

Геоинформационные технологии в повышении урожайности яровой пшеницы

Дм. С. Фомин^{1,2✉}, Д. С. Фомин¹, Ю. Н. Зубарев²

¹Пермский НИИСХ – филиал Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, с. Лобаново, Пермский край, Россия

²Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Пермь, Россия

✉E-mail: prm.fomin.d@gmail.com

Аннотация. Цель – изучение приемов основной обработки почвы и внесения гербицидов с использованием геоинформационных систем (ГИС) при выращивании яровой пшеницы в Среднем Предуралье. **Методы.** Исследования проведены в двухфакторном полевом опыте на агрополигоне Пермского НИИСХ – филиала ПФИЦ УрО РАН в 2022 и 2023 годах согласно методике полевого опыта с последующей статистической обработкой результатов исследований по Б. А. Доспехову. Объект исследования – яровая пшеница, сорт Каменка. Структура урожайности определялась согласно методике В. М. Макаровой. **Научная новизна.** Впервые в Среднем Предуралье был изучен новый прием основной обработки почвы и внесения гербицида с использованием геоинформационных систем при возделывании яровой пшеницы, позволяющий получать планируемую урожайность. **Результаты.** Погодные условия влияют на эффективность приема основной обработки почвы при возделывании яровой пшеницы. За два года исследований средняя урожайность зерна яровой пшеницы существенно варьировала от 1,84 до 3,65 т/га. Минимальное значения урожайности было получено на варианте дискование без применения гербицида, что подтверждается структурой урожайности, на данном варианте исследований масса 1000 зерен составила 38,58 г. Стабильный уровень урожая (2022 – 3,65 т/га, 2023 – 3,64 т/га) яровой пшеницы на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве при существенно отличающихся погодных условиях был получен при использовании нового приема разноглубинной отвальной вспашки (глубина – 14–24 см) и дифференцированного внесения гербицида с использованием ГИС-технологий. Статистически подтверждено влияние приема основной обработки почвы на всходы яровой пшеницы в периоды исследований (2022 г. – $НСП_{05} = 28$ шт/м²; 2023 г. – $НСП_{05} = 100$ шт/м²). Наибольшее количество всходов наблюдалось при вспашке оборотным плугом, прибавка к контролю составила 35 растений на 1 м². Наименьшее значение – 327 шт/м² – наблюдалось на варианте с дискованием.

Ключевые слова: яровая пшеница, основная обработка почвы, ГИС-технологии, дифференцированное внесение гербицидов, дифференцированная обработка почвы, урожайность, структура урожайности

Для цитирования: Фомин Дм. С., Фомин Д. С., Зубарев Ю. Н. Геоинформационные технологии в повышении урожайности яровой пшеницы // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 25, № 04. С. 552–563. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-04-552-563>.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (тема № 122032200247-7). Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Дата поступления статьи: 23.09.2024, **дата рецензирования:** 27.11.2024, **дата принятия:** 14.02.2025.

Geoinformation technologies in increasing the yield of spring wheat

Dm. S. Fomin^{1,2}✉, D. S. Fomin¹, Yu. N. Zubarev²

¹ Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

² Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia

✉E-mail: prm.fomin.d@gmail.com

Abstract. The purpose is to study the techniques of basic tillage and herbicide application using geoinformation systems (GIS) in the growing of spring wheat in the Middle Urals. **Methods.** The research was carried out in a two-factor field experiment at the agro-polygon of the Perm Research Institute of Agricultural Sciences, a branch of the PFIC Ural Branch of the Russian Academy of Sciences in 2022 and 2023, according to the methodology of field experience with subsequent statistical processing of the research results according to B. A. Dospekhov. The object of research is spring wheat, Kamenka variety. The yield structure was determined according to the methodology of V. M. Makarova. **Scientific novelty.** For the first time in the Middle Urals, a new method of variable depth tillage (VDT) and differentiated application of herbicide based on GIS technologies in the cultivation of spring wheat, allowing to obtain the planned yield, was studied. **Results.** Weather conditions affect the effectiveness of basic tillage in the cultivation of spring wheat. Over two years of research, the average yield of spring wheat grain varied significantly from 1.84 to 3.65 t/ha. The minimum yield values were obtained in the disking variant without the use of herbicide, which is confirmed by the yield structure, in this research variant, the mass of 1000 grains was 38.58 g. Stable yield level (2022 – 3.65 t/ha, 2023 – 3.64 t/ha) of spring wheat on sod-podzolic heavy loamy soil, under significantly different weather conditions, was obtained using a new technique of multi-depth dump plowing (depth 14–24 cm) and differentiated application of herbicide using GIS technologies. The effect of basic tillage on spring wheat seedlings during the research periods was statistically confirmed (2022 – $LSD_{05} = 28$ pcs/m²; 2023 – $LSD_{05} = 100$ pcs/m²). The largest number of seedlings was observed when plowing with a rotary plow, the increase in control was 35 plants per m². The lowest value – 327 pcs/m², was observed in the variant with disking.

Keywords: spring wheat, basic tillage, GIS technologies, differentiated application of herbicides, variable depth tillage, VDT, yield, yield structure

Acknowledgements. The research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (theme No. 122032200247-7). The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Fomin Dm. S., Fomin D. S., Zubarev Yu. N. Geoinformation technologies in increasing the yield of spring wheat. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (04): 552–563. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-04-552-563>. (In Russ.)

Date of paper submission: 23.09.2024, **date of review:** 27.11.2024, **date of acceptance:** 14.02.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Одной из наиболее распространенных зерновых культур является пшеница, она является важнейшей продовольственной и фуражной культурой, широко используется в качестве продуктов переработки зерна, на кормовые и семенные цели, а также обладает высокой пластичностью и урожайностью [1; 2].

Значительное влияние на формирование продуктивности и урожайности яровой пшеницы оказывают биологические особенности данной культуры [3]. Учеными установлено, что из-за несоответствия биологических потребностей выращиваемых

растений и условий произрастания яровая пшеница может реализовать потенциал урожайности только в пределах 40 %, в лучшем случае не более 60 % [4]. Проведенные исследования в 2017–2020 годах показывают, что в Среднем Предуралье возможно формирование высокого уровня урожайности яровой пшеницы – 4–5 т/га, такая продуктивность может быть обеспечена как раннеспелыми, так и среднеранными и среднеспелыми сортами, но только при благоприятных абиотических факторах и соблюдением технологий возделывания [5; 6].

Валовый сбор и уровень урожайности зерновых культур для Среднего Предуралья, в частности для

Пермского края, имеют значительные изменения год от года, это связано с преобладанием малоплодородных дерново-подзолистых почв, плотность которых в пахотном слое находится в диапазоне 1,4–1,5 г/см³. Однако оптимальная плотность, для культурных растений, суглинистых почв составляет 1,0–1,3 г/см³ [7; 8].

Решить данную проблему возможно путем выбора наилучшего приема основной обработки почвы. С течением времени методы и подходы к обработке почвы претерпели значительные изменения, что обусловлено как техническим прогрессом, так и изменением климатических условий, а также увеличением антропогенного воздействия на экосистемы. Современные тенденции в обработке почвы направлены на: снижение энергозатрат, сохранение почвенного плодородия, уменьшение негативного воздействия на окружающую среду [9]. Стоит отметить, что длительное применение нулевой технологии приводит к деградации пашни, минимальная обработка приводит к увеличению сорной растительности и заболеваний, традиционная обработка (вспашка плугом с оборотом пласта) очень затратная, поэтому необходимо проводить поиск новых приемов с учетом развития цифровых технологий, которые будут сочетать в себе преимущества различных приемов (снижение стоимости расходов, сохранение плодородия почвы).

Помимо выбора приема основной обработки почвы, остро стоит проблема борьбы с сорной растительностью в посевах зерновых культур [10]. Общеизвестно, что сорняки уменьшают валовый сбор урожая, способствуют ухудшению качества сельскохозяйственной продукции, снижают производительность труда и эффективность средств защиты растений, оказывают значительное негативное влияние на агропромышленный комплекс. Международные исследования ученых демонстрируют снижение валового сбора потенциального мирового урожая на более чем 20 % [11; 12].

Вред, наносимый сорняками сельскохозяйственным культурам, связан с их конкуренцией за жизненно важные ресурсы, такие как влага, питательные элементы и солнечная энергия. Общепринято для борьбы с сорной растительностью использовать внесение гербицидов по всей площади земельного участка. Стоит отметить, что для участков с неравномерным распределением сорной растительности такой подход не всегда эффективен и экономически не оправдан, в таких случаях требуется корректировка агротехнологий.

Повсеместное внедрение цифровых технологий в сельском хозяйстве позволяет использовать новые методы и подходы к защите растений и провести корректировку существующих агротехнологий. Одним из таких приемов является дифференцированная защита растений (ДЗР). Впервые такую техно-

логию в Среднем Предуралье апробировали ученые лаборатории прецизионных технологий в сельском хозяйстве Пермского НИИСХ – филиала ПФИЦ УрО РАН [13]. Проведенные исследования на озимой пшенице сорта Скипетр показали, что при дифференцированном внесении гербицида урожайность увеличилась до 5,63 т/га, тогда как при традиционном способе внесения она составила 5,10 т/га, в контроле (без внесения гербицида) – 4,22 т/га. Примечательно, что гербицидная нагрузка на посевные площади с использованием нового приема была снижена в среднем на 46 %, экономическая эффективность производства с учетом расходов на гербициды возросла на 40 % по сравнению с участками, обработанными сплошной среднерекомендуемой дозой гербицида.

Подобные результаты подтверждены и другими исследователями. Так, например, в другом эксперименте при использовании оптической системы для учета неоднородной засоренности посевов удалось сократить расход гербицида до 23 % по сравнению со сплошным внесением, что способствовало не только снижению себестоимости сельскохозяйственной продукции, но и уменьшению гербицидного воздействия на экологическую обстановку [14]. Применение дифференцированного подхода в обработке гербицидами зерновых культур позволяет снизить пестицидную нагрузку на 33 % и сэкономить до 353 руб/га, что подтверждает эффективность и экологичность этого метода [15].

Цель наших исследований – изучение новых приемов основной обработки почвы и внесения гербицидов с использованием геоинформационных систем (ГИС) при выращивании яровой пшеницы в Среднем Предуралье.

Методология и методы исследования (Methods)

Работа выполнена на агрополигоне Пермского НИИСХ – филиала ПФИЦ УрО РАН, расположенного в д. Касимово Пермского муниципального округа Пермского края в 2022 и 2023 годах. Объект исследования – яровая пшеница, сорт Каменка, предшественником которой являлась озимая пшеница. После уборки озимой пшеницы через две недели проведена основная обработка почвы согласно схеме опыта. Фактор А – прием основной обработки почвы: А₁ – отвальная вспашка (глубина 20–22 см, контроль); А₂ – отвальная вспашка оборотным плугом (глубина 20–22 см); А₃ – дискование (10–12 см); А₄ – разноглубинная отвальная вспашка с использованием ГИС-технологий (14–24 см), основанная на инновационной методике, разработанной в лаборатории прецизионных технологий в сельском хозяйстве Пермского НИИСХ – филиала ПФИЦ УрО РАН, базирующейся на использовании ГИС-технологий для создания карты-задания почвообрабатывающей технике, где глубина обработки почвы изменялась от 14 до 24 см на основании спектральных характеристик почвы.

Весной, при достижении физической спелости почвы, было проведено закрытие влаги путем боронования в два следа с помощью сцепки БЗТС-1. Под предпосевную культивацию внесены минеральные удобрения в рекомендованной для региона дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ в виде нитроаммофоски $N_{15}P_{15}K_{15}$ с помощью разбрасывателя минеральных удобрений KUNN AXIS 40.2 W. Предпосевная культивация выполнена агрегатом КБМ-8П-Универсальный. Посев осуществлен сеялкой зерновой механической Amazone D9 4000 (2022 – 08.05, 2023 – 11.05) с нормой высева 6 млн всхожих семян на 1 га. Способ посева – рядовой с глубиной заделки 3–4 см с последующим прикатыванием ЗККШ-6.

Агротехнический уход за посевом включал обработку гербицидом по схеме опыта (фактор В). Фактор В – прием опрыскивания гербицидом: V_1 – без обработки (контроль); V_2 – вода; V_3 – сплошное применение гербицида; V_4 – дифференцированное опрыскивание гербицидом на основе ЭПВ с использованием ГИС-технологий. Перед гербицидной обработкой был проведен учет количества сорняков и определен их видовой состав. Выбор баковой смеси гербицидов основывался на анализе видового состава сорной растительности: «Алсион», ВДГ (10 г/га) и «Балерина», СЭ (0,25 л/га) с нормой рас-

хода рабочей жидкости 200 л/га. В варианте с дифференцированным внесением гербицидов решение об обработке принималось на основе сравнения количества сорняков с ЭПВ. Если численность сорной растительности превышала порог, на делянке проводилось опрыскивание гербицидами без изменения норм расхода и объема рабочей жидкости. Проведение гербицидной обработки осуществлялось с использованием опрыскивателя, установленного на автомобиль с высокой проходимостью.

Полевой опыт проводился в соответствии с методикой опытного дела [16]. Размещение вариантов систематическое, методом расщепленных делянок. Повторность четырехкратная. Общая площадь делянки – 1680 м², учетная – 1596 м². Перед уборкой растения яровой пшеницы отбирались поделаноно с пробных площадок для определения структуры урожайности по методике [17]. Уборка урожая однофазная, производилась комбайном SAMPO SR-2010 в фазу полной спелости с последующим пересчетом на 100-процентную чистоту и 14-процентную влажность.

Экспериментальные данные подвергались математической и статистической обработке [16] с использованием компьютерной программы MS Excel.

Таблица 1
Погодные условия вегетационных периодов яровой пшеницы
(данные метеостанции ст. Бахаревка, г. Пермь)

Месяц	Среднесуточная температура, °С			Сумма осадков, мм			ГТК
	За исследуемый год	Среднепоголетняя	Отклонение, %	За исследуемый год	Среднепоголетняя	Отклонение, %	
2022 г.							
Май	9,4	11,5	-18	46	55,3	-17	2,1
Июнь	15,0	16,2	-7	58	88,6	-35	1,4
Июль	20,1	18,5	+9	8	77,8	-90	0,1
Август	19,4	15,6	+24	12	87,5	-86	0,2
2023 г.							
Май	15,0	11,5	+30	23	55,3	-58	0,39
Июнь	14,7	16,2	-9	22	88,6	-75	0,50
Июль	20,9	18,5	+13	51	77,8	-34	0,78
Август	17,7	15,6	+13	61	87,5	-30	1,01

Table 1
Weather conditions of the growing season of spring wheat (Bakharevka station, Perm)

Month	Average daily temperature, °C			Precipitation amount, mm			HTC
	For the year under study	Average long-term	Deviation, %	For the year under study	Average long-term	Deviation, %	
2022							
May	9.4	11.5	-18	46	55.3	-17	2.1
June	15.0	16.2	-7	58	88.6	-35	1.4
July	20.1	18.5	+9	8	77.8	-90	0.1
August	19.4	15.6	+24	12	87.5	-86	0.2
2023							
May	15.0	11.5	+30	23	55.3	-58	0.39
June	14.7	16.2	-9	22	88.6	-75	0.50
July	20.9	18.5	+13	51	77.8	-34	0.78
August	17.7	15.6	+13	61	87.5	-30	1.01

Результаты (Results)

Погодные условия (таблица 1) в мае и июне 2022 года, согласно классификации гидротермического коэффициента (ГТК) по Селянинову [18], характеризовались как влажные. Среднесуточная температура воздуха в эти месяцы была ниже среднесуточных показателей на 18 % и 7 % соответственно. Кардинально отличались июль и август, характеризовавшиеся сухой погодой с температурой, превышающей среднесуточные значения на 1,6 °С и 3,8 °С соответственно, и количеством осадков ниже нормы на 90 % и 86 % соответственно.

Вегетационный период 2023 года в Пермском крае также сопровождался аномальными погодными условиями. Засуха, которая стала самой длительной за весь период наблюдений [19], оказала значительное влияние на сельскохозяйственные культуры. В мае и июне 2023 года наблюдалась крайне засушливая погода, ГТК составил 0,39 и 0,5, что свидетельствует о критическом недостатке влаги, июль и август были засушливыми. Во второй половине лета количество осадков было ближе к норме, но они выпадали в основном в виде локальных ливней. Положительная аномалия температуры сформировалась за счет периода с начала июля до конца второй декады августа.

Различные условия вегетационных условий периодов в исследуемых годах привели к формированию существенно разных уровней урожайности зерна яровой пшеницы (таблица 2) по вариантам исследований, однако средний уровень урожайности по годам отличался менее чем на 5 % и составил 2,86 т/га и 2,97 т/га соответственно в 2022 и 2023 годах.

Урожайность яровой пшеницы в 2022 году варьировала от 2,19 до 3,81 т/га. Максимальный результат был получен при отвальной вспашке на глубину 20–22 см с дифференцированным опрыскиванием гербицидом на основе ЭПВ с использованием ГИС-технологий – 3,81 т/га. Разница полученной урожайности между минимальным и максимальным вариантом составила 74 %. Статистическая обработка методом дисперсионного анализа не выявила достоверных различий влияния приемов основной обработки почвы на урожайность яровой пшеницы. Тем не менее новый прием дифференцированного внесения гербицида с использованием ГИС-технологий показал статистически значимое увеличение урожая на 1,28 т/га по сравнению с контрольным вариантом (без обработки гербицидом), с $HCP_{05} = 0,49$ т/га.

Аномально засушливый 2023 год демонстрирует минимальные значения урожая на вариантах, где применялось дискование на глубину 10–12 см в качестве приема основной обработки почвы (1,44–2,22 т/га). Изменение урожайности по всем исследуемым вариантам от минимального до максимального в 2023 году отличалось в 2,5 раза, мак-

симальное значение 3,64 т/га получено на варианте, где применялись разноглубинная вспашка с использованием ГИС-технологий и дифференцированный прием опрыскивания гербицидом на основе ЭПВ с использованием ГИС-технологий. Статистически доказано, что дискование снижает урожайность по сравнению с контролем ($HCP_{05} = 0,50$ т/га). В результате проведенных исследований приема основной обработки почвы с использованием ГИС-технологий отмечена тенденция увеличения урожайности на 0,25 т/га, а внесение гербицидов по инновационному приему (дифференцированное опрыскивание гербицидом на основе ЭПВ с использованием ГИС-технологий) увеличивает урожайность на 0,45 т/га по сравнению с контролем (без обработки гербицидом посевов яровой пшеницы): $HCP_{05} = 0,15$ т/га, что статистически доказано.

В среднем за два года исследований минимальные значения были получены при применении дискования (10–12 см) в качестве приема основной обработки почвы. Данный прием демонстрирует тенденцию к снижению урожая зерна по сравнению с контрольным вариантом (отвальная вспашка на глубину 20–22 см) на 0,74 т/га. Статистически доказано, что внесение гербицидов как традиционным приемом (сплошное применение гербицида), так и новым (дифференцированное опрыскивание гербицидом на основе ЭПВ с использованием ГИС-технологий) в среднем по приемам основной обработки почвы позволяет получать урожай выше по сравнению с контрольным вариантом (без обработки гербицидом) на 0,54 и 0,82 т/га соответственно ($HCP_{05} = 0,34$). Устойчивый уровень урожайности за два различных по погодным условиям год показал вариант с приемом разноглубинной отвальной вспашки на основе ГИС-технологий и дифференцированным опрыскиванием гербицидом на основе ЭПВ с использованием ГИС-технологий в 2022 году – 3,65 т/га, в 2023 году – 3,64 т/га.

Такая продуктивность пшеницы объясняется элементами структуры урожайности, одним из которых является густота всходов. Послепосевные периоды в годы исследований были различны: май 2022 года был более влажным (ГТК = 2,1), чем засушливый в 2023 году (ГТК = 0,39), на который также повлияла среднесуточная температура, которая превышала на 30 % среднегодовую норму, что привело к более изреженным всходам, средняя за год в 2023-м – 339 шт/м² против 447 шт/м² в 2022 году. Формирование сухого и теплого периода после посева яровой пшеницы на второй год исследований существенно отразилось в варианте с применением дискования на глубину 10–12 см: 244 шт/м² (таблица 3). Статистически достоверно подтверждено влияние фактора основной обработки почвы на всходы яровой пшеницы в периоды исследований (2022 г. – $HCP_{05} = 28$ шт/м²; 2023 г. – $HCP_{05} = 100$ шт/м²).

Таблица 2

Влияние приемов основной обработки почвы и внесения гербицидов с использованием ГИС-технологий на формирование урожайности яровой пшеницы, т/га

Прием основной обработки почвы (фактор А)	Прием внесения гербицидов (фактор В)	Год исследования		Среднее	Отклонение	
		2022	2023		т/га	%
Отвальная вспашка (глубина 20–22 см, контроль)	Без обработки (контроль)	2,53	2,98	2,76	–	–
	Вода	2,75	3,19	2,97	0,22	8
	Сплошное применение гербицида	2,75	3,43	3,09	0,34	12
	Дифференцированное опрыскивание гербицидом на основе ЭПВ с использованием ГИС-технологий	3,81	3,26	3,54	0,78	28
Отвальная вспашка оборотным плугом (глубина 20–22 см)	Без обработки (контроль)	2,22	3,07	2,65	–	–
	Вода	2,33	3,31	2,82	0,18	7
	Сплошное применение гербицида	3,20	3,39	3,30	0,65	25
	Дифференцированное опрыскивание гербицидом на основе ЭПВ с использованием ГИС-технологий	3,45	3,56	3,51	0,86	33
Дискование (глубина 10–12 см)	Без обработки (контроль)	2,23	1,44	1,84	–	–
	Вода	2,98	1,82	2,40	0,57	31
	Сплошное применение гербицида	3,01	2,06	2,54	0,70	38
	Дифференцированное опрыскивание гербицидом на основе ЭПВ с использованием ГИС-технологий	3,00	2,22	2,61	0,78	42
Разноглубинная отвальная вспашка с использованием ГИС-технологий (глубина 14–24 см)	Без обработки (контроль)	2,19	3,37	2,78	–	–
	Вода	2,69	3,36	3,03	0,25	9
	Сплошное применение гербицида	3,03	3,48	3,26	0,48	17
	Дифференцированное опрыскивание гербицидом на основе ЭПВ с использованием ГИС-технологий	3,65	3,64	3,65	0,87	31
Среднее		2,86	2,97	2,92		
НСР ₀₅						
Главных эффектов	Фактора А	$F_{\phi} < F_{05}$	0,50	$F_{\phi} < F_{05}$		
	Фактора В и взаимодействия АВ	0,49	0,15	0,34		

Table 2
Effect of basic tillage of soil and herbicide application using GIS technologies on formation of spring wheat yield, t/ha

Method basic tillage of soil (factor A)	Method herbicide application (factor B)	Year study		Mean	Variation	
		2022	2023		t/ha	%
Moldboard plowing (depth 20–22 cm, control)	Without application (control)	2.53	2.98	2.76	–	–
	Water	2.75	3.19	2.97	0.22	8
	Continuous application of herbicide	2.75	3.43	3.09	0.34	12
	Differentiated application with an EPV herbicide using GIS technologies	3.81	3.26	3.54	0.78	28
Moldboard plowing with a reversible plough (depth 20–22 cm)	Without application (control)	2.22	3.07	2.65	–	–
	Water	2.33	3.31	2.82	0.18	7
	Continuous application of herbicide	3.20	3.39	3.30	0.65	25
	Differentiated application with an EPV herbicide using GIS technologies	3.45	3.56	3.51	0.86	33
Disking (depth 10–12 cm)	Without application (control)	2.23	1.44	1.84	–	–
	Water	2.98	1.82	2.40	0.57	31
	Continuous application of herbicide	3.01	2.06	2.54	0.70	38
	Differentiated application with an EPV herbicide using GIS technologies	3.00	2.22	2.61	0.78	42
Variable depth tillage (VDT) using GIS technologies (depth 14–24 cm)	Without application (control)	2.19	3.37	2.78	–	–
	Water	2.69	3.36	3.03	0.25	9
	Continuous application of herbicide	3.03	3.48	3.26	0.48	17
	Differentiated application with an EPV herbicide using GIS technologies	3.65	3.64	3.65	0.87	31
Mean		2.86	2.97	2.92		
LSD ₀₅						
Main effects	Factor A	$F_f < F_{05}$	0.50	$F_f < F_{05}$		
	Factor B and interaction AB	0.49	0.15	0.34		

Количество зерна в колосе в 2022 году варьировало от 24 до 30 шт., в 2023 году – от 22 до 30 шт. Дисперсионный анализ данных за 2023 год показал, что дискование приводит к снижению зерен в соцветии яровой пшеницы Каменка на 3 шт. по сравнению с контролем (отвальная вспашка на глубину 20–22 см), $HCP_{05} = 2,0$ шт. (таблица 4).

Использование приема дифференцированного внесения гербицида на основе ЭПВ с использованием ГИС-технологий в 2023 году показало увеличение количества числа зерен в соцветии по сравнению с контролем (без внесения гербицида) на 1,56 шт.

Статистически подтверждено, что дискование почвы на глубину 10–12 см оказало влияние на массу зерна колоса яровой пшеницы в 2023 году: она уменьшилась на 0,2 г по сравнению с контролем, где масса соцветия было на уровне 1,2 г.

Масса 1000 зерен в 2022 году была ниже на 12 % по сравнению с 2023 годом. Это связано с тем, что июль первого года исследований был более сухим, разница со среднегодовым значением по выпавшим осадкам – 90 %, ГТК в этом месяце составил 0,1. Сравнивая года по сумме выпавших осадков, можно прийти к выводу, что в 2023 году их выпало более чем в 6 раз больше, чем в 2022 (51 и 8 мм соответственно). При длительных высоких температурах фотосинтез растения замедляется, а с дальнейшим

повышением температуры полностью прекращается, также увеличивается скорость респирации, что изнуряет растение. Сочетание высоких температур (в июле 2022 года сумма температур превышала среднегодовые) и отсутствия осадков в период налива зерна приводит его к «запалу», в этом случае налив прекращается, зерно получается более щуплым, морщинистым, невыполненным (мелким).

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Эффективность приема основной обработки почвы зависит от погодных условий в вегетационный год произрастания яровой пшеницы сорта Каменка. В годы исследований наблюдалось разнонаправленное изменение ГТК: так, в 2022 году изменение коэффициента было направленно на снижение от 2,1 в мае до 0,2 в августе, однако в 2023 году было отмечено другое направление изменения ГТК от 0,39 в мае до 1,01 в августе. В среднем за два года исследований урожайность зерна яровой пшеницы существенно варьировала от 1,84 до 3,65 т/га. Минимальное значения урожайности было получено на варианте дискование (10–12 см) без применения гербицида, что подтверждается структурой урожайности. На данном варианте исследований масса 1000 зерен составила 38,58 г – это самое низкое значение из всех вариантов.

Таблица 3

Всходы яровой пшеницы Каменка в годы исследований (2022, 2023 годы), шт/м²

Прием основной обработки почвы (фактор А)	Прием внесение гербицидов (фактор В)	Год исследования	
		2022	2023
Отвальная вспашка (глубина 20–22 см, контроль)	Без обработки (контроль)	444	384
	Вода	464	373
	Сплошное применение гербицида	431	429
	Дифференцированное опрыскивание гербицидом на основе ЭПВ с использованием ГИС-технологий	419	416
Среднее А ₁ В		440	401
Отвальная вспашка оборотным плугом (глубина 20–22 см)	Без обработки (контроль)	493	382
	Вода	511	407
	Сплошное применение гербицида	445	433
	Дифференцированное опрыскивание гербицидом на основе ЭПВ с использованием ГИС-технологий	497	462
Среднее А ₂ В		487	421
Дискование (глубина 10–12 см)	Без обработки (контроль)	396	273
	Вода	375	214
	Сплошное применение гербицида	431	287
	Дифференцированное опрыскивание гербицидом на основе ЭПВ с использованием ГИС-технологий	438	201
Среднее А ₃ В		410	244
Разноглубинная отвальная вспашка с использованием ГИС-технологий (глубина 14–24 см)	Без обработки (контроль)	460	410
	Вода	447	381
	Сплошное применение гербицида	450	448
	Дифференцированное опрыскивание гербицидом на основе ЭПВ с использованием ГИС-технологий	458	398
Среднее А ₄ В		454	409
Среднее за год		447	369
HCP ₀₅			
Главных эффектов	Фактора А	28	100
	Фактора В и взаимодействия АВ	$F_{\phi} < F_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$

Table 3

Shoots of spring wheat Kamenka during the years of research (2022, 2023), pcs/m²

Method basic tillage of soil (factor A)	Method herbicide application (factor B)	Year study	
		2022	2023
Moldboard plowing (depth 20–22 cm, control)	Without application (control)	444	384
	Water	464	373
	Continuous application of herbicide	431	429
	Differentiated application with an EPV herbicide using GIS technologies	419	416
Mean A ₁ B		440	401
Moldboard plowing with a reversible plough (depth 20–22 cm)	Without application (control)	493	382
	Water	511	407
	Continuous application of herbicide	445	433
	Differentiated application with an EPV herbicide using GIS technologies	497	462
Mean A ₂ B		487	421
Disking (depth 10–12 cm)	Without application (control)	396	273
	Water	375	214
	Continuous application of herbicide	431	287
	Differentiated application with an EPV herbicide using GIS technologies	438	201
Mean A ₃ B		410	244
Variable depth tillage (VDT) using GIS technologies (depth 14–24 cm)	Without application (control)	460	410
	Water	447	381
	Continuous application of herbicide	450	448
	Differentiated application with an EPV herbicide using GIS technologies	458	398
Mean A ₄ B		454	409
Mean for year		447	369
LSD ₀₅			
Main effects	Factor A	28	100
	Factor B and interaction AB	$F_f < F_{05}$	$F_f < F_{05}$

Agrotechnologies

Таблица 4

Влияние приемов основной обработки почвы и внесения гербицидов с использованием ГИС-технологий на показатели продуктивности соцветия яровой пшеницы

Прием основной обработки почвы (фактор А)	Количество зерна в соцветии, шт.		Масса зерна в одном соцветии, г		Масса 1000 зерен, г	
	2022 г.	2023 г.	2022 г.	2023 г.	2022 г.	2023 г.
Без обработки (контроль); В₁						
Отвальная вспашка (глубина 20–22 см, контроль)	27	27	1,02	1,14	37,5	41,97
Отвальная вспашка оборотным плугом (глубина 20–22 см)	28	27	1,04	1,16	37,18	42,48
Дискование (глубина 10–12 см)	26	25	0,94	1,01	36,85	40,3
Разноглубинная отвальная вспашка с использованием ГИС-технологий (глубина 14–24 см)	25	25	0,89	1,08	36,04	42,8
Вода; В₂						
Отвальная вспашка (глубина 20–22 см, контроль)	30	28	1,15	1,24	37,65	43,72
Отвальная вспашка оборотным плугом (глубина 20–22 см)	27	28	0,98	1,21	36,14	43,76
Дискование (глубина 10–12 см)	28	22	1,07	0,87	38,22	39,01
Разноглубинная отвальная вспашка с использованием ГИС-технологий (глубина 14–24 см)	24	25	0,85	1,09	35,16	42,36

Агротехнологии

Сплошное применение гербицида; B ₃							
Отвальная вспашка (глубина 20–22 см, контроль)		26	27	1,03	1,18	39,07	43,55
Отвальная вспашка оборотным плугом (глубина 20–22 см)		27	28	1,02	1,17	38,41	42,38
Дискование (глубина 10–12 см)		29	25	1,11	1	38,17	40,22
Разноглубинная отвальная вспашка с использованием ГИС-технологий (глубина 14–24 см)		27	25	1,01	0,99	37,38	40,83
Дифференцированное опрыскивание гербицидом на основе ЭПВ с использованием ГИС-технологий; B ₄							
Отвальная вспашка (глубина 20–22 см, контроль)		28	29	1,11	1,23	39,82	42,81
Отвальная вспашка оборотным плугом (глубина 20–22 см)		26	30	0,96	1,25	36,55	41,48
Дискование (глубина 10–12 см)		24	27	0,92	1,1	39,19	41,42
Разноглубинная отвальная вспашка с использованием ГИС-технологий (глубина 14–24 см)		25	26	0,97	1,04	38,44	41,78
НСР ₀₅	фактора А	$F_{\phi} < F_{05}$	2,0	$F_{\phi} < F_{05}$	0,13	$F_{\phi} < F_{05}$	1,50
	фактора В и взаимодействия АВ	$F_{\phi} < F_{05}$					
	частных различий I порядка	14	5	0,67	0,25	5,76	3,00
	частных различий II порядка	6	5	0,28	0,23	4,90	2,13

Table 4
The influence of basic soil tillage techniques and herbicide application using GIS technologies on spring wheat inflorescence productivity indicators

Method basic tillage of soil (factor A)	Quantity of grain in inflorescence, pcs		Grain weight in one inflorescence, g		Weight of 1000 grains, g	
	2022	2023	2022	2023	2022	2023
Without application (control); B ₁						
Moldboard plowing (depth 20–22 cm, control)	27	27	1.02	1.14	37.5	41.97
Moldboard plowing with a reversible plough (depth 20–22 cm)	28	27	1.04	1.16	37.18	42.48
Disking (depth 10–12 cm)	26	25	0.94	1.01	36.85	40.3
Variable depth tillage (VDT) using GIS technologies (depth 14–24 cm)	25	25	0.89	1.08	36.04	42.8
Water; B ₂						
Moldboard plowing (depth 20–22 cm, control)	30	28	1.15	1.24	37.65	43.72
Moldboard plowing with a reversible plough (depth 20–22 cm)	27	28	0.98	1.21	36.14	43.76
Disking (depth 10–12 cm)	28	22	1.07	0.87	38.22	39.01
Variable depth tillage (VDT) using GIS technologies (depth 14–24 cm)	24	25	0.85	1.09	35.16	42.36
Continuous application of herbicide; B ₃						
Moldboard plowing (depth 20–22 cm, control)	26	27	1.03	1.18	39.07	43.55
Moldboard plowing with a reversible plough (depth 20–22 cm)	27	28	1.02	1.17	38.41	42.38
Disking (depth 10–12 cm)	29	25	1.11	1	38.17	40.22
Variable depth tillage (VDT) using GIS technologies (depth 14–24 cm)	27	25	1.01	0.99	37.38	40.83
Differentiated application with an EPV herbicide using GIS technologies; B ₄						
Moldboard plowing (depth 20–22 cm, control)	28	29	1.11	1.23	39.82	42.81

Moldboard plowing with a reversible plough (depth 20–22 cm)		26	30	0.96	1.25	36.55	41.48
Disking (depth 10–12 cm)		24	27	0.92	1.1	39.19	41.42
Variable depth tillage (VDT) using GIS technologies (depth 14–24 cm)		25	26	0.97	1.04	38.44	41.78
LSD ₀₅	main effect factor A	$F_f < F_{05}$	2.0	$F_f < F_{05}$	0.13	$F_f < F_{05}$	1.50
	main effect factor B and interaction AB	$F_f < F_{05}$					
	partial differences of I order	14	5	0.67	0.25	5.76	3.00
	partial differences of II order	6	5	0.28	0.23	4.9	2.13

Стабильность урожайности (2022 – 3,65 т/га, 2023 – 3,64 т/га) яровой пшеницы на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве при существенно разных погодных условиях выявлена при использовании нового приема основной разноглубинной отвальной вспашки (глубина 14–24 см) и дифференцированного внесения гербицида с использованием ГИС-технологий, прибавка к контрольному варианту (вспашка плугом и отсутствие внесения гербицида) составила 0,89 т/га.

Статистически подтверждено влияние приема основной обработки почвы на густоту всходов яро-

вой пшеницы. Наибольшее количество всходов за два года исследований наблюдалось при вспашке оборотным плугом (454 шт/м²), что, возможно, связано с оптимальными агрофизическими показателями почвы. Наименьшее значение (327 шт/м) наблюдалось на варианте с минимальной обработкой почвы (дискование на глубину 10–12 см).

Минимизация основной обработки почвы за счет замены традиционной отвальной обработки почвы на дискование снижает урожайность зерна, наблюдается тенденция уменьшения продуктивности посевов на 0,74 т/га.

Библиографический список

1. Белан И. А., Федоренко Е. Н., Россеева Л. П., Мухордова М. Е., Игнатъева Е. Ю. Перспективный сорт пшеницы мягкой яровой Семеновна – результат международного сотрудничества // Аграрная наука Северо-Востока. 2023. Т. 24, № 1. С. 46–57. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.1.46-57.
2. Reynolds M. P., Braun H. J. Wheat improvement: food security in a changing climate. Cham, Switzerland: Springer Nature, 2022. 629 p. DOI: 10.1007/978-3-030-90673-3.
3. Rehman H., Tariq A., Ashraf I., Ahmed M., Muscolo A., Basra S. M. A., Reynolds M. Evaluation of physiological and morphological traits for improving spring wheat adaptation to terminal heat stress // Plants. 2021. Vol. 10, No. 3. Article number 455. DOI: 10.3390/plants10030455.
4. Yanagi M. Climate change impacts on wheat production: reviewing challenges and adaptation strategies // Advances in Resources Research. 2024. Vol. 4, No. 1. Pp. 89–107. DOI: 10.50908/arr.4.1_89.
5. Ленточкин А. М. Реализация потенциала продуктивности и качества зерна сортами яровой пшеницы разных групп спелости // Инновации и продовольственная безопасность. 2023. № 3 (41). С. 134–143. DOI: 10.31677/2311-0651-2023-41-3-134-143.
6. Борисов Б. Б., Исламова Ч. М., Корепанова Е. В., Фатыхов И. Ш. Оценка продуктивности и экологической адаптивности сортов яровой пшеницы в условиях Среднего Предуралья // АгроЭкоИнфо. 2023. № 6 (60). DOI: 10.51419/202136614.
7. Елисеев С. Л., Калабина Т. С., Мурыгин В. П. Фитосанитарное состояние посевов яровой пшеницы в условиях органического земледелия среднего Предуралья // Сортовую агротехнику полевых культур – в производство: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Пермь, 2020. С. 36–40.
8. Черкашин А. Г., Фалалеева Л. В., Зубарев Ю. Н. Влияние приема предпосевной обработки почвы на урожайность яровых зерновых культур и ее структуру в среднем Предуралье // Пермский аграрный вестник. 2018. № 2 (22). С. 106–112.
9. Зубарев Ю. Н., Чижа Л. Н. Эволюция обработки почвы в Среднем Предуралье // Технологии земледелия и защиты растений: интеллектуальные, инновационные и цифровые ресурсы – 2022: материалы III Всероссийской научно-практической конференции. Пермь, 2023. С. 87–90.
10. Ленточкин А. М. Рекомендации по технологии выращивания яровой пшеницы на продовольственные цели: рекомендации. Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2002. 70 с.
11. Naeem M., Minhas W. A., Hussain S., Ul-Allah S., Farooq M., Farooq S., Hussain M. Barley-based cropping systems and weed control strategies influence weed infestation, soil properties and barley productivity // Agriculture. 2022. Vol. 12, No. 4. Article number 487. DOI: 10.3390/agriculture12040487.

12. Kristo I., Valyi-Nagy M., Racz A., Tar M., Irmes K., Szentpeteri L., Ujj A. Effects of weed control treatments on weed composition and yield components of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and winter pea (*Pisum sativum* L.) intercrops // *Agronomy*. 2022. Vol. 12, No. 10. Article number 2590. DOI: 10.3390/agronomy12102590.
13. Fomin D. S., Fomin Dm. S. Differentiated herbicides application on winter wheat crops using offline instructions map // *AGROSYM 2021: Book of proceedings*. Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 2021. Pp. 694–701.
14. Марченко Л. А., Мочкова Т. В., Курбанов Р. К. Использование оптических систем Green Seeker RT 200 при дифференцированном внесении гербицидов // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. № 3. С. 50–54.
15. Фомин Д. С., Зубарев Ю. Н., Фомин Дм. С. Применение элементов точного земледелия при защите посевов яровой пшеницы в среднем Предуралье // *Агрофизика*. 2023. № 4. С. 18–24. DOI: 10.25695/AGRPH.2023.04.03.
16. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): методические рекомендации. Москва: Альянс, 2011. 350 с.
17. Макарова В. М. Структура урожайности зерновых культур и ее регулирование: методические рекомендации. Пермь: Пермская государственная сельскохозяйственная академия, 1995. 144 с.
18. Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата: труды по сельскохозяйственной метеорологии. Ленинград: Гидропромиздат, 1928. 177 с.
19. Полякова С. С., Елисеев С. Л., Яркова Н. Н., Фомин Д. С. Влияние приёмов возделывания на фитосанитарное состояние посевов ярового ячменя // *Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: материалы международной научно-практической конференции*. Йошкар-Ола, 2024. С. 3–7.

Об авторах

Дмитрий Станиславович Фомин, научный сотрудник, Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Пермь, Россия; аспирант, Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Пермь, Россия; ORCID 0000-0003-0718-7632, AuthorID 1070705. *E-mail: prm.fomin.d@gmail.com*

Денис Станиславович Фомин, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией прецизионных технологий в сельском хозяйстве, старший научный сотрудник, Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Пермь, Россия; ORCID 0000-0001-8261-7191, AuthorID 695406. *E-mail: akvilonag@mail.ru*

Юрий Николаевич Зубарев, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Пермь, Россия; ORCID 0000-0002-6049-32-44, AuthorID 522714. *E-mail: yn-zubarev@mail.ru*

References

1. Belan I. A., Fedorenko E. N., Rosseyeva L. P., Mukhordova M. E., Ignatyeva E. Yu. The perspective soft spring wheat variety Semenovna is the result of international cooperation. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2023; 24 (1): 46–57. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.1.46-57. (In Russ.)
2. Reynolds M. P., Braun H. J. *Wheat improvement: food security in a changing climate*. Cham, Switzerland: Springer Nature, 2022. 629 p. DOI: 10.1007/978-3-030-90673-3.
3. Rehman H., Tariq A., Ashraf I., Ahmed M., Muscolo A., Basra S. M. A., Reynolds M. Evaluation of physiological and morphological traits for improving spring wheat adaptation to terminal heat stress. *Plants*. 2021; 10 (3): 455. DOI: 10.3390/plants10030455.
4. Yanagi M. Climate change impacts on wheat production: reviewing challenges and adaptation strategies. *Advances in Resources Research*. 2024; 4 (1): 89–107. DOI: 10.50908/arr.4.1_89.
5. Lentochkin A. M. Realisation of productivity potential and grain quality by varieties of spring wheat of different maturity groups. *Innovations and Food Safety*. 2023; (3): 134–143. DOI: 10.31677/2311-0651-2023-41-3-134-143. (In Russ.)
6. Borisov B. B., Islamova Ch. M., Korepanova E. V., Fatykhov I. Sh. Grade productivity and environmental adaptability of spring wheat varieties under conditions Middle Urals. *AgroEkoInfo*. 2023; 6 (60). DOI: 10.51419/202136614. (In Russ.)
7. Eliseev S. L., Kalabina T. S., Murygin V. P. Phytosanitary condition of spring wheat crops in the conditions of organic farming in the Middle Urals. *Varietal agrotechnics of field crops – into production: materials of the All-Russian Scientific and practical conference*. Perm, 2020. Pp. 36–40. (In Russ.)
8. Cherkashin A. G., Falaleeva L. V., Zubarev Yu. N. Influence of the method of pre-sowing tillage on the yield capacity of spring cereal crops and its structure in the Middle Ural. *Perm Agrarian Journal*. 2018; 2 (22): 106–112. (In Russ.)

9. Zubarev Yu. N., Chizha L. N. The evolution of tillage in the Middle Urals. *Technologies of agriculture and plant protection: intellectual, innovative and digital resources – 2022: materials of the III All-Russian Scientific and Practical Conference*. Perm, 2023. Pp. 87–90. (In Russ.)

10. Lentochnik A. M. *Recommendations on the technology of growing spring wheat for food purposes: recommendations*. Izhevsk: Izhevskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya, 2002. 70 p. (In Russ.)

11. Naeem M., Minhas W. A., Hussain S., Ul-Allah S., Farooq M., Farooq S., Hussain M. Barley-based cropping systems and weed control strategies influence weed infestation, soil properties and barley productivity. *Agriculture*. 2022; 12 (4): 487. DOI: 10.3390/agriculture1204048.

12. Kristo I., Valyi-Nagy M., Racz A., Tar M., Irmes K., Szentpeteri L., Ujj A. Effects of weed control treatments on weed composition and yield components of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and winter pea (*Pisum sativum* L.) intercrops *Agronomy*. 2022; 12 (10): 2590. DOI: 10.3390/agronomy12102590.

13. Fomin D.S., Fomin Dm. S. Differentiated herbicides application on winter wheat crops using offline instructions map. *AGROSYM 2021: Book of proceedings*. Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 2021. Pp. 694–701.

14. Marchenko L. A., Mochkova T. V., Kurbanov R. K. The use of optical systems Greenseeker RT 200 with differentiated distribution of herbicides. *Vestnik VIESKH*. 2018; 4: 18–24. (In Russ.)

15. Fomin D. S., Zubarev Yu. N., Fomin Dm. S. Application of precision farming elements in the protection of spring wheat crops in the Middle Urals. *Agrophysica*. 2023; 4: 18–24. DOI: 10.25695/AGRPH.2023.04.03. (In Russ.)

16. Dospekhov B. A. *Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)*. Moscow: Al'yans, 2011. 350 p. (In Russ.)

17. Makarova V. M. *The structure of grain yield and its regulation: methodological recommendations*. Perm: Permskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya, 1955. 144 p. (In Russ.)

18. Selyaninov G. T. *On agricultural climate assessment: proceedings on agricultural meteorology*. Leningrad: Gidropromizdat, 1928. 177 p. (In Russ.)

19. Polyakova S. S., Eliseev S. L., Yarkova N. N., Fomin D.S. The influence of cultivation techniques on the phytosanitary condition of spring barley crops. *Topical issues of improving the technology of production and processing of agricultural products: materials of the international scientific and practical conference*. Yoshkar-Ola, 2024. Pp. 3–7. (In Russ.)

Authors' information:

Dmitriy S. Fomin, researcher, Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia; postgraduate, Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Pryanishnikov; ORCID 0000-0003-0718-7632, AuthorID 1070705. *E-mail: prm.fomin.d@gmail.com*

Denis S. Fomin, candidate of agricultural sciences, head of the laboratory of precision technologies in agriculture, senior researcher, Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia; ORCID 0000-0001-8261-7191, AuthorID 695406. *E-mail: akvilonag@mail.ru*

Yuriy N. Zubarev, doctor of agricultural sciences, professor, Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia; ORCID 0000-0002-6049-32-44, AuthorID 522714. *E-mail: yn-zubarev@mail.ru*