

Продуктивность зернопаровых севооборотов в зависимости от содержания подвижных форм питательных веществ на чернозёмах южных Оренбургского Зауралья*

Дмитрий Владимирович Митрофанов¹, Татьяна Александровна Ткачёва²

¹ Федеральное научное учреждение биологических систем и агротехнологий РАН

² Оренбургский государственный университет

Аннотация. В статье приведены результаты изучения содержания питательных веществ в почве, продуктивности полевых культур и зернопаровых севооборотов на многолетнем опытном участке Оренбургского Зауралья. Представлен анализ данных по содержанию нитратов, подвижного фосфора, обменного калия и выходу зерна. Результаты исследования показали, что на склоновых почвах, подверженных водной и ветровой эрозии, наблюдается снижение содержания макроэлементов питания, выхода зерна сельскохозяйственных культур и севооборотов на различных частях склона. Это явление явилось предпосылкой для изучения подвижных форм питательных веществ и их влияния на урожайность культур в зернопаровых севооборотах на территории опытного стационара. Основная цель научного исследования заключается в выявлении частей склона и культур, которые способны увеличить урожайность в зависимости от содержания почвенных элементов питания. Применяемые методы исследования (полевой, ионометрический, Мачигина) позволили получить новые оригинальные данные по изучаемым вариантам и построить математическую модель зависимости. В результате полевых опытов и лабораторных анализов установлено, что наибольшая урожайность отмечается в посевах ячменя при биологическом учёте 1,56 т и фактическом – 1,27 т с 1 га. На нижней части склона такой результат достигнут на основании взаимосвязи изучаемых факторов, и доля их влияния на максимальный урожай ячменя составила (NO_3^-) 30,63; (P_2O_5) 28,65 и (K_2O) 39,52 %. В результате множественного регрессионного анализа установлено, что повышение биологической урожайности ячменя в фазе колошения зависит от питательного режима почвы. Проведённый эксперимент имеет важное значение в области агрохимии, контурно-ландшафтного земледелия и сельского хозяйства в целом.

Ключевые слова: зерновой севооборот, чернозёмы южные, нитраты, подвижный фосфор, обменный калий, выход зерна, часть склона.

Для цитирования: Митрофанов Д.В., Ткачёва Т.А. Продуктивность зернопаровых севооборотов в зависимости от содержания подвижных форм питательных веществ на чернозёмах южных Оренбургского Зауралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 2 (88). С. 9–14. doi: 10.37670/2073-0853-2021-88-2-9-14.

Original article

Productivity of soil-protective crop rotations depending on the content of mobile forms of nutrients in the southern chernozems of the Orenburg Trans-Urals

Dmitry V. Mitrofanov¹, Tatiana A. Tkacheva²

¹ Federal Research Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences

² Orenburg State University

Abstract. The article presents the results on the content of nutrients in the soil, the productivity of field crops and grain-pair crop rotations on a long-term experimental site of the Orenburg Trans-Urals. The manuscript presents an analysis of data on the content of nitrates, mobile phosphorus, exchangeable potassium, and grain yield. On slope soils exposed to water and wind erosion, there is a decrease in the content of macronutrients of nutrition, grain yield of agricultural crops and crop rotations on various parts of the slope. This phenomenon was a prerequisite for the study of mobile forms of nutrients and their impact on crop productivity in grain-pair crop rotations on the territory of the experimental hospital. The main purpose of the scientific research is to identify the parts of the slope and crops that can increase the yield depending on the content of soil nutrients. The applied research methods (field, ionometric, Machigina) allowed us to obtain new original data on the studied variants and build a mathematical model of the dependence. As a result of field experiments and laboratory analyses, it was found that the highest yield was observed in the twelfth variant of the experiment in sowing barley with biological accounting of 1.56 tons and actual – 1.27 tons per 1 ha. On the lower part of the slope, this result was achieved based on the relationship of the studied factors and the share of their influence on the maximum yield of barley was (NO_3^-) 30.63, (P_2O_5) 28.65 and (K_2O) 39.52 %. As a result of multiple regres-

* Исследование выполнено в соответствии с планом НИР на 2020–2021 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0761-2019-0003).

sion analysis, it was found that the increase in the biological yield of barley in the earing phase depends on the nutrient regime of the soil. The conducted experiment is of great importance in the field of agrochemistry, contour-landscape agriculture and agriculture.

Keywords: grain crop rotation, southern chernozems, nitrates, mobile phosphorus, exchangeable potassium, grain yield, part of the slope.

For citation: Mitrofanov D.V., Tkacheva T.A. Productivity of soil-protective crop rotations depending on the content of mobile forms of nutrients in the southern chernozems of the Orenburg Trans-Urals. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021; 88(2): 9–14. (In Russ.). doi: 10.37670/2073-0853-2021-88-2-9-14.

В Российской Федерации центральным звеном любой системы земледелия является севооборот. В засушливых условиях степной зоны Южного Урала севообороту с чёрным паром отводится решающая роль в стабилизации производства зерна и повышении урожайности полевых культур.

На сегодняшний день актуальной проблемой является повышение урожая в севооборотах на различных частях склона Оренбургской области. Среди основных факторов, влияющих на урожайность сельскохозяйственных культур, можно особо выделить содержание в почве макроэлементов, необходимых для питания растений. Для решения задачи увеличения выхода зерна необходимо применять такие агротехнические приёмы, которые смогут повысить содержание нитратов, подвижного фосфора и обменного калия в почве. Изучение почвенных элементов питания растений и их влияния на рост и развитие является главной задачей в области агрохимии и земледелия.

Внесением под различные севообороты минеральных удобрений в дозе по 30 кг азота, фосфора и калия действующего вещества на 1 га обеспечивается положительный баланс макроэлементов в почве путём введения в структуру посевных площадей сельскохозяйственных культур [1]. Применение превышенной одинарной дозы $N_{43}P_{35}K_{35}$ в севообороте приводит к наиболее окупаемой прибавке урожайности полевых культур и снижению потенциального плодородия почвы [2]. Повышенные расходы азота по пару без применения удобрений приводят к снижению урожайности твёрдой пшеницы до 1,94 т с га. Внесение фосфорных удобрений по пару в дозе P_{40} кг действующего вещества на 1 га необходимо, так как этот агротехнический приём ведёт к повышению урожая твёрдой пшеницы [3]. Динамика и миграция нитратного азота различная в почве и зависит от агрометеорологических условий и вида пара [4, 5].

В повышении культуры земледелия, устойчивости растениеводства и сохранении плодородия почвы играет роль севооборот с чистым паром в степной зоне Южного Урала [6–8]. Сокращение внедрения чистых паров, применение в севообороте полосного размещения посевов многолетних трав и внесение удобрений способствуют снижению водной эрозии почвы и увеличению продуктивности севооборота [9]. В настоящее время происходит изменение продуктивности

севооборотов и систем земледелия за счёт снижения агротехнических приёмов возделывания, внесения удобрений и плодородия почвы [10]. Главным образом урожайность зерновых культур формируется за счёт водного и питательного режима, погодных и почвенных условий данной местности [11]. Продуктивность полевых культур зависит в основном от содержания подвижных питательных веществ в почве и влияния частей склона в условиях Оренбургского Зауралья [12].

Исследованиями по изучению продуктивности зерновых культур, нитратов, подвижного фосфора и обменного калия занимались многие исследователи, в том числе зарубежные [13–19].

Оренбургское Зауралье – территория России восточнее Уральских гор – является основным научным полигоном исследования сельскохозяйственных культур на различных частях склона в условиях чернозёмов южных, подверженных водной и ветровой эрозии почвы. На основании этого в системе контурно-полосного земледелия проводили полевые опыты, которые обеспечивали защиту почвы от негативных факторных процессов.

Цель исследования заключается в выявлении части склона и зерновой культуры в зернопаровом севообороте для повышения продуктивности в зависимости от питательного режима почвы.

Материал и методы. Исследования проводили на многолетнем опытном почвозащитном стационаре ФГУП «Советская Россия», заложенном по системе контурно-ландшафтного земледелия в 1987 г. Научно-исследовательскую работу вели с 2014 по 2019 г. в Федеральном научном центре на территории с. Елизаветинка Адамовского района Оренбургской области. Полевые опыты закладывались в трёхкратной повторности на среднемощных тяжелосуглинистых южных чернозёмах Зауралья, подверженных водной и ветровой эрозии, с контурно-полосной организацией пахотных склонов, размещённых в северо-восточной части экспозиции.

Склон на территории делится на три части: верхняя с уклоном в $2-3^\circ$, средняя – $1-2^\circ$ и нижняя – $0-1^\circ$. На всех частях склона длина составляла 400 м, ширина – 500 м. На опытном участке изучали три четырёхпольных зернопаровых севооборота, чёрные пары и зерновые культуры в них размещали по следующим вариантам: I – пар чёрный, II – твёрдая пшеница, III – мягкая пшеница, IV – ячмень – севооборот в

верхней части склона (контроль); V – пар чёрный, IV – твёрдая пшеница, VII – мягкая пшеница, VIII – ячмень – севооборот в средней части склона; IX – пар чёрный, X – твёрдая пшеница, XI – мягкая пшеница, XII – ячмень – севооборот в нижней части склона.

Исследование проводили методами полевых опытов, заложенных по системе контурно-полосного земледелия. Повторность опыта – трёхкратная в пространстве и шестикратная во времени. На каждой повторности делянки имели прямоугольную форму с размером $80 \times 166,7$ м и $S^2 = 13\,336$ м². Общая площадь опытного поля составила 600 тыс. м². Зернопаровые севообороты занимали 48 га, буферные полосы (из многолетних трав) – 10,8 га, однорядные кустарниковые кулисы (из смородины золотистой) – 1,2 га. На делянках полевого опыта высевали районированные сорта твёрдой пшеницы – Харьковская 46, Оренбургская 10 и 21; мягкой пшеницы – Саратовская 42, Учитель, Варяг, Оренбургская 13; ячменя – Анна, Натали, Первоцелинник.

Биологический учёт урожайности вели ручным методом в фазе полного созревания зерна. С помощью накладок (железных рамок) перед уборкой комбайном проводили отбор снопов с 1 м² в десятикратной повторности по всем зерновым делянкам и повторениям. В результате структурного анализа снопового материала зерновых культур определяли биологическую урожайность, т.е. взвешивали и находили среднюю массу зерна в граммах с 1 м² и переводили её в тонны с 1 га. Фактический учёт урожая проводили с помощью селекционных комбайнов. С каждой делянки бункерный вес зерна взвешивали на специализированных весах и определяли урожайность в тоннах с 1 га площади с учётом всех стандартных показателей, т.е. при 14%-ной влажности и 100%-ной чистоте зерна.

На каждой части склона почвенные пробы отбирали на двух повторениях опыта ручным буром в трёх точках на глубине слоя почвы 0–30 см на всех изучаемых делянках. Содержание нитратного азота, подвижного фосфора и обменного калия в почвенных образцах определяли с помощью ионометрического метода и метода Мачигина по ГОСТу 26951-86 и ГОСТу 26205-91. Анализы проводили в лабораториях Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук.

Данные по продуктивности зерновых культур и содержанию подвижных форм питательных веществ в почве математически обрабатывали с помощью системного анализа множественной регрессии в статистической программе Statistica 12.0 (Stat Soft Inc., США).

Результаты исследования. На основании результатов исследования установлено, что содержание подвижных форм питательных веществ

в слое почвы 0–30 см и уровень продуктивности зерновых культур в севооборотах зависит от различных частей склона.

В результате действия автотрофных микроорганизмов в пахотном слое почвы происходит интенсивный процесс нитрификации на средней части склона в фазе полных всходов зерновых культур. Содержание нитратов в посевах твёрдой пшеницы составляло 16,3 мг, мягкой – 13,6 мг и ячменя – 13,5 мг на 100 г почвы (табл. 1).

За годы исследования наибольшее количество нитратного азота наблюдалось в чёрном пару по всему склону в результате минерализации гумуса и составляло на верхней части 21,1 мг, средней – 22,1 мг и нижней – 22,5 мг. Максимальное содержание подвижного фосфора отмечалось по всем вариантам опыта в зернопаровом севообороте на средней части склона и составляло в фазе полных всходов от 4,3 до 4,5 мг. Высокая обеспеченность почвы обменным калием привела к накоплению его количества в чёрных парах на I, V и IX вариантах опыта до 36,5; 36,7 и 38,9 мг. В посевах зерновых культур высокое содержание обменного калия наблюдается в фазе полных всходов и колошения на шестом, одиннадцатом и двенадцатом вариантах эксперимента.

За вегетационный период происходит частичное потребление питательных веществ (NO_3^- , P_2O_5 , K_2O) на рост и развитие культурных растений. Одна часть макроэлементов питания расходуется на получение урожайности полевых культур, другая уходит в нижние горизонты почвы за счёт увлажненного пахотного слоя. Максимальное уменьшение содержания наблюдалось по нитратному азоту в фазе колошения зерновых культур на всех частях склона.

Количество накопленных нитратов и обменного калия отмечено в чёрных парах по всему склону, и диапазон его составил от 0,1 до 11,6 мг на 100 г почвы. Этот факт объясняется отсутствием источника потребления (культурных растений) и хорошим обеспечением питательных веществ в почве. Потерянное содержание подвижных форм питательных веществ за период вегетации наблюдалось по всем вариантам опыта зерновых культур на трёх частях склона, и уровень их составлял от 0,6 до 8,5 мг.

За шесть лет исследования наименьшая урожайность культурных растений отмечена на верхней части склона, особенно в посевах твёрдой пшеницы, и составляла при биологическом учёте 0,94 т и фактическом (с помощью комбайна) – 0,75 т с 1 га. Это наблюдение в основном было связано с низкими запасами продуктивной влаги и отсутствием влияния питательных веществ.

В среднем за годы исследования наибольшая урожайность зерновых культур наблюдалась на нижней части склона. Самый высокий выход зерна показал посев ячменя на XII варианте опыта,

составив с учётом анализа снопового материала 1,56 т и без него (комбайном) – 1,27 т с 1 га. На этой части склона отмечался самый продуктивный зернопаровой севооборот, который составил выход зерна с биологическим учётом 1,08 т и с фактическим – 0,86 т с 1 га. Положительные результаты были достигнуты за счёт наибольшей обеспеченности влажности почвы на данном участке и влияния макроэлементов питания.

Для точного определения доли влияния подвижных форм питательных веществ на урожайность зерновых культур в зернопаровых севооборотах по всему склону была проведена статистическая обработка данных результатов с помощью аппарата множественной взаимосвязи регрессионного анализа.

В результате математической обработки полученных данных установлено, что на биологическую урожайность твёрдой пшеницы оказало влияние содержание нитратного азота в фазе полных всходов, доля его на верхней части склона составила 74,51 % и на средней – 43,80 %. Влияние нитратов на остальные культуры не

проявилось на этих частях склона. На верхней и средней частях склона количество подвижного фосфора и обменного калия не влияет на выход зерна сельскохозяйственных культур.

Зависимость урожайности твёрдой и мягкой пшеницы от содержания подвижных форм питательных веществ не выявляется на нижней части склона. Проведённый множественный регрессионный анализ приводит к определению полной взаимосвязи всех макроэлементов питания и их влиянию на увеличение биологического урожая ячменя в фазе колошения. В работе построена математическая модель по повышению выхода зерна ячменя после предшественника мягкая пшеница в зернопаровом севообороте на нижней части склона в зависимости от взаимосвязи содержания подвижных форм питательных веществ.

Статистическая обработка результатов показывает положительные данные коэффициентов бета, регрессии, критерий Стьюдента, которые составили по нитратному азоту 1,22; 2,53; 8,91 и по подвижному фосфору – соответственно 0,55; 4,35; 6,45 ед. (табл. 2).

1. Содержание подвижных форм питательных веществ в слое почвы 0–30 см, продуктивность полевых культур и зернопаровых севооборотов на верхней, средней и нижней частях склона (среднее за 2014–2019 гг.)

| Вариант, севооборот | Содержание питательных веществ, мг на 100 г почвы | | | Количество макроэлементов питания за вегетационный период, мг | | | Выход зерна, т с 1 га | |
|--|---|-------------------------------|---------------------|---|--------|-------|-----------------------|-----------------------|
| | NO ₃ ⁻ | P ₂ O ₅ | K ₂ O | азот | фосфор | калий | | |
| Верхняя часть склона с уклоном в 2–3° (контроль) | | | | | | | | |
| I. Пар чёрный | $\frac{11,2}{21,1}$ | $\frac{4,3}{3,6}$ | $\frac{34,8}{36,5}$ | 9,9* | 0,7** | 1,7* | – | – |
| II. Твёрдая пшеница | $\frac{11,8}{5,7}$ | $\frac{4,2}{3,0}$ | $\frac{34,0}{31,7}$ | 6,1** | 1,2 | 2,3** | 0,94 ^a | 0,75 ^b |
| III. Мягкая пшеница | $\frac{12,8}{5,9}$ | $\frac{4,0}{3,4}$ | $\frac{35,7}{32,4}$ | 6,9 | 0,6 | 3,3 | 1,19 | 0,92 |
| IV. Ячмень | $\frac{12,6}{5,6}$ | $\frac{4,1}{3,4}$ | $\frac{36,0}{31,4}$ | 7,0 | 0,7 | 4,6 | $\frac{1,24}{0,84^c}$ | $\frac{1,00}{0,67^c}$ |
| Средняя часть склона с уклоном в 1–2° | | | | | | | | |
| V. Пар чёрный | $\frac{10,5}{22,1}$ | $\frac{4,4}{4,2}$ | $\frac{36,6}{36,7}$ | 11,6* | 0,2** | 0,1* | – | – |
| VI. Твёрдая пшеница | $\frac{16,3}{7,8}$ | $\frac{4,3}{3,2}$ | $\frac{36,5}{33,8}$ | 8,5** | 1,1 | 2,7** | 1,08 ^a | 0,92 ^b |
| VII. Мягкая пшеница | $\frac{13,6}{7,3}$ | $\frac{4,5}{3,3}$ | $\frac{36,5}{32,2}$ | 6,3 | 1,2 | 4,3 | 1,31 | 0,99 |
| VIII. Ячмень | $\frac{13,5}{6,2}$ | $\frac{4,5}{3,0}$ | $\frac{34,1}{30,9}$ | 7,3 | 1,5 | 3,2 | $\frac{1,38}{0,94^c}$ | $\frac{1,12}{0,76^c}$ |
| Нижняя часть склона с уклоном в 0–1° | | | | | | | | |
| IX. Пар чёрный | $\frac{11,2}{22,5}$ | $\frac{4,1}{3,9}$ | $\frac{38,3}{38,9}$ | 11,3* | 0,2** | 0,6* | – | – |
| X. Твёрдая пшеница | $\frac{13,6}{7,4}$ | $\frac{4,3}{3,5}$ | $\frac{35,9}{32,5}$ | 6,2** | 0,8 | 3,4** | 1,23 ^a | 1,05 ^b |
| XI. Мягкая пшеница | $\frac{11,9}{7,4}$ | $\frac{4,2}{3,6}$ | $\frac{36,8}{34,7}$ | 4,5 | 0,6 | 2,1 | 1,53 | 1,11 |
| XII. Ячмень | $\frac{11,9}{5,8}$ | $\frac{4,4}{3,6}$ | $\frac{36,6}{33,8}$ | 6,1 | 0,8 | 2,8 | $\frac{1,56}{1,08^c}$ | $\frac{1,27}{0,86^c}$ |

Примечание: в числителе – в фазе полных всходов, в знаменателе – в фазе колошения; * доля накопленного вещества в почве; ** доля потерянного вещества в почве; ^a биологический учёт урожайности; ^b фактический учёт урожая с помощью комбайна; ^c выход зерна по севообороту.

2. Зависимость биологической урожайности ячменя после мягкой пшеницы в зернопаровом севообороте на нижней части склона от взаимосвязи подвижных форм питательных веществ в фазе колошения за 2014–2019 гг.*

| Фактор независимой переменной | Показатель множественной регрессии | | | | | | | Доля влияния фактора, % |
|---|------------------------------------|-------|----------|--------------------|-----------|---------------|---------|-------------------------|
| | коэффициент | | | стандартная ошибка | | Стьюдента (2) | уровень | |
| | β | b | Δ | бета | регрессии | t | p | |
| Y-пересечение (свободный член) | – | 52,78 | – | – | 5,12 | 10,30 | 0,00 | – |
| Нитратный азот (NO_3^-) | 1,22 | 2,53 | 0,31 | 0,14 | 0,28 | 8,91 | 0,01 | 30,63 |
| Подвижный фосфор (P_2O_5) | 0,55 | 4,35 | 0,29 | 0,08 | 0,67 | 6,45 | 0,02 | 28,65 |
| Обменный калий (K_2O) | –1,48 | –1,99 | 0,40 | 0,13 | 0,18 | –11,2 | 0,00 | 39,52 |

Примечание: * коэффициент корреляции = 0,99; коэффициент детерминации = 0,98; критерий Фишера (3,2) = 57,24; стандартная ошибка оценки = 0,78 с уровнем значимости < 0,01.

Показатели обменного калия отличались отрицательными данными по сравнению с другими значениями. Наибольший коэффициент регрессии, критерий Стьюдента наблюдались по свободному члену и составили 52,78 и 10,30 ед. Наименьшая стандартная ошибка бета и регрессии отмечалась по элементам P_2O_5 , K_2O и содержала 0,08; 0,18 по сравнению с Y-пересечением 5,12 ед. Уровень значимости уравнения по всем факторам независимой переменной составлял от 0,00 до 0,02 при установленном значении $P < 0,05$. Коэффициент дельта по питательным веществам распределялся по-разному и составлял наибольшее значение по оксиду калия 0,40 и наименьшее – по оксиду фосфора 0,29 ед. Дельта обеспечивает определение доли влияния каждого фактора путём отношения коэффициентов парной корреляции к бете и детерминации. Коэффициенты корреляции и детерминации модели равнялись 0,99, 0,98 и показывали, что на 99 % точно и на 98 % качественной рассчитана множественная регрессия. При сравнении оценок дисперсии показатель критерий Фишера при степени свободы 3,2 составил 57,24 ед., что было оптимально для модели.

В результате рассчитанной множественной регрессии установлена взаимосвязь между подвижными формами питательных веществ и урожайностью, так как уровень значимости был меньше 0,01 при стандартной ошибке оценки 0,78. На основании расчётов выявлено совместное влияние макроэлементов питания на увеличение урожайности ячменя, и доля их составляла по нитратному азоту 30,63, подвижному фосфору – 28,65 и обменному калию – 39,52 %.

В сельскохозяйственном производстве для повышения кормовой базы животноводства на почвах, подверженных водной эрозии и дефляции, необходимо на верхней части склона высевать многолетние травы, на нижней – зернофуражный ячмень с применением буферных полос и кулис. Руководителям различных хозяйств и фермерам для увеличения зерновой продукции рекомендуется в средней и нижней частях склона внедрять четырёхпольные зернопаровые севообороты в

условиях контурно-полосного земледелия Оренбургского Зауралья.

Выводы. Проведённое исследование показывает, что повышение урожайности зерновых культур наблюдалось на нижней части склона и не зависит от влияния подвижных форм питательных веществ, кроме посева ячменя. На вариантах опыта с посевами твёрдой и мягкой пшеницы увеличение выхода зерна твёрдой и мягкой пшеницы проходило под действием других факторов. В результате полученных и обработанных данных с помощью множественной регрессии выявлено, что наибольшая биологическая урожайность наблюдалась на варианте с посевами ячменя за счёт совместного влияния нитратного азота, подвижного фосфора и обменного калия на нижней части склона. На других вариантах питательные вещества не оказали влияния на высокий уровень зерна. На всех изучаемых культурах зависимость фактического урожая не установлена из-за потерь зерна комбайном в пределах от 0,16 до 0,42 т с 1 га. В связи с этим построена математическая модель зависимости повышения биологической урожайности ячменя после предшественника мягкая пшеница в зернопаровом севообороте на нижней части склона от взаимосвязи содержания макроэлементов питания в фазе колошения. Модель доказывает необходимость потребления ячменем макроэлементов питания для получения наибольшей продуктивности.

Литература

1. Козлова Л.М. Продуктивность и баланс основных питательных элементов в севооборотах при различных уровнях интенсификации // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 1. С. 6–9.
2. Окорков В.В. Влияние удобрений на агрохимические свойства и продуктивность севооборотов на серых лесных почвах Верхневолжья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 6 (80). С. 18–22.
3. Крючков А.Г. Расходы азота из почвы и урожайность яровой твёрдой пшеницы по пару в Оренбургском Зауралье // Зерновое хозяйство России. 2016. № 5. С. 70–71.
4. Тихонов В.Е. Динамика азота почв на различных парах // Аграрная наука. 1998. № 5. С. 34–35.

5. Богряков А.Н., Максюттов Н.А. Миграция нитратного азота в почве в зависимости от погодных условий и вида пара // Бажановские чтения: сб. науч. тр. к 90-летию Бузулукского опытного поля. Оренбург, 2003. Вып.1. С. 155–161.

6. Совершенствование севооборотов за счёт подбора культур по пару в степной зоне Южного Урала / А.В. Кислов, В.Н. Диденко, А.В. Кашеев [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 3 (47). С. 19–22.

7. Продуктивность культур и севооборотов с чистым паром на Южном Урале / А.В. Кислов, В.Н. Диденко, А.В. Кашеев [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. № 4 (36). С. 33–35.

8. Эффективность возделывания зерновых по чистым парам / А.В. Кислов, Ф.Г. Бакиров, Р.Ф. Ягофаров [и др.] // Зерновое хозяйство. 2006. № 8. С. 14–16.

9. Листопадов И.Н., Игнатъев Д.С., Гаева Э.А. Севооборот как средство предотвращения водной эрозии почв // Земледелие. 2010. № 8. С. 8–9.

10. Миннихахметов И.С., Мурзабулатов Б.С. Продуктивность севооборотов и систем земледелия // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2019. № 8 (175). С. 60–65.

11. Абдрашитов Р.Х., Насыбуллин И.И. Формирование урожайности яровой твёрдой пшеницы в степных условиях казахстанской провинции // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2005. № 4 (8). С. 39–42.

12. Максюттов Н.А., Митрофанов Д.В. Влияние различных частей склона на содержание подвижных

питательных веществ, урожайность зерновых культур и качество зерна пшеницы в Оренбургском Зауралье [Электронный ресурс] // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2018. № 1. 12 с. URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2018-1/Articles/NAM-2018-1.pdf>

13. Zuluaga D.L., Sonnante G. The Use of Nitrogen and Its Regulation in Cereals: Structural Genes, Transcription Factors, and the Role of miRNAs // Plants (Basel). 2019. Vol. 8 (8). P. 294–15.

14. Zuluaga D.L., De Paola D., Janni M. et al. Durum wheat miRNAs in response to nitrogen starvation at the grain filling stage // PLoS One. 2017. Vol. 12 (8): e0183253. P. 18.

15. He X., Qu B., Li W. et al. The Nitrate-Inducible NAC Transcription Factor TaNAC2-5A Controls Nitrate Response and Increases Wheat Yield // Plant Physiol. 2015. Vol. 169 (3). P. 1991–2005.

16. Schneider H.M., Postma J.A., Wojciechowski T. et al. Root Cortical Senescence Improves Growth under Suboptimal Availability of N, P, and K // Plant Physiol. 2017. Vol. 174 (4). P. 2333–2347.

17. Teng W., Deng Y., Chen X. et al. Characterization of root response to phosphorus supply from morphology to gene analysis in field-grown wheat // J Exp Bot. 2013. Vol. 64 (5). P. 1403–1411.

18. Cai K., Gao H., Wu X. et al. The Ability to Regulate Transmembrane Potassium Transport in Root Is Critical for Drought Tolerance in Barley // Int J Mol Sci. 2019. Vol. 20 (17): 4111. P. 22.

19. Raddatz N., Morales de los Ríos L., Lindahl M. et al. Coordinated Transport of Nitrate, Potassium, and Sodium // Front Plant Sci. 2020. Vol. 11: 247. P. 18.

Дмитрий Владимирович Митрофанов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник. ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук». Россия, 460051, г. Оренбург, пр-т Гагарина, 27/1, dvm.80@mail.ru

Татьяна Александровна Ткачёва, кандидат химических наук, доцент. ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет». Россия, 460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, ttkacheva@inbox.ru

Dmitry V. Mitrofanov, Candidate of Agriculture, Leading Researcher. Federal Research Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences. 27/1, Gagarin Ave., Orenburg, 460051, Russia, dvm.80@mail.ru

Tatyana A. Tkacheva, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor. Orenburg State University. 13, Pobedy Ave., Orenburg, 460018, Russia, ttkacheva@inbox.ru