

DOI 10.33952/2542-0720-2020-3-23-79-92

УДК 574.42:631/635:502/504

Гулянов Ю. А.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИРОДОПОДОБНЫХ ВЛАГОСБЕРЕГАЮЩИХ ПРИЁМОВ В ЛАНДШАФТНО-АДАПТИВНЫХ СИСТЕМАХ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ СТЕПНОЙ ЗОНЫ ОРЕНБУРГСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

Институт степи Уральского отделения Российской академии наук (ИС УрО РАН) – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Оренбургского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук» (ОФИЦ РАН)

Реферат. *Разработка и совершенствование влагосберегающих агроприёмов в системах земледелия степной зоны РФ необходимы для повышения эффективности полеводства в условиях современных природных и антропогенных изменений окружающей среды. Цель исследований заключалась в изучении влияния различных способов подготовки почвы в зернопаровом севообороте на формирование фитометрических параметров, структуры посевов озимой пшеницы и урожайности зерна. Исследования проводили в 2016–2019 гг. на чернозёмах южных в зоне сухих степей Оренбургского Предуралья. Объектом исследований выступали производственные посеы озимой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Поволжская 86, возделываемой в пятипольном зернопаровом севообороте: пар – озимая пшеница – яровая пшеница – нут – яровая пшеница. Посев проводили в третьей декаде августа нормой 5,0 млн всхожих семян/га в четырёхкратной повторности. Изучали три способа подготовки почвы: отвальную вспашку на глубину 23–25 см, безотвальное рыхление на такую же глубину и мелкое рыхление на 5–7 см. В течение ротации севооборота пожнивные остатки выращиваемых культур ежегодно в измельчённом виде распределяли по поверхности поля одновременно с уборкой. Установлено, что наиболее благоприятные условия для формирования урожая складываются при мелком рыхлении на 5–7 см, обеспечивающем формирование полноты всходов на уровне 93,0 % (466 шт./м²) и сохранность растений к уборке не ниже 75 % (350 шт./м²), что при продуктивной кустистости 1,14 единиц обеспечивает формирование плотности продуктивного стеблестоя к уборке на уровне 400 шт./м². Формирование максимальной в опыте урожайности зерна (2,83 т/га) убедительно свидетельствует о высокой влагосберегающей эффективности мелкого рыхления почвы по сравнению с другими способами подготовки почвы, где урожайность оказалась ниже на 0,37–0,88 т/га (или 13,1–31,1 %).*

Ключевые слова: *степная зона, ландшафтно-адаптивные системы земледелия, влагосберегающие приёмы, урожайность зерна, озимая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.).*

Введение

Среди регионов степной зоны Европейской России Оренбургская область выделяется значительной площадью ежегодных посевов зерновых и зернобобовых культур, варьирующей в пределах 2600–2700 тыс. га и составляющей 13,7–14,2 % от суммарной по степной зоне и 5,5–5,6 % – от общероссийской площади. При этом по валовым сборам зерна указанный регион не является безусловным лидером, что особенно отчётливо прослеживается на фоне заметного повышения засушливости климата последних десятилетий. Даже в благоприятном по природным условиям 2017 г. при рекордном урожае в 4207,2 тыс. т Оренбургская область расположилась только на седьмой строчке в рейтинге регионов степной зоны Европейской России [1]. Значительно больше зерна, наряду с признанными российскими житницами, такими как Краснодарский, Ставропольский край и Ростовская область, собрали хлеборобы не

менее рискованных сельскохозяйственных территорий – Саратовской (5832,7 тыс. т) и Волгоградской (5651,4 тыс. т) областей, при существенно меньшей площади посева [2].

Как известно, наиболее высокую пищевую ценность в РФ традиционно имеет зерно пшеницы как основное сырьё для производства хлебобулочных, макаронных, кондитерских и других хлебных изделий. По запасам зерна пшеницы высокого качества принято судить о продовольственной безопасности и в большинстве других стран мира.

Статистический анализ отраслевых показателей в растениеводстве Оренбургской области за последние два десятилетия выявил наличие сильной связи валовых сборов зерна пшеницы с урожайностью ($r = 0,74–0,80$), детерминирующей в пределах 54,5 % (озимая пшеница) – 63,6 % (яровая пшеница) их вариации. Зависимость описывается уравнениями регрессии $y = 312,8x - 110,3$ и $y = 1621,0x - 251,9$ соответственно, где x – урожайность зерна, т/га, y – валовые сборы зерна, тыс. т (рисунок 1).

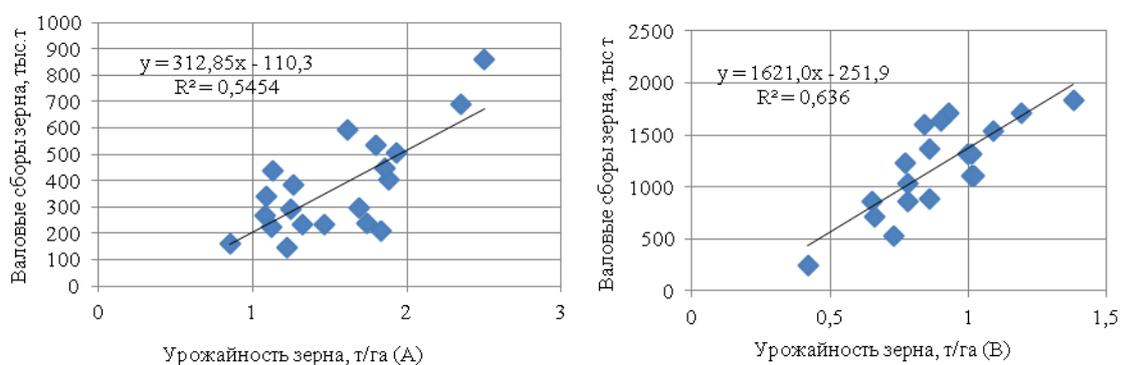


Рисунок 1 – Зависимость валовых сборов озимой (А) и яровой (В) пшеницы от урожайности зерна, Оренбургская область (2000–2019 гг.)

Следовательно, для повышения и стабилизации валовых сборов зерна в указанном регионе в условиях современных природных и антропогенных изменений окружающей среды существует объективная необходимость выявления причин низкой урожайности, а также разработки и научного обоснования приёмов её увеличения без ущерба для окружающей среды.

Анализ экспериментальных данных, полученных исследователями в основных хлебопекающих регионах РФ, включая и регионы степной зоны, свидетельствует о первостепенной важности разработки и внедрения в ландшафтно-адаптивных технологиях выращивания зерновых культур влагосберегающих приёмов, являющихся основой стабилизации зернового производства [3, 4].

Поскольку обеспеченность растений влагой имеет решающее значение для их роста и развития и чаще всего определяет продуктивность посевов, сегодня всё больше внимания уделяется ресурсосберегающим технологиям, основанным на минимальных и нулевых обработках почвы [5–8], способствующих накоплению влаги и органического вещества в корнеобитаемом слое почвы. При возрастающей солнечной инсоляции и глобальном потеплении климата развитие указанных технологий главным образом направлено на сохранение интенсивно испаряющейся продуктивной влаги, повышение урожайности сельскохозяйственных культур и эффективности земледелия [9]. Указанные приёмы обработки почвы предполагают сохранение стерни и равномерное распределение по поверхности поля измельчённых пожнивных остатков одновременно с уборкой урожая [10–12]. Это обеспечивает формирование покрытия, защищающего почву от водной и ветровой

эрозии, сохраняющего влагу [13–15], препятствующего активному распространению сорной растительности, способствующего активизации почвенной микрофлоры и воспроизводству плодородного слоя, создающего условия для саморазрыхления почвы [16]. Многочисленные исследования, проведённые в различных почвенных условиях, указывают и на более благоприятные условия для роста корневой системы растений при мульчировании, чем на открытых участках [17, 18]. При наличии на поверхности почвы соломенной мульчи снижаются темпы минерализации гумуса, создаются предпосылки для формирования его положительного баланса [19, 20], складываются более благоприятные условия для прорастания семян зерновых культур, особенно позднего срока посева. К примеру, всхожесть яровой пшеницы, ячменя и сорго при нулевой обработке в исследованиях Бакирова Ф. Г. с коллегами повышалась на 8–17 % по сравнению с вариантами глубокой обработки почвы [21].

Таким образом, улучшение водного режима степных чернозёмов благодаря более эффективному использованию влаги атмосферных осадков было и остаётся главной задачей зонального земледелия. По мнению многих учёных, ведущая роль в эффективном использовании ограниченных ресурсов влаги в засушливых регионах принадлежит способам обработки почвы. Отмечено, что нулевые технологии и приёмы минимальной обработки почвы по сравнению с другими приёмами являются более влагосберегающими [22, 23].

Как следует из обзора приведённых литературных источников, проблемам повышения эффективности использования ресурсов влаги в современных агротехнологиях посвящают свои исследования многие отечественные и иностранные учёные. В тоже время следует отметить, что в условиях степной зоны Оренбургского Предуралья указанные вопросы проработаны недостаточно полно, о чём свидетельствует нестабильность урожайности и валовых сборов зерна при повышающейся засушливости климата. Поэтому реализуемые в представленном исследовании задачи, касающиеся разработки и совершенствования приёмов влагосбережения в зональных ландшафтно-адаптивных системах земледелия, достаточно актуальны, а полученные результаты имеют высокое практическое значение.

Цель исследований – изучение влияния различных способов подготовки почвы в зернопаровом севообороте на формирование фитометрических параметров, структуры посевов озимой пшеницы и урожайность зерна.

Для выполнения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

- провести анализ современного состояния зернового производства в Оренбургской области и выявить связь валовых сборов озимой и яровой пшеницы с урожайностью зерна;
- изучить отечественный и зарубежный опыт по разработкам и внедрению влагосберегающих приёмов выращивания зерновых культур;
- изучить особенности формирования полноты всходов, сохранности и общей выживаемости семян и растений озимой пшеницы при разных способах подготовки почвы в зернопаровом севообороте в условиях степной зоны Оренбургского Предуралья;
- определить основные фитометрические, структурные показатели и урожайность в посевах озимой пшеницы, различающихся по способам подготовки почвы;
- провести корреляционный и регрессионный анализ полученных результатов, выразить выявленные зависимости в графическом виде и в виде уравнений регрессии;

– обосновать практическую значимость полученных результатов и перспективу продолжения научных исследований.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2016–2019 гг. в зоне сухих степей Оренбургского Предуралья. В качестве объекта исследований выступали производственные посевы озимой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Поволжская 86, возделываемой при различных способах подготовки почвы в пятипольном зернопаровом севообороте: пар – озимая пшеница – яровая пшеница – нут – яровая пшеница. Посев проводили в третьей декаде августа нормой 5,0 млн всхожих семян/га, экспериментальные делянки закладывали в четырёхкратной повторности. Изучали три способа подготовки почвы: путём традиционных для региона интенсивных приемов, включающих отвальную вспашку на 23–25 см или безотвальное рыхление на такую же глубину, а также мелкое рыхление на 5–7 см, исключая активное воздействие на почву и наиболее близкое к природным процессам разуплотнения. В течение ротации севооборота пожнивные остатки выращиваемых культур ежегодно в измельчённом виде распределяли по поверхности поля одновременно с уборкой.

Почва опытного участка – чернозём южный среднemosный карбонатный тяжелосуглинистый с содержанием гумуса в пахотном слое почвы 3,8 % (по Тюрину), подвижного азота (NO_3^-) – 1,35 мг/100 г почвы (определен ионометрическим методом), легкогидролизуемого азота – 8,4 мг (по Тюрину и Кононовой), подвижного фосфора (P_2O_5) – 3,25 мг и обменного калия (K_2O) – 27,0 мг/100 г почвы (по Кирсанову в модификации ЦИНАО). Годовая сумма эффективных температур составляет 2627 °С, со средней температурой самого тёплого месяца (июль) 21,9 °С и самого холодного (январь) – 14,8 °С. Глубина промерзания почвы варьирует в пределах 100–120 см при высоте снежного покрова около 28 см, а индекс континентальности климата составляет 215 единиц. За год выпадает 360–370 мм осадков, из которых около 130 мм (35,0 %) приходится на тёплый период года (май–август). В целом зона исследований выделяется недостаточным и неустойчивым атмосферным увлажнением, для неё характерна продолжительная, морозная и не всегда снежная зима, короткая дружная весна с быстрым переходом в жаркое засушливое лето и продолжительная тёплая и сухая осень. В отличие от влагообеспеченности, температурный режим указанной территории и приход солнечной радиации практически не лимитируют формирование урожая традиционных полевых культур.

Следует отметить, что в годы проведения исследований погодные условия не отличались стабильностью – и температурный режим почвы и воздуха, и условия атмосферного увлажнения значительно варьировали. Наиболее увлажненным оказался 2016/17 сельскохозяйственный год, когда за период с августа по июнь выпало 350 мм осадков. Они относительно равномерно распределялись во времени, обеспечивая благоприятные условия для дружных всходов, успешной перезимовки, оптимальной плотности продуктивного стеблестоя и налива зерна. В последующие годы осадков выпало значительно меньше – на 109–120 мм (31,1–34,3 %) и распределялись они менее равномерно, создавая дефицит увлажнения в определённые периоды. Самым засушливым оказался август (4,3–9,8 мм), меньше осадков выпадало и в зимний период, особенно в 2017/18 сельскохозяйственном году (на 50 мм или 36,4 %). Наиболее высокую температуру воздуха тёплого периода отмечали в 2019 г., когда её средние значения в мае составили 17,8 °С и 21,5 °С – в июне. В предшествующие годы указанный показатель имел меньшие значения – на 1,2–3,5 °С в мае и 2,7–3,3 °С – в июне. Таким образом, исследования проводили в годы, значительно различающиеся по метеорологическим условиям,

что позволило полнее изучить особенности роста и развития озимой пшеницы, сделать объективные выводы о влиянии изучаемых технологических приёмов на эффективность использования ресурсов влаги и урожайность зерна.

Учеты и наблюдения проводили общепринятыми методами в соответствии с методическими указаниями Б. А. Доспехова [24]. Площадь ассимиляционной поверхности растений определяли весовым методом с использованием электронных весов («Electronic balance», type CBL 2200H) с точностью измерения 0,01 г. Растительные образцы для оценки фитометрических параметров посевов отбирали в четырёхкратной повторности с площадок 0,25 м². Фенологические наблюдения, подсчет густоты стояния растений и другие сопутствующие наблюдения проводили в соответствии с методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [25].

Для оперативного мониторинга агроценозов озимой пшеницы путём измерения вегетационного индекса посевов (NDVI) использовали портативное устройство «Green Seeker Handheld Crop Sensor», Model HCS-100 (Trimble, USA). Принцип работы указанного устройства и порядок проведения измерений для получения достоверных результатов описаны в одной из предшествующих наших работ [26].

Статистический анализ опытных данных проводили в Excel.

Результаты и их обсуждение

Как мы уже отмечали в своих публикациях [27, 28], при возделывании озимой пшеницы для получения высоких и стабильных урожаев важное значение имеет осенний период вегетации, когда нужно получить дружные всходы, оптимальное кущение и закалку растений.

Общеизвестно, что не все высеванные в почву семена всходят. По обобщенным литературным данным средняя полнота всходов зерновых культур в стране составляет 65–70 %. Она подвержена большим колебаниям по годам и по природным районам, значительны эти колебания и в разрезе сортов в пределах одной природной зоны. Между тем, результаты многочисленных полевых экспериментов свидетельствуют, что полевая всхожесть и сохранность растений к уборке являются очень важными показателями, определяющими итоговую урожайность. В зоне сухих степей актуальность этой проблемы еще более возрастает.

За период наших исследований по всем изучаемым приёмам обработки почвы наиболее благоприятные условия для формирования дружных и полноценных всходов озимой пшеницы отмечали в 2016 г. В последующие два года сложились крайне скудные по режиму атмосферного увлажнения условия, особенно в летний период 2018 г. В этот год, так же, как и в предыдущий 2017 г., полнота всходов в целом по вариантам опыта была ниже.

Следует отметить, что число нормально взошедших растений озимой пшеницы в период исследований зависело не только от сложившихся условий атмосферного увлажнения – в вариантах с различными способами подготовки почвы полнота всходов также варьировала. В среднем за годы исследований наиболее полные всходы отмечали на делянках с поверхностным рыхлением на глубину 5–7 см, где их число (466 шт./м²) превышало аналогичный показатель вариантов глубокого безотвального рыхления на 20 шт./м² (4,5 %) и на 14,8 % было выше, чем в вариантах с глубокой вспашкой. В целом по вариантам опыта, вариация числа нормально взошедших растений в среднем за три года исследований составила 58 шт./м², а полнота всходов менялась от 81,6 до 93,2 %. Степень рассеивания данных оказалась незначительной, с коэффициентом вариации 6,7 % (таблица 1).

Таблица 1 – Полнота всходов и общая выживаемость озимой пшеницы при разных способах подготовки почвы в зернопаровом севообороте (среднее за 2017–2019 гг.)

Вариант	Полнота всходов		Сохранность растений		Общая выживаемость семян и растений, %
	шт./м ²	% от высеянных	шт./м ²	% от взошедших	
Вспашка на 23–25 см	408	81,6	276	67,7	55,2
Безотвальное рыхление на 23–25 см	446	89,2	317	71,1	63,4
Мелкое рыхление на 5–7 см	466	93,2	350	75,2	70,1
Коэффициент вариации, %	6,7		11,8		
Степень рассеивания данных	незначительная		средняя		

Считаем, что при мелком рыхлении мульчированной поверхности почвы создаются наиболее благоприятные условия для набухания, прорастания семян и формирования дружных всходов, прежде всего, благодаря лучшему сохранению почвенной влаги к моменту посева озимой пшеницы. По нашему убеждению, при глубоком безотвальном рыхлении на 23–25 см и особенно вспашке на такую же глубину увеличивается площадь контакта иссушающего атмосферного воздуха с почвой, разрушается мульчирующий слой из пожнивных остатков, что при высокой летней инсоляции приводит к значительным потерям влаги и снижению всхожести семян. В качестве дополнительного аргумента следует привести и тот факт, что при дисковой обработке почвы на глубину 5–7 см на поверхности поля создаётся достаточно разрыхленный слой из хорошо перемешанных почвенных частиц и пожнивных остатков, легко пропускающий прогретый воздух. При его соприкосновении с холодной поверхностью необработанной почвы может происходить конденсация атмосферной влаги, значительно улучшающая влагообеспеченность растений. Подобные предположения высказывали и другие исследователи, проводившие подобные эксперименты в зональных условиях отдельных засушливых регионов РФ [21].

Урожайность озимых культур в зоне сухих степей Оренбургского Предуралья зачастую определяется успешностью перезимовки и сохранностью растений к уборке. В практике мирового земледелия изучению зимостойкости озимых культур также уделяют повышенное внимание, связанное с недостаточной устойчивостью посевов к неблагоприятным осенне-зимним условиям. Поэтому совершенствование приемов агротехники и внедрение новых высокоурожайных сортов, сочетающих зимостойкость с высокой урожайностью, в повышении продуктивности озимой пшеницы приобретает особую актуальность. Важным резервом её увеличения является уменьшение размеров гибели и повреждений растений от неблагоприятных природных факторов и в последующие периоды. Причины гибели растений и изреженности продуктивного стеблестоя в зоне сухих степей достаточно многообразны. Растения могут высохнуть на корню из-за резкого дефицита влаги и высокой температуры в период знойных суховеев, пострадать от засоренности полей, много их выпадает при запаздывании с посевом. Большой вред наносят проволочники, шведская муха, гессенская муха, хлебная блоха, пьявица, хлебные жуки и так далее. Иногда причиной гибели растений могут быть ржавчина, головня и фузариоз. При этом необходимо учитывать, что при прочих равных условиях в первую очередь погибают более слабые растения [29, 30].

Как показали наши исследования, в условиях засушливой степи Оренбургского Предуралья наибольшие выпадения растений озимой пшеницы приходится на фазы развития, включающие период перезимовки или граничащие с ним, – это, как правило, период от полных всходов до колошения. Наиболее

благоприятные условия зимнего периода отмечали в первый год исследований (2016/17 сельскохозяйственный год), когда оптимально раскутившиеся и прошедшие хорошую закалку растения были укрыты устойчивым снежным покровом и возобновили весеннюю вегетацию с наименьшими потерями. В последующие два года, особенно в 2017/18 сельскохозяйственном году, при весеннем возобновлении вегетации выпавших растений отмечали больше. Этому способствовали частые зимние оттепели и недостаточная мощность снежного покрова при ранних осенних морозах.

Нами установлено, что изучаемые способы подготовки почвы оказали существенное влияние на зимостойкость, сохранность и общую выживаемость озимой пшеницы (см. таблицу 1). В целом по вариантам опыта, вариация числа сохранившихся к уборке растений в среднем за три года исследований составила 74 шт./м², а сохранность растений менялась от 67,7 до 75,2 %. Степень рассеивания данных оказалась средней, с коэффициентом вариации 11,8 %. Больше всего погибших растений отмечали в вариантах с отвальной вспашкой на 23–25 см, где снижение по сравнению с безотвальным рыхлением на такую же глубину составило 14,9 % (41 шт./м²) и ещё больше – 26,8 % по сравнению с мелким рыхлением на 5–7 см. В отношении общей выживаемости семян и растений озимой пшеницы выявлена аналогичная закономерность – лучшие показатели получены на делянках с поверхностным рыхлением на 5–7 см. При таком способе подготовки почвы убыль сохранившихся к уборке растений составила 150 шт./м² (30,0 %) от числа высеянных всхожих семян, тогда как при глубоком рыхлении на 23–25 см и вспашке на такую же глубину она составляла 183 (36,6 %) – 224 шт./м² (44,8 %) соответственно. В целом, опираясь на полученные результаты, следует отметить, что при относительно невысокой сохранности и общей выживаемости растений озимой пшеницы в условиях сухих степей Оренбургского Предуралья применение поверхностного рыхления на глубину 5–7 см значительно улучшает эти показатели, что в последующем сопровождается существенным повышением плотности продуктивного стеблестоя.

Как известно, продуктивность полевых культур в значительной степени определяется фотосинтетической деятельностью посевов и находится в тесной связи с площадью ассимиляционной поверхности [31]. В проведённом нами полевом эксперименте способы подготовки почвы оказали заметное влияние на динамику фитометрических параметров озимой пшеницы, причём их вариацию в различных вариантах отмечали на протяжении всей вегетации (таблица 2).

Так, уже в фазе весеннего кущения степень рассеивания площади ассимиляционной поверхности, сформировавшейся в изучаемых вариантах опыта, составляла 2202 м²/га. По мере роста и развития растений вариация указанного параметра возрастала и достигла своего максимума (18,9–20,4 %) в период выход в трубку–колошение, соответствующего максимальному развитию вегетативной массы. Разница в площади ассимиляционной поверхности между вариантами с различными способами подготовки почвы составила 6794–8093 м²/га.

Наибольших значений (25716 м²/га) в период своего максимального развития площадь ассимиляционной поверхности достигла при мелком рыхлении на 5–7 см, а наименьших (17623 м²/га) – при вспашке на 23–25 см. В последующие фазы развития растений указанная тенденция сохранялась, и в целом за вегетацию максимальных размеров площадь ассимиляционной поверхности достигала при мелкой обработке почвы на 5–7 см, затем следует безотвальное рыхление на 23–25 см, а наименьшие величины этого показателя отмечены в вариантах вспашки на такую же глубину.

Таблица 2 – Динамика фитометрических параметров различных агроценозов озимой пшеницы, создаваемых разными способами подготовки почвы в условиях Оренбургского Предуралья (среднее за 2017–2019 гг.)

Фаза развития	Вариант подготовки почвы	Площадь ассимиляционной поверхности, м ² /га	Вегетационный индекс посева (NDVI)
Весеннее кущение	вспашка на 23–25 см	9121	0,33
	безотвальное рыхление на 23–25 см	10156	0,37
	мелкое рыхление на 5–7 см	11323	0,42
	коэффициент вариации, %	10,8	12,1
	НСР ₀₅	536	0,02
Выход в трубку	вспашка на 23–25 см	13179	0,47
	безотвальное рыхление на 23–25 см	17516	0,62
	мелкое рыхление на 5–7 см	19973	0,73
	коэффициент вариации, %	20,4	21,5
	НСР ₀₅	1156	0,04
Колошение	вспашка на 23–25 см	17623	0,60
	безотвальное рыхление на 23–25 см	21156	0,75
	мелкое рыхление на 5–7 см	25716	0,83
	коэффициент вариации, %	18,9	16,1
	НСР ₀₅	1563	0,05
Завершение цветения	вспашка на 23–25 см	16831	0,57
	безотвальное рыхление на 23–25 см	20515	0,70
	мелкое рыхление на 5–7 см	23812	0,77
	коэффициент вариации, %	17,3	14,9
	НСР ₀₅	1476	0,04
Налив зерна	вспашка на 23–25 см	10957	0,47
	безотвальное рыхление на 23–25 см	12173	0,53
	мелкое рыхление на 5–7 см	14276	0,60
	коэффициент вариации, %	13,4	12,2
	НСР ₀₅	783	0,03

Вегетационный индекс посевов (NDVI), определённый с помощью портативного устройства с активным оптическим датчиком (Green Seeker Handheld Crop Sensor, Model HCS – 1000), подтвердил выявленные закономерности. Наибольших значений он достигал в вариантах с мелким рыхлением, а наименьших – при вспашке. Примечательно, что, как и в предшествующих наших исследованиях с озимой пшеницей в степной зоне Оренбургского Предуралья, его значения оказались сильно связанными с площадью ассимиляционной поверхности. Коэффициент корреляции (r) между указанными параметрами составил 0,97, а связь площади ассимиляционной поверхности с вегетационным индексом посева в целом за вегетацию описывается уравнением регрессии $y = 32708x - 2748$, где x – вегетационный индекс (NDVI) посева, y – площадь ассимиляционной поверхности, м²/га.

Для характеристики продолжительности работы листовой поверхности используется фотосинтетический потенциал посева, представляющий собой суммарную величину листовой поверхности за вегетационный период. Этот показатель, характеризующий способность посева синтезировать органическое вещество, используется для оценки возможной продуктивности. Считается, что в высокопродуктивных посевах зерновых культур фотосинтетический потенциал должен составлять около 2 млн м²×дней/га в расчете на каждые 100 дней фактической вегетации. В наших исследованиях наибольший фотосинтетический потенциал (1,76 млн м²×дней/га) сформировался в посевах с наибольшей площадью ассимиляционной поверхности в вариантах с мелким рыхлением на 5–7 см. По

вспашке он был минимальным и оказался ниже варианта с мелким рыхлением на 0,54 млн м²×дней/га, или 30,7 %.

Отмеченные особенности роста и развития растений озимой пшеницы по вариантам с различными способами подготовки почвы, выразившиеся в варьировании полноты всходов, площади ассимиляционной поверхности, сохранности и общей выживаемости растений отразились на структурных показателях посевов и урожайности зерна (таблица 3). Как следует из представленных данных, наибольшим варьированием значений из приведённых структурных элементов посева характеризовалась плотность продуктивного стеблестоя в уборку, изменяющаяся от 399,7 шт./м² в вариантах с мелким рыхлением на 5–7 см до 284,5 шт./м² на делянках со вспашкой на 23–25 см. Коэффициент вариации продуктивной кустистости, изменяющийся от 1,14 до 1,03 единиц среди изучаемых способов подготовки почвы, составил 5,2 %, а наиболее стабильной оказалась масса зерна в колосе (0,68–0,71 г).

Таблица 3 – Структурные показатели посевов и урожайность озимой пшеницы при разных способах подготовки почвы в севообороте (среднее за 2017–2019 гг.)

Способ подготовки почвы	Продуктивная кустистость	Плотность продуктивного стеблестоя, шт./м ²	Масса зерна с колоса, г	Урожайность зерна, т/га
Вспашка на 23–25 см	1,03	284,5	0,68	1,95
Безотвальное рыхление на 23–25 см	1,11	352,2	0,69	2,46
Мелкое рыхление на 5–7 см	1,14	399,7	0,71	2,83
Коэффициент вариации, %	5,2	16,7	2,2	18,3
НСР ₀₅	0,01	22,7	0,005	0,13

В итоге, в среднем за годы исследований наибольшая урожайность зерна (2,83 т/га) зафиксирована в вариантах с мелким рыхлением почвы на 5–7 см, свидетельствующая о высокой эффективности природоподобных влагосберегающих приёмов в ландшафтно-адаптивных системах земледелия степной зоны Оренбургского Предуралья. Их суть заключается в подражании естественным природным процессам («природа не пашет»), снижении технологической нагрузки, поддержании экологической стабильности сельскохозяйственных экосистем, обеспечении длительного неистощительного и эффективного использования природного почвенного потенциала, направленности на сохранение устойчивости и оптимума ландшафтного и биологического разнообразия.

Выводы

Проведённые исследования позволили установить, что в условиях современных природных и антропогенных изменений окружающей среды урожайность озимой пшеницы в зональных ландшафтно-адаптивных системах земледелия степной зоны Оренбургского Предуралья зависит от способа подготовки почвы в севообороте и определяется плотностью продуктивного стеблестоя и массой зерна с колоса. Наиболее оптимальные сочетания указанных структурных параметров посевов складываются при мелком рыхлении на 5–7 см, обеспечивающем формирование полноты всходов на уровне 93,0 % (466 шт./м²), сохранности растений к уборке не ниже 75 % (350 шт./м²), что при продуктивной кустистости 1,14 единиц обеспечивает формирование плотности продуктивного стеблестоя к уборке на уровне 400 шт./м². Формирование при данном способе подготовки почвы самой высокой в опыте урожайности зерна 2,83 т/га убедительно свидетельствует о высокой влагосберегающей эффективности мелкого рыхления

почвы по сравнению с глубоким безотвальным рыхлением и вспашкой в зональных почвенных и климатических условиях, где урожайность оказалась ниже на 0,37–0,88 т/га (13,1–31,1 %).

Внедрение данного способа подготовки почвы в зерносеющих хозяйствах степной зоны Оренбургского Предуралья может стать основой повышения и стабилизации урожайности озимой пшеницы в условиях современных природных и антропогенных изменений окружающей природной среды, связанных с повышением засушливости климата и повсеместным снижением плодородия степных чернозёмов. Особенно актуальным это становится в постцелинных регионах степной зоны, где оптимизация структуры землепользования предполагает выведение из земледельческого оборота деградированных земель и выделение наиболее ценных в ландшафтном отношении местностей и урочищ, что будет неизбежно сопровождаться сокращением земледельческих площадей и интенсификацией земледелия на высокоплодородных почвах.

Важное значение направленность на повышение эффективности влагосберегающих приёмов в зональных ландшафтно-адаптивных системах приобретает при переходе на интеллектуальные «цифровые технологии». При таком подходе интеграция «цифровых технологий» в ландшафтно-адаптивное земледелие степной зоны может стать основой производства экологически чистой продукции, сохранения чистоты окружающей природной среды и уникальной степной биоты. В этом направлении мы видим продолжение представленных исследований.

Статья подготовлена по теме НИР Института степи УрО РАН: «Степи России: ландшафтно-экологические основы устойчивого развития, обоснование природоподобных технологий в условиях природных и антропогенных изменений окружающей среды», № ГР АААА-А17-117012610022-5.

Литература

1. Оренбургская область в цифрах, 2019. Официальные статистические публикации ТОГС. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://orenstat.old.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/orenstat-ru/publications/official_publications/electronic_versions/ (дата обращения 30.11.2019).
2. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2018: Р 32. Статистический сборник. М.: Росстат, 1162 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/-statistics/publications/catalog/doc_1138623506156 (дата обращения 27.11.2019).
3. Халиуллин К. З., Киекбаев Т. И., Лукьянов С. А., Гайнуллин И. А. Ресурсосберегающие технологии возделывания зерновых культур в степных агроландшафтах Республики Башкортостан // Достижения науки и техники АПК. 2010. № 1. С. 34–36.
4. Ознобихина Л. А. Накопление и сохранение продуктивной влаги в ресурсосберегающих технологиях возделывания яровой пшеницы в лесостепи Северного Зауралья // Вестник государственного аграрного университета Северного Зауралья. 2016. № 1 (32). С. 78–84.
5. Брадли Д. Ф. Технология No-till. Обработка земли вместе с природой, а не против неё. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://po-teme.com.ua/raznoe/2409-tekhnologiya-no-till.html> (дата обращения 27.01.2020).
6. Фолкнер Э. Безумие пахаря. М.: Сельхозиздат, 1959. 276 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://itexts.net/avtor-edvard-folkner/130198-bezumie-paharya-edvard-folkner.html> (дата обращения 30.01.2020).
7. Монтгомери Д. Р. Почва. Эрозия цивилизаций. Анкара: ФАО Субрегиональное отделение по центральной Азии, 2015. 409 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.fao.org/3/a-i4603r.pdf> (дата обращения 15.02.2020).
8. Blanco-Canqui H., Ruis S. J. No-tillage and soil physical environment // Geoderma. 2018. Vol. 326. P. 164–200.
9. Милюткин В. А., Стребков Н. Ф., Соловьёв С. А., Макаровская З. В. Технические решения для технологий No-till и Strip-till // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 6 (50). С. 61–63.

10. Zhang S., Chen X., Jia S., Liang A., Zhang Y. S., Yang X., Wei S., Sun B., Huang D., Zhou G. The potential mechanism of long-term conservation tillage effects on maize yield in the black soil of Northeast China // *Soil and Tillage Research*. 2015. No. 154. P. 84–90.
11. He J., Li H., Rasaily R. G., Wang Q., Cai G., Su Y., Qiao X., Liu L. Soil properties and crop yields after 11 years of no tillage farming in wheat-maize cropping system in North China Plain // *Soil and Tillage Research*. 2011. Vol. 113. No. 1. P. 48–54.
12. Gozubuyuk Z., Sahin U., Ozturk I., Celik A., Cemal Adiguzel M. Tillage effects on certain physical and hydraulic properties of a loamy soil under a crop rotation in a semi-arid region with a cool climate // *CATENA*. 2014. No. 118. P. 195–205.
13. Rusinamhodzi L., Corbeels M., Wijk M. V., Rufino M.C. A meta-analysis of long-term effects of maize grain yield under rain-fed conditions // *Agronomy Sustainable Development*. 2011. No. 31. P. 657–673.
14. Mupangwa W., Twomlow S., Walker S.S. Reduced tillage, mulching and rotational effects on maize (*Zea mays* L.), cowpea (*Vigna unguiculata* (Walp) L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. (Moench)) yields under semi-arid conditions // *Field Crops Research*. 2012. No. 132. P. 139–148.
15. Akhtar K., Wang W., Khan A., Ren G., Zaheer S., Sial T.A., Feng Y., Ren G. Straw mulching with fertilizer nitrogen: an approach for improving crop yield, soil nutrients and enzyme activities // *Soil Use and Management*. 2019. Vol. 35. P. 526–535.
16. Бжеумыхов В. С., Алиев З. Ю. Технология No-till – гарант успешного производства зерна озимой пшеницы в условиях КБР // *Материалы международной научно-практической конференции «Социально-экономические и экологические аспекты развития Прикаспийского региона»*. Элиста: Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова, 2019. С. 359–364.
17. Смирнов П. А., Васильев Н. Ю., Спасов Е. В. Результаты практических исследований мульчирования поверхности почвы стерневыми культиваторами // *Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018. № 1 (4). С. 76–81.
18. Кроветто К. Нулевая обработка почвы // *Ресурсосберегающее земледелие*. 2009. № 1 (2). С. 7–11.
19. Manzatto C. V., Freitas Junior E., Perez J. R. *Uso Agrícola dos Solos Brasileiros*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 174 p.
20. Derpsh R. The experience of South America: stages of the direct sowing technology implementation // *Resource-Saving Agriculture*. 2008. No. 1. P. 6–9.
21. Бакиров Ф. Г., Долматов А. П., Любич В. А., Попов С. В., Курамшин М. Р., Баландина А. А. Влагосбережение в ресурсосберегающих технологиях выращивания полевых культур на Южном Урале // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2015. № 3(53). С. 168–171.
22. Дридигер В. К. Технология no-till и допускаемые при её освоении ошибки // *Сельскохозяйственный журнал*. 2018. № 1 (11). С. 14–23.
23. Кочмина Е. О., Чекаев Н. П. Влагосберегающая эффективность технологии No-ill при возделывании озимой пшеницы // *Нива Поволжья*. 2016. № 1(38). С. 35–41.
24. Доспехов Б. А. *Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований)*. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
25. Доспехов Б. А., Васильев И. П., Туликов А. М. *Практикум по земледелию*. М.: Агропромиздат, 1987. 383 с.
26. Гулянов Ю. А. Мониторинг фитометрических параметров с использованием инновационных методов сканирования посевов // *Таврический вестник аграрной науки*. 2019. № 3 (19). С. 64–76.
27. Гулянов Ю. А. Адаптация технологических приёмов возделывания озимой пшеницы в степных районах Южного Урала // *Агробиологические особенности и параметры моделей высокопродуктивных агроценозов полевых культур в засушливых условиях Южного Урала: сборник научных трудов*. Оренбург: Издательский центр Оренбургского государственного аграрного университета, 2006. С. 10–23.
28. Гулянов Ю. А. Совершенствование приёмов формирования высокопродуктивных агроценозов озимой пшеницы в степной зоне Южного Урала. Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Оренбург: Оренбургский государственный аграрный университет, 2007. С. 15–23.
29. Гулянов Ю. А. Пути повышения зимостойкости и сохранности к уборке озимой пшеницы в степи Южного Урала // *Земледелие*. 2005. № 6. С. 24–26.
30. Громова С. Н. Продуктивность и элементы структуры урожая у образцов озимой мягкой пшеницы // *Таврический вестник аграрной науки*. 2019. № 3(19). С. 57–63.
31. Гулянов Ю. А. Влияние регуляторов роста растений на реализацию ресурсного потенциала агроценозов озимой пшеницы в условиях Оренбургского Предуралья // *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2007. № 3 (66). С. 150–154.

References

1. Orenburg region in numbers, 2019. Official statistical publications of the Federal State Statistic Service. [Electronic resource]. Access point: http://orenstat.old.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/orenstat/ru/publications/official_publications/electronic_versions/ (reference's date 30.11.2019).
2. Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2018: P 32. Stat. coll. / Rosstat. M. 1162 s [Electronic resource]. Access point: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1138623506156 (reference's date 27.11.2019).
3. Khaliullin K. Z., Kiyekbaev T. I., Lukyanov S. A., Gainullin I. A. Adaptive technologies of cultivation grain crops in steppe agrolandscapes of Republic Bashkortostan// Achievements of Science and Technology of AIC. 2010. No. 1. P. 34–36.
4. Oznobikhina L. A. Accumulation and preservation of productive moisture in resource-saving technologies of cultivation of spring wheat in forest-steppe of Northern Trans-Ural// Bulletin of State Agrarian University of Northern Zauralye. 2016. No. 1(32). P. 78–84.
5. Bradley J. F. No-till technology. Cultivating the land with nature, not against it. [Electronic resource]. Access point: <http://po-teme.com.ua/raznoe/2409-tekhnologiya-no-till.html> (reference's date 27.01.2020).
6. Faulkner E. The madness of the farmer. Moscow: Selkhozizdat, 1959. 276 p. [Electronic resource]. Access point: <https://itexts.net/avtor-edvard-folkner/130198-bezumie-paharya-edvard-folkner.html> (reference's date 30.01.2020).
7. Montgomery D. R. Soil. Erosion of civilizations. Ankara: FAO Sub-regional office for Central Asia, 2015. 409 p. [Electronic resource]. Access point: <http://www.fao.org/3/a-i4603r.pdf> (reference's date 15.02.2020).
8. Blanco-Canqui H., Ruis S. J. No-tillage and soil physical environment // Geoderma. 2018. Vol. 326. P. 164–200.
9. Milyutkin V. A., Strebkov N. F., Soloviev S. A., Makarovskaya Z. V. Technical solutions for No-till and Strip-till seeding technologies // Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2014. No. 6 (50). P. 61–63.
10. Zhang S., Chen X., Jia S., Liang A., Zhang Y.S., Yang X., Wei S., Sun B., Huang D., Zhou G. The potential mechanism of long-term conservation tillage effects on maize yield in the black soil of Northeast China // Soil and Tillage Research. 2015. No. 154. P. 84–90.
11. He J., Li H., Rasaily R. G., Wang Q., Cai G., Su Y., Qiao X., Liu L. Soil properties and crop yields after 11 years of no tillage farming in wheat-maize cropping system in North China Plain // Soil and Tillage Research. 2011. Vol. 113. No. 1. P. 48–54.
12. Gozubuyuk Z., Sahin U., Ozturk I., Celik A., Cemal Adiguzel M. Tillage effects on certain physical and hydraulic properties of a loamy soil under a crop rotation in a semi-arid region with a cool climate // CATENA. 2014. No.118. P. 195–205.
13. Rusinamhodzi L., Corbeels M., Wijk M. V., Rufino M.C. A meta-analysis of long-term effects of maize grain yield under rain-fed conditions // Agronomy Sustainable Development. 2011. No. 31. P. 657–673.
14. Mupangwa W., Twomlow S., Walker S. S. Reduced tillage, mulching and rotational effects on maize (*Zea mays* L.), cowpea (*Vigna unguiculata* (Walp) L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. (Moench)) yields under semi-arid conditions // Field Crops Research. 2012. No. 132. P. 139–148.
15. Akhtar K., Wang W., Khan A., Ren G., Zaheer S., Sial T.A., Feng Y., Ren G. Straw mulching with fertilizer nitrogen: an approach for improving crop yield, soil nutrients and enzyme activities // Soil Use and Management. 2019. Vol. 35. P. 526–535.
16. Bzheumykhov V. S., Aliev Z. Y. No-till technology – garant of successful production of grain-wheated wheat under the conditions of the CBD// Proceedings of international scientific-practical conference “Socio-economic and environmental aspects of development in the Caspian sea region”. Elista: Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikov, 2019. P. 359–364.
17. Smirnov P. A., Vasiliev N. Yu., Spasov E. V. Results of practical studies of soil surface mulching with stern cultivators // Vestnik of Chuvash State Agricultural Academy. 2018. No. 1(4). P. 76–81.
18. Crovetto K. Zero tillage // Sustainable agriculture. 2009. No. 1 (2). P. 7–11.
19. Manzatto C. V., Freitas Junior E., Perez J. R. Uso agricola dos solos Brasileiros. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 174 p.
20. Derpsh R. The export of South America: stages of the direct sowing technology implementation // Resource-Saving Agriculture. 2008. No. 1. P. 6–9.
21. Bakirov F. G., Dolmatov A. P., Lyubchich V. A., Popov S. V., Kuramshin M. R., Balandina A. A. Moisture retention in resource-saving technologies of field crops growing in the South Urals// Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2015. No. 3(53). P. 168–171.
22. Dridiger V. K. The no-till technology and mistakes made during its mastering //Agricultural Journal. 2018. No. 1 (11). P. 14–23.
23. Kochmina E. O., Chekaev N. P. Moisture-saving efficiency of no-till technology in winter wheat cultivation //Volga Region Farmland (Niva Povolzhya). 2016. No. 1(38). P. 35–41.

24. Dospikhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.
25. Dospikhov B. A., Vasilev I. P., Tulikov A. M. Workshop on agriculture. Moscow: Agropromizdat, 1987. 383 p.
26. Gulyanov Yu. A. Monitoring of the phytometric indications using innovative crop scanning methods // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2019. No. 3(19). P. 64–76.
27. Gulyanov Yu. A. Adaptation of technological methods of winter wheat cultivation in the steppe regions of the southern Urals // Agrobiological features and parameters of models of highly productive agrocenoses of field crops in the arid conditions of the southern Urals: collection of scientific papers. Orenburg: Publishing center of the Orenburg State Agrarian University, 2006. P. 10–23
28. Gulyanov Yu. A. Improvement of methods for forming highly productive winter wheat agrocenoses in the steppe zone of the southern Urals. Author's abstract diss. ... Dr. Sc. (Agr.). Orenburg: Orenburg State Agrarian University, 2007. P. 15–23.
29. Gulyanov Yu. A. Ways to increase winter hardiness and safety for harvesting winter wheat in the steppe of the southern Urals // Zemledelie. 2005. No. 6. P. 24–26.
30. Gromova S. N. Productivity and yield structure elements in samples of soft winter wheat // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2019. No. 3(19). P. 57–63.
31. Gulyanov Yu. A. The Influence of plant growth regulators on realization of resource potential of winter wheat agrocoenosis at conditions of Orenburg Predural // Vestnik of the Orenburg State University. 2007. No. 3(66). P. 150–154.

UDC 574.42:631/635:502/504

Gulyanov Yu. A.

EFFICIENCY OF NATURE-LIKE WATER-SAVING METHODS IN LANDSCAPE-ADAPTIVE FARMING SYSTEMS OF STEPPE ZONE OF ORENBURG URALS

Summary. The development and improvement of water-saving agricultural practices in the farming systems of the steppe zone in the Russian Federation are necessary to increase the efficiency of field cultivation in the conditions of modern natural and anthropogenic environmental changes. The purpose of the research was to study the impact of various methods of soil preparation in fallow-crop rotation on phytometric characteristics, structure of winter wheat crops and grain yield. The studies were carried out in 2016–2019 on southern chernozems in the zone of dry steppes of the Orenburg Urals. The object of the research – production crops of winter soft wheat (*Triticum aestivum* L.) variety 'Povolzhskaya 86'. The crop was cultivated in a five-field grain-fallow crop rotation: fallow – winter wheat – spring wheat – chickpea – spring wheat. Planting date – third decade of August; seeding rate – 5.0 million seed /ha; four-fold replication. We studied three different methods of primary tillage: 23–25 cm plowing, 23–25 cm subsurface loosening, 5–7 cm shallow loosening. During the crop rotation, the crop residues were annually crushed and distributed over the surface of the field simultaneously with harvesting. It had been revealed that the most favourable conditions for yield formation are 5–7 cm shallow loosening, which ensures the crop density at the level of 93.0 % (466 pieces/m²); safety of plants for harvesting not less than 75 % (350 pieces/m²), which, in the conditions of the productive tillering capacity of 1.14 units, provides plant density for harvesting at the level of 400 pieces/m². The formation of the maximum grain yield in the experiment (2.83 t/ha) indicates a high moisture-saving efficiency of shallow loosening compared to other methods of tillage. Plowing and subsurface loosening contributed to lower yield formation (0.37–0.88 t/ha or 13.1–31.1 % less).

Keywords: steppe zone, landscape-adaptive farming systems, moisture-saving techniques, grain productivity, *Triticum aestivum* L., winter soft wheat.

Гулянов Юрий Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела степеведения и природопользования, Институт степи Уральского отделения Российской академии наук (ИС УрО РАН) – обособленное структурное подразделение ФГБУН Оренбургского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (ОФИЦ РАН); 460000, Россия, г. Оренбург, ул. Пионерская, 11; e-mail: iury.gulyanov@yandex.ru.

Gulyanov Yuriy Aleksandrovich, Dr. Sc. (Agr.), professor, leading researcher of the Department of steppe studying and environmental management, Institute of the Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences – a separate unit of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Orenburg Federal Research Center” of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 11, Pioneer str., Orenburg, 460000, Russia; e-mail: iury.gulyanov@yandex.ru

Дата поступления в редакцию – 20.04.2020.

Дата принятия к печати – 15.07.2020.