

АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕГО УРАЛА

П.А. Постников, кандидат сельскохозяйственных наук

Н.В. Масленина, научный сотрудник

О.В. Васина, младший научный сотрудник

Е.Л. Тиханская, младший научный сотрудник

Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

E-mail: postnikov.ural@mail.ru

Ключевые слова: темно-серая почва, предшественник, фон питания, продуктивная влага, минеральный азот, урожайность, корреляционный анализ.

Реферат. Исследования проведены в 2016–2020 гг. на темно-серой лесной почве в условиях Свердловской области в стационарном длительном опыте. Объектом наблюдений являлся яровой ячмень Сонет. Оценка агротехнологических приемов возделывания ярового ячменя проведена в двухфакторном опыте: фактор А – севообороты (предшественник); фактор В – фон питания. Установлено, что в слое 0–50 см в период посева обеспеченность почвенной влагой в среднем по предшественникам варьировала в интервале 64,4–80,3 мм. Внесение минеральных удобрений и их сочетаний с органическими в полевых севооборотах увеличило запасы продуктивной влаги на 7–10 мм. Наибольшее суммарное содержание нитратного и аммонийного азота отмечено в период всходов ячменя, систематическое использование удобрений обеспечило повышение количества минерального азота в пахотном слое на 6,3–14,3 м/кг по сравнению с контролем (11,5–12,8 мг). Обнаружена тесная положительная связь между содержанием влаги и минеральным азотом в слое 0–20 см в фазе всходов ячменя, коэффициент корреляции (r) равнялся 0,67. За ротацию севооборотов не выявлено заметной разницы между предшественниками по воздействию на урожайность ячменя, в контроле она варьировала на уровне 2,63–2,77 т/га, на удобренных фонах питания выявлено превышение сбора зерна на 0,2–0,47 т/га при размещении его второй культурой после чистого пара по отношению к занятому. В среднем по предшественникам применение удобрений обеспечило дополнительный сбор зерна на уровне 1,53–1,54 т/га по отношению к контролю (2,71 т/га). Органоминеральный фон питания по своему воздействию на продуктивность зернофуражной культуры не уступал минеральным удобрениям. Окупаемость 1 кг д.в. удобрений в зависимости от предшественника на минеральном фоне питания варьировала от 13,2 до 19,1 кг зерна, максимум отмечен в зернопаротравяном севообороте. При сочетании органических и минеральных удобрений отдача снизилась до 8,4–12,0 кг. Выявлена сильная корреляционная связь между урожайностью ячменя и содержанием минерального азота в пахотном слое, в среднем за вегетацию она составила $r = 0,97$.

AGROTECHNOLOGICAL EVALUATION OF SPRING BARLEY CULTIVATION IN THE CONDITIONS OF THE MIDDLE URALS

P.A. Postnikov, PhD in Agricultural Sciences

N.V. Maslenina, Researcher

O.V. Vasina, Junior Researcher

E.L. Tikhanskaya, Junior Researcher

Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

E-mail: postnikov.ural@mail.ru

Keywords: dark grey soil, predecessor, nutrient background, productive moisture, mineral nitrogen, productivity, correlation analysis.

Abstract. The studies were carried out in 2016–2020 on dark grey forest soil in the conditions of the Sverdlovsk region in a long-term stationary experiment. The object of observation was the spring barley Sonnet. The agrotechnological methods of spring barley cultivation were assessed in a two-factor experiment: factor A - crop rotations (precursor); factor B - food background. It was established that in the 0–50 cm layer during

the sowing period, soil moisture availability on average for the predecessors varied in the range of 64.4–80.3 mm. The introduction of mineral fertilisers and their combinations with organic fertilisers in field crop rotations increased the reserves of productive moisture by 7–10 mm. The highest total nitrate and ammonium nitrogen content was noted during barley germination. The systematic use of fertilisers increased mineral nitrogen in the arable layer by 6.3–14.3 mg/kg compared with the control (11.5–12.8 mg). A close positive relationship was found between the moisture content and mineral nitrogen in the 0–20 cm layer in the phase of barley seedlings. The correlation coefficient (r) was 0.67. During the crop rotation, there was no noticeable difference between the predecessors regarding the effect on the barley yield. In control, it varied at 2.63–2.77 t/ha. On fertilised nutrition backgrounds, an excess of grain harvest by 0.2–0.47 t/ha was revealed hectares when placing it as the second crop after the pure fallow to the occupied. On average, for predecessors, fertilisers provided an additional grain harvest at 1.53–1.54 t/ha compared to the control (2.71 t/ha). The organometal background of nutrition was not inferior to mineral fertilisers in terms of its impact on the productivity of grain forage crops—payback 1 kg a.i. Depending on the predecessor on the mineral background of nutrition, Fertilizers varied from 13.2 to 19.1 kg of grain. The maximum was noted in the grain-grass crop rotation. With a combination of organic and mineral fertilisers, the return decreased to 8.4–12.0 kg. A strong correlation was revealed between barley yield and mineral nitrogen content in the arable layer. On average, for the growing season, it was $r = 0.97$.

Увеличение производства зернофуражного зерна является важнейшей задачей растениеводства в XXI в. Резкое сокращение объемов применения минеральных и органических удобрений требует поиска новых путей для стабилизации урожая зерновых культур. Наиболее перспективным направлением в земледелии становится внедрение приемов биологизации в полевых севооборотах [1–3].

Для улучшения свойств пахотных земель при выращивании ярового ячменя и расширения набора хороших предшественников целесообразно в структуре посева сельскохозяйственных культур увеличение площадей под однолетними и многолетними бобовыми травами и сидеральными культурами [4–7]. Запашка зеленой массы бобовых культур и растений семейства капустных обеспечивает яровые зерновые легкодоступными питательными веществами, а после гороха и клевера остается значительное количество биологического азота [8–11]. Важно учитывать, что доступные формы азота, фосфора, калия, поступающие с сидератами, позволяют заметно сократить затраты на приобретение промышленных минеральных удобрений [12].

Систематическое применение соломы и сидератов в севооборотах способствует обогащению почвы органическим веществом, что усиливает ее микробиологическую активность, тем самым увеличивая содержание доступных элементов питания и гумуса в пахотном слое [13, 14].

Таким образом, путем подбора предшественников и определения сочетаний удобрений можно улучшить питательный режим почвы и добиться повышения урожайности зернофуражной культуры [15–17].

Цель работы – дать оценку воздействия предшественников и фонов питания на агро-

физические, агрохимические свойства темносерой лесной почвы и урожайность ярового ячменя в условиях Среднего Урала.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в 2016–2020 гг. в Уральском НИИСХ – филиале ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН в длительном стационарном опыте. Объектом исследований являлся яровой ячмень Сонет, районированный по Свердловской области с 2010 г. Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов.

1. Севообороты (фактор А): зернопаротравяной (чистый пар – озимая рожь – ячмень с подсевом клевера – клевер 1-го года пользования – пшеница); зернопаросидеральный без многолетних трав (сидеральный пар – пшеница – овес – горох – ячмень); зернотравяной, бобовые культуры 40 % (горох – пшеница с подсевом клевера – клевер 1-го года пользования – ячмень – овес); зернотравяной с насыщением многолетними бобовыми травами 20 % (однолетние травы, поукосно рапс – ячмень с подсевом клевера – клевер 1-го года пользования – пшеница – овес).

Культуры севооборотов на опытном участке размещены в пространстве и во времени в трехкратной повторности. В первом ярусе распределение полей систематическое, во втором и третьем – рендомизированное. Длина делянки при посеве сельскохозяйственных культур составляет 40 м, ширина – 3,90 м (156 м²). Для внесения удобрений делянка разделена на 2 субделянки (78 м²). Делянки без удобрений вынесены в отдельный блок.

2. Фон питания (фактор В): контроль; минеральный – N₃₀ P₃₀ K₃₆ в среднем на 1 га

севооборотной площади; органоминеральный – $N_{24}P_{24}K_{30}$ + навоз, сидераты, солома.

В зернопаротравяном севообороте на органоминеральном фоне питания вносили подстильный навоз 1 раз за ротацию в дозе 50 т/га; в зернопаросидеральном в паровом поле запахивали зеленую массу рапса, а также заделывали в почву солому гороха и ячменя; в зернотравяном (бобовые культуры 40 %) в качестве органических удобрений использовали отаву клевера и солому гороха, ячменя; в зернотравяном (многолетние бобовые травы 20 %) в качестве сидерата применяли поукосный рапс и запахивали солому пшеницы. Зеленые удобрения и солома были внесены из фактически сложившихся урожаев культур.

В качестве минерального удобрения использовали азофоску с врезанием в почву перед посевом сеялкой СН-16. Для выравнивания баланса калия 1 раз за ротацию дополнительно внесен хлористый калий из расчета K_{30} . Непосредственно под яровой ячмень вносили сложное удобрение в дозе $N_{30}P_{30}K_{30}$.

В опыте высевали районированный сорт ячменя Сонет, норма посева – 4,5 млн всхожих семян на 1 га. В зависимости от погодных условий сроки посева были в основном в пределах первой декады мая. Для снижения уровня засоренности в посевах ячменя в фазе кущения проводили фоновую обработку гербицидами Гербитокс – 1,0 л/га, Феноксал – 0,8 л/га с помощью ранцевого опрыскивателя.

Закладку опыта и наблюдения в летний период проводили по методике Б.А. Доспехова [18], а дисперсионный и корреляционный анализ результатов исследований осуществляли с помощью прикладных программ Microsoft Excel 2007.

Почва опытного участка – темно-серая лесная тяжелосуглинистая со следующей агрохимической характеристикой: содержание гумуса – 4,84–5,07 % (по Тюрину), легкогидролизуемого азота – 146–168 мг (по Корнфильду), подвижного фосфора – 206–236 и обменного калия – 132–178 мг/кг (по Кирсанову); рН солевой вытяжки – 4,97–5,09 (по методу ЦИНАО).

Стационарный опыт заложен в лесолуговой зоне Уральского региона. Климат резко-континентальный, с коротким летом. Продолжительность вегетационного периода с температурой выше 10°C в среднем составляет 124 дня, количество осадков – 263 мм. Гидротермический коэффициент (ГТК) за период с температурой выше 10°C равняется 1,64. В годы исследований погодные условия имели заметные отклонения по осадкам и среднесуточной температуре воздуха от среднесезонных

норм. В 2016, 2020 гг. отмечен существенный недобор атмосферных осадков в отдельные периоды вегетации растений, гидротермический коэффициент составил 0,77–0,84. В 2017 г. наблюдались умеренно влажные условия в начале лета, во второй половине – избыток осадков. За период от всходов до полной спелости зерна ГТК был на уровне 2,0. В первой половине вегетации ячменя в 2018–2019 гг. отмечены слабозасушливые условия, для периода налива и вызревания зерна характерно избыточное увлажнение. В среднем с 2016 по 2020 г. за вегетационный период ячменя гидротермический коэффициент равнялся 1,50–1,57.

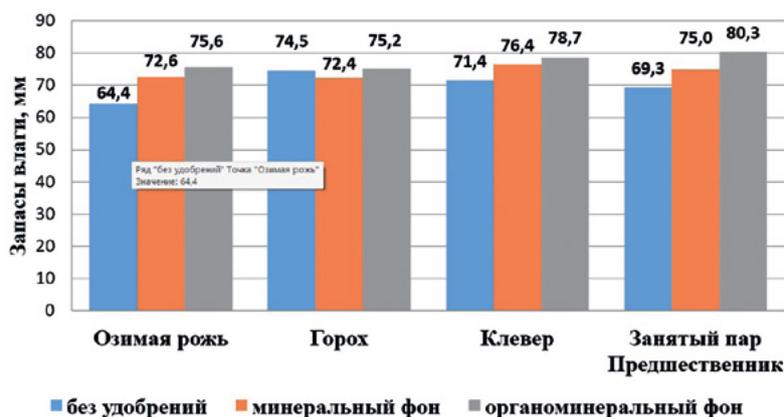
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наличие влаги в почвенном профиле является одним из важнейших факторов, определяющих рост и развитие растений в течение вегетационного периода. Наблюдения за годы исследований показали, что величина запасов продуктивной влаги в темно-серой почве в весенний период зависит от многих условий: увлажненности предыдущего года, зимних осадков, фона питания и т.д. Максимальное содержание почвенной влаги в слое 0–50 см в период посева ячменя отмечено в 2016 г. после избыточного увлажнения в послеуборочный период 2015 г. независимо от предшествующих культур. Количество доступной воды варьировало на уровне 78–80 мм, что соответствовало средней увлажненности. Близкие показатели по запасам влаги выявлены в весенний период в 2018–2019 гг. В то же время после засушливого предыдущего года в 2017 г. запасы доступной воды в почвенном профиле в контроле и на минеральном фоне питания составили всего 65–68 мм, что свидетельствует об удовлетворительной увлажненности. При сочетании минеральных и органических удобрений после клевера и занятого пара (однолетние травы, поукосно рапс) они превышали 70 мм. Подобные тенденции выявлены весной 2020 г.

Усредненные данные по запасам продуктивной влаги в слое 0–50 см показали, что в контрольном варианте доступность воды выше в зернопаросидеральном севообороте после гороха, а наименьшая – в зернопаротравяном после озимой ржи (рисунок). Другие предшественники ячменя по увлажненности почвенного профиля занимали промежуточное положение. При систематическом применении минеральных удобрений возросло поступление растительных остатков в севооборотах, что положительно отразилось на накоплении влаги

в слое 0–50 см. По отношению к контролю на минеральном фоне питания запасы продуктивной влаги достоверно возросли на 5,0–8,2 мм ($НСР_{05}=3,93$), за исключением гороха в зернопаросидеральном севообороте. Сглаживание разницы между фонами питания в данном варианте связано в основном с заделкой зеленой массы рапса в паровом поле и небольшой разницей в урожаях гороха в зависимости от системы удобрения.

Применение навоза, сидератов и соломы в сочетании с минеральными удобрениями способствовало дальнейшему увеличению увлажненности почвенного профиля по отношению к естественному фону плодородия, разница в накоплении составила 7,4–11,2 мм. По сравнению с минеральным фоном питания достоверная разница по обеспеченности почвенной влагой обнаружена после занятого пара при наименьшей существенной разнице, равной $НСР_{05}=3,93$ мм.



Запасы продуктивной влаги в слое 0–50 см в период посева ячменя (2016–2020 гг.)
Productive moisture reserves in the 0–50 cm layer during the barley sowing period (2016–2020)

В процессе вегетации ярового ячменя обнаружена значительная вариабельность содержания почвенной влаги в слое 0–20 см. В период посева ячменя содержание продуктивной влаги в среднем по предшественникам было в пределах от 27,9 до 33 мм. Заметной разницы в накоплении доступной воды между предшественниками не установлено. Достоверное увеличение обеспеченности влагой выявлено только между контрольным вариантом и органоминеральным фоном питания при $НСР_{05}=1,72$.

Наличие влаги в пахотном слое по межфазным периодам ячменя во многом зависело от потребления воды растениями и гидротермических условий вегетации. В период от посева до полных всходов при прогревании воздуха и почвы происходило заметное испарение влаги из-за открытой поверхности участка. В результате к моменту появления всходов в среднем по предшественникам, независимо от фона питания, потери влаги от испарения из слоя 0–20 см составили 5,9–6,7 мм (табл. 1).

Таблица 1
Содержание продуктивной влаги в слое 0–20 см по основным фазам развития ячменя (2016–2020 гг.), мм
Productive moisture content in the 0–20 cm layer according to the main phases of barley development (2016–2020), mm

Предшественник (фактор А)	Фон питания (фактор В)	Фаза развития				Среднее за вегетацию
		всходы	выход в трубку	колошение	полная спелость	
1	2	3	4	5	6	7
Озимая рожь	1	21,5	17,6	21,1	7,13	16,8
	2	23,7	16,6	22,2	8,31	17,7
	3	26,5	19,8	24,1	9,26	19,9
Горох	1	22,3	17,4	20,4	9,26	17,3
	2	22,3	17,1	20,5	7,85	16,9
	3	26,7	20,8	24,7	11,4	20,9

1	2	3	4	5	6	7
Клевер 1-го года пользования	1	22,2	17,0	21,2	7,36	16,9
	2	24,3	18,3	21,1	7,75	17,9
	3	27,8	21,9	24,3	8,11	20,5
Однолетние травы, поукосно рапс	1	21,2	16,5	23,1	8,45	17,3
	2	23,1	17,8	22,6	9,24	18,2
	3	27,5	20,7	25,9	10,0	21,0
Среднее	1	21,8	17,1	21,4	8,05	17,1
	2	23,3	17,4	21,6	8,29	17,6
	3	27,1	20,8	24,8	9,69	20,6
НСР ₀₅ фактор А	–	2,14	2,56	2,17	1,25	–
НСР ₀₅ фактор В	–	1,85	2,11	1,88	1,08	–

К концу периода «посев – всходы» разница по запасам влаги между контролем и минеральным фоном сглаживалась, достоверные различия отмечены только по озимой ржи и клеверу. В последующие фазы развития ячменя в среднем по предшественникам разница между ними исчезла. При сочетании минеральных и органических удобрений запасы доступной воды в пахотном слое были выше на 4,4–6,2 мм по отношению к другим фонам питания. Данная закономерность по органоминеральному фону питания отмечена и в другие межфазные периоды зернофуражной культуры.

К моменту выхода в трубку ячменя при формировании его биомассы увеличился расход воды на транспирацию, в результате запасы влаги в пахотном слое в 2019–2020 гг. снизились до 4,0–13,5 мм. В 2017 г. из-за обильных осадков в первой половине июня обеспеченность доступной влагой на удобренных фонах питания возросла до 28–42 мм, максимум отмечен при запашке сидератов и соломы в севооборотах. Несмотря на изменчивость выпадения осадков по годам, в среднем по предшественникам ячменя выявлена тенденция к снижению запасов продуктивной влаги на 4,7–6,3 мм по сравнению с предыдущим межфазным периодом.

В период колошения из-за ливневых осадков в третьей декаде июня и в начале июля в 2017–2018 гг. обеспеченность пахотного слоя влагой возросла до 30–43 мм, а в 2016 г. запасы воды не превышали 7–11 мм. В среднем за годы исследований увеличение количества осадков в данный межфазный период привело к восполнению расхода воды на транспирацию и испарение из почвы по сравнению с фазой выхода в трубку.

К моменту уборки зернофуражной культуры доступность почвенной влаги во многом зависела от гидротермических условий июля. В

2016 г. запасы продуктивной влаги, независимо от предшественника и фона питания, не превышали 0,7–3,4 мм, а в 2020 г. влажность в пахотном слое была ниже коэффициента завядания. В 2019 г. обеспеченность доступной влагой в фазе полной спелости зерна варьировала на уровне 15–21 мм. Вариабельность запасов влаги по годам исследований существенно влияла на длительность периода колошения – полной спелости зерна ячменя. Усредненные запасы влаги за вегетацию были на уровне 17,1–20,6 мм, т.е. близки к нижней границе удовлетворительной увлажненности, что позволило получить достаточно высокие урожаи зернофуражных культур в большинстве лет исследований.

Одним из факторов, определяющих величину урожаев яровых зерновых культур, является обеспеченность минеральным азотом в течение вегетации растений [19, 20]. В среднем за 2016–2020 гг. максимальное суммарное содержание нитратного и аммонийного азота выявлено в фазу полных всходов (табл. 2). На естественном фоне плодородия достоверных различий между предшественниками не обнаружено. Систематическое применение удобрений в севооборотах способствовало увеличению запасов $N-NO_3 + N-NH_4$ в пахотном слое 0–20 см на 6,9–14,3 мг/кг, или в 1,6–2,3 раза по отношению к контрольному варианту. Из всех лет наблюдений минимальное количество минеральных форм азота, особенно на удобренных фонах питания, обнаружено в засушливых условиях 2016 г., максимальное – в 2017 г. Можно отметить, что по усредненным данным органоминеральный фон питания практически не уступал минеральному в отношении обеспеченности доступным азотом в пахотном слое темно-серой почвы. При умеренно влажных условиях 2017 г. выявлено достоверное преимущество данного варианта по предшествен-

никам гороху и клеверу, при других условиях увлажнения наблюдалась обратная картина.

При нарастании надземной биомассы ярового ячменя идет интенсивное потребление доступного азота из почвы, в результате в фазе выхода в трубку суммарное содержание минеральных форм азота в контроле снизилось на 4,50–6,37 мг, при применении удобрений – на 6,9–14,1 мг/кг по отношению к предыдущей фазе. Все отмеченные тенденции доступности минерального азота в предыдущий период сохранились. Аналогичные закономерности выявлены в фазе колошения, а именно, количество нитратного и аммонийного азота сни-

зилось при применении удобрений в зависимости от предшественника и фона питания по сравнению с предыдущим периодом на 1,9–4,3 мг. В то же время на естественном фоне плодородия обеспеченность минеральным азотом сохранилась практически на прежнем уровне.

Корреляционный анализ показал, что между наличием доступной влаги и содержанием минерального азота в фазе полных всходов существует прямая положительная связь, коэффициент корреляции (r) равнялся 0,67. В последующие фазы развития ячменя он снижался с 0,4 до 0,3. В среднем за вегетацию ячменя $r = 0,54$.

Таблица 2

Суммарное содержание минерального азота ($N-NO_3 + N-NH_4$) в пахотном слое темно-серой почвы (2016–2020 гг.), мг/кг

The total content of mineral nitrogen ($N-NO_3 + N-NH_4$) in the arable layer of dark grey soil (2016–2020), mg/kg

Предшественник (фактор А)	Фон питания (фактор В)	Фаза развития			Среднее за вегетацию
		всходы	выход в трубку	колошение	
Озимая рожь	1	12,8	6,43	6,35	8,53
	2	23,6	16,0	14,0	17,9
	3	23,1	14,6	11,3	16,3
Горох	1	12,1	6,33	6,69	8,37
	2	22,5	15,6	12,3	16,8
	3	22,7	12,9	11,0	15,5
Клевер 1-го года пользования	1	12,2	6,80	7,05	8,68
	2	22,8	14,7	10,4	16,0
	3	19,5	14,2	10,5	14,7
Однолетние травы, поукосно рапс	1	11,5	7,00	6,49	8,33
	2	23,9	11,7	9,70	15,1
	3	26,8	12,7	10,2	16,6
Среднее	1	12,2	6,64	6,64	8,48
	2	23,2	14,5	11,6	16,4
	3	23,0	13,6	10,8	15,8
НСР ₀₅ фактор А	–	4,77	2,70	2,83	–
НСР ₀₅ фактор В	–	4,13	2,34	2,45	–

Гидротермические условия в годы исследований оказали заметное влияние на уровень продуктивности зернофуражной культуры в севооборотах. Из всех лет наблюдений максимальные урожаи ячменя получены в 2017 г., а минимальные – в 2016 г. (табл. 3). В 2016 г. при ГТК, равном 0,63, сбор зерна ячменя на удобренных фонах питания в большинстве вариантов не превышал 3,00 т/га. Такой уровень урожайности зернофуражной культуры, несмотря на засушливые условия, стал возможным за счет средней увлажненности почвы в весенний период в слое 0–50 см.

Недостаток атмосферных осадков в междоузельный период «всходы – колошение» оказал

депрессивное воздействие на морфофизиологическое развитие ячменя: уменьшение количества колосков, длины колоса, завязываемости семян и т.д. [21, 22]. В отличие от южных областей Уральского региона [23], на Среднем Урале засухи носят кратковременный характер. В 2020 г. в период формирования и налива зерна гидротермический коэффициент равнялся 0,37, при этом урожайность ячменя по пласту клевера достигала 4,0 т/га и выше. Засушливые условия июля заметно ускорили созревание зерна и оказали негативное воздействие, главным образом на массу 1000 зерен.

Урожайность ячменя в зависимости от предшественника и фона питания, т/га
Barley yield dependnutritional background, t/ha

Предшественник (фактор А)	Фон питания (фактор В)	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	Среднее
Озимая рожь	1	2,12	3,40	2,90	2,87	1,88	2,63
	2	2,95	5,67	4,85	4,62	3,68	4,35
	3	3,07	5,87	4,97	4,52	3,90	4,47
Горох	1	1,86	3,88	3,33	2,91	1,77	2,75
	2	3,06	4,74	5,03	4,42	3,87	4,22
	3	3,14	4,88	4,95	4,48	3,72	4,23
Клевер 1-го года пользования	1	2,09	3,91	2,92	2,55	2,04	2,70
	2	2,55	5,72	4,40	4,65	4,07	4,27
	3	2,47	5,58	4,48	4,84	4,02	4,28
Однолетние травы, поукосно рапс	1	2,19	3,65	3,03	2,97	2,02	2,77
	2	2,99	5,32	4,26	4,83	3,27	4,13
	3	2,72	5,40	4,12	4,58	3,20	4,00
Среднее	1	2,06	3,71	3,04	2,82	1,94	2,71
	2	2,89	5,36	4,64	4,63	3,72	4,25
	3	2,85	5,43	4,63	4,60	3,71	4,24
НСР ₀₅ фактор А	–	0,23	0,41	0,37	0,44	0,31	–
НСР ₀₅ фактор В	–	0,20	0,35	0,32	0,38	0,27	–

В 2017 г. равномерное распределение осадков и умеренные температуры в течение вегетации растений обеспечили максимальную урожайность зернофуражной культуры, сбор зерна в контроле варьировал на уровне 3,40–3,91 т/га, а при внесении минеральных удобрений и их сочетаний с органическими он составил 4,74–5,87 т/га. Во влажные годы (2018-й, 2019-й) отмечено снижение урожая ячменя, в среднем по предшественникам в контроле сбор зерна снизился на 0,67 т/га, или на 18 %, на удобренных фонах питания – на 0,72–0,81 т/га, или на 13–15 %.

Оценивая воздействие предшественников на урожайность ячменя, можно сказать, что за годы исследований при применении удобрений максимальный выход зерна получен в зернопаротравяном севообороте при его размещении второй культурой после чистого пара, а минимальный – по однолетним травам, поукосно яровой рапс. В среднем за 2016–2020 гг., независимо от предшествующей культуры, на естественном фоне плодородия заметной разницы между вариантами не выявлено. Интересно отметить, что при распашке многолетней бобовой травы не выявлено ее преимущества в качестве предшественника по отношению к другим, за исключением занятого пара. На наш взгляд, это связано с тем, что растительные остатки клевера разлагаются медленнее, а ячмень об-

ладает коротким периодом потребления основных элементов питания.

Яровой ячмень хорошо отзывается на внесение удобрений. Максимальная отдача от применения минеральных удобрений и их сочетания с подстилочным навозом получена в зернопаротравяном севообороте – на уровне 1,72–1,84 т/га, а минимальная – при размещении по однолетним травам, поукосно рапс (от 1,33 до 1,36 т/га). В среднем по предшественникам в острозасушливый год (2016-й) прибавки зерна зернофуражной культуры были в пределах 0,79–0,83 т/га, при умеренной и избыточной увлажненности соответственно 1,63–1,72 и 1,68–1,70 т/га. Слабозасушливые условия в 2020 г. не оказали отрицательного воздействия на эффективность внесенных удобрений, дополнительный сбор зерна по отношению к контролю составил 1,77–1,78 т/га. В целом можно констатировать, что органоминеральный фон питания по воздействию на урожайность ярового ячменя не уступал минеральному.

В среднем за годы исследований окупаемость 1 кг д.в. удобрений в зависимости от предшественника на минеральном фоне питания варьировала от 13,2 до 19,1 кг зерна, максимальная отмечена в зернопаротравяном севообороте. При сочетании органических и минеральных удобрений отдача снизилась до

8,4–12,0, минимальной она была при размещении ячменя по занятому пару.

Корреляционный анализ показал, что существует тесная положительная связь между запасами влаги в фазе полных всходов и урожайностью ярового ячменя, коэффициент корреляции (r) равнялся 0,69. В дальнейшем в другие межфазные периоды она ослабевала до 0,45–0,52. В целом за вегетацию ячменя $r = 0,59$. Наиболее сильная взаимосвязь установлена между содержанием доступных форм минерального азота в слое 0–20 см и сбором зерна зернофуражной культуры, коэффициенты корреляции, независимо от вида предшественника и фона питания, варьировали в интервале от 0,93 до 0,97.

ВЫВОДЫ

1. Обеспеченность продуктивной влагой в слое 0–50 см в среднем за годы исследований в период посева варьировала на уровне 64,4–80,3 мм, что соответствовало в варианте без удобрений удовлетворительной увлажненности почвенного профиля, а при применении минеральных и органических удобрений – средней. По отношению к контролю на минеральном фоне питания запасы продуктивной влаги достоверно возросли на 5,0–8,2 мм, за исключением гороха в зернопаросидеральном севообороте. Данная закономерность обнаружена и на органоминеральном фоне питания.

2. В период посева ячменя содержание продуктивной влаги в слое 0–20 см в среднем по предшественникам было в пределах от 27,9 до 33 мм. Заметной разницы в накоплении доступной влаги между предшественниками не установлено. Аналогичная тенденция сохранилась в течение всей вегетации растений. В среднем за годы наблюдений по наличию влаги в пахотном слое не обнаружено существенных различий между естественным фоном плодородия и применением минеральных удобрений по всем изучаемым предшественникам. Использование минеральных удобрений в со-

четании с органическими увеличило запасы почвенной влаги в зависимости от межфазных периодов ячменя на 3,4–5,3 мм по отношению к контролю. В фазе полной спелости зерна воздействие фонов питания на режим влажности практически сглаживалось.

3. Максимальное содержание доступных форм азота в слое 0–20 см обнаружено в период всходов ячменя, в дальнейшем по мере потребления растениями и ухудшения гидро-термических условий его доступность снижалась. Систематическое применение удобрений в севооборотах способствовало увеличению запасов $N-NO_3 + N-NH_4$ в пахотном слое на 6,9–14,3 мг/кг, или в 1,6–2,3 раза по отношению к контрольному варианту. Между наличием доступной влаги и содержанием минерального азота в фазе полных всходов выявлена прямая положительная связь, коэффициент корреляции (r) равнялся 0,67. В последующие фазы развития ячменя он снижался с 0,4 до 0,3.

4. Независимо от фона питания не установлено заметных различий между предшественниками по воздействию на урожайность ячменя, за исключением варианта с размещением ячменя второй культурой после чистого пара по отношению к занятому на удобренных фонах питания. Максимальная отдача от применения минеральных удобрений и их сочетания с подстилочным навозом получена в зернопаротравяном севообороте – на уровне 1,72–1,84 т/га (урожайность в контроле – 2,63 т/га, а минимальная – при размещении по однолетним травам, поукосно рапс – в интервале от 1,33 до 1,36 т/га (в контроле – 2,77 т/га). В среднем за годы исследований окупаемость 1 кг д.в. удобрений в зависимости от предшественника на минеральном фоне питания варьировала от 13,2 до 19,1 кг зерна, при сочетании органических и минеральных удобрений отдача снизилась до 8,4–12,0 кг.

Исследования выполнены в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования по теме № FNUW–2022–0002

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ахметзянов М.Р., Таланов И.П. Пути повышения почвенного плодородия серых лесных почв Среднего Поволжья. – Казань, 2020. – 188 с. EDN: DVHKBM.
2. *Biological activity of soil and rates of decomposition of plant residues* M.A. Nesmeyanova, S.I. Korzhov, A.V. Dedov [et al.] // *International Transaction Journal of Engineering, Management and Applied Sciences and Technologies*. – 2020. – Т. 11, N 14. – P. 11A14M. EDN. – ZFIIWE.
3. Семинченко Е.В. Влияние предшественников и приемов биологизации на продуктивность севооборотов в условиях Нижнего Поволжья // *Земледелие*. – 2021. – № 1. – С. 7–10. – EDN: FAAPPN.

4. Кудряшова Н.И., Булахтина Г.К., Кудряшов А.В. Многолетние бобово-злаковые смеси как предшественники для ярового ячменя // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2021. – № 1 (61). – С. 152–161. – EDN: UTGLVZ.
5. Влияние многолетнего внесения соломы и зеленого удобрения на урожайность зерновых культур в зернопаровом севообороте / И.Б. Сорокин, Н.Ю. Николаева, Е.А. Валетова, Ю.В. Чудинова // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2021. – № 3 (60). – С. 65–72. – EDN: DNYUWH.
6. Design and multicriteria assessment of low-input cropping systems based on plant diversification in southwestern France / С. Bonnet, N. Gaudio, L. Alletto [et al.] // Agronomy for Sustainable Development. – 2021. – Vol. 41. – P. 65. – URL: <https://link.springer.com/article>.
7. Чулков В.А., Чапалда Т.Л. Оценка влияния сидератов на биологические свойства чернозема оподзоленного в звене полевого севооборота // Аграрный вестник Урала. – 2021. – № 4 (207). – С. 55–63. – EDN: QTQHMZ.
8. Влияние биологической интенсификации на баланс элементов питания дерново-подзолистых почв в полевых севооборотах / Л.М. Козлова, Ф.А. Попов, Е.Н. Носкова, Е.В. Светлакова // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2022. – Т. 23, № 4. С. – 527–537. – EDN: NBJIM.
9. Урожайность культур, вынос и баланс элементов питания в зернотравяном севообороте / П.А. Постников, В.В. Попова, Е.Ф. Данько, О.В. Васина // Плодородие. – 2022. – № 3. – С. 16–19. – EDN: URSFJD.
10. Brankatschk G., Finkbeiner V. Grop rotations and crop residues are relevant parameters for agricultural carbon footprints // Agronomy for Sustainable Development. – 2017. – Vol. 37. – P. 58. – URL: <https://link.springer.com/article>.
11. Crop rotation effects on yield, technological quality and yield stability of sugar beet after 45 trial years / P. Götze, L. Rücknagel, M. Wensch-Dorendorf [et al.] // European Journal of Agronomy. – 2017. – Vol. 82. – P. 50–59.
12. Дмитриев Н.И. Агроэкономическая эффективность плодосменных севооборотов с сидерацией и фитомелиорацией // Вестник ИрГЦХА. – 2020. – № 101. – С. 14–22. – EDN: SPBKEG.
13. Колобков Е.В., Постников П.А. Микробиологическая активность почвы как фактор оценки биологизированных севооборотов // Аграрный вестник Урала. – 2012. – № 2. – С. 4–6. – EDN: PALUWB.
14. Юмашев Х.С., Захарова И.А. Микробиологическая активность выщелоченного чернозема при различных способах утилизации соломы // Плодородие. – 2018. – № 2 (101). – С. 33–35. EDN: RTWKZH
15. Митрофанов Д.В., Ткачева Т.А. Воздействие агрометеорологических условий, минеральных удобрений, предшественников и влажности почвы на урожайность зерна ярового ячменя в степной зоне Южного Урала // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2021. – № 4 (64). – С. 57–64. – EDN: WZOHMM.
16. Seminchenko E., Solonkin A. Influence of predecessor crops on the yield of spring barley under the protection of forest belt // Research on Crops. – 2022. – Т. 23, № 1. – С. 40–45. – EDN: FKUCXO.
17. Бортник Т.Ю., Клековкин К.С., Карпова А.Ю. Продуктивность звена «ячмень + клевер – клевер 1 и 2 года пользования» при возделывании по последствию различных систем удобрения // Пермский аграрный вестник. – 2022. – № 2 (38). – С. 57–64. – EDN: AVWTPR.
18. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с. – EDN: ZJQBUD.
19. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах. – Новосибирск: РАСХН. Сиб. отд-ние, 2013. – 790 с. – EDN: SZYUED.

20. Галеева Л.П. Азотный режим черноземов выщелоченных Новосибирского Приобья при внесении минеральных удобрений в зерновом севообороте // Вестник НГАУ. – 2020. – № 3 (56). – С.18–28. – EDN: NMBJLR.
21. Засухоустойчивость сортов ярового ячменя в условиях Предкамья Республики Татарстан / В.И. Блохин, И.Ю. Никифорова, И.С. Ганиева [и др.] // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 3 (71). – С. 4–7. – EDN: FAIBSQ.
22. Митрофанов Д.В. Влияние ключевых факторов и почвенных процессов на продуктивность ячменя в севооборотах на чернозёмах Предуралья // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 1 (57). – С. 46–53. – EDN: PBQTJI.
23. Особенности погодных условий и урожайности полевых культур в степной зоне Оренбургской области / Н.А. Максютов, А.А. Зоров, В.Ю. Скороходов [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 1 (87). – С. 24–29. – EDN: KYEZPA.

REFERENCES

1. Akhmetzyanov M.R., Talanov I.P., *Puti povysheniya pochvennogo plodorodiya seryh lesnyh pochv Srednego Povolzh'ya* (Ways to increase soil fertility of gray forest soils of the Middle Volga region), Kazan, 2020, 188 p., EDN: DVHKBM.
2. Nesmeyanova M.A., Korzhov S.I., Dedov A.V., Trofimova T.A., Korotkih E.V., Biological activity of soil and rates of decomposition of plant residues, *International Transaction Journal of Engineering, Management, and Applied Sciences and Technologies*, 2020, Vol. 11, No. 14, pp. 11A14M, EDN: ZFIIWE.
3. Seminchenko E.V., *Zemledelie*, 2021, No. 1, pp. 7–10. (In Russ.), EDN: FAAPPH.
4. Kudryashova N.I., Bulahktina G.K., Kudryashov A.V., *Izvestiya Nizhnevolzhskogo Agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2021, No. 1 (61), pp. 152–161. (In Russ.), EDN: UTGLVZ.
5. Sorokin I.B., Nikolaeva N.Yu., Valetova E.A., Chudinova Yu.V., *Vestnik NGAU*, 2021, No. 3 (60), pp. 65–72. (In Russ.), EDN: DNYYYWH.
6. Bonnet C., Gaudio N., Alletto L. [et al.], Design and multicriteria assessment of low-input cropping systems based on plant diversification in southwestern France, *Agronomy for Sustainable Development*, 2021, Vol. 41, pp. 65, URL: <https://link.springer.com/article>.
7. Chulkov V.A., Chapalda T.L., *Agrarnyj vestnik Urala*, 2021, No. 4 (207), pp. 55–63. (In Russ.), EDN: QTQHMZ.
8. Kozlova L.M., Popov F.A., Noskova E.N., Svetlakova E.V., *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2022, Vol. 23, No. 4, pp. 527–537. (In Russ.), EDN: NBIIIM.
9. Postnikov P.A., Popova V.V., Dan'ko E.F., Vasina O.V., *Plodorodie*, 2022, No. 3, pp. 16–19. (In Russ.), EDN: URSFJD.
10. Brankatschk G., Finkbeiner V., Grop rotations and crop residues are relevant parameters for agricultural carbon footprints, *Agronomy for Sustainable Development*, 2017, Vol. 37, No. 58, URL: <https://link.springer.com/article>.
11. Götze P., Rücknagel L., Wensch-Dorendorf M. [et al.], Crop rotation effects on yield, technological quality and yield stability of sugar beet after 45 trial years, *European Journal of Agronomy*, 2017, Vol. 82, pp. 50–59.
12. Dmitriev N.I., *Vestnik IrGSKHA*, 2020, No. 101, pp 14–22. (In Russ.), EDN: SPBKEG.
13. Kolobkov E.V., Postnikov P.A., *Agrarnyj vestnik Urala*, 2012. No. 2, pp. 4–6. (In Russ.), EDN: PALUWB.
14. Yumashev X.S., Zakharova I.A., *Plodorodie*, 2018, No. 2 (101), pp. 33–35. (In Russ.), EDN: RTWKZH.
15. Mitrofanov D.V., Tkacheva T.A., *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2021, No. 4 (64), pp. 57–64. (In Russ.), EDN: WZOHMM.
16. Seminchenko E., Solonkin A., Influence of predecessor crops on the yield of spring barley under the protection of forest belt, *Research on Crops*, 2022, Vol. 23, No. 1, pp. 40–45, EDN: FKUCXO.

17. Bortnik T.Yu., Klekovkin K.S., Karpova A.Yu., *Permskij agrarnyj vestnik*, 2022, No. 2 (38), pp. 57–64. (In Russ.), EDN: AVWTPT.
18. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij)* (Field experience methodology (with the basics of statistical processing of study results)), Moscow: Agropromizdat, 1985, 351 p., EDN: ZJQBUD.
19. Gamzikov G.P., *Agrohimiya azota v agrocenozah.* (Agrochemistry of nitrogen in agrocenoses), Novosibirsk: RASKHN, Sib. otd-nie, 2013, p. 790, EDN: SZYUED.
20. Galeeva L.P., *Vestnik NGAU*, 2020, No. 3 (56), pp. 18–28. (In Russ.), EDN: NMBJLR.
21. Blokhin V.I., Nikiforov I.Yu., Ganieva I.S. [i dr.], *Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii*, 2022, No. 3 (71), pp. 4–7. (In Russ.), EDN: FAIBSQ.
22. Mitrofanov D.V., *Vestnik Ul'yanovskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii*, 2022, No.1 (57), pp. 46–53. (In Russ.), EDN: PBQTJI.
23. Maksyutov N.A., Zorov A.A., Skorokhodov V.Yu [i dr.], *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2021, No. 1 (87), pp. 24–29. (In Russ.), EDN: KYEZPA.