

## ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ, ВОЗДЕЛЫВАЕМОЙ ПО ТЕХНОЛОГИИ NO-TILL

**БИЛЬДИЕВА Евгения Александровна**, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр  
**ЕРОШЕНКО Федор Владимирович**, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр  
**ГАДЖИУМАРОВ Расул Гаджимарович**, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр  
**ЕПИФАНОВА Раиса Филипповна**, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр

*Представлены исследования по изучению фотосинтетической продуктивности растений озимой пшеницы, возделываемой по технологии без обработки почвы No-till и традиционной технологии, проведенные в 2016–2019 гг. в ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр». В результате исследований установлено, что возделывание озимой пшеницы по технологии No-till способствует формированию более развитого фотосинтетического аппарата с высоким содержанием фотосинтетических пигментов (в среднем на 36,9 % выше, чем у растений, выращенных по традиционной технологии), при этом более высокая концентрация хлорофилла сохраняется на более поздних этапах развития растений, что свидетельствует о более продолжительной работе фотосинтетического аппарата, это подтверждается значением хлорофиллового фотосинтетического потенциала (ХФСП на 9,2% выше, чем у посевов, выращиваемых по традиционной технологии). Высокий уровень минерального питания на фоне технологии No-till снижает нагрузку на фотосинтетический аппарат, при этом показатель чистой продуктивности фотосинтеза на 7,8 % ниже, чем по традиционной технологии. Увеличение фотосинтетической продуктивности растений озимой пшеницы, возделываемой по технологии No-till, в конечном итоге приводит к росту урожайности, в среднем за три года на 14,4% по сравнению с традиционной технологией.*

14

АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

3  
2021

**Введение.** Современное сельскохозяйственное производство России вынуждено решать весьма сложную задачу – обеспечение устойчивого роста урожайности зерна без потери качества и эффективности его производства, причем всё это должно происходить на фоне ресурсосбережения, снижения уровня технического и антропогенного загрязнения окружающей среды и произведенной продукции [5]. В традиционных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур, принятых для различных почвенно-климатических зон, одной из наиболее затратных составляющих является механизированная обработка почвы, тогда как машинный парк большинства хозяйств значительно изношен, а стоимость горюче-смазочных материалов постоянно растет. Также увеличиваются темпы снижения почвенного плодородия производственных полей. Для решения этих проблем необходимо искать новые пути. И в этих условиях большой научно-практический интерес представляет освоение новых ресурсосберегающих агротехнологий, которые основаны на минимизации механизированных обработок почвы или полном отказе от них.

Широкую популярность во многих странах получила технология без обработки почвы No-till, также называемая технологией прямого посева, изучение и активное внедрение которой ведется в различных почвенно-климатических зонах нашей страны. Наибольшее внимание при этом уделяется влиянию данной технологии на почву и ее характеристики [4], установлено положительное влияние технологии No-till на урожайность сельскохозяйственных культур [2]. Однако сведений об особенностях фотосинтетической деятельнос-

ти растений, возделываемых по данной технологии не так много, и они весьма неоднозначны [1, 2, 10]. В то же время величина урожая, в первую очередь, определяется фотосинтетической продуктивностью растений [4, 7]. Поэтому изучение влияния технологии No-till на процессы ассимиляции является актуальным, так как позволяет раскрыть механизмы, обеспечивающие её преимущество перед традиционной технологией.

Цель исследований – изучение особенности фотосинтетической деятельности и формирования урожая зерна посевами озимой пшеницы, возделываемой по технологии No-till.

**Методика исследований.** Исследования проводили с 2016 по 2019 г. на экспериментальном поле ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», расположенном в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края.

Объект исследований – посева мягкой озимой пшеницы сорта Виктория одесская – оригинатор ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» и Селекционно-генетический институт – Национальный центр семеноведения и сорто изучения (г. Одесса). Почва опытного участка – чернозем обыкновенный среднемощный тяжелосуглинистый слабогумусированный. Предшественник озимой пшеницы – соя. Опыт двухфакторный, представлен в трехкратной повторности, площадь каждой деланки 300 м<sup>2</sup>, учетная площадь – 90 м<sup>2</sup>. Первым фактором является технология возделывания: без обработки почвы (No-till) и традиционная (общепринятая технология с обработкой почвы, рекомендованная для данной почвенно-климатической зоны). Вторым фактор – различные дозы минеральных удобрений: N<sub>160</sub>P<sub>90</sub>K<sub>60</sub> – рас-

четная доза (из расчета предполагаемого урожая зерна 6,0 т/га) и  $N_{90}P_{60}K_{60}$  – рекомендованная научными учреждениями для данного региона. На контрольном варианте удобрения не вносили.

Традиционная технология включает в себя двукратное лущение сразу после уборки предшественника, предпосевную культивацию, посев сеялкой СЗ-3,6 с внесением минеральных удобрений и прикатывание ЗКШ-6. Согласно технологии без обработки почвы предусмотрен посев сеялкой прямого посева GIMETAL с внесением минеральных удобрений. Подкормка аммиачной селитрой, обработка гербицидом и фунгицидом по технологии No-till производится с помощью РМГ-4 и ОП-2000 (как и по традиционной технологии). Уборка урожая осуществляется комбайном Сампо-130.

В качестве минеральных удобрений при посеве использовали аммофос ( $N_{12}P_{52}$ ) и нитроаммофоску ( $N_{16}P_{16}K_{16}$ ). По традиционной технологии одна часть удобрений разбрасывается под предпосевную культивацию, а вторая при посеве сеялкой. По технологии без обработки почвы одна часть удобрений разбрасывается по растительным остаткам предшественника перед севом, а другая – при посеве сеялкой. Вариант с расчетной дозой удобрений включает предпосевное внесение удобрений в дозе  $N_{70}P_{90}K_{60}$  и две подкормки:  $N_{60}$  – в фазу весеннего кущения вразброс аммиачной селитрой,  $N_{30}$  – в фазу колошения – мочевиной по вегетирующей массе методом опрыскивания (расход рабочей жидкости 200 л/га). Для варианта с рекомендованной дозой минеральных удобрений предпосевная доза составляет  $N_{60}P_{60}K_{60}$  и в фазу весеннего кущения проводится одна подкормка в дозе  $N_{30}$  в разброс аммиачной селитрой.

Показатели роста и развития растений изучали согласно общепринятым методикам [8], фотосинтетическую деятельность посевов озимой пшеницы изучали по данным о концентрации хлорофилла в органах растений. Содержание хлорофилла определяли путем экстракции пигментов 96%-м этиловым спиртом из предварительно подготовленных проб растительного материала [11]. Результаты обрабатывались статистически по Б.А. Доспехову на персональном компьютере [3].

Метеорологические условия в годы проведения исследований были типичными для зоны неустойчивого увлажнения Ставропольского края. Среднегодовая температура воздуха в 2016–2017, 2017–2018 и 2018–2019 гг. составляла соответственно 9,4, 9,3 и 11,2 °С, при климатической норме 9,5 °С. Температуры воздуха осеннего периода 2016 г. были ниже средних многолетних на 1,1–2,7 °С, в мае 2017 г. выпало осадков выше нормы, что привело к существенному росту суммы осадков за весь период 2016–2017 гг. (656 мм при норме 562 мм). Дефицитом осадков отличался 2018–2019 гг. (этот показатель был на 112 мм ниже нормы), превышение среднегодовой температуры в данном сельскохозяйственном году связано с повышенным температурным

режимом в зимний период (на 0,6–2,8 °С). Выше климатической нормы были температуры и с мая по июль 2019 г. (на 2,4–4,7 °С). В мае и июне 2018 г. также наблюдалась жаркая погода и дефицит осадков вплоть до уборки, в 2017–2018 гг. количество осадков составило 515 мм (на 47 мм ниже нормы).

**Результаты исследований.** Опыты показали, что наиболее благоприятными для формирования урожая зерна озимой пшеницы были погодные условия 2017–2018 гг., когда средняя урожайность на вариантах с применением традиционной технологии возделывания составила 49,2 ц/га, а технологии без обработки почвы – 53 ц/га (табл. 1). Наименее благоприятными оказались условия 2018–2019 гг., повышенные температуры воздуха в репродуктивный период развития озимой пшеницы и существенный дефицит осадков не позволили посевам озимой пшеницы реализовать свой потенциал, урожай зерна в посевах по традиционной технологии составил в среднем 34,7 ц/га, а по технологии No-till – 38,8 ц/га. Несмотря на разницу в урожайности по годам, наиболее существенная прибавка этого показателя получена в результате применения расчетной дозы удобрений: 57,6 ц/га – по технологии без обработки почвы и 49,4 ц/га – по традиционной технологии возделывания.

Урожайность озимой пшеницы определяется элементами ее структуры. Анализ и статистическая обработка данных показали, что в изучаемых условиях рост урожайности происходит, главным образом, за счет сохранения продуктивного стеблестоя к концу вегетации (рис. 1).

Важным фактором, определяющим формирование урожая зерна озимой пшеницы, является фотосинтетическая продуктивность посевов, которая, в свою очередь, определяется размерами и продолжительностью работы ассимиляционного аппарата. Для оценки фотосинтетической деятельности посевов озимой пшеницы был выбран такой показатель, как содержание хлорофилла, так как с его помощью можно охарактеризовать размеры ассимиляционного аппарата и эффективность синтетических процессов в растениях.

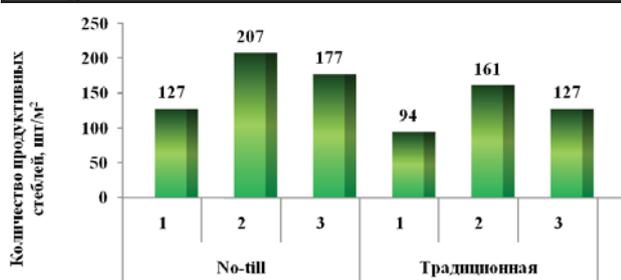
Анализ содержания зеленых пигментов в органах растений озимой пшеницы на разных этапах органогенеза показал, что концентрация хлорофилла достаточно сильно изменяется в зависимости от фазы развития растений. Практически на всех вариантах нашего опыта наблюдалась тенденция к увеличению содержания хлорофилла до фазы колошения, а в дальнейшем происходило его резкое снижение (рис. 2).

Это связано с тем, что наиболее значительная концентрация зеленых пигментов до начала колошения приходится на долю листовых пластинок, начиная с фазы колошения существенно возрастает доля участия стеблей с листовыми влагалищами и колосьев. Исключением стал вариант возделывания озимой пшеницы по технологии No-till без минеральных удобрений, где



**Влияние технологии возделывания и минеральных удобрений на урожайность озимой пшеницы, 2017–2019 гг.**

Технология (А)	Удобрения (В)	Урожайность, ц/га			Среднее
		2017 г.	2018 г.	2019 г.	
Традиционная	Контроль	23,8	29,8	20,5	24,7
	Расчетная доза	41,3	63,4	43,5	49,4
	Рекомендованная доза	39,7	54,4	40	44,7
	Среднее	34,9	49,2	34,7	39,6
No-till	Контроль	22,0	28,8	21,8	24,2
	Расчетная доза	56,5	67,9	48,5	57,6
	Рекомендованная доза	53,4	62,4	46,2	54,0
	Среднее	44,0	53,0	38,8	45,3
НСР <sub>05</sub> для фактора А		1,5	1,0	2,4	
НСР <sub>05</sub> для фактора В		2,6	2,0	2,8	
НСР <sub>05</sub> для взаимодействия АВ		2,7	2,0	2,3	



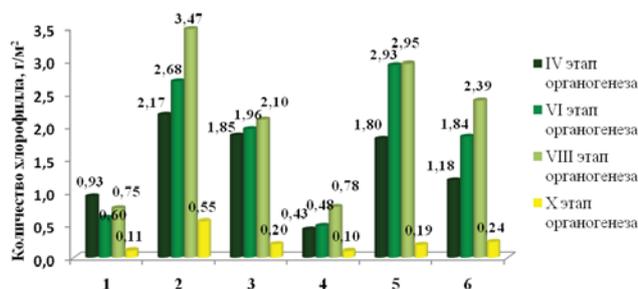
1 – контроль; 2 – расчетная доза удобрений; 3 – рекомендованная доза удобрений

**Рис. 1. Количество продуктивных стеблей (среднее за 2017–2019 гг.)**

максимальное содержание хлорофилла на единицу площади наблюдалось в фазу начала выхода в трубку – 0,93 г/м<sup>2</sup>, затем оно резко снижалось до 0,6 г/м<sup>2</sup>.

В среднем за вегетацию содержание хлорофилла в растениях озимой пшеницы, возделываемой по технологии No-till, на 36,9 % превышало данный показатель у посевов по традиционной технологии.

Известно, что метаболизм азота в растениях тесно связан с процессом фотосинтеза, усвоение азота и углерода протекают параллельно, азот является компонентом не только различных



1 – No-till контроль; 2 – No-till расчетная доза удобрений; 3 – No-till рекомендованная доза удобрений; 4 – традиционная технология контроль; 5 – традиционная технология расчетная доза удобрений; 6 – традиционная технология рекомендованная доза удобрений

**Рис. 2. Содержание хлорофилла в растениях озимой пшеницы**

важных белков, но и хлорофилла. Следовательно, применение азотных удобрений способствует увеличению концентрации зеленых пигментов. Так, у посевов озимой пшеницы по традиционной технологии в среднем за вегетацию концентрация хлорофилла в растениях на вариантах с рекомендованной и расчетной дозами минеральных удобрений составляла 1,41 г/м<sup>2</sup> и 1,97 г/м<sup>2</sup>. Растения озимой пшеницы, выращенной по технологии No-till, отличались более высоким содержанием хлорофилла – 1,53 и 2,22 г/м<sup>2</sup> соответственно.

В конце вегетации наибольшее содержание хлорофилла отмечено при применении расчетной дозы удобрений в технологии No-till (0,55 г/м<sup>2</sup>), что свидетельствует о высокой интенсивности фотосинтеза в стеблях и колосьях растений озимой пшеницы, а, следовательно, и более продолжительной работе фотосинтетического аппарата, что в конечном итоге привело к росту урожайности.

Для оценки мощности развития фотосинтетического аппарата и продолжительности его работы был рассчитан хлорофилловый фотосинтетический потенциал (ХФСП). Данный показатель характеризует валовое содержание хлорофилла и длительность его работы, а также потенциальные возможности растений создавать биологический урожай. Величина ХФСП зависит от изменения содержания хлорофилла в единице веса, динамики ростовых процессов и продолжительности работы фотосинтетического аппарата.

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что вклад разных органов растения озимой пшеницы в величину ХФСП в процентном соотношении в среднем по вариантам составляет 74 % – листья, 19 % – стебли и 7 % – колос (рис. 3).

Уровень минерального питания оказывает существенное влияние на величину ХФСП. Так, в вариантах с внесением рекомендованной дозы удобрений данный показатель составил 103,4 г·сут./м<sup>2</sup> для растений, выращенных по традиционной технологии, и 109,2 г·сут./м<sup>2</sup> – по технологии No-till. Внесение расчетной дозы удобрений привело к уве-



личению ХФСП до 145,5 и 159,2 г-сут./м<sup>2</sup> соответственно. Следует отметить, что в наших опытах хлорофилловый фотосинтетический потенциал был в среднем выше на 9,2 % у растений озимой пшеницы, возделываемой по технологии без обработки почвы, по сравнению с обычной технологией.

Проведенный корреляционный анализ показал прямую и достаточно высокую зависимость между величиной ХФСП и урожайностью озимой пшеницы ( $R = 0,95$ ).

Интенсивность синтетических процессов в растениях характеризует показатель чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ) – прирост сухой биомассы за сутки в расчете на единицу площади. Данный показатель очень чувствителен к различным факторам внешней среды, таким как запасы влаги, минеральное питание, технология возделывания. В нашем опыте в генеративный период развития озимой пшеницы наиболее интенсивная работа фотосинтетического аппарата растений озимой пшеницы по созданию биомассы наблюдалась на вариантах без применения минеральных удобрений (табл. 2).

У растений, возделываемых по технологии без обработки почвы, значение ЧПФ составило 11,8 г/м<sup>2</sup>-сут., а по традиционной – 15,8 г/м<sup>2</sup>-сут. В репродуктивный период развития озимой пшеницы, напротив, более высокое значение ЧПФ наблюдалось в вариантах, где использовали технологию No-till – 81,4 г/м<sup>2</sup>-сут., тогда как по традиционной технологии – 74,8 г/м<sup>2</sup>-сут. Применение минеральных удобрений снижало нагрузку на фотосинтетический аппарат растений, при этом чем выше была

доза вносимых удобрений, тем меньше значение ЧПФ.

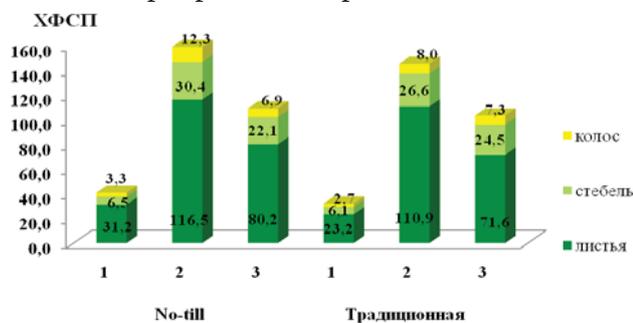
Средняя продуктивность посева за весь период вегетации была выше на вариантах с применением традиционной технологии. Наименьшая интенсивность работы фотосинтетического аппарата по созданию биомассы отмечена на варианте, где озимую пшеницу возделывали по технологии без обработки почвы с применением расчетной дозы удобрений.

Проведенный корреляционный анализ полученных данных показал обратную зависимость между величиной показателя чистой продуктивности фотосинтеза и урожайностью ( $R = -0,96$ ).

Таким образом, исследования показали, что при применении технологии No-till растения озимой пшеницы формируют более развитый фотосинтетический аппарат, который функционирует более продолжительное время, что позволяет им к концу вегетации создать большую биомассу, что в конечном итоге ведет к росту урожайности зерна.

**Заключение.** Применение технологии No-till при возделывании озимой пшеницы способствует формированию растениями более мощного фотосинтетического аппарата с высоким содержанием хлорофилла в органах растений (в среднем за вегетацию на 36,9 % выше по сравнению с растениями озимой пшеницы, возделываемой по традиционной технологии). Существенная разница в концентрации зеленых пигментов отмечена также на X этапе развития растений (в среднем по вариантам на 61 % выше, чем по традиционной технологии), что свидетельствует о более продолжительном функционировании фотосинтетического аппарата. Это подтверждается значением ХФСП, которое у озимой пшеницы, возделываемой по технологии без обработки почвы, выше, чем по традиционной технологии на 9,2 %.

Высокая фотосинтетическая продуктивность посевов озимой пшеницы, возделываемой по технологии No-till, позволила растениям в процессе вегетации сформировать большую биомассу и, как следствие, урожай зерна, чем по обычной технологии. В среднем за годы исследований урожайность на вариантах с применением технологии без обработки почвы была выше на 14,4 %. Существенному росту урожайности спо-



1 – контроль; 2 – расчетная доза удобрений;  
3 – рекомендованная доза удобрений

Рис. 3. Структура хлорофиллового фотосинтетического потенциала посевов озимой пшеницы

Таблица 2

#### Влияние технологии возделывания и минеральных удобрений на показатель чистой продуктивности фотосинтеза, г/м<sup>2</sup>-сут.

Технология	Доза удобрений	Генеративный период	Репродуктивный период	За вегетацию
No-till	Контроль	11,8	81,4	18,8
	Расчетная	9,3	35,8	10,0
	Рекомендованная	9,8	54,8	12,7
Традиционная	Контроль	15,8	74,8	22,5
	Расчетная	8,5	45,5	10,8
	Рекомендованная	10,1	46,3	13,0





собствовало применение минеральных удобрений как по традиционной технологии, так и по технологии без обработки почвы, однако более развитый фотосинтетический аппарат растений, выращенных по технологии No-till, позволил посевам усвоить большее количество элементов питания, вследствие чего урожайность увеличилась на 16,6 %.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние агротехнических приемов на фотосинтетическую активность и продуктивность озимой пшеницы / А.С. Найденов [и др.]. // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 50. – С. 72–79.
2. Влияние прямого посева на плодородие почвы и урожайность полевых культур в Саратовском Правобережье / В.Б. Нарушев [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 3 (53). – С. 54–55.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
4. Дригидер В. К. Ошибки при освоении технологии No-till // Земледелие. – 2016. – № 3. – С. 5–9.
5. Изменение продуктивности сельскохозяйственных культур под воздействием однотипных способов основной обработки почвы / А.В. Алабушев [и др.] // Земледелие. – 2015. – № 8. – С. 25–28.
6. Ионова Е.В., Газе В.Л., Лиховидова В.А. Фотосинтетическая деятельность и динамика накопления сухой массы растений озимой мягкой пшеницы в зависимости от условий выращивания // Зерновое хозяйство России. – 2020. – № 1(67). – С. 23–27.
7. Ерошенко Ф.В. Фотосинтетическая продуктивность растений озимой пшеницы высокорослых и низкорослых сортов: дис. ... д-ра биол. наук / ГОУВПО «Воронежский государственный университет». – Воронеж, 2011. – 312 с.
8. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2: Зер-

новые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры / Государственная комиссия по сортоиспытанию с.-х. культур; подгот. М.А. Федин [и др.]. – М., 1989. – 194 с.

9. Подлесных Н.В. Фотосинтетическая деятельность посевов разных видов озимой пшеницы в условиях лесостепи центрального Черноземья // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2016. – № 2 (49). – С. 19–30.

10. Фотосинтетическая деятельность и продуктивность озимой пшеницы при ресурсосберегающей технологии / Г.Т. Куньипияева [и др.] // International Scientific and Practical Conference Worldscience. – 2018. – Т. 2. – № 3 (31). – С. 10–12.

11. Фотосинтетическая продуктивность растений: учеб. пособие / Ф.В. Ерошенко [и др.]. – Ставрополь: Сервисшкола, 2020. – 115 с.

**Бильдиева Евгения Александровна**, канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории оценки экологического состояния агроценозов, Северо-Кавказский Федеральный научный аграрный центр, Россия.

**Ерошенко Федор Владимирович**, д-р биол. наук, заведующий отделом физиологии растений, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Россия.

**Гаджиумаров Расул Гаджиумарович**, заведующий лабораторией технологии возделывания сельскохозяйственных культур, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Россия.

**Епифанова Раиса Филипповна**, ведущий научный сотрудник лаборатории оценки экологического состояния агроценозов, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Россия.

356241, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, 49.

Тел.: 89624594419; e-mail: bildieva@rambler.ru.

**Ключевые слова:** озимая пшеница; технология без обработки почвы No-till; фотосинтетическая продуктивность; хлорофилловый фотосинтетический потенциал; чистая продуктивность фотосинтеза; урожайность.

#### PHOTOSYNTHETIC PRODUCTIVITY OF WINTER WHEAT CULTIVATED USING NO-TILL TECHNOLOGY

**Bildieva Evgeniya Aleksandrovna**, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, North Caucasus Federal Research Agricultural Center, Russia.

**Eroshenko Fyodor Vladimirovich**, Doctor of Biological Sciences, North Caucasus Federal Research Agricultural Center, Russia.

**Hajiumarov Rasul Hadjiumarovich**, Head of the laboratory, North Caucasus Federal Research Agricultural Center, Russia.

**Epifanova Raisa Filippovna**, Leading Researcher, North Caucasus Federal Research Agricultural center, Russia.

**Keywords:** winter wheat; No-till technology; photosynthetic productivity; chlorophyll photosynthetic potential; net photosynthetic productivity; yield.

The article presents studies of photosynthetic productivity of winter wheat plants cultivated using No-till technology and traditional technology, conducted in 2016–2019 at the North Caucasus Federal research agricultural

center. As a result of research, it was found that the cultivation of winter wheat using No-till technology contributes to the formation of a more developed photosynthetic apparatus with a high content of photosynthetic pigments (on average, 36.9 % higher than in plants grown using traditional technology), while a higher concentration of chlorophyll is preserved at later stages of plant development, which indicates a longer operation of the photosynthetic apparatus, this is confirmed by the value of the chlorophyll photosynthetic potential (CFS is 9.2 % higher, than crops according to the traditional technology). A high level of mineral nutrition with the use of No-till technology reduces the load on the photosynthetic apparatus, and the net productivity of photosynthesis is 7.8 % lower than with traditional technology. An increase in the photosynthetic productivity of winter wheat plants cultivated using No-till technology ultimately leads to an increase in yield, on average over three years by 14.4 % compared to traditional technology applications.