих регионах наиболее выражены признаки возрастающей аридности климата. Динамика последствий глобальных климатических изменений в виде длительных засух и сильных дождей вызывает значительные колебания урожайности и снижение производства сельскохозяйственных культур [9].

Прогнозные расчеты показывают, как будет меняться потребность в увлажнении и минеральном питании почвы Центрального, Приволжского и Южного федеральных округов в условиях ожидаемых климатических изменений (рис. 1). Так, в юго-восточных регионах Приволжского и в Южном федеральном округе при нарастании засушливых периодов потребуются не столько увеличение влагообеспеченности, сколько необходимость во внесении минеральных и органических удобрений.

Для эмпирического анализа были сформированы массивы метеорологических данных Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) о количестве и продолжительности опасных погодных явлений на территории выбранной группы регионов. С целью определения климатического тренда исследованы погодные риски в период 1991-2019 гг. Количественные параметры по урожайности сельскохозяйственных культур и объемам внесенных удобрений за 2015-2022 гг. получены из открытых источников: Федеральной службы государственной статистики (Росстат) и Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС).

На основе этих данных построена типология выбранной группы регионов по урожайности сельскохозяйственных культур и проведен экономико-статистический анализ. С помощью коэффициента корреляции Пирсона была установлена и оценена взаимосвязь между урожайностью культур и объемами внесенных удобрений. Для визуализа-



● Увлажнение ● Минеральное питание

Рис. 1. Прогнозные оценки мер адаптации производства зерновых культур к ожидаемым изменениям климата на территории Центрального, Приволжского и Южного федеральных округов (климатический сценарий RCP 4.5) [9]

Fig. 1. Projected adaptation measures for grain crop production in response to anticipated climate change in the Central, Volga, and Southern Federal Districts under climate scenario RCP 4.5 [9]

ции результатов использовались диаграммы рассеяния и графики динамики, что позволило выявить региональные особенности и обосновать значимость технологии фертигации для сельскохозяйственного производства выбранных регионов.

Информация о тенденциях развития российского рынка технологий фертигации весьма ограниченная, включает патентный обзор, экспертные оценки, данные отраслевых отчетов и информацию от производителей.

Результаты исследования. В таблице 1 представлены данные урожайности сельскохозяйственных культур и объемы внесенных минеральных и органических удобрений в регионах Приволжского, Южного и Северо-Кавказского федеральных округов. Для исследования зависимости между выбранными показателями проведен расчет с использованием коэффициента корреляции Пирсона. Результаты анализа выявили значимую статистическую связь между показателями урожайности картофеля и объ-

Таблица		Table				
УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР И ОБЪЕМЫ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ ЗА 2022 Г.*						
CROP YIELDS AND FERTILIZER APPLICATION RATES IN AGRICULTURAL ENTERPRISES OF THE NORTH CAUCASIAN, SOUTHERN, AND VOLGA FEDERAL DISTRICTS IN 2022*						
Субъект Российской Федерации	Урожайность, ц/га				Удобрения	
	Бахчевые культуры	Картофель	Овощи открытого грунта	Сахарная свекла	минеральные, тыс. т**	органические, тыс. т
Южный федеральный округ						
Республика Адыгея	124,81	100	185,11	–	103,12	–
Республика Калмыкия	–	–	–	–	15,37	–
Республика Крым	164,61	146,09	232,48	–	86,97	234,77
Краснодарский край	83,79	198,83	87,8	573,01	3205,84	3691,65
Астраханская обл.	277,83	482,8	815,28	–	20,11	
Волгоградская обл.	46,29	305,51	487,63	391,78	410,85	45,53
Ростовская обл.	60,72	324,22	357,49	526,29	2105,27	931,92
Северо-Кавказский федеральный округ						
Республика Дагестан	142,68	220,2	314,15	–	10,98	7,03
Республика Ингушетия	120	236,49	104,44	–	2,13	–
Кабардино-Балкарская Республика	–	258,85	260,53	–	71,13	–
Карачаево-Черкесская Республика	–	178,06	182,26	406,52	75,2	–
Республика Северная Осетия-Алания	72	291,2	149,85	–	40,75	–
Чеченская Республика	201,7	101,24	124,67	–	20,02	–
Ставропольский край	177,34	335,31	191,93	643,36	2335,53	5586,91
Приволжский федеральный округ						
Республика Башкортостан	–	146,3	128,21	321	449,73	2651,63
Республика Марий Эл	–	247,68	458,89	–	81,73	829,14
Республика Мордовия	–	225,91	64,63	373,03	405,48	690,74
Республика Татарстан	–	295,26	234,15	378,94	1179,12	3580,61
Удмуртская Республика	–	165,7	334,08	–	152,87	1 637,51
Чувашская Республика	137,14	250,95	353,44	356,36	93,11	710,25
Пермский край	–	181,6	143,32	–	71,07	1191,41
Кировская обл.	–	176,92	211,06	–	197,27	1386,01
Нижегородская обл.	343	325,65	414,81	304,4	314,89	1902
Оренбургская обл.	515,58	324,97	330,94	313,18	54	213
Пензенская обл.	–	303,67	414,04	440,13	582,34	1097,16
Самарская обл.	44,5	288,98	460,38	–	256,89	253,22
Саратовская обл.	89,03	263,07	160,61	527,48	176,47	106,01
Ульяновская обл.	–	252,81	407,69	351,99	176,43	280
*Составлено на основе данных Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС) https://www.fedstat.ru/indicator/31533 .						
**В пересчете на 100 % питательных веществ.						

емами внесенных под него минеральных удобрений (0,627) (рис. 2). В Ставропольском крае, Ростовской области и Республике Татарстан, где объемы применения удобрений стабильно большие, урожайность картофеля остается на высоком уровне. Однако в ряде регионов, таких как Астраханская и Оренбургская области, даже при низких объемах внесения удобрений урожайность картофеля демонстрирует средние значения, что говорит о более значимом влиянии других факторов в этих регионах.

Аналогичная ситуация наблюдается по урожайности овощей открытого грунта. В Астраханской области при высоких показателях урожайности овощей (до 810,8 ц/га в 2018 г.) объемы использования удобрений (17,8 тыс. ц) остаются умеренными. В таких регионах, как Волгоградская область или Республика Калмыкия, урожайность бахчевых варьируется независимо от количества удобрений, что указывает на приоритет климатических условий для этих культур.

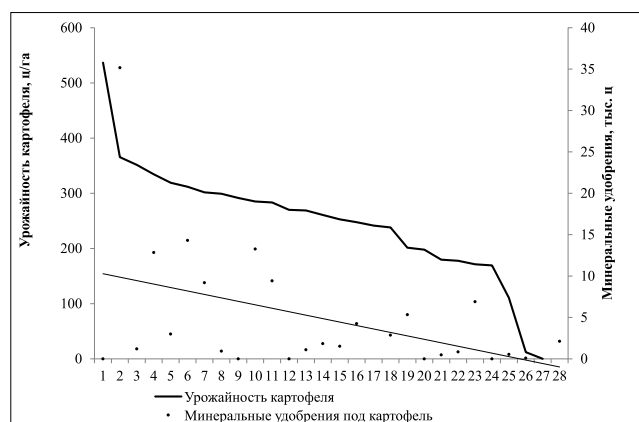


Рис. 2. Распределение выбранной группы регионов по урожайности картофеля и объемам внесенных под картофель минеральных удобрений в 2022 г. 1 – Кабардино-Балкария; 2 – Нижегородская обл.; 3 – Астраханская обл.; 4 – Самарская обл.; 5 – Пензенская обл.; 6 – Ростовская обл.; 7 – Татарстан; 8 – Волгоградская обл.; 9 – Мордовия; 10 – Ставропольский край; 11 – Чувашия; 12 – Оренбургская обл.; 13 – Марий Эл; 14 – Северная Осетия-Алания; 15 – Ульяновская обл.; 16 – Кировская обл.; 17 – Калмыкия; 18 – Удмуртия; 19 – Пермский край; 20 – Дагестан; 21 – Саратовская обл.; 22 – Башкортостан; 23 – Краснодарский край; 24 – Карачаево-Черкессия; 25 – Крым; 26 – Чечня; 27 – Адыгея; 28 – Ингушетия

Fig. 2. Distribution of selected regions of the Russian Federation by potato yield and mineral fertilizer application rates in potato cultivation in 2022

Тем не менее, прослеживается зависимость между урожайностью сахарной свеклы и объемами внесенных органических удобрений (рис. 3).

Органические удобрения оказывают умеренное положительное влияние на урожайность. Однако их эффективность сильно зависит от региона, типа культуры и агротехнических практик [8, 10]. Для большинства исследуемых культур наблюдается слабая положительная корреляция (0,4-0,5). В Ставропольском и Краснодарском краях, а также Ростовской области корреляция для сахарной свеклы достигает средних значений (0,65).

Наибольшая корреляция между внесением органических удобрений и урожайностью овощей выявлена для Республики Крым и Астраханской области (0,7 и 0,8). Эти регионы характеризуются высокими применением удобрений и ролью агротехнических факторов. А вот отсутствие статистической значимости отмечено для Республики Дагестан и Чеченской Республики, где наблюдаются низкие объемы внесенных удобрений и высокие колебания урожайности агрокультур.

Стоит отметить, что влияние удобрений часто проявляется с задержкой в 1-2 года, особенно в отношении многолетних культур [9]. Например, в Ростовской области пик урожайности сахарной свеклы

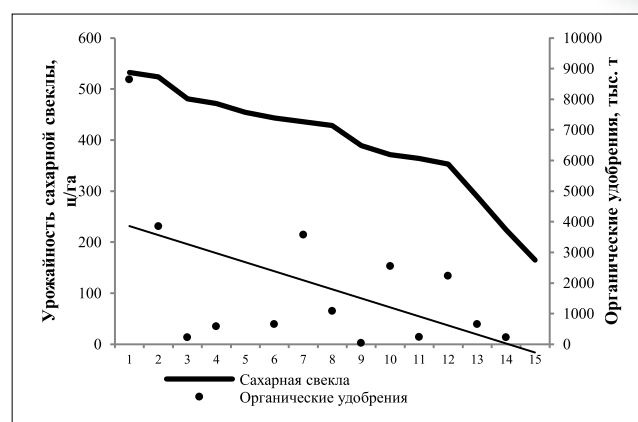


Рис. 3. Распределение выбранной группы регионов по урожайности сахарной свеклы и объемам внесенных органических удобрений в 2022 г. 1 – Адыгея; 2 – Калмыкия; 3 – Крым; 4 – Астраханская обл.; 5 – Дагестан; 6 – Ингушетия; 7 – Кабардино-Балкария; 8 – Северная Осетия-Алания; 9 – Марий Эл; 10 – Удмуртия; 11 – Пермский край; 12 – Кировская обл.; 13 – Самарская обл.; 14 – Ставропольский край; 15 – Краснодарский край; 16 – Саратовская обл.; 17 – Мордовия; 18 – Карачаево-Черкессия; 19 – Пензенская обл.; 20 – Татарстан; 21 – Ростовская обл.; 22 – Волгоградская обл.; 23 – Башкортостан; 24 – Ульяновская обл.; 25 – Нижегородская обл.; 26 – Чувашия; 27 – Оренбургская обл.; 28 – Чечня

Fig. 3. Distribution of selected regions of the Russian Federation by sugar beet yield and organic fertilizer application rates in 2022

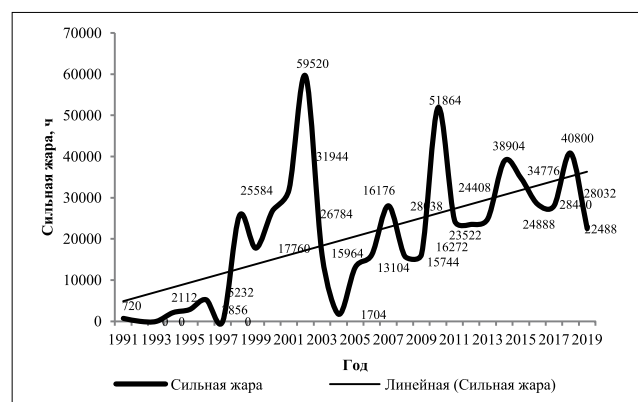


Рис. 4. Динамика продолжительности чрезвычайной пожароопасности в выбранной группе регионов РФ, часов в год [12]

Fig. 4. Dynamics of extreme fire hazard duration in selected regions of the Russian Federation, measured in hours per year [12]

пришелся на 2017-2018 гг. при существенном росте количества внесенных удобрений в 2015-2016 гг.

Изменения климатических параметров существенно сказываются на потребности в использовании минеральных и органических удобрений в сельском хозяйстве [11]. Последствия глобальных климатических изменений на территории южных регионов России проявляются в повышении температуры, учаще-

нии засух и изменении режима осадков [12, 13]. На рисунке 4 показана возрастающая динамика продолжительности такого опасного погодного явления на территории выбранной группы регионов, как чрезвычайная пожароопасность: т.е. в условиях, при которых велика вероятность возгорания травы, торфяников и лесных массивов.

Значительное влияние на почву повышения температуры выражается в ускорении минерализации органического вещества, что улучшает доступность некоторых питательных веществ, либо в истощении органического слоя почвы. Засухи могут снизить эффективность применения минеральных удобрений, поскольку без достаточной влаги растениям сложно получать питательные вещества. Это обуславливает потребность в изменении методов внесения удобрений или использовании более устойчивых к засухе сортов сельскохозяйственных растений.

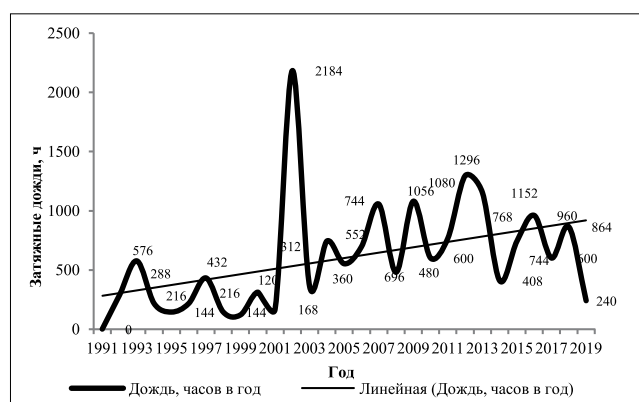


Рис. 5. Динамика продолжительности затяжных дождей в выбранной группе регионов РФ, ч/год

Fig. 5. Dynamics of prolonged rainfall duration in selected regions of the Russian Federation, measured in hours per year

Климатические риски связаны с изменением объемов и нестабильной динамикой осадков. В «Типовой перечень и критерии опасных метеорологических явлений» Росгидромета включено такое явление погоды, как сильный ливневый дождь, когда на протяжении не более 1 ч выпадает не менее 30 мм осадков. Краткосрочные сильные или затяжные дожди, прерывающие длительную засуху, все сильнее оказывают влияние на процесс выращивания сельскохозяйственных культур [8] (рис. 5).

Осадки на территории регионов Северо-Кавказского, Южного и Приволжского федеральных округов становятся более интенсивными, но менее частыми. Это может привести к вымыванию удобрений из почвы, особенно азотных и калийных, что потребует более точного расчета доз и времени внесения, использования медленно действующих форм удобрений.

Подобные климатические тенденции характерны для территорий других стран сельскохозяйственной специализации. Решение проблемы адаптации

аграрного производства к последствиям глобальных климатических изменений занимает одно из центральных мест в повестке дня мировой общественности. В рамках исследования был проведен патентный анализ существующих технико-технологических решений в области фертигации. По запросу «технология фертигации» во Всемирной базе данных интеллектуальной собственности (World Intellectual Property Organization, WIPO) было получено 723 результата (патента) за период с 2017 по 2025 г. Из них 208 патентов посвящены методам подготовки необходимых растворов удобрений и 367 патентов – техническому проектированию поливальных машин и установок. Остальные 148 патентов посвящены сопутствующим технологиям организации вертикальных ферм и прочим закрытым биосистемам, затрагивающим процесс фертигации. Более 70% запатентованных технико-технологических решений в данной информационной базе пришлось на Китай.

Обзор патентов по фертигации демонстрирует активное развитие технологий, направленных на повышение точности, автоматизацию и экологичность процессов орошения и внесения удобрений.

Большинство решений сосредоточено на интеграции IoT, датчиков почвы и климатических параметров для адаптивного управления. Рост количества запатентованных мобильных приложений и облачных платформ в целях мониторинга и управления соответствует мировому тренду цифровизации. Ряд патентов направлен на создание системы на основе данных из нескольких источников и машинного обучения, позволяющей оптимизировать полив и дозирование удобрений в режиме реального времени, снижать расход воды и химическую нагрузку [14, 15].

Ключевым трендом является использование автономных энергоустройств, таких как солнечные панели, что увеличивает устойчивость систем в удаленных районах. Значительное внимание уделяется предотвращению засорения системы путем контроля мутности воды и внедрения механизмов измельчения удобрений. Устройства капельного орошения модернизируются за счет антиблокировочных узлов и регулируемых распылителей, улучшающих равномерность распределения.

В целом, инновации в сельском хозяйстве направлены на повышение урожайности, минимизацию ручного труда и ресурсосбережение через умные технологии, создание устойчивых энергоисточников и точное управление агропараметрами [16].

Аналогичный запрос на портале Федеральной службы по интеллектуальной собственности Российской Федерации (Роспатент) показал наличие 11 отечественных патентных исследований за 30-летний период, четыре из которых на 01.01.2025 г. недействующие.

В отечественной базе данных зарегистрированы патенты на машины для подпочвенного внесения минеральных жидких удобрений (1998 г.); устройства для внесения при поливе водой микроэлементов, химических мелиорантов для улучшения почв с неблагоприятными физическими и химическими свойствами, гербицидов, пестицидов и макроудобрений в системах капельного орошения; различные виды дождевальных машин (2001, 2016, 2023 гг.); робот-пропольщик с функцией фертигации (2019 г.) и др.

Обзор российской патентной базы по фертигации продемонстрировал эволюцию технологий от механических систем к автоматизированным и интеллектуальным решениям [17]. К ключевым тенденциям при разработке таких решений относятся повышение точности, энергоэффективности, интеграция с цифровыми технологиями и экологическая безопасность [18].

Статистическая информация о наличии в отечественном сельском хозяйстве поливных установок и машин для осуществления фертигации весьма скудная [19]. На основе имеющихся данных Росстата проведен анализ динамики наличия в отрасли машин для внесения в почву жидких органических удобрений за 1990–2009 гг. С 2010 г. статистика по данным машинам не представлена. В годы государственных реформ существенно сократился технический ресурс, в первую очередь машин и оборудования [20]. В 1990 г. насчитывалось 41 916 машин для внесения в почву жидких органических удобрений. К 2009 г. их число сократилось до 4083, из них 1783 машины находились в южных регионах и Поволжье (43%).

В настоящее время предложение отечественного оборудования для фертигации на внутреннем рынке растет. Преимуществом российских производителей («Гидроинженеринг», «Агротех-гарант», «Аква-тория» и пр.) является универсальность решений. Отечественные производители постепенно наращивают свое присутствие, обеспечивая до 27–32% предложения, что, однако, явно недостаточно для импортозамещения. Значительную долю на рынке сохраняют международные компании: *Netafim* (Израиль), мировой лидер в сфере капельного орошения, занимает около 30–35% российского рынка; на долю *Rain Bird* (США) и *Jain Irrigation* (Индия) суммарно приходится до 25–30%. Совместные российские предприятия с иностранным участием добавляют еще 5–7%.

Если рассматривать рынок по сегментам, то в оборудовании для фертигации (инжекторы, дозаторы, фильтры) иностранные производители лидируют с долей 75–80%. Российские компании обеспечивают около 20–25%, и их роль растет по мере реализации стратегии импортозамещения. В сфере услуг (проектирование, монтаж и обучение) отечественные производители более конкурентоспо-

собные (50–60% рынка), локализация сервиса дает им преимущество в скорости и адаптации под региональные условия.

На динамику рынка технологий фертигации значительное влияние оказывают несколько факторов. После 2022 г. многие сельхозпроизводители стали активнее переходить на российское оборудование ввиду санкционных ограничений, транспортно-логистических проблем с поставками запчастей и их удорожанием. Однако ключевым вызовом остается технологическое отставание от зарубежных аналогов в производстве высокоточных дозаторов и систем автоматизации. По прогнозам экспертов, к 2030 г. доля российских компаний на рынке фертигации может вырасти до 30–35% за счет расширения ассортимента. Кроме того, усиление климатических рисков, таких как засухи в южных регионах, подталкивает сельских производителей к внедрению технологий, сочетающих орошение и точное внесение удобрений, что открывает новые ниши для отечественных разработок.

Выводы. Подтвердили критическую роль технологий фертигации в обеспечении устойчивости сельского хозяйства России в условиях нарастающих климатических вызовов. Анализ данных за 2015–2022 гг. показал, что эффективность применения минеральных и органических удобрений существенно зависит от региональных особенностей. Выявлена зависимость между вносимыми объемами удобрений и урожайностью основных сельскохозяйственных культур, что подтверждает потенциал фертигации и указывает на доминирование климатических факторов.

Для повышения точности расчетов и определения факторов наибольшего влияния на урожайность тех или иных культур требуется углубленный многофакторный анализ в разрезе регионов, климатических и производственных параметров.

Климатические изменения усиливают необходимость адаптивного управления ресурсами. Ускоренная минерализация почв и риск вымывания удобрений требуют внедрения интеллектуальных систем, интегрирующих *IoT*, датчики почвы и прогнозные модели.

Патентный анализ выявил глобальный тренд на автоматизацию и цифровизацию процессов фертигации, однако доля российских разработок остается низкой. Несмотря на рост отечественного производства оборудования для точного земледелия, технологическое отставание сохраняется, что определяет необходимость государственной поддержки НИОКР в этой области и импортозамещения.

Прогнозируемый рост доли российских компаний возможен при условии развития локализованных решений, учитывающих региональную специфику. Для южных и приволжских регионов, наи-

более уязвимых с точки зрения аридизации, фертигация становится стратегическим инструментом минимизации потерь урожая. Успешная интеграция технологий требует разработки адресных программ поддержки сельхозтоваропроизводителей, включая обучение, субсидирование оборудо-

вания и создание инфраструктуры. Дальнейшее развитие фертигации в России должно базироваться на синтезе климатической адаптации, технологической модернизации и научно обоснованной аграрной политики, направленной на устойчивое управление ресурсами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Туктаров Р.Б., Морозов М.И., Греков Д.А. SWOT-анализ внедрения технологий фертигации в процесс агропроизводства // *Региональные агросистемы: экономика и социология*. 2025. N1. С. 52-58. EDN: XCWWPS.
2. Bar-Yosef B. Advances in fertigation. *Advances in Agronomy*. 1999. Vol. 65. 1-77. DOI: 10.1016/S0065-2113(08)60910-4.
3. Singandhupe R.B., Rao G.G.S.N., Patil N.G., Brahmanand P.S. Fertigation studies and irrigation scheduling in drip irrigation system in tomato crop. *European Journal of Agronomy*. 2003. Vol. 19. N2. 327-340. DOI: 10.1016/S1161-0301(02)00063-8.
4. Wang Z. et al. Water and nitrogen use efficiency under fertigation in potato. *Agricultural Water Management*. 2009. Vol. 96. N11. 1583-1592. DOI: 10.1016/j.agwat.2009.06.012.
5. Айсанов Т.С., Романенко Е.С., Селиванова М.В. и др. Оценка эффективности фертигации при возделывании сортов яблони в саду интенсивного типа Центрального Предкавказья // *Вестник КрасГАУ*. 2022. N12. С. 42-48. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-12-42-48.
6. Qin W. et al. Smart fertigation: A review of IoT-based solutions. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020. Vol. 174. 105464. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105464.
7. Imtiyaz M. et al. Response of tomato to irrigation and fertigation. *Agricultural Water Management*. 2000. Vol. 45. N2. 127-134. DOI: 10.1016/S0378-3774(00)00074-2.
8. Личман Г.И., Белых С.А., Марченко А.Н. Способы внесения удобрений в системе точного земледелия // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N4. С. 4-9. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-4-4-9.
9. Павлова В.Н., Богданович А.Ю., Семенов С.М. Об оценке степени благоприятности климата для культивирования зерновых, исходя из частоты сильных засух // *Метеорология и гидрология*. 2020. N12. С. 95-101. EDN: OMGXFF.
10. Жалнин Э.В., Зубина В.А. Обоснование типовых сельскохозяйственных территорий для разработки региональных систем машин // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. N2. С. 82-89. DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-2-82-89.
11. Дорохов А.С., Бельшикина М.Е. Агроклиматическая характеристика регионов нечерноземной зоны Российской Федерации и оценка пригодности для возделывания современных раннеспелых сортов сои // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2021. N3(55). С. 34-39. DOI: 10.18286/1816-4501-2021-3-34-3.
12. Рухович О.В. Географическая сеть опытов с удобрениями – основа эффективного управления природно-ресурсным потенциалом агроэкосистем // *Плодородие почв России: состояние и возможности*. 2019. С. 99-103. EDN: EHYRXU.
13. Альт В.В., Исакова С.П. Планирование производства продукции растениеводства с применением цифровых технологий // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. N3. С. 12-19. DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-3-12-19.
14. Ju X.T., Kou C.L., Christie P. et al. Changes in the soil environment from excessive application of fertilizers and manures to two contrasting intensive cropping systems on the North China Plain. *Environmental Pollution*. 2007. Vol. 145. N2. 497-506. DOI: 10.1016/j.envpol.2006.04.017.
15. Chen Z. et al. The effects of different fertilization conditions on nitrate accumulation in spinach. *PLoS ONE*. 2017. Vol. 12. N1. e0168614. DOI: 10.1371/journal.pone.0168614.
16. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. и др. Современные технологии и техника для сельского хозяйства – тенденции выставки AGRITECHNIKA 2019 // *Тракторы и сельхозмашины*. 2020. N6. С. 28-40. DOI: 10.31992/0321-4443-2020-6-28-40.
17. Старовойтов С.И., Ценч Ю.С., Коротченя В.М., Личман Г.И. Технические системы цифрового контроля качества обработки почвы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. N1. С. 16-21. DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-1-16-21.
18. Дорохов А.С., Старостин И.А., Ещин А.В. Перспективы развития методов и технических средств защиты сельскохозяйственных растений // *Агроинженерия*. 2021. N1(101). С. 26-35. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-1-26-35.
19. Ценч Ю.С., Косенко В.В., Шаров В.В. Эволюция конструкций гусеничных тракторов общего назначения // *Тракторы и сельхозмашины*. 2022. Т. 89. N3. С. 155-166. DOI: 10.17816/0321-4443-109676.
20. Пунинский В.С. Система машин для комплексной механизации мелиоративных работ // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N 2. С. 43-48. DOI: 10.22314/207375992017.2.4348.

REFERENCES

1. Tuktakov R.B., Morozov M.I., Grekov D.A. SWOT Analysis of implementation of fertigation technologies in agricultural production. *Regional Agrosystems: Economics and Sociology*. 2025. N1. 52-58 (In Russian). EDN: XCWWPS.
2. Bar-Yosef B. advances in fertigation. *Advances in Agronomy*. 1999. Vol. 65. 1-77 (In English). DOI: 10.1016/S0065-2113(08)60910-4.
3. Singandhupe R.B. et al. Fertigation studies and irrigation

- scheduling in drip irrigation system in tomato crop. *European Journal of Agronomy*. 2003. Vol. 19. N2. 327-340 (In English). DOI: 10.1016/S1161-0301(02)00063-8.
4. Wang Z. et al. Water and nitrogen use efficiency under fertigation in potato. *Agricultural Water Management*. 2009. Vol. 96. N11. 1583-1592 (In English). DOI: 10.1016/j.agwat.2009.06.012.
 5. Aysanov T.S., Romanenko E.S., Selivanova M.V. et al. Fertigation efficiency estimation in cultivating apple varieties in the intensive type garden of the Central Ciscaucasia. *Bulliten KrasSAU*. 2022. N12. 42-48 (In Russian). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-12-42-48.
 6. Qin W. et al. Smart fertigation: a review of IoT-based solutions. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020. Vol. 174. 105464 (In English). DOI: 10.1016/j.compag.2020.105464.
 7. Imtiyaz M. et al. Response of tomato to irrigation and fertigation. *Agricultural Water Management*. 2000. Vol. 45. N2. 127-134 (In English). DOI: 10.1016/S0378-3774(00)00074-2.
 8. Lichman G.I., Belykh S.A., Marchenko A.N. Methods of fertilizer application in the precision farming system. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2018. Vol. 12. N4. 4-9. (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-4-4-9.
 9. Pavlova V.N., Bogdanovich A.Yu., Semenov S.M. Assessment of climate favorability for the grain cultivation based on the frequency of severe droughts. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2020. N12. 95-101 (In Russian). EDN: OMGXFF.
 10. Zhaltin E.V., Zubina V.A. Justification of typical agricultural territories for the development of regional machine systems// *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022. Vol. 16. N2. 82-89 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-2-82-89.
 11. Dorokhov A.S., Belyshkina M.E. Agroclimatic characteristics of regions of the non-black soil zone of the Russian Federation and suitability estimation for cultivation of modern early soybean varieties. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2021. N3(55). 34-39 (In Russian). DOI: 10.18286/1816-4501-2021-3-34-39.
 12. Rukhovich O.V. Geographical network of fertilizer experiments as a basis for agroecosystem resource management. *Soil Fertility in Russia: State and Prospects*. 2019. 99-103 (In Russian). EDN: EHYRXU.
 13. Alt V.V., Isakova S.P. Planning of crop production using digital technologies. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022. Vol. 16. N3. 12-19 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-3-12-19
 14. Ju X. et al. Changes in the soil environment from excessive application of fertilizers and manures to two contrasting intensive cropping systems on the north china plain. *Environmental Pollution*. 2007. Vol. 145. N2. 497-506 (In English). DOI: 10.1016/j.envpol.2006.04.017.
 15. Chen Z. et al. The effects of different fertilization conditions on nitrate accumulation in spinach. *PLoS ONE*. 2017. Vol. 12. N1. e0168614 (In English). DOI: 10.1371/journal.pone.0168614.
 16. Izmailov A.Yu., Lobachevsky Ya.P., Dorokhov A.S. et al. Modern technologies and equipment for agriculture - trends at the AGRITECHNIKA 2019 exhibition. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2020. N6. 28-40 (In Russian). DOI: 10.31992/0321-4443-2020-6-28-40.
 17. Starovoytov S.I., Tsench Yu.S., Korotchenya V.M., Lichman G.I. Technical systems for digital soil quality control. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2020. Vol. 14. N1. 16-21 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-1-16-21.
 18. Dorokhov A.S., Starostin I.A., Eschin A.V. Development prospects for methods and technical means of farm crop protection. *Agricultural Engineering*. 2021. N1 (101). 26-35 (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2021-1-26-35.
 19. Tsench Yu.S., Kosenko V.V., Sharov V.V. The evolution of design of general purpose tracked tractors. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2022. Vol. 89. N3. 155-166 (In Russian). DOI: 10.17816/0321-4443-109676.
 20. Puninskiy V.S. Machine system for comprehensive mechanization of land reclamation works. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2017. N2. 43-48. (In Russian). DOI: 10.22314/207375992017.2.4348.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Акпасов А.П., Туктаров Р.Б. — существенный вклад в замысел исследования, критический пересмотр в части значимого интеллектуального содержания, окончательное одобрение варианта статьи для опубликования; Морозов М.И., Греков Д.А., Кадомцева М.Е. — сбор, анализ и интерпретация данных, дизайн исследования. Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Akpasov A.P., Tuktarov R.B. — substantial contribution to the conception of the study, critical revision of the significant intellectual content, final approval of the article version to be published. Morozov M.I., Grekov D.A., Kadomtseva M.E. — data collection, analysis and interpretation, study design. The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

01.08.2025

22.10.2025