

Оригинальная статья / Original article  
УДК 633.11«324»;577.118(470.62/.67)  
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-136-150

## Влияние погодно-климатических условий на генетико-физиологическую систему растений озимой пшеницы в засушливых условиях Центрального Предкавказья

Александр Н. Есаулко, Елена В. Письменная, Евгений В. Голосной, Алена Ю. Ожередова,  
Юлия Н. Кузьмина

Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия

### Контактное лицо

Елена В. Письменная, доктор  
сельскохозяйственных наук, профессор  
кафедры землеустройства и кадастра, ФГБОУ  
ВО «Ставропольский государственный  
аграрный университет»; 355017 Россия,  
г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12.  
Тел. +79187756070  
Email [pismennaya.elena@bk.ru](mailto:pismennaya.elena@bk.ru)  
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2786-1954>

### Формат цитирования

Есаулко А.Н., Письменная Е.В., Голосной Е.В.,  
Ожередова А.Ю., Кузьмина Ю.Н. Влияние  
погодно-климатических условий на генетико-  
физиологическую систему растений озимой  
пшеницы в засушливых условиях Центрального  
Предкавказья // Юг России: экология,  
развитие. 2022. Т.17, № 1. С. 136-150. DOI:  
10.18470/1992-1098-2022-1-136-150

Получена 27 февраля 2021 г.  
Прошла рецензирование 20 мая 2021 г.  
Принята 5 сентября 2021 г.

### Резюме

**Цель.** В засушливой зоне Центрального Предкавказья особенно актуально выращивание сельскохозяйственных культур с высокой адаптационной способностью к изменяющимся погодно-климатическим условиям. В связи с этим цель настоящей исследовательской работы заключается в определении влияния гидротермических факторов региона на пигментный комплекс и способность накопления азота растениями, содержание белка в зерне и продуктивность сортов озимой пшеницы.

**Материал и методы.** В опыте комплексно использовали статистические и математические методы определения влияния погодно-климатических факторов региона на пигментный комплекс, способность накопления азота растениями, качество зерна и урожайность различных сортов озимой пшеницы. В качестве объекта исследований использовали 3 сорта (Зустріч, Багира, Баграт).

**Результаты.** С помощью статистического и математического анализа выявлен спектр изменения индивидуальной реакции генотипов различных сортов озимой пшеницы (по хлорофиллу, каротиноидам, содержанию азота в растениях, качеству зерна (содержания белка), продуктивности) в засушливых условиях региона. В результате исследований установлено, что сорт Баграт оптимально реализует свой потенциал на нейтрализацию негативного воздействия внешних факторов среды. Остальные сорта в агроценозах региона отразили средние показатели.

**Заключение.** Установлена сортовая реакция озимой пшеницы на фазы вегетации растений. Выделены сорта сельскохозяйственной культуры с высокой адаптивной устойчивостью для хозяйственного использования в складывающихся условиях снижения осадков и роста температуры. Предложены практические рекомендации по оптимизации питания растений и получения наибольшей продуктивности зерна озимой пшеницы.

### Ключевые слова

Пигментный комплекс (хлорофилл, каротиноиды), озимая пшеница, вегетационный индекс NDVI.

# Influence of weather and climatic conditions on the genetic and physiological system of winter wheat plants in arid conditions of the Central Caucasus, Russia

Alexander N. Esaulko, Elena V. Pismennaya, Evgeniy V. Golosnoi, Alena Yu. Ozheredova and Yulia N. Kuzminova

Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia

## Principal contact

Elena V. Pismennaya, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Department of Land Management and Cadastra, Stavropol State Agrarian University; 12 Zootechnical Lane, Stavropol, Russia 355017.

Tel. +79187756070

Email [pismennaya.elena@bk.ru](mailto:pismennaya.elena@bk.ru)

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2786-1954>

## How to cite this article

Esaulko A.N., Pismennaya E.V., Golosnoi E.V., Ozheredova A.Yu., Kuzminova Yu.N. Influence of weather and climatic conditions on the genetic and physiological system of winter wheat plants in arid conditions of the Central Caucasus, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2022, vol. 17, no. 1, pp. 136-150. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-136-150

Received 27 February 2021

Revised 20 May 2021

Accepted 5 September 2021

## Abstract

**Aim.** In the arid zone of the Central Caucasus it is especially important to grow crops with a high adaptive capacity to changing weather and climatic conditions. In this regard, the purpose of this research work was to determine the influence of hydrothermal factors of the region on the pigment complex and the ability of plants to accumulate nitrogen, protein content in grain and productivity of various varieties of winter wheat.

**Material and Methods.** In the experiment, statistical and mathematical methods were used comprehensively to determine the influence of weather and climatic factors of the region on the pigment complex, the ability of plants to accumulate nitrogen, grain quality and yield of 3 varieties of winter wheat (Zustrich, Bagheera and Bagrat).

**Results.** With the aid of statistical and mathematical analysis, the spectrum of changes in the individual reaction of genotypes of various varieties of winter wheat (according to chlorophyll, carotenoids, nitrogen content in plants, grain quality [protein content] and productivity) in arid conditions of the region was revealed. As a result of the research, it was found that the Bagrat variety optimally realizes its potential to neutralize the negative impact of external environmental factors. The remaining varieties in the agrocenoses of the region had average indicators.

**Conclusion.** The varietal reaction of winter wheat to the phases of plant vegetation was been established. Varieties of agricultural crops with high adaptive stability for economic use in the prevailing conditions of precipitation reduction and temperature increase were identified. Practical recommendations for optimising plant nutrition and obtaining the highest productivity of winter wheat grain are proposed.

## Key Words

Pigment complex (chlorophyll, carotenoids), winter wheat, vegetation index NDVI.

## ВВЕДЕНИЕ

Озимая мягкая пшеница является основной продовольственной культурой в засушливой зоне Центрального Предкавказья. Вследствие климатических изменений последнего периода времени в земледельческом районе основной задачей товаропроизводителя становится стабилизация производства зерна, полученного при возделывании различных сортов мягкой озимой пшеницы. Адаптированные сорта существенно снижают техногенные издержки применяемой сегодня «не отработанной» технологии No-till. Возделываемые сорта культуры имеют генетико-физиологическую систему, обуславливающую высокий уровень адаптационного потенциала [1-3]. В условиях засухи в растениях определяются положительные связи между содержанием азота и хлорофилла [4-8]. Это связано с тем, что азот входит в состав зеленых пигментов и усвоение этого элемента минерального питания происходит при непосредственном участии фотосинтеза [9-12]. Растения с развитым ассимиляционным аппаратом потребляют больше азота и имеют хорошую продукционную способность. При недостаточном снабжении растений азотом происходит их угнетение в развитии. Листья приобретают характерную светло-зеленую окраску [13-16].

Актуальным направлением научных изысканий сегодня является получение оперативной информации о состоянии растений в различные фазы вегетации средствами дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [17; 18]. Характерным признаком растительности и ее состояния является спектральная отражательная способность, характеризующаяся большими различиями в отражении излучения разных длин волн. Применение растительной и листовой диагностики минерального питания (на базе космических снимков и лабораторных анализов) позволяет рекомендовать мероприятия по проведению своевременной азотной подкормки и оптимизации питания растений в целом для получения стабильных урожаев [19].

Знания связи состояния растительности с ее спектрально отражательными способностями позволяют использовать аэрокосмические снимки для идентификации типов растительности и их стрессового состояния, вызванного погодноклиматическими условиями [20]. Для оценки состояния растительности используют вегетационный индекс – показатель, рассчитываемый в результате операций с разными спектральными диапазонами (каналами) данных ДЗЗ, имеющий отношение к параметрам растительности в данном пикселе снимка. В настоящее время существует около 160 вариантов индексов [21]. Вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) отражает общее состояние растительности, поэтому на протяжении всего периода роста и развития растений озимой пшеницы необходимо производить системный контроль структурного и функционального состояния фотосинтетического аппарата растений не только в рамках полевого опыта, но и использовать данные ДЗЗ [22].

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальная часть работы выполнена в период 2018-2020 гг. Объектом исследования являются сорта мягкой озимой пшеницы (Зустрич, Багира, Баграт). В качестве стандарта (st) используется сорт Зустрич. Оригинаторы сорта Зустрич: ФГБНУ Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр и Селекционно-генетический институт-национальный центр семеноведения и сортоизучения (Одесса); сорта Багира – ФГБНУ Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр; сорта Баграт – ФГБНУ Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко.

Почвенный покров учетной делянки (площадью 500 м<sup>2</sup>) представлен преимущественно темно-каштановыми карбонатными тяжелосуглинистыми почвами, которые характеризуются низким содержанием гумуса (2,61-2,70%), высоким содержанием подвижных соединений фосфора (33,2-37,0 мг/кг) и калия (364,5-420,3 мг/кг). Предшественники (нут, подсолнечник) и сорта мягкой озимой пшеницы возделываются по технологии No-till. Агротехника возделывания включает: предпосевную обработку гербицидом (Спрут Экстра) с нормой внесения 2 л/га; сев озимой пшеницы – 210 кг/га; внесение припосевного удобрения (амософос – N<sub>12</sub>P<sub>52</sub>) – 100 кг/га; ранневесеннюю подкормку (аммиачной селитрой – N<sub>35</sub>) – 100 кг/га; внесение листовой подкормки (КАС – N<sub>32</sub>) – 100 кг/га; гербицидную обработку (Балерина) – 0,4 л/га; первую фунгицидную обработку (Альтосупер) – 0,5 л/га; вторую фунгицидную обработку (Колосаль Про) – 0,4 л/га; уборку. Норма высева зерновой культуры составляет 5,0 млн всхожи зерен на гектар. В 2018 и 2019 гг. посев провели в оптимальные сроки – 21 и 25 сентября соответственно. Вследствие почвенной засухи в 2020 г. посев провели 07 октября.

Определение содержания хлорофилла и каротиноидов у растений озимой пшеницы проводили [23]. Определение оптической плотности раствора производили на спектрофотометре при двух длинах волн: 665 и 649 нм. Определение количества хлорофилла (C<sub>a</sub> – основной пигмент и C<sub>b</sub> – вспомогательный пигмент) рассчитывали по уравнению Винтерманса и Де Мотса [24], концентрацию пигментов группы каротиноидов (C<sub>кар</sub>) – по формуле Веттштейна [25]. Определение содержания белка осуществляется по [26], урожайности – по методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [27]. Растительные образцы отбирались по фазам роста растений (кущение, трубкование, колошение) в 3-х кратной повторности. На базе агрохимической лаборатории СтГАУ определяли содержание азота в растениях титриметрическим методом определения азота по Кельдалю [28].

Данные спутникового картографирования растительного покрова получены на основе спектрорадиометра MODIS, осуществляющего измерения со спутника Terra с пространственным разрешением 500 м (на базе спутникового сервиса «BEGA-Science» ИКИ РАН – [29].

Математическую обработку результатов выполняли методом дисперсионного анализа. Коэффициенты вариации и осцилляции рассчитаны согласно методике полевого дела [30].

#### ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Урожайность сортов мягкой озимой пшеницы зависит от генетического разнообразия и адаптационной способности культуры в системе «сорт-среда». Гидротермические условия в период проведения исследований были неоднозначными и контрастными, что привело к статистически значимому вкладу факторов внешней среды в общую изменчивость показателей пигментного комплекса и накопление азота в растениях. Так, среднегодовая температура воздуха составляла в 2018 г. – 9,6°C, в

2019 г. – 10,1°C, в 2020 г. – 14,4°C соответственно. Годовое количество осадков 428 мм, 451 мм и 173 мм соответственно. В целом за рассматриваемый период осадки имели тенденцию к снижению, а температура – к росту (рис. 1). ГТК – 0,5-0,7. Выпадение осадков в 2018 г. увеличилось к марту. В 2019 г. и 2020 г. отмечены засушливые явления и захват растений, вызванный засухой. Количество осадков и влагообеспеченность культуры уменьшалась ко второй половине вегетации озимой пшеницы.

Динамика вегетационного индекса NDVI, как одного из объективных показателей при проведении растительной диагностики растений показала, что за период с 2018 по 2020 гг. среднегодовые показатели имели тенденцию роста с 0,456 до 0,490 (рис. 2).

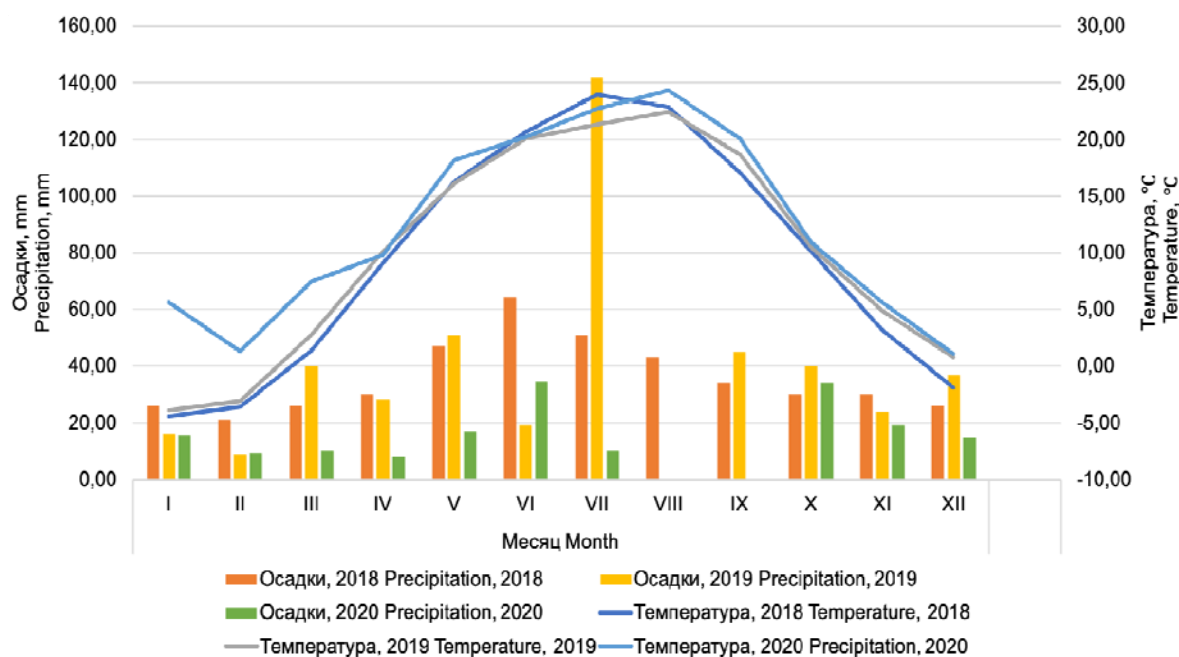


Рисунок 1. Метеоусловия в период проведения исследований, 2018-2020 гг.

Figure 1. Weather conditions during the research period, 2018-2020

В 2017 г. площадь взошедших осенью озимой культуры, детектированной по спутниковым данным, соответствовала среднемноголетней норме. В зимне-весенний период 2018 г. динамика развития озимых культур показала аномально ранний их срок развития. Средние значения NDVI озимых культур превышали норму на 11,0%. Отмечалось раннее развитие растений при недостаточном уровне влаги для дальнейшего нормального роста растений. После засушливой осени 2019 г. последовала теплая и бесснежная зима. Возобновление активного развития посевов началось на 10-12 дней раньше. Следовательно, озимые культуры находились в состоянии вегетации на протяжении почти всего этого периода, а к весне запаса продуктивной влаги в почве было недостаточно для их дальнейшего развития. Сложившуюся ситуацию подтверждают повышенные значения вегетационного индекса NDVI озимых культур (0,50). К началу февраля 2020 года показатель достиг более высоких значений (0,51), чем в среднем за рассматриваемые годы (0,41-0,44). Влияние

раннего развития озимых культур на значения индекса NDVI можно наблюдать и по состоянию на конец марта: вегетационный индекс (0,54) превышает значения многолетней «нормы» более чем на 17,0%. Отмеченные выше высокие значения NDVI не характеризуют более хорошее состояние и развитие посевов. Они отражают сдвиг сезона на более ранние сроки.

В 2018 г. (при среднегодовом NDVI – 0,456) по всем сортам озимой пшеницы от фазы кущения до трубкования отмечалось увеличение накопления  $C_a$  в растениях в среднем на 4,5% по подсолнечнику (наибольшее у сорта Зустріч – 11,8%) и увеличение накопления  $C_b$  – 2,5% (наибольшее у сорта Баграт – 4,9%). По нуту накопление  $C_a$  в растениях составляло увеличение показателей в среднем на 3,9% (у сорта Зустріч – 8,7%) и  $C_b$  – на 2,6% (наибольшее у сорта Баграт – 5,0%) (табл. 1). Отмечался рост содержания  $C_a$  во флаговом листе пшеницы до цветения, а  $C_b$  – после цветения растений.

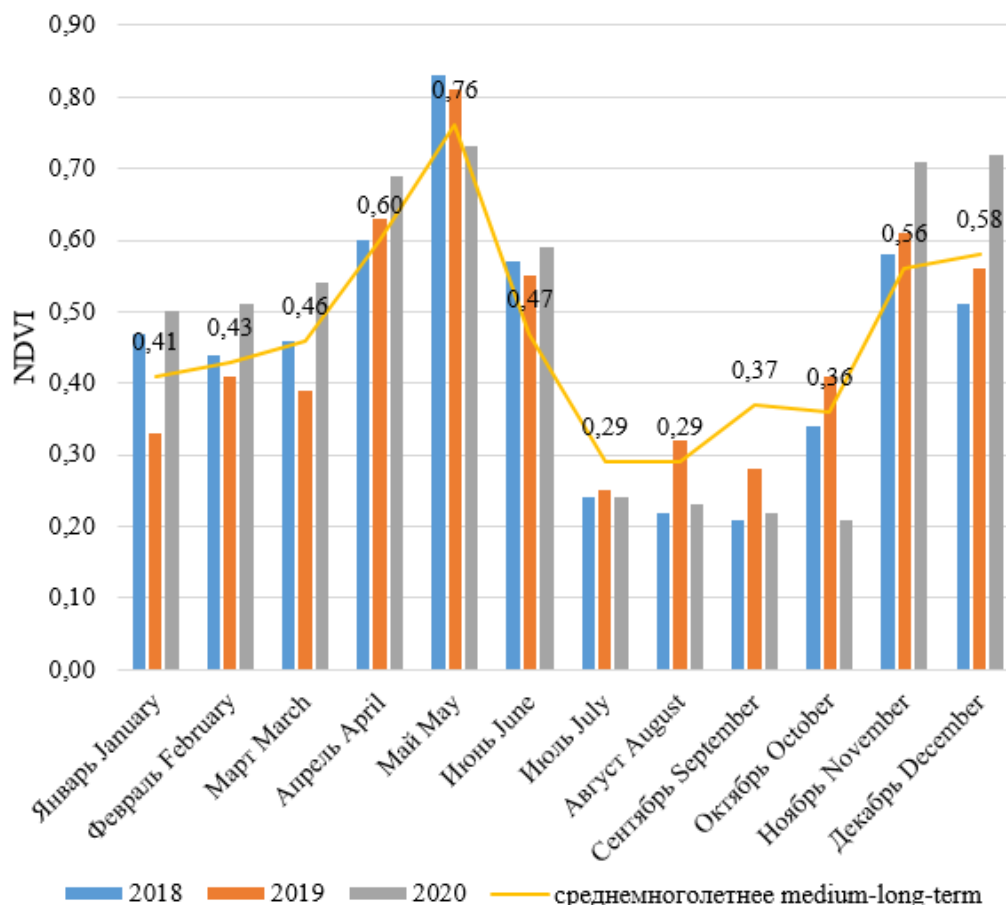


Рисунок 2. Динамика изменения вегетационного индекса NDVI, 2018-2020 гг.

Figure 2. Dynamics of changes in the vegetation index NDVI, 2018-2020

От фазы трубкования до колошения по всем сортам и предшественникам отмечалось уменьшение накопления  $C_a$  в растениях на 32,6% (наибольшее у сорта Баграт – 36,7%) по подсолнечнику и уменьшение накопления  $C_b$  – 44,1% (наибольшее у сорта Зустрич – 64,4%). По нуту шел процесс уменьшения накопления  $C_a$  в растениях в среднем на 28,7% (наибольшее у сорта Багира – 30,8%) и  $C_b$  – 47,7% (наибольшее у сорта Багира – 40,5%). В общем фонде хлорофилла превалировал  $C_a$ , соотношение  $C_{a/b}$  находилось в пределах 0,99-2,07.

В 2019 г. (при среднегодовом NDVI – 0,462) по всем сортам и предшественникам от фазы кушения до трубкования отмечали увеличение накопления  $C_a$  в растениях в среднем на 15,6% (наибольшее у сорта Багира – 37,0%) по подсолнечнику и  $C_b$  – 6,0% (наибольшее у сорта Багира – 9,9%). По нуту шел процесс увеличения накопления  $C_a$  в растениях в среднем на 5,3% (наибольшее у сорта Зустрич 12,4%) и  $C_b$  – 6,5% (наибольшее у сорта Баграт – 8,1%).

От фазы трубкования до колошения по всем сортам и предшественникам отмечали уменьшение накопления  $C_a$  в растениях в среднем на 24,1% (наибольшее у сорта Баграт – 36,7%) по подсолнечнику и уменьшение накопления  $C_b$  – на 27,8% (наибольшее у сорта Багира – 31,9%). По нуту также сокращение накопления  $C_a$  в растениях в среднем на 22,5% (наибольшее у сорта Баграт –

23,5%) и  $C_b$  – 22,0% (наибольшее у сорта Баграт – 22,9%).

В общем фонде хлорофилла превалировал  $C_a$ , соотношение  $C_{a/b}$  находилось в пределах 1,01-1,83.

В 2020 г. (при среднегодовом NDVI – 0,490) по всем сортам и предшественникам от фазы кушения до трубкования отмечали увеличение накопления  $C_a$  в растениях в среднем на 14,1% (наибольшее у сорта Багира – 36,2%) по подсолнечнику и  $C_b$  – 8,5% (наибольшее у сорта Багира – 13,2%). По нуту шел процесс накопления  $C_a$  в растениях в среднем на 4,6% (наибольшее у сорта Зустрич – 9,7%) и  $C_b$  – 4,9% (наибольшее у сорта Багира – 9,0%).

От фазы трубкования до колошения по всем сортам и предшественникам отмечали уменьшение накопления  $C_a$  в растениях в среднем на 45,6% (наибольшее у сорта Баграт – 69,1%) по подсолнечнику и  $C_b$  – 55,8% (наибольшее у сорта Багира – 77,8%). По нуту шел процесс сокращения накопления  $C_a$  в растениях в среднем на 42,8% (наибольшее у сорта Баграт – 56,3%) и  $C_b$  – 16,6% (наибольшее у сорта Баграт – 24,5%).

В общем фонде хлорофилла превалировал  $C_a$ . Соотношение  $C_{a/b}$  находилось в пределах 1,06-1,84.

Таким образом, адаптивной реакцией ассимиляционного аппарата растений на стрессовое воздействие температур стало изменение соотношения  $C_{a/b}$  (при снижении уровня основного

фотосинтетического пигмента ( $C_a$ ) и увеличение синтеза вспомогательного пигмента ( $C_b$ ).

Структурными компонентами фотосинтетических мембран хлоропластов являются

каротиноиды ( $C_{кар}$ ), которые участвуют в процессе фотосинтеза и защищают хлорофилл от воздействия экстремальных условий среды.

**Таблица 1.** Накопление  $C_a$  и  $C_b$ , их соотношение в растениях озимой пшеницы, возделываемых по технологии No-till, 2018-2020 гг.

**Table 1.** Accumulation of  $C_a$  and  $C_b$ , their ratio in winter wheat plants, cultivated by No-till technology, 2018-2020

Год Year	Сорт, А Variety, A	Предшест- венник, В Predecessor, B	Фаза, С / Phase, C								
			кущение tillering			трубкование stem formation			колошение earring		
			Ca, мг/л Ca, mg/l	Cb, мг/л Cb, mg/l	C a/b, мг/л C a/b, mg/l	Ca, мг/л Ca, mg/l	Cb, мг/л Cb, mg/l	C a/b, мг/л C a/b, mg/l	Ca, мг/л Ca, mg/l	Cb, мг/л Cb, mg/l	C a/b, мг/л C a/b, mg/l
2018	Зустрич (st.) Zustrich (st.)	Подсолнеч- ник Sunflower	15,24	14,97	1,02	17,03	15,06	1,13	13,08	9,16	1,43
	Багира Bagheera		17,96	9,21	1,95	18,05	9,40	1,92	13,96	6,97	2,00
	Баграт Bagrat		19,00	9,81	1,94	19,37	10,29	1,88	14,17	7,25	1,95
	Зустрич (st.) Zustrich (st.)	Нут Chickpeas	15,96	15,41	1,04	17,35	15,56	1,11	13,78	9,47	1,46
	Багира Bagheera		18,54	9,81	1,89	18,59	9,99	1,86	14,17	7,11	1,99
	Баграт Bagrat		18,93	10,4	1,82	19,49	10,92	1,78	15,06	7,98	1,89
А, HCP <sub>05</sub> = 0,5; В, HCP <sub>05</sub> = 0,03; С, HCP <sub>05</sub> = 0,6; ABC, HCP <sub>05</sub> = 0,2 А, SSD <sub>05</sub> = 0,5; В, SSD <sub>05</sub> = 0,03; С, SSD <sub>05</sub> = 0,6; ABC, SSD <sub>05</sub> = 0,2											
2019	Зустрич (st.) Zustrich (st.)	Подсолнеч- ник Sunflower	17,15	16,98	1,01	18,42	17,27	1,26	14,84	11,07	1,34
	Багира Bagheera		12,14	11,25	1,08	19,28	12,48	1,55	13,12	8,49	1,47
	Баграт Bagrat		19,83	12,48	1,59	20,46	13,34	1,53	12,96	9,72	1,33
	Зустрич (st.) Zustrich (st.)	Нут Chickpeas	16,23	16,18	1,00	18,53	16,85	1,09	14,47	11,50	1,26
	Багира Bagheera		19,03	10,56	1,83	19,38	11,34	1,71	15,12	13,01	1,16
	Баграт Bagrat		20,06	12,30	1,63	20,39	13,30	1,53	14,59	12,25	1,19
А, HCP <sub>05</sub> = 0,2; В, HCP <sub>05</sub> = 0,02; С, HCP <sub>05</sub> = 0,2; ABC, HCP <sub>05</sub> = 0,7 А, SSD <sub>05</sub> = 0,2; В, SSD <sub>05</sub> = 0,02; С, SSD <sub>05</sub> = 0,2; ABC, SSD <sub>05</sub> = 0,7											
2020	Зустрич (st.) Zustrich (st.)	Подсолнеч- ник Sunflower	18,11	16,99	1,06	18,63	17,42	1,07	14,67	11,33	1,38
	Багира Bagheera		12,42	11,34	1,09	19,48	13,07	1,49	13,83	7,35	1,84
	Баграт Bagrat		20,01	12,54	1,60	20,70	13,90	1,49	12,24	10,24	1,19
	Зустрич (st.) Zustrich (st.)	Нут Chickpeas	17,45	14,76	1,18	19,32	15,24	1,33	15,22	12,37	1,25
	Багира Bagheera		19,72	10,81	1,82	19,91	11,88	1,68	13,69	11,65	1,18
	Баграт Bagrat		20,47	13,75	1,48	21,13	14,12	1,49	13,49	11,34	1,17
А, HCP <sub>05</sub> = 0,4; В, HCP <sub>05</sub> = 0,7; С, HCP <sub>05</sub> = 0,4; ABC, HCP <sub>05</sub> =0,3 А, SSD <sub>05</sub> = 0,4; В, SSD <sub>05</sub> = 0,7; С, SSD <sub>05</sub> = 0,4; ABC, SSD <sub>05</sub> =0,3											

В 2018 г. отмечалось увеличение содержания каротиноидов в растениях по всем сортам и предшественникам от фазы кушения до трубкавания и уменьшения к фазе колошения по подсолнечнику

(наибольшее у сорта Багира – 10,3 и 0,8 раза соответственно) и по нуту наибольшее  $C_{кар}$  у сорта Багира – 2,7 и 0,7 раза соответственно (табл. 2).



**Таблица 2.** Концентрация каротиноидов различных сортов озимой пшеницы, мг/л, возделываемых по технологии No-till, 2018-2020 гг.**Table 2.** Concentration of carotenoids of various winter wheat varieties, mg/l, cultivated by No-till technology, 2018-2020

Год Year	Сорт, А Variety, A	Предшественник, В Predecessor, B	Фаза, С / Phase, C		
			кущение tillering	трубкование stem formation	колошение earring
2018	Зустрич (st.) Zustrich (st.)	Подсолнечник Sunflower	0,36	1,51	1,32
	Багира Bagheera		0,19	1,96	1,49
	Баграт / Bagrat		1,01	2,25	1,74
	Зустрич (st.) Zustrich (st.)	Нут Chickpeas	0,70	1,81	1,81
	Багира Bagheera		1,00	2,17	1,45
	Баграт / Bagrat		1,35	2,85	2,28
	A, HCP <sub>05</sub> = 0,2; B, HCP <sub>05</sub> = 0,3; C, HCP <sub>05</sub> = 0,2; ABC, HCP <sub>05</sub> = 0,03 A, SSD <sub>05</sub> = 0,2; B, SSD <sub>05</sub> = 0,3; C, SSD <sub>05</sub> = 0,2; ABC, SSD <sub>05</sub> = 0,03				
	2019	Зустрич (st.) Zustrich (st.)	Подсолнечник Sunflower	0,91	1,99
Багира Bagheera		1,16		2,71	1,65
Баграт / Bagrat		1,54		2,91	2,31
Зустрич (st.) Zustrich (st.)		Нут Chickpeas	0,97	2,18	2,39
Багира Bagheera			1,15	2,71	1,72
Баграт / Bagrat			1,48	3,41	2,51
A, HCP <sub>05</sub> = 0,1; B, HCP <sub>05</sub> = 0,05; C, HCP <sub>05</sub> = 0,2; ABC, HCP <sub>05</sub> = 0,02 A, SSD <sub>05</sub> = 0,1; B, SSD <sub>05</sub> = 0,05; C, SSD <sub>05</sub> = 0,2; ABC, SSD <sub>05</sub> = 0,02					
2020		Зустрич (st.) Zustrich (st.)	Подсолнечник Sunflower	1,15	2,12
	Багира Bagheera	1,94		3,46	2,29
	Баграт / Bagrat	2,39		3,74	2,75
	Зустрич (st.) Zustrich (st.)	Нут Chickpeas	1,16	2,35	2,26
	Багира Bagheera		1,34	2,69	1,89
	Баграт / Bagrat		1,59	3,52	2,60
	A, HCP <sub>05</sub> = 0,4; B, HCP <sub>05</sub> = 0,01; C, HCP <sub>05</sub> = 0,05; ABC, HCP <sub>05</sub> = 0,01 A, SSD <sub>05</sub> = 0,4; B, SSD <sub>05</sub> = 0,01; C, SSD <sub>05</sub> = 0,05; ABC, SSD <sub>05</sub> = 0,01				

В 2019 г. тенденция не изменилась. По подсолнечнику наибольшее  $S_{кар}$  у сорта Багира – 2,3 и 0,6 раза соответственно; по нуту  $S_{кар}$  – у сорта Багира – 2,4 и 0,6 раза соответственно.

В 2020 г. динамика такая же. По подсолнечнику наибольшее  $S_{кар}$  у сорта Зустрич в 1,9 и 0,9 раза соответственно; по нуту  $S_{кар}$  у сорта Баграт – 2,2 и 0,7 раза соответственно.

Таким образом, содержание хлорофилла в листьях озимой культуры напрямую коррелировало с содержанием каротиноидов: в 2019 г. и 2020 г. в фазу колошения концентрация каротиноидов зафиксирована выше на 0,75 и 0,74 мг/л соответственно, чем за 2018 г., что также отражает адаптивную реакцию растений на сложившуюся динамику погодно-климатических показателей.

По всем сортам и предшественникам за период 2018-2020 гг. от фазы кушения до колошения отмечалось уменьшение концентрации содержания азота в растениях. В среднем в 2018 г. по подсолнечнику уменьшение составляло в 3,1 раза и нуту – 3,6 раз соответственно (наибольшее у сорта Багира), в 2019 г. – 3,3 раза и 3,8 раза (также у сорта Багира), 2020 г. – 3,1 раза и 3,9 раза (также у сорта Багира). Среднее линейное отклонение по подсолнечнику сокращалось от фазы всходов до колошения (0,42-0,37). По нуту наоборот, увеличивалось с 0,19 (всходы) до 0,53 (выход в трубку) и уменьшалось до 0,36 (колошение) (табл. 3 и 4).

**Таблица 3.** Содержание азота в растениях озимой пшеницы, возделываемых по подсолнечнику, мг/л (среднее 2018-2020 гг.)**Table 3.** Nitrogen content in winter wheat plants following sunflower cultivation, mg/l (average 2018-2020)

Сорт Variety	Предшественник Predecessor	Фаза / Phase			
		всходы shoots	кущение tillering	трубкование stem formation	колошение earring
<b>Зустріч (st.)</b> Zustrich (st.)	Подсолнечник Sunflower	4,04	3,77	2,93	1,98
<b>Багира / Bagheera</b>		3,40	3,11	2,33	1,39
<b>Баграт / Bagrat</b>		4,67	4,41	3,12	2,48
<b>Показатели вариации / Indicators of variation</b>					
<b>Среднее линейное отклонение</b> Average linear deviation		0,42	0,44	0,31	0,37
<b>Дисперсия по генеральной совокупности</b> Variance based on the entire population		0,27	0,28	0,17	0,20
<b>Дисперсия по выборке</b> Variance based on a sample		0,40	0,42	0,17	0,30
<b>Среднеквадратичное отклонение генеральное</b> Standard deviation of the general		0,52	0,53	0,41	0,45
<b>Среднеквадратичное отклонение по выборке</b> Average square deviation of the sample		0,64	0,65	0,41	0,55
<b>Коэффициент вариации</b> Coefficient of variation		2,23	2,39	3,22	4,62
<b>Коэффициент осцилляции</b> Coefficient of oscillation		0,99	1,06	1,43	2,05

**Таблица 4.** Содержание азота в растениях озимой пшеницы, возделываемых по нуту, мг/л (среднее 2018-2020 гг.)**Table 4.** Nitrogen content in winter wheat plants following chickpea cultivation, mg/l (average 2018-2020)

Сорт Variety	Предшественник Predecessor	Фаза / Phase			
		всходы shoots	кущение tillering	трубкавание stem formation	колошение earring
<b>Зустріч (st.)</b> Zustrich (st.)	Нут Chickpeas	5,12	4,55	3,89	2,60
<b>Багира</b> / Bagheera		4,70	3,56	2,63	1,92
<b>Баграт</b> / Bagrat		5,12	4,57	3,74	2,86
Показатели вариации / Indicators of variation					
<b>Среднее линейное отклонение</b> Average linear deviation		0,19	0,44	0,53	0,36
<b>Дисперсия по генеральной совокупности</b> Variance based on the entire population		0,04	0,22	0,32	0,16
<b>Дисперсия по выборке</b> Variance based on a sample		0,06	0,33	0,47	0,24
<b>Среднеквадратичное отклонение генеральное</b> Standard deviation of the general		0,20	0,47	0,56	0,40
<b>Среднеквадратичное отклонение по выборке</b> Average square deviation of the sample		0,24	0,58	0,69	0,49
<b>Коэффициент вариации</b> Coefficient of variation		1,81	2,13	2,63	3,66
<b>Коэффициент осцилляции</b> Coefficient of oscillation		0,80	0,95	1,17	1,63



Коэффициенты вариации по подсолнечнику и нуту указывают на совокупную неоднородность показателей. Доля размаха вариации (коэффициент осцилляции) по подсолнечнику составляет 0,99-2,05 и нуту – 0,80-1,63. Этот показатель в среднем выше по подсолнечнику (в 2,07 раза), чем по нуту (в 2,03 раза).

Таким образом, эффективность работы пигментной системы в период с 2018 по 2020 гг. зависела от соответствия органогенеза растений

внешним условиям. По всем сортам озимой пшеницы распределение среднего линейного отклонения  $C_a$  по подсолнечнику и нуту уменьшалось от фазы кушения до колошения (1,83-0,36 и 1,29-0,03 соответственно),  $C_b$  – 2,31-0,98 и 1,86-0,06 соответственно (табл. 5 и 6). Расчет показал, что по нуту динамика отклонений  $C_a$  меньше в 1,4-12 раз и  $C_b$  – 1,2-16,3 раза по сравнению с подсолнечником.

**Таблица 5.** Количество фотосинтетических пигментов в растениях озимой пшеницы, возделываемых по подсолнечнику, мг/л (среднее 2018-2020 гг.)

**Table 5.** Amount of photosynthetic pigments in winter wheat plants following sunflower cultivation, mg/l (average 2018-2020)

Сорт Variety	Предшест- венник Predecessor	Фаза / Phase								
		кущение tillering			трубкование stem formation			колошение earing		
		Ca, мг/л	Cb, мг/л	C <sub>кар</sub>	Ca, мг/л	Cb, мг/л	C <sub>кар</sub>	Ca, мг/л	Cb, мг/л	C <sub>кар</sub>
		Ca, mg/l	Cb, mg/l	C <sub>car</sub>	Ca, mg/l	Cb, mg/l	C <sub>car</sub>	Ca, mg/l	Cb, mg/l	C <sub>car</sub>
Зустрич (st.) Zustrich (st.)	Подсолнеч- ник Sunflower	16,83	16,31	3,77	18,03	16,58	2,93	14,19	10,52	1,98
Багира Bagheera		14,17	10,60	3,11	18,94	11,65	2,33	13,64	7,60	1,39
Баграт Bagrat		19,61	11,61	4,41	20,18	12,51	3,12	13,12	9,07	2,58
Показатели вариации / Indicators of variation										
Среднее линейное отклонение Average linear deviation		1,83	2,31	0,44	0,75	2,00	0,31	0,36	0,98	0,40
Дисперсия по генеральной совокупности Variance based on the entire population		4,93	6,19	0,28	0,78	4,62	0,11	0,19	1,42	0,24
Дисперсия по выборке Variance based on a sample		7,40	9,29	0,42	1,16	6,93	0,17	0,29	2,13	0,35
Среднеквадратичное отклонение генеральное Standard deviation of the general		2,22	2,49	0,53	0,88	2,15	0,34	0,44	1,19	0,49
Среднеквадратичное отклонение по выборке Average square deviation of the sample		2,72	3,05	0,65	1,08	2,63	0,41	0,54	1,46	0,60
Коэффициент вариации Coefficient of variation		0,53	0,70	2,39	0,47	0,66	3,22	0,66	0,99	4,54
Коэффициент осцилляции Coefficient of oscillation		0,24	0,31	1,06	0,21	0,29	1,43	0,29	0,44	2,02

По всем сортам распределение среднего линейного отклонения  $C_{кар}$  по подсолнечнику и нуту уменьшалось в фазы кушения и колошения (0,44-0,40 и 0,44-0,36 соответственно) и возрастала в фазу трубкавания (по подсолнечнику – 0,31 и нуту – 0,53). Динамика отклонений  $C_{кар}$  по различным предшественникам практически одинаковая и составляет ошибку опыта.

Расчет коэффициента вариации по двум предшественникам – подсолнечнику и нуту – показал совокупную неоднородность показателей. Доля размаха вариации  $C_a$  по подсолнечнику составляет 0,21-0,29 и нуту – 0,21-0,28,  $C_b$  по подсолнечнику – 0,29-0,44 и нуту – 0,30-0,37.

Таким образом, фотосинтез и питание растений показал тесную взаимосвязь: минеральное

питание стимулирует образование фотосинтетического аппарата и интенсивность его работы. В свою очередь, интенсивный фотосинтез становится условием эффективного использования элементов минерального питания растениями. Применение азотного удобрения и листовой азотной подкормки способствовало повышению концентрации пигментов в органах растений озимой пшеницы. Увеличение доли хлорофилла b и каротиноидов в фазу трубкавания обеспечило стабильность фотосинтеза в условиях динамики температуры. Однако за исследуемый период применение аммиачной селитры и КАС было одинаковым по дозам, поэтому дополнительно не влияло на содержание  $C_a$  и  $C_b$ .

**Таблица 6.** Количество фотосинтетических пигментов в растениях озимой пшеницы, возделываемых по нуту, мг/л (среднее 2018-2020 гг.)**Table 6.** The amount of photosynthetic pigments in winter wheat plants following chickpea cultivation, mg/l (average 2018-2020)

Сорт Variety	Предшественник Predecessor	Фаза / Phase								
		кущение tillering			трубкование stem formation			колошение earring		
		Ca, мг/л	Cb, мг/л	C <sub>кар</sub>	Ca, мг/л	Cb, мг/л	C <sub>кар</sub>	Ca, мг/л	Cb, мг/л	C <sub>кар</sub>
		Ca, mg/l	Cb, mg/l	C <sub>car</sub>	Ca, mg/l	Cb, mg/l	C <sub>car</sub>	Ca, mg/l	Cb, mg/l	C <sub>car</sub>
<b>Зустріч (st.)</b> Zustrich (st.)	Нут Chickpeas	16,55	15,45	4,55	18,40	15,88	3,89	14,49	11,11	2,60
<b>Багира</b> Bagheera		19,09	10,39	3,56	19,29	11,07	2,63	14,33	10,59	1,92
<b>Баграт</b> Bagrat		19,82	12,15	4,57	20,34	12,78	3,74	14,38	10,52	2,86
Показатели вариации / Indicators of variation										
<b>Среднее линейное отклонение</b> Average linear deviation		1,29	1,86	0,44	0,66	1,76	0,53	0,06	0,25	0,36
<b>Дисперсия по генеральной совокупности</b> Variance based on the entire population		1,96	4,40	0,22	0,63	3,96	0,32	0,00	0,07	0,16
<b>Дисперсия по выборке</b> Variance based on a sample		2,95	6,60	0,33	0,94	5,95	0,47	0,01	0,10	0,24
<b>Среднеквадратичное отклонение генеральное</b> Standard deviation of the general		1,40	2,10	0,47	0,79	1,99	0,56	0,07	0,26	0,40
<b>Среднеквадратичное отклонение по выборке</b> Average square deviation of the sample		1,72	2,57	0,58	0,97	2,44	0,69	0,08	0,32	0,49
<b>Коэффициент вариации</b> Coefficient of variation		0,49	0,71	2,13	0,47	0,68	2,63	0,63	0,84	3,66
<b>Коэффициент осцилляции</b> Coefficient of oscillation		0,22	0,32	0,95	0,21	0,30	1,17	0,28	0,37	1,63

Один из важных показателей качества зерна – содержание белка. Эколого-генетическое повышение продуктивности растений зависит от системы аттракции продуктов фотосинтеза из стеблей и листьев в колос, и определяется содержанием белка в зерне. Рядом научных исследований [31] и нами выявлена зависимость содержания белка в зерне от количества азота в растении (табл. 7, 8). Высоким содержанием белка в зерне характеризуется сорт Баграт по подсолнечнику и бобовому предшественнику. Оно составляло 18,0-18,6% и 18,5-18,9% соответственно. Следовательно, способность колоса притягивать азотистые вещества при внесении удобрений у сорта Баграт возрастало в больше мере, чем у других сортов, что указывает на характерное сортовое свойство. Несколько ниже показатель у сорта Зустріч – 17,3-18,1% и 18,1-18,7%. Наименьший – у сорта Багира (13,4-14,8% и 14,3-14,9%).

Коэффициенты вариации по пропашному предшественнику указывают на не однородность

показателей: по массовой доле белка – 0,76-1,79% и продуктивности – 0,29-0,43. И по бобовому предшественнику – 0,74-1,77% и 0,28-0,40 соответственно.

Таким образом, в 2018 г. по подсолнечнику при показателях хлорофилла С<sub>а</sub> и С<sub>б</sub> в фазу кушения 15,24-19,00 и 9,81-14,97 соответственно, в фазу трубкования – 17,03-18,45 и 11,58-15,06; в фазу колошения – 13,08-13,74 и 7,79-8,98; каротиноидов С<sub>кар</sub> – 1,02-1,95; 1,13-1,96; 1,43-2,00 соответственно была достигнута максимальная продуктивность озимой пшеницы (4,7-4,9 т/га). С ростом выше указанных показателей и уменьшением их диапазона урожайность падала, а массовая доля белка – увеличивалась. Так, в 2020 г. отмечено наибольшее содержание белка у сорта Баграт (по подсолнечнику – 18,6%, по нуту – 18,9%). Следовательно, показатели пигментного комплекса можно использовать в качестве селекционного признака устойчивости фотосинтетического аппарата и продуктивности сортов озимой пшеницы.

**Таблица 7.** Содержание белка в зерне и продуктивность сортов озимой пшеницы, возделываемых по подсолнечнику, 2018-2020 гг.**Table 7.** Protein content in grain and productivity of winter wheat varieties following sunflower cultivation, 2018-2020

Сорт Variety	2018		2019		2020	
	Массовая доля белка, % в перерасчете на сухое вещество Mass fraction of protein, % in terms of dry matter	Продуктивность, т/га Productivity, t/ha	Массовая доля белка, % в перерасчете на сухое вещество Mass fraction of protein, % in terms of dry matter	Продуктивность, т/га Productivity, t/ha	Массовая доля белка, % в перерасчете на сухое вещество Mass fraction of protein, % in terms of dry matter	Продуктивность, т/га Productivity, t/ha
Зустрич (st.) / Zustrich (st.)	17,3	4,38	17,6	4,08	18,1	2,94
Багира / Bagheera	13,4	4,43	13,4	3,77	14,8	2,78
Баграт / Bagrat	18,0	4,71	18,2	4,36	18,6	3,31
Показатели вариации / Indicators of variation						
Среднее линейное отклонение Average linear deviation	1,89	1,36	2,00	2,00	1,58	2,00
Дисперсия по генеральной совокупности Variance based on the entire population	4,10	2,11	4,56	5,81	2,84	4,93
Дисперсия по выборке Variance based on a sample	6,14	3,16	6,84	8,71	4,26	7,39
Среднеквадратичное отклонение генеральное Standard deviation of the general	2,02	1,45	2,14	2,41	1,69	2,22
Среднеквадратичное отклонение по выборке Average square deviation of the sample	2,48	1,78	2,62	2,95	2,06	2,72
Коэффициент вариации Coefficient of variation	1,79	0,29	0,79	0,32	0,76	0,43
Коэффициент осцилляции Coefficient of oscillation	0,28	0,07	0,29	0,21	0,22	0,19

**Таблица 8.** Содержание белка в зерне и продуктивность сортов озимой пшеницы, возделываемых по нуту, 2018-2020 гг.**Table 8.** Protein content in grain and productivity of winter wheat varieties following chickpea cultivation, 2018-2020

Сорт Variety	2018		2019		2020	
	Массовая доля белка, % в перерасчете на сухое вещество Mass fraction of protein, % in terms of dry matter	Продуктивность, т/га Productivity, t/ha	Массовая доля белка, % в перерасчете на сухое вещество Mass fraction of protein, % in terms of dry matter	Продуктивность, т/га Productivity, t/ha	Массовая доля белка, % в перерасчете на сухое вещество Mass fraction of protein, % in terms of dry matter	Продуктивность, т/га Productivity, t/ha
Зустрич (st.) / Zustrich (st.)	18,1	4,59	18,3	4,35	18,7	3,28
Багира / Bagheera	14,3	4,51	14,6	4,01	14,9	2,96
Баграт / Bagrat	18,5	4,95	18,7	4,69	18,9	3,54
Показатели вариации / Indicators of variation						
Среднее линейное отклонение Average linear deviation	1,78	1,78	1,73	2,27	1,73	2,00

<b>Дисперсия по генеральной совокупности</b> Variance based on the entire population	3,58	3,66	3,41	7,71	3,39	5,63
<b>Дисперсия по выборке</b> Variance based on a sample	5,37	5,49	5,11	11,56	5,08	8,44
<b>Среднеквадратичное отклонение генеральное</b> Standard deviation of the general	1,89	1,91	1,85	2,78	1,84	2,37
<b>Среднеквадратичное отклонение по выборке</b> Average square deviation of the sample	2,32	2,34	2,26	3,40	2,25	2,91
<b>Коэффициент вариации</b> Coefficient of variation	0,77	0,28	0,76	0,30	0,74	0,40
<b>Коэффициент осцилляции</b> Coefficient of oscillation	0,25	0,09	0,24	0,16	0,23	0,18

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что возделывание озимой пшеницы в системе *No-till* на темно-каштановых карбонатных тяжелосуглинистых почвах в засушливой зоне Центрального Предкавказья в течение 2018-2020 гг. зависело от складывающихся гидротермических условий, которые были контрастными. Вклад внешней среды в общую изменчивость показателей пигментного комплекса и накопление азота в растениях, качества зерна и урожайность значительны. Статистические и математические данные характеризуют исследуемые генотипы различных сортов озимой пшеницы разнохарактерно.

Накопление  $C_a$  и  $C_b$  в растениях по всем сортам и предшественникам от фазы кущения до трубкования увеличивалось, от фазы трубкования к колошению уменьшалось. Изменение соотношения  $C_{a/b}$  и увеличение синтеза  $C_b$  стало адаптивной реакцией ассимиляционного аппарата растений на стрессовое воздействие погодно-климатических условий: снижение осадков и рост температуры.

За рассматриваемый период в общем фонде хлорофилла превалировал  $C_a$ . Соотношение  $C_{a/b}$  находилось в 2018 г., 2019 г. и 2020 г. в пределах 1,06-2,04, 0,99-2,07 и 1,06-1,84 соответственно.

Содержание хлорофилла в листьях озимой культуры напрямую зависело от содержания каротиноидов. Содержание  $C_{кар}$  в растениях по всем сортам и предшественникам увеличивалось от фазы кущения до трубкования и уменьшалось к фазе колошения. В 2019 г. и 2020 г. в фазу колошения концентрация каротиноидов была выше в среднем на 0,74 мг/л (по сравнению с 2018 г.). Этот процесс отражает направленность адаптивных реакций растений на воздействие засушливых климатических явлений.

В целом, на совокупную неоднородность показателей пигментного комплекса, содержания белка, продуктивность сортов озимой пшеницы указывает коэффициент вариации. Так, доля размаха вариации пигментного комплекса в среднем выше по подсолнечнику (в 2,07 раза), чем по нуту (в 2,03 раза). Вариативность динамики показателей свидетельствует об изменении индивидуальной реакции

генотипов сортов озимой пшеницы на фазу вегетации растений и внешние факторы. Оптимальное их сочетание в условиях Центрального Предкавказья показал сорт Баграт по подсолнечнику и бобовому предшественнику: содержание белка составляло 18,0-18,6% и 18,5-18,9% соответственно, продуктивность – 3,31-4,71 и 3,54-4,95 т/га. Остальные сорта в агроценозах предприятия отразили средние показатели.

В засушливых условиях Центрального Предкавказья для достижения планируемой урожайности озимой пшеницы (по подсолнечнику – 4,4-4,8 т/га, по нуту – 4,5-4,9 т/га), возделываемой по технологии *No-till*, рекомендуется дифференцированное внесение азотных удобрений в фазу кущения весной – аммиачной селитры дозой 35 кг д.в. и КАС  $N_{32}$  в фазу конец кущения – начало выхода в трубку.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сандухадзе Б.И., Кочетыров Г.В., Бугрова В.В., Рыбакова М.И. Эффективность селекции озимой пшеницы в центре Нечерноземной зоны Российской Федерации // Материалы научно-практической конференции «Зеленая революция П.П. Лукьяненко», Краснодар, 28-30 мая, 2001. С. 186-192.
2. Грабовец А.И., Фоменко М.А. Особенности селекции озимой пшеницы в условиях меняющегося климата // Материалы международной научно-практической конференции «Научные приоритеты инновационного развития отрасли растениеводства: результаты и перспективы», Жодио, 23-24 июня, 2011. С. 178-180.
3. Манукян И.Р., Басиева М.А., Мирошникова Е.С., Абиев В.Б. Оценка адаптивности генотипов озимой пшеницы к засушливым условиям предгорной зоны Центрального Кавказа // Аграрный вестник Урала. 2019. N 5 (184). С. 16-22.
4. Андрианова Ю.Е., Тарчевский И.А. Хлорофилл и продуктивность растений. М.: Наука, 2000. 135 с.
5. Rama Rao N., Garg P.K., Ghosh S.K., Dadhwal V.K. Estimation of leaf total chlorophyll and nitrogen concentrations using hyperspectral satellite imagery // The Journal of Agricultural Science. 2008. V. 146. N 1. P. 65-75.

6. Zhao D., Reddy K.R., Kakani V.G., Koti S., Read J.J. Selection of optimum reflectance ratios for estimating leaf nitrogen and chlorophyll concentrations of field-grown cotton // *Agronomy Journal*. 2005. V. 97. N 1. P. 89-98.
7. Schlerf M., Atzberger C., Hill J., Buddenbaum H., Werner W., Schüler G. Retrieval of chlorophyll and nitrogen in Norway spruce using imaging spectroscopy // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2010. V. 12. N 1. P. 17-26.
8. Saleem M.F., Ma B.L., Voldeng H., Wang T.-C. Nitrogen nutrition on leaf chlorophyll, canopy reflectance, grain protein and grain yield of wheat varieties with contrasting grain protein concentration // *Journal of Plant Nutrition*. 2010. V. 33. N 11. P. 1681-1695.
9. Sarker J.R., Singh B.P., Cowie A.L., Badgery W., Dalal R.C. Agricultural management practices impacted carbon and nutrient concentrations in soil aggregates, with minimal influence on aggregate stability and total carbon and nutrient stocks in contrasting soils // *Soil and Tillage Research*. 2018. N 178. P. 209-223.
10. Nouwakpo S.K., Song J., Gonzalez J.M. Soil structural stability assessment with the fluidized bed, aggregate stability, and rainfall simulation on long-term tillage and crop rotation systems // *Soil and Tillage Research*. 2018. N 178. P. 65-71.
11. Fiorini A., Maris S.C., Abalos D., Amaducci S., Tabaglio V. Combining no-till with rye (*Secale cereale* L.) cover crop mitigates nitrous oxide emissions without decreasing yield // *Soil & tillage research*. 2020. V. 196. Article ID 104442. DOI: 10.1016/j.still.2019.104442
12. Julien Y., Sobrino J.A. Introducing the time series change visualization and interpretation (TSCVI) method for the interpretation of global NDVI changes // *International journal of applied earth observation and geoinformation*. 2021. V. 96. Article ID 102268. DOI: 10.1016/j.jag.2020.102268
13. Ranjan A.K., Parida B.R. Predicting paddy yield at spatial scale using optical and Synthetic Aperture Radar (SAR) based satellite data in conjunction with field-based Crop Cutting Experiment (CCE) data // *International journal of remote sensing*. 2021. V. 42. N 6. P. 2046-2071. DOI: 10.1080/01431161.2020.1851063
14. Javed T., Li Y., Rashid S., Li F., Hu Q.Y., Feng H., Chen X.G., Ahmad S., Liu F.G., Pulatov B. Performance and relationship of four different agricultural drought indices for drought monitoring in China's mainland using remote sensing data // *Science of the total environment*. 2021. V. 759. Article ID 143530. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143530
15. Medina H., Tian D., Abebe A. On optimizing a MODIS-based framework for in-season corn yield forecast // *International journal of applied earth observation and geoinformation*. 2021. V. 95. Article ID 102258. DOI: 10.1016/j.jag.2020.102258
16. Yang L.Q., Guan Q.Y., Lin J.K., Tian J., Tan Z., Li H.C. Evolution of NDVI secular trends and responses to climate change: A perspective from nonlinearity and nonstationarity characteristics // *Remote sensing of environment*. 2021. V. 254. Article ID 112247. DOI: 10.1016/j.rse.2020.112247
17. Shen Q., Liu L.Z., Zhao W.H., Yang J.H., Han X.Y., Tian F., Wu J.J. Relationship of surface soil moisture with solar-induced chlorophyll fluorescence and normalized difference vegetation index in different phenological stages: a case study of Northeast China // *Environmental research letters*. 2021. V. 16. N 2. Article ID 024039. DOI: 10.1088/1748-9326/abd2f1
18. Sabzchi-Dehkharghani H., Nazemi A.H., Sadraddini A.A., Majnooni-Heris A., Biswas A. Recognition of different yield potentials among rain-fed wheat fields before harvest using remote sensing // *Agricultural water management*. 2021. V. 245. Article ID 16611. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106611
19. Guha S., Govil H. Relationship between land surface temperature and normalized difference water index on various land surfaces: A seasonal analysis // *International journal of engineering and geosciences*. 2021. V. 6. N 3. P. 165-173.
20. Кузусль Н.Н., Кравченко А.Н., Скакун С.В., Адаменко Т.И., Шелестов А.Ю., Колотий А.В., Грипич Ю.А. Регрессионные модели оценки урожайности сельскохозяйственных культур по данным MODIS // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2012. Т. 9. N 1. С. 95-107.
21. Arino O., Bicheron P., Achard F., Latham J., Witt R., Weber J.L. Glob Cover: the most detailed portrait of Earth // *ESA Bulletin – European Space Agency*. 2008. N 136. P. 24-31.
22. Барталев С.А., Егоров В.А., Ершов Д.В., Исаев А.С., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Уваров И.А. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2011. Т. 8. N 4. С. 285-302.
23. Милаева Я.И., Примаков И.П. Сравнительное определение количества пигментов в листьях кукурузы и табака ускоренным методом // *Селекция и семеноводство*. 1969. N 12. С. 69-72.
24. Wintermans J.E.G., De Mots A. Spectrophotometric Characteristics of Chlorophyll a and b and Their Phaeophytins in Ethanol // *Biochimica et Biophysica Acta*. 1965. V. 109. P. 448-453.
25. Von Wettstein D. Chlorophyll letale and der sub-mikroskopische formweschelder plastiden // *Experimental cell Research*. 1957. V. 12. P. 427-430.
26. ГОСТ 10846-91. Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023864> (дата обращения: 03.03.2021)
27. Головачев В.И., Кириловская Е.В. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск второй. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. Москва: Калининская областная типография управления издательств, 1989. 195 с.
28. ГОСТ 13496.4-2019. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200166800> (дата обращения: 03.03.2021)
29. Уникальный инструмент научного анализа данных спутниковых наблюдений // BEGA-Science. URL: <http://sci-vega.ru> (дата обращения: 03.03.2021)
30. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. 5-е издание. М.: Издательство Агропромиздат, 1985. 351 с.
31. Кошеляев В. В., Сальников В. И., Кошеляева И. П. Содержание белка в зерне сортов озимой пшеницы при различных уровнях минерального питания // *Нива Поволжья*. 2019. N 4 (53). С. 23-29.

## REFERENCES

1. Sandukhadze B.I., Kochetyrov G.V., Bugrova V.V., Rybakova M.I. Effectivnost' seleksii ozimoy pshenitsi v tsentre Nechernozemnoy zony Rossiyskoy Federatsii



- [Efficiency of winter wheat breeding in the center of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation]. *Materiali nauchno-prakticheskoy konferentsii "Zelenaya revolyutsiya P.P. Luk'yanenko"*, Krasnodar, 28-30 maya 2001 [Materials of the scientific-practical conference «Green revolution Lukyanenko», Krasnodar, May 28-30, 2001]. Krasnodar, 2001, pp. 186-192. (In Russian)
2. Grabovets A.I., Fomenko M.A. Osobennosti selektsii ozimoy pshentsi v usloviyakh menyaschegosya klimata [Features of winter wheat breeding in a changing climate]. *Materiali mezhdunarodnoi konferentsii "Nauchnie prioritety innovatsionnogo razvitiya otrasli rasteniyevodstva: resul'tati i perspektivy"*, Zhodino, 23-24 iyunya 2011 [Materials of the international scientific and practical conference "Scientific priorities of innovative development of the crop industry: results and Prospects", Zhodino, June 23-24, 2011]. Zhodino, 2011, pp. 178-180. (In Russian)
  3. Manukyan I.R., Basieva M.A., Miroshnikova E.S., Abiev V.B. Assessment of the Adaptability of Winter Wheat Genotypes to the Arid Conditions of the Foothill Zone of the Central Caucasus. *Agrarnii vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals]. 2019, no. 5 (184), pp. 16-22. (In Russian)
  4. Andrianova Yu.E., Tarchevsky I.A. *Khlороfill i produktivnost' rastenii* [Chlorophyll and plant productivity]. Moscow, Nauka Publ., 2000, 135 p. (In Russian)
  5. Rama Rao N., Garg P.K., Ghosh S.K., Dadhwal V.K. Estimation of leaf total chlorophyll and nitrogen concentrations using hyperspectral satellite imagery. *The Journal of Agricultural Science*, 2008, vol. 146, no. 1, pp. 65-75.
  6. Zhao D., Reddy K.R., Kakani V.G., Koti S., Read J.J. Selection of optimum reflectance ratios for estimating leaf nitrogen and chlorophyll concentrations of field-grown cotton. *Agronomy Journal*, 2005, vol. 97, no. 1, pp. 89-98.
  7. Schlerf M., Atzberger C., Hill J., Buddenbaum H., Werner W., Schüler G. Retrieval of chlorophyll and nitrogen in Norway spruce using imaging spectroscopy. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2010, vol. 1, no. 1, pp. 17-26.
  8. Saleem M.F., Ma B.L., Voldeng H., Wang T.-C. Nitrogen nutrition on leaf chlorophyll, canopy reflectance, grain protein and grain yield of wheat varieties with contrasting grain protein concentration. *Journal of Plant Nutrition*, 2010, vol. 33, no. 11, pp. 1681-1695.
  9. Sarker J.R., Singh B.P., Cowie A.L., Badgery W., Dalal R.C. Agricultural management practices impacted carbon and nutrient concentrations in soil aggregates, with minimal influence on aggregate stability and total carbon and nutrient stocks in contrasting soils. *Soil and Tillage Research*, 2018, no. 178, pp. 209-223.
  10. Nouwakpo S.K., Song J., Gonzalez J.M. Soil structural stability assessment with the fluidized bed, aggregate stability, and rainfall simulation on long-term tillage and crop rotation systems. *Soil and Tillage Research*, 2018, no. 178, pp. 65-71.
  11. Fiorini A., Maris S.C., Abalos D., Amaducci S., Tabaglio V. Combining no-till with rye (*Secale cereale* L.) cover crop mitigates nitrous oxide emissions without decreasing yield. *Soil & tillage research*, 2020, vol. 196, article ID 104442. DOI: 10.1016/j.still.2019.104442
  12. Julien Y., Sobrino J.A. Introducing the time series change visualization and interpretation (TSCVI) method for the interpretation of global NDVI changes. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 2021, vol. 96, article ID 102268. DOI: 10.1016/j.jag.2020.102268
  13. Ranjan A.K., Parida B.R. Predicting paddy yield at spatial scale using optical and Synthetic Aperture Radar (SAR) based satellite data in conjunction with field-based Crop Cutting Experiment (CCE) data. *International journal of remote sensing*, 2021, vol. 42, no. 6. pp. 2046-2071. DOI: 10.1080/01431161.2020.1851063
  14. Javed T., Li Y., Rashid S., Li F., Hu Q.Y., Feng H., Chen X.G., Ahmad S., Liu F.G., Pulatov B. Performance and relationship of four different agricultural drought indices for drought monitoring in China's mainland using remote sensing data. *Science of the total environment*, 2021, vol. 759, article ID 143530. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143530
  15. Medina H., Tian D., Abebe A. On optimizing a MODIS-based framework for in-season corn yield forecast. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 2021, vol. 95, article ID 102258. DOI: 10.1016/j.jag.2020.102258
  16. Yang L.Q., Guan Q.Y., Lin J.K., Tian J., Tan Z., Li H.C. Evolution of NDVI secular trends and responses to climate change: A perspective from nonlinearity and nonstationarity characteristics. *Remote sensing of environment*, 2021, vol. 254, article ID 112247. DOI: 10.1016/j.rse.2020.112247
  17. Shen Q., Liu L.Z., Zhao W.H., Yang J.H., Han X.Y., Tian F., Wu J.J. Relationship of surface soil moisture with solar-induced chlorophyll fluorescence and normalized difference vegetation index in different phenological stages: a case study of Northeast China. *Environmental research letters*, 2021, vol. 16, no 2, article ID 024039. DOI: 10.1088/1748-9326/abd2f1
  18. Sabzchi-Dehkharghani H., Nazemi A.H., Sadraddini A.A., Majnooni-Heris A., Biswas A. Recognition of different yield potentials among rain-fed wheat fields before harvest using remote sensing. *Agricultural water management*, 2021, vol. 245, article ID 16611. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106611
  19. Guha S., Govil H. Relationship between land surface temperature and normalized difference water index on various land surfaces: A seasonal analysis. *International journal of engineering and geosciences*, 2021, vol. 6, no. 3, pp. 165-173.
  20. Kussul N.N., Kravchenko A.N., Skakun S.V., Adamenko T.I., Shelestov A.Yu., Kolotiy A.V., Gripich Yu.A. Regression Models of Crop Yield Estimation According to MODIS Data. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space]. 2012, vol. 9, no. 1, pp. 95-107. (In Russian)
  21. Arino O., Bicheron P., Achard F., Latham J., Witt R., Weber J.L. Glob Cover: the most detailed portrait of Earth. *ESA Bulletin – European Space Agency*, 2008, no. 136, pp. 24-31.
  22. Bartalev S.A., Egorov V.A., Yershov D.V., Isaev A.S., Lupyan E.A., Plotnikov D.E., Uvarov I.A. Satellite Mapping of the Vegetation Cover of Russia According to the Data of the MODIS Spectroradiometer. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space]. 2011, vol. 8, no. 4, pp. 285-302. (In Russian)
  23. Milaeva Ya.I., Primak I.P. Comparative Determination of the Amount of Pigments in the Leaves of Corn and Tobacco by the Accelerated Method [Breeding and seed production]. 1969, no. 12, pp. 69-72. (In Russian)
  24. Wintermans J.E.G., De Mots A. Spectrophotometric Characteristics of Chlorophyll a and b and Their Phaeophytins in Ethanol. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1965, vol. 109, pp. 448-453.
  25. Von Wettstein D. Chlorophyll letale and der sub-mikroskopische formweschelder plastiden. *Experimental cell Research*, 1957, vol. 12, pp. 427-430.



26. GOST 10846-91. *Zerno i produkty ego pererabotki. Metod opredeleniya belka* [GOST 10846-91. Grain and its processed products. Method of protein determination]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200023864> (accessed 03.03.2021)
27. Golovachev V.I., Kirillovskaya E.V. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skohozyaistvennykh kul'tur. Vypusk vtoroy. Zernovye, krupyanye, zernobobovye, kukuruza i kormovye kul'tury* [Methodology of state variety testing of agricultural crops. Issue two. Cereals, cereals, legumes, corn and fodder crops]. Moscow, Kalinin Regional Printing House of the Publishing Department, 1989, 195 p. (In Russian)
28. GOST 13496.4-2019. *Korma, kombikorma, kombikormovoe syr'e. Metody opredeleniya soderzhaniya*

- azota i syrogo proteina* [GOST 13496.4-2019. Feed, compound feed, feed raw materials. Methods for determining the content of nitrogen and crude protein]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200166800> (accessed 03.03.2021)
29. *Universal'nyi instrument nauchnogo analiza dannykh sputnikovyyh nablyudenii* [VEGA-Science]. Available at: <http://sci-vega.ru> (accessed: 03.03.2021)
30. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta* [Methodology of field experience]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985, 5th edition, 351 p. (In Russian)
31. Koshelev V.V., Salnikov V.I., Koshelyaeva I.P. Protein content in grain of winter wheat varieties at different levels of mineral nutrition. *Niva Povolzh'ya* [Niva of the Volga region]. 2019, no. 4 (53), pp. 23-29. (In Russian)

#### КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Александр Н. Есаулко, Елена В. Письменная и Евгений В. Голосной участвовали в корректировке рукописи до подачи в редакцию. Алена Ю. Ожередова и Юлия Н. Кузьмина провели полевые опыты, статистически обработали результаты и проанализировали данные. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи, и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### AUTHOR CONTRIBUTIONS

Alexander N. Esaulko, Elena V. Pismennaya and Evgeniy V. Golosnoi participated in the correction of the manuscript prior to submission to the Editor. Alena Yu. Ozheredova and Yulia N. Kuzminova conducted field experiments, statistically processed the results and analysed the data. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

#### NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

#### ORCID

Александр Н. Есаулко / Alexander N. Esaulko <https://orcid.org/0000-0003-0441-9055>  
Елена В. Письменная / Elena V. Pismennaya <https://orcid.org/0000-0003-2786-1954>  
Евгений В. Голосной / Evgeniy V. Golosnoi <https://orcid.org/0000-0003-2703-641X>  
Алена Ю. Ожередова / Alena Yu. Ozheredova <https://orcid.org/0000-0001-6038-6409>  
Юлия Н. Кузьмина / Yulia N. Kuzminova <https://orcid.org/0000-0002-2144-3519>