

# 1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.4:633.34

## ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННЫХ И ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ И ПРОДУКТИВНОСТЬ СОИ

О. В. Матыченкова, Т. Н. Азарёнок, С. В. Дыдышко

*Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск*

### ВВЕДЕНИЕ

Абиотические факторы (свет, температура, осадки и др.) играют ведущую роль в формировании уровня фотосинтетической продуктивности сельскохозяйственных культур. Вся генетическая информация, определяющая потенциал продуктивности и другие качества посевов, реализуется в онтогенезе – в процессах роста и репродуктивного развития. Вместе с тем, рост и развитие – интегральное выражение многочисленных сложных физиологических процессов, таких как фотосинтез, водообмен, питание и др. с последующим анализом указанных процессов и явлений – имеет исключительное значение для изучения динамики формирования параметров продуктивности растений, выращенных в определенных агрометеорологических условиях [1, 2, 3].

Посевы полевых культур, в том числе и сои, – могучие фотосинтезирующие системы, которые по возможности поглощают солнечную энергию намного (в 2–5 раз) превышают естественные угодья, в том числе луга, пастбища и лесные насаждения. Фотосинтез – основной источник формирования биомассы растений. Он также обеспечивает энергией все процессы роста, обмена энергии. Оптимальная площадь листовой поверхности (40–60 тыс. м<sup>2</sup>/га) должна приходиться на период активной вегетации растений. Эффективность фотосинтеза каждого отдельного растения, как и агроценоза в целом, обусловлена большим количеством факторов. Формирование урожая сельскохозяйственных культур является результатом фотосинтеза, в процессе которого из простых веществ образуются богатые энергией сложные и разнообразные по химическому составу органические соединения. Как известно, интенсивность накопления органического вещества зависит от площади листовой поверхности (ПЛП), определяемой биометрическими параметрами растений и, в значительной степени, зависящей от режима их питания, а также продолжительностью активной деятельности листьев. Мощность ассимиляционного аппарата и продолжительность его работы является решающим фактором продуктивности фотосинтеза, обуславливающим количественные и качественные показатели урожая. На формирование фотосинтетического потенциала (ФСП) посевов влияют как биотические, так и абиотические факторы. Биотические факторы – это срок сева, норма и глубина высева, обработка почвы, система удобрения, регуляторы роста и др., способствуют использованию абиотических факторов – солнечного света,

осадков, а также уменьшению негативного влияния экстремальных показателей влажности воздуха и почвы [4–6]. Листья – основной орган фотосинтеза, хоть частично эту роль выполняют также зеленые стебли, соцветия в начале их образования и даже корни (например, опорные корни у кукурузы). Для оптимального прохождения фотосинтеза посев должен иметь определенную площадь листовой поверхности – ключевой параметр, отражающий материальный и энергетический обмен в процессах фотосинтеза и питательных веществ растений в агроэкосистемах, прогнозирования их роста и продуктивности в конкретных агрометеорологических условиях. Ее можно считать мерой фотосинтезирующей биомассы [4, 5]. Избыточная влага почвы, как и ее недостаток, влияет на рост растений и развитие семян сои; при этом стресс, вызванный как избытком почвенной влаги, так и ее недостатком приводит к снижению содержания азота, фосфора, калия, кальция, магния и меди в листьях сои. Это может привести к ухудшению роста растений, снижению показателей площади листовой поверхности и фотосинтетического потенциала [6]. Поскольку основу продуктивности растений составляют продукты фотосинтеза, а его эффективность зависит от генетических особенностей, экологических факторов среды и применяемых агротехнических приемов, то изучение почвенно-агрометеорологического потенциала условий возделывания сои и установление его влияния на изменчивость фотосинтетической деятельности данной культуры обуславливают актуальность проводимых исследований.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для характеристики почвенных условий проведения исследований по установлению продуктивности и фотосинтетического потенциала сои сорта «Адесса» на рабочем участке № 12 ОАО «Игнатиичи» Минского района были заложены 2 полуямы: на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах (фото 1) и на дерново-подзолистых временно избыточно увлажненных легкосуглинистых почвах (фото 2). Балл плодородия составил 72,3 и 72,6 соответственно, а индекс окультуренности – 0,95 и 0,91. Дополнительно для характеристики почвенно-агрохимических свойств объектов исследования были заложены по 4 прикопки на каждую разновидность. Исследования проводились в 2023–2024 гг.

Отбор почвенных образцов для исследования агрохимических свойств почв проводили согласно принятой методике [7, 8]. Почвенные образцы из генетических горизонтов отбирали вертикальной колонкой по профилю, начиная с нижних и заканчивая верхними горизонтами. Все аналитические исследования выполнены согласно общепринятым методам, имеющим ГОСТ [9]. В результате исследований установлено, что почвы – объекты исследования – имеют «слабокислую» и «близкую к нейтральной» реакцию почвенной среды (рН 5,85–6,08), «высокое» содержание гумуса (2,81 %), «высокое» средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора (397–339 мг/кг), «высокое» и «очень высокое» средневзвешенное содержание подвижных форм калия (320–458 мг/кг).

Плотность сложения почвы (г/см<sup>3</sup>) определялась кольцами Копецкого в 4-кратной повторности, влажность почвы (%) – термостатно-весовым методом [10, 11]. Запасы продуктивной или доступной влаги (ДАВ, мм) – расчетным путем по Иванову [11].

**Полуяма 1С-23** заложена на пахотных землях ОАО «Игнатичи» Минского района Минской области, за д. Дергаи (53°45'37,1"с. ш. 27°36'44,5" в. д.),  $h = 199$  м



*Фото 1.* Почва: дерново-палево-подзолистая суглинистая, развивающаяся на мощных лессовидных легких суглинках ( $I_{ок.} = 0,95$ )

**Полуяма 6** заложена на пахотных землях ОАО «Игнатичи» Минского района Минской области за д. Дергаи (53°45'32,1"с. ш. 27°36'41,2" в. д.),  $h = 195$  м



*Фото 2.* Почва: дерново-подзолистая временно избыточно увлажненная суглинистая, развивающаяся на мощных лессовидных легких суглинках ( $I_{ок.} = 0,91$ )

Сумма активных температур (САТ) необходимых для произрастания Адессы – 1780–2250 °С, примерный период вегетации – от 77–83 до 85–90 дней. Сорт характеризуется высокими показателями производительности и ранним сроком созревания (группа спелости 0000) [12]. Фенологические наблюдения фазового развития растений сои Адесса (*Glycine max* (L.) Merr.), включенного в Госреестр сортов Республики Беларусь в 2022 г. (№ регистрации 2019465), проведены согласно «Методике государственного сортоиспытания». Стадии развития растений приведены в соответствии с десятичным кодом ВВСН [13]. Отбор образцов сои проведен в различные фазы развития для исследования показателей ПЛП и ФСП культуры (табл. 1).

В эти фазы также были отобраны образцы на определение почвенно-агрохимических, водно-физических свойств почв. Площадь листовой поверхности для сои определялась с помощью метода сканирования [14], значения ФСП получены расчетным путем [4].

**Фенологические фазы развития сои сорта «Адесса»**

Дата отбора растительного образца	Фенологическая фаза развития культуры	Дата отбора растительного образца	Фенологическая фаза развития культуры
23.05.2023	Стадия VC – примордиальные листья	30.05.2024	V1 Первый трилистник
09.06.2023	V1–V2 Первый–третий трилистник		V4 Четвертый трилистник
27.06.2023	R1 Пятый трилистник начало цветения	26.06.2024	R1 Начало цветения
10.07.2023	R2 Цветение	10.07.2024	R2-3 Цветение, начало образования стручка
24.07.2023	R3-R4 начало образования стручка, нижние полностью сформированы		
07.08.2023	R4 Стручок полностью сформирован	06.08.2024	R4-5 Стручок полностью сформирован
24.08.2023	R5 Окончание формирования бобов	27.08.2024	R7 Начало созревания
15.09.2023	R7 Начало созревания		
29.09.2023	R8 Полная спелость	10.09.2024	R8 Полная спелость

Для установления влияния почвенных и погодных условий на продуктивность культур использовался метод мелкоделяночных учетов урожайности сельскохозяйственных культур в производственных посевах. Для каждой почвенной разновидности площадь учетной площадки составляла 1 м<sup>2</sup>, повторность – 4-кратная. Учетные делянки располагались вблизи основного опорного разреза. Учет урожая проведен посредством срезания учетных рядов вручную, высушивания, взвешивания и отбора семян. Статистическая обработка полученных данных проводилась методом дисперсионного и корреляционного анализа по Б. А. Доспехову [15] в программе Microsoft Office Excel, пакет «Анализ данных». Применялись сравнительно-аналитический метод, метод экспертных оценок.

Осуществлен статистический анализ продуктивности сои в зависимости от агрометеорологических условий их произрастания, показателей ФСП по фазам развития культуры от значений диапазона активной влаги, осадков и зависимости продуктивности от запасов питательных веществ.

*Метеорологические условия проведения исследований.* По агроклиматическим данным территория района исследования в достаточной мере обеспечена теплом –

биоклиматический потенциал составляет 136 единиц и в целом характеризуется как «благоприятный» для возделывания сои. По САТ ( $t \geq +10^\circ\text{C}$ ) район полностью обеспечен теплом для возделывания как ультраскороспелых, так и позднеспелых сортов сои ( $1700\text{--}2700^\circ\text{C}$ ) [16].

Показатели изменения фактической температуры ( $t^\circ\text{C}$ ) и осадков (мм) и их отклонение от нормы на территории ОАО «Игнатичи» (по метеостанции Минск) отражены на рисунке 1 и в таблице 2 [17].

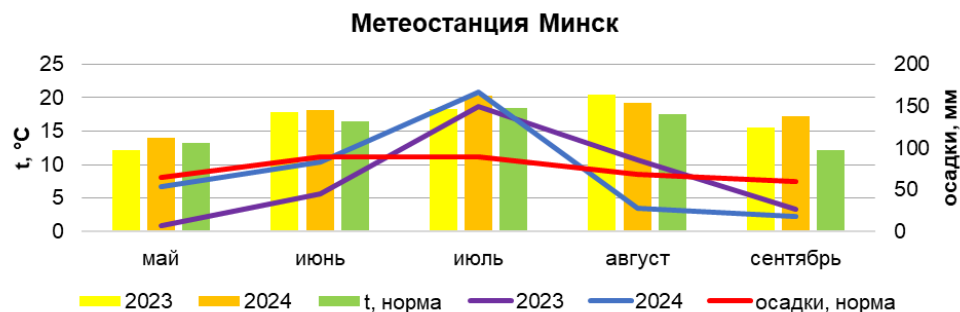


Рис. 1. Агрометеорологические условия объектов исследования

Таблица 2

**Показатели изменения фактической температуры ( $t^\circ\text{C}$ ) и фактического количества осадков (мм) и их отклонение от нормы на территории ОАО «Игнатичи»**

Месяц	Температура, $t^\circ\text{C}$				
	Фактическая, 2023 г.	Фактическая, 2024 г.	Норма	$\pm$ 2023 г.	$\pm$ 2024 г.
Май	12,1	14,0	13,3	–1,2	+0,7
Июнь	17,9	18,2	16,4	+1,5	+1,8
Июль	18,3	20,2	18,5	–0,2	+1,7
Август	20,4	19,3	17,5	+2,9	+1,8
Сентябрь	15,6	17,2	12,1	+3,5	+5,1
Месяц	Количество осадков, мм				
	Фактическое, 2023 г.	Фактическое, 2024 г.	Норма	$\pm$ 2023 г.	$\pm$ 2024 г.
Май	6,5	54,2	65,0	–58,5	–10,8
Июнь	44,8	83,5	89,0	–44,2	–5,5
Июль	149,3	167,1	89,0	+60,3	+78,1
Август	86,1	27,6	68,0	+18,1	–40,4
Сентябрь	27,1	18,5	60,0	–32,9	–41,5

По метеорологическим данным за 2023 г. установлено, что наиболее экстремальные (неблагоприятные) условия по выпадению осадков за вегетационный период (май–август) складывались во 2-й и 3-й декадах мая, в 1-й декаде июня и во 2-й декаде августа. Суммарное количество осадков во 2-й декаде мая составило 0,3 мм, за 3-ю декаду мая и 2-ю декаду августа осадков не выпадало. За 1-ю

декаду июня выпало лишь 0,1 мм осадков. Максимальное количество осадков – 105,1 мм выпало в 3-ю декаду июля, несколько меньше – 78,3 мм в 1-ю декаду августа. По данным метеостанции бездождный период в мае составил 26 дней. Норма среднемесячной температуры мая – 13,3 °С, фактическая же составила по данным наблюдений 12,1 °С: отклонение от нормы – 1,2 °С. В июне бездождный период длился 25 дней. Температура воздуха за этот период была чуть выше климатической нормы на 1,5 °С. С июля по 1-ю декаду августа наблюдалось 23 дня с выпадением осадков, что превысило норму в 1,7 раза, показатели температуры были чуть ниже нормы (–0,2 °С). Со 2-й по 3-ю декады августа зафиксировано только 5 дней с осадками. В августе температура воздуха превысила норму на 2,9 °С, а количество осадков – на 18,1 мм. В сентябре температура воздуха превысила норму на 3,5 °С, а количество осадков было ниже нормы на 32,9 мм.

Таким образом, метеорологические условия вегетационного периода произрастания сои в 2023 г. по показателю выпавших осадков можно считать неблагоприятными. Характерна высокая амплитуда месячных значений осадков. В период посева и начального развития культуры (в фазу формирования 1–3 трилистника) установлена резкая нехватка осадков (отклонение от нормы в мае–июне –58,5 и –44,2 мм соответственно), чрезмерное выпадение осадков в фазы цветения и начало образования стручка в июле (+60,3 мм к норме), и превышение нормы осадков (+18,1 мм) в августе, в фазу окончания формирования бобов. В фазу полной спелости бобов температура воздуха превысила норму на 3,5 °С, а количество осадков зафиксировано ниже нормы (–32,9 мм).

Гидротермический коэффициент (ГТК) по Г. С. Селянинову – комплексный показатель осадков и температуры выше 10 °С (по метеостанции Минск) для территории ОАО «Игнатичи» в вегетационный период (с мая по август) 2023 г. изменялся неравномерно. Наименьшее значение ГТК установлено в мае – 0,17, а максимальное – 2,62 в июле. В 2024 г. наименьшее значение ГТК установлено в сентябре – 0,35, а максимальное также в июле – 2,66 (табл. 3).

Таблица 3

**Значения ГТК на территории ОАО «Игнатичи» (по метеостанции Минск)**

Месяц	ГТК, 2023 г.	ГТК, 2024 г.	Уровень увлажнения, 2023 г.	Уровень увлажнения, 2024 г.
Май	0,17	1,24	очень сильнозасушливый	достаточно влажный
Июнь	0,83	1,53	слабозасушливый	чрезмерно влажный
Июль	2,62	2,66	чрезмерно влажный	чрезмерно влажный
Август	1,36	0,46	достаточно влажный	сильнозасушливый
Сентябрь	0,67	0,35	среднезасушливый	очень сильнозасушливый

\*Примечание. Уровень увлажнения по ГТК ранжируется следующим образом: ГТК < 0,4 – очень сильнозасушливый; 0,4–0,5 – сильнозасушливый; 0,6–0,7 – среднезасушливый; 0,8–0,9 – слабозасушливый; 1,0–1,5 – достаточно влажный; ГТК > 1,5 – чрезмерно влажный.

По метеорологическим данным за 2024 г. установлено, что наиболее экстремальные (неблагоприятные) условия по выпадению осадков за вегетационный период (май–август) складывались в 1-й декаде мая, в 3-й декаде июня и августа. Суммарное количество осадков в 1-й декаде мая составило 6,8 мм, в 3-й декаде



июня – 2,0 мм, в 3-й декаде августа – 2,5 мм. Максимальное количество осадков – 72,1 мм – выпало во 2-ю декаду июля, чуть менее – 58,0 мм – во 2-ю декаду июня. По данным метеостанции Минск бездождный период в мае составил 18 дней. Норма среднемесячной температуры мая 13,3 °С, фактическая же составила по данным наблюдений 14,0 °С. Отклонение от нормы составило +0,7 °С (табл. 2). В июне бездождный период составил 21 день. Температура воздуха в этот период также была чуть выше климатической нормы на 1,8 °С. В июле отмечалось наибольшее количество дней с осадками – 15, за которые выпало 167,1 мм осадков, что превысило норму в 1,9 раза, показатели температуры были выше нормы (+1,7 °С). В августе температура воздуха превысила норму на 1,8 °С, а количество осадков было ниже нормы на 40,4 мм, или в 2,5 раза меньше. В сентябре температура воздуха превысила норму на 5,1 °С, а количество осадков было ниже нормы на 41,5 мм (рис. 1, табл. 2).

Таким образом, метеорологические условия вегетационного периода произрастания сои в 2024 г. по показателю выпавших осадков можно считать более благоприятными по сравнению с 2023 г. В период посева и начального развития культуры (в фазу формирования 1–3 трилистника) установлена нехватка осадков (отклонение от нормы в мае–июне составило –10,8 и –5,5 мм соответственно), но не такая резкая, как в 2023 г., чрезмерное выпадение осадков в фазы цветения и начало образования стручка в июле (+78,1 мм к норме), и нехватка осадков (–40,4 мм) в августе, в фазу окончания формирования бобов. А в фазу полной спелости бобов температура воздуха превысила норму на 5,1 °С, а количество осадков зафиксировано ниже нормы (–41,5 мм).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате полевых исследований 2023–2024 гг. установлено, что площадь листовой поверхности (ПЛП) сои изменялась по фазам развития. Так в фазу V1–V2 (первый–третий трилистник) значение ПЛП, как на автоморфных, так и на временно избыточно увлажненных почвах существенно не различалась и составляло от 3,0 до 3,5 тыс. м<sup>2</sup>/га (рис. 2). В фазу V4–5 (четвертый, пятый трилистник) значение ПЛП в 2023 г. на автоморфной почве несколько ниже по сравнению с временно избыточно увлажненной и составляет всего 13,4 тыс. м<sup>2</sup>/га. В 2024 г. показатели ПЛП в эту фазу также практически не различались между собой (16,3–18,5 тыс. м<sup>2</sup>/га). Низкое развитие листового аппарата на автоморфной почве в 2023 г. связано с отсутствием осадков в указанный период.

В фазу R1–2 (начало цветения–цветение) значения ПЛП на временно избыточно увлажненных почвах существенно возросли: 28,6 тыс. м<sup>2</sup>/га в 2023 г. и 39,6 тыс. м<sup>2</sup>/га в 2024 г. Однако уже в фазе R3–R4 (начало образования стручка, нижние полностью сформированы) значения ПЛП для исследуемых почв в 2023 г. не различались, а в 2024 г. на временно избыточно увлажненной почве площадь листовой поверхности составила 59,3 тыс. м<sup>2</sup>/га. В 2023 г. максимальные значения ПЛП для автоморфной почвы отмечено на стадии R5 (окончание формирования бобов) – 55,8 тыс. м<sup>2</sup>/га, а для временно избыточно увлажненной в период сначала созревания семян (V7) – 42,4 тыс. м<sup>2</sup>/га.

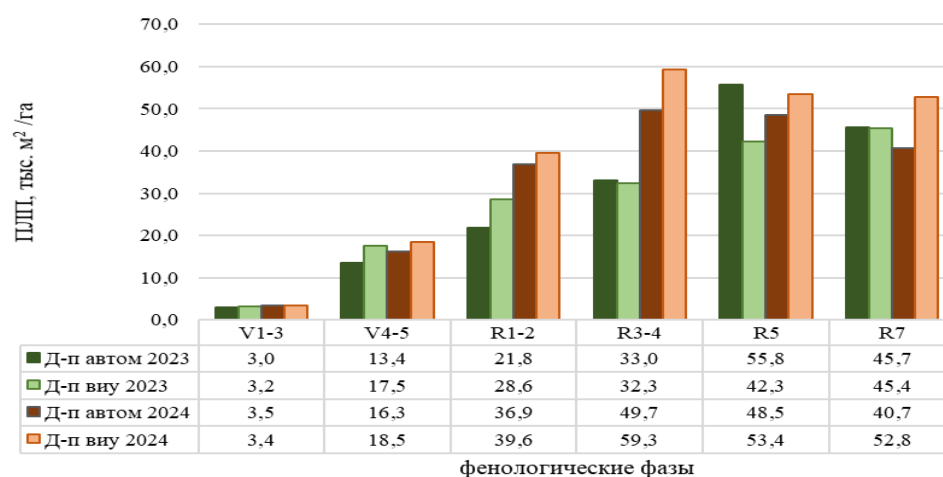


Рис. 2. Показатели площади листовой поверхности сои по фазам развития в 2023–2024 гг.

Значения фотосинтетического потенциала (ФСП) в начальных стадиях формирования растений (фазы V1–3, V4–5, R1, R2) в 2023 г. на временно избыточно увлажненной почве были выше, чем на автоморфной (61,1–342,6 тыс. м²сут/га против 57,5–262,0 тыс. м²сут/га). Далее наблюдалось снижение ФСП на временно избыточно увлажненных почвах, по сравнению с автоморфными (рис. 3).

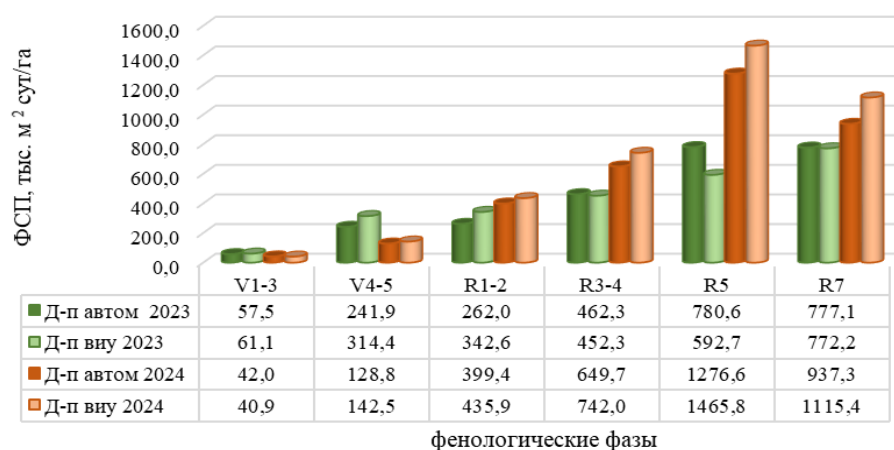


Рис. 3. Показатели фотосинтетического потенциала растений сои по фазам развития в 2023–2024 гг.

Наибольшие значения ФСП отмечены на стадии R5 на дерново-подзолистой автоморфной легкосуглинистой почве (780,6 тыс. м²сут/га), на временно избыточно увлажненной – показатели ФСП в эту стадию несколько ниже (592,7 тыс. м²сут/га). На 95-й день вегетации в 2023 г. значения ФСП сои существенно не различались (777,1–772,2 тыс. м²сут/га), как на автоморфной, так и на временно избыточно увлажненной почве. В сложившихся агрометеорологических условиях (бездожд-



ный период в мае–июне) степень увлажнения почвы оказывала положительное влияние на увеличение ПЛП и ФСП на временно избыточно увлажненных почвах до фазы цветения (V5–R1, R2), однако в фазы начала формирования стручка и фазу окончания формирования бобов (R3–R4, R5) показатели существенно не различались. В 2024 г. в начальных фазах развития (V1–V5) показатель ФСП составлял 42,0–128,8 тыс. м<sup>2</sup>сут/га на автоморфных почвах и 40,9–142,5 тыс. м<sup>2</sup>сут/га на временно избыточно увлажненных почвах, далее по всем фазам он был существенно выше не переувлажненной почвы. Максимальный показатель ФСП в 2024 г. отмечен в фазу окончания формирования бобов (R5) – 1276,6–1465,8 тыс. м<sup>2</sup>сут/га.

Получены высокие значения коэффициента регрессии между показателями ПЛП (R2 = 0,56–0,92) и ФСП (R2 = 0,72–0,94) сои с данными диапазона активной влаги в слое 0–20 см (табл. 4).

Таблица 4

**Значения регрессионного анализа фотосинтетической деятельности растений сои с диапазоном активной влаги в слое 0–20 см**

Почва	Год	Коэффициент детерминации, R <sup>2</sup>	Показатель	Уравнение
Дерново-подзолистая автоморфная	2023	0,74	ПЛП	$y = 0,0035x^2 - 0,4118x + 26,409$
		0,85	ФСП	$y = 8E - 07x^2 - 0,0059x + 25,164$
Дерново-подзолистая временно избыточно увлажненная		0,92	ПЛП	$y = -0,0011x^2 - 0,2023x + 28,032$
0,93		ФСП	$y = 4E - 07x^2 - 0,0042x + 27,097$	
Дерново-подзолистая автоморфная	2024	0,56	ПЛП	$y = -0,008x^2 - 0,6791x + 63,335$
		0,94	ФСП	$y = 0,8942x^2 - 91,391x + 2423,9$
Дерново-подзолистая временно избыточно увлажненная		0,76	ПЛП	$y = 0,1916x^2 - 15,821x + 334,54$
0,72		ФСП	$y = 4,2768x^2 - 356,8x + 7375,8$	

Корреляционный расчет между показателями ПЛП и ФСП сои сорта Адесса и количеством осадков (мм) в межфазный период развития культуры в 2023 г. позволил установить «умеренную» связь ( $r = 0,46$ ) между показателями ФСП и количеством осадков (мм) в межфазный период развития культуры на дерново-подзолистых временно избыточно увлажненных почвах, «заметную» ( $r = 0,56–0,62$ ) между количеством осадков (мм) в межфазный период и показателями ПЛП для дерново-подзолистой временно избыточно увлажненной почвы и показателем ФСП для дерново-подзолистой почвы. Наиболее «тесная» связь ( $r = 0,74$ ) выражена между показателем ПЛП и количеством осадков на дерново-подзолистой автоморфной почве (табл. 5).

В 2024 г. установлена «умеренная» связь ( $r = 0,41–0,43$ ) между показателями ФСП сои и количеством осадков (мм) в межфазный период развития культуры. Связь между показателем ПЛП и количеством осадков в межфазный период не установлена ( $r = 0,10–0,21$ ).

Таблица 5

**Корреляционные зависимости между показателями ПЛП и ФСП от количества осадков (мм) в межфазный период развития культуры сои сорта Адесса**

Показатель	Почва	ПЛП, тыс. м <sup>2</sup> /га		ФСП, тыс. м <sup>2</sup> сут/га	
		2023 г.	2024 г.	2023 г.	2024 г.
Количество осадков (мм) в межфазный период	Дерново-подзолистая автоморфная	0,74	0,10	0,62	0,41
	Дерново-подзолистая временно избыточно увлажненная	0,56	0,21	0,46	0,43

Данные биологической урожайности бобов сои сорта Адесса представлены в таблице 6. В условиях 2023 г. более продуктивными оказались посевы сои на дерново-подзолистой временно избыточно увлажненной почве – 38,2 ц/га, а на дерново-подзолистой легкосуглинистой автоморфной почве – 34,1 ц/га. Дефицит влаги, который наблюдался до периода цветения и начала образования стручков (ГТК = 0,6) негативно сказался на образовании генеративных органов и последующей урожайности на дерново-подзолистой автоморфной почве. Также при засушливых явлениях в начале вегетации входы могут быть неравномерными, что в последующем сказывается на времени созревания семян. Выпавшие осадки в конце июля – начале августа 2023 г. привели к затягиванию созревания семян. Посевы сои достигли полной спелости только к концу сентября.

Таблица 6

**Показатели биологической урожайности зерна сои сорта Адесса, ц/га**

Почва	2023 г.						2024 г.					
	повторность				сред-нее	± %	повторность				сред-нее	± %
	1	2	3	4			1	2	3	4		
Дерново-подзолистая автоморфная	33,2	31,6	36,2	35,4	34,1	–11	41,2	38,4	40,3	37,5	39,3	
Дерново-подзолистая временно избыточно увлажненная	38,6	39,2	36,9	37,9	38,2		34,0	30,7	33,7	28,1	31,6	–20
НСР <sub>0,5</sub>	2,8						3,6					

В 2024 г. в условиях благоприятного вегетационного периода (ГТК = 1,4) более продуктивными были посевы сои на дерново-подзолистой автоморфной почве (39,3 ц/га), а на временно избыточно увлажненной – 31,6 (НСР<sub>0,5</sub> = 3,6). В то же время по показателю массы 1000 зерен варианты между собой не различаются. В среднем она равна 225,5–225,7 г, изменяясь от 216 до 242 г. Существенной разницы не наблюдается.

Анализ гидротермических условий показывает, что в 2024 г. в начальные фазы вегетации складывались благоприятные условия (ГТК = 1,24–1,53) для развития растений, а засушливый период наступил, когда растения находились

в стадии начала созревания. Соответственно растения достигли полной спелости примерно на три недели быстрее, чем в 2023 г.

Таким образом, при засушливых условиях в начальные фазы вегетации сои ее продуктивность на дерново-подзолистых временно-избыточно увлажненных суглинистых почвах на 10–15 % выше (38,2 ц/га против 34,1 ц/га), чем на автоморфных почвах. При достаточном увлажнении (ГТК = 1,25–1,45) продуктивность на автоморфных почвах на 20 % выше (39,3 ц/га против 31,6 ц/га), чем на временно избыточно увлажненных почвах.

Корреляционно-регрессионный анализ подтверждает, что в засушливых условиях урожайность зерна сои имеет «сильную прямую» связь с водно-физическими свойствами, а именно с диапазоном активной влаги в слое 0–20 см, где коэффициент корреляции равен 0,91. А в годы с достаточным увлажнением (ГТК 1,4–1,5) имеется «сильная обратная» связь урожайности сои с диапазоном активной влаги ( $r = -0,88$ ) (рис. 4).

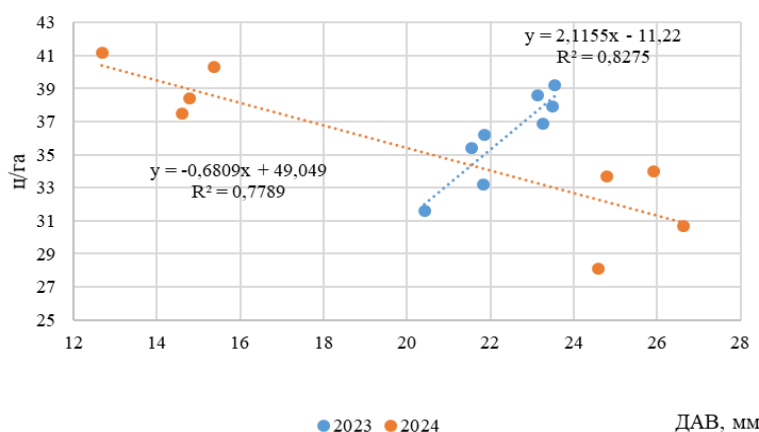


Рис. 4. Зависимость урожайности зерна сои от диапазона активной влаги в слое 0–20 см

Статистическая обработка полученных данных позволила установить силу и направленность взаимосвязей между урожайностью изучаемых культур и влияющими на нее факторами (табл. 7).

Таблица 7

**Корреляционные зависимости урожайности зерна сои и подсолнечника от агрофизических, агрохимических факторов и фотосинтетической деятельности, г**

Показатели	Урожайность, ц/га	
	2023	2024
Площадь листовой поверхности	–0,26	–0,31
Фотосинтетический потенциал	–0,26	–0,39
Запасы фосфора, т/га	0,71	0,91
Запасы калия, т/га	0,57	0,84
Запасы гумуса, т/га	0,88	0,97
ДВ в слое 0–20 см	0,91	–0,88

Выявлена «сильная» связь ( $r = 0,84-0,97$ ) между показателями урожайности сои и запасами калия, фосфора и гумуса и «умеренная» зависимость от показателей фотосинтетической деятельности ( $r = -0,31-0,39$ ).

## ВЫВОДЫ

Метеорологические условия вегетационного периода 2023 и 2024 гг. имели существенные различия. Вегетационный период 2023 г. в начальные фазы вегетации сои характеризовался как засушливый (ГТК мая-июня  $0,17-0,83$ ), а условия 2024 г. характеризовались как достаточно влажные (ГТК мая-июня  $1,24-1,53$ ). В июле засушливые условия как в 2023, так и в 2024 г. сменились чрезмерно влажными (ГТК  $2,62-2,66$ ). ГТК в августе в 2023 г. составил  $1,36$  (достаточно влажный), а в 2024 г. –  $0,46$  (сильнозасушливый). В сентябре условия увлажнения изменялись от средnezасушливых ( $0,67$ ) в 2023 г. до сильнозасушливых ( $0,46$ ) в 2024 г.

Исследования фотосинтетической деятельности культуры сои сорта Адесса в производственных посевах показали, что наиболее высокая площадь листовой поверхности в посевах сои отмечалась в 2023 г. в фазу окончания формирования бобов на дерново-подзолистой автоморфной почве –  $55,8$  тыс.  $\text{м}^2/\text{га}$ , а в 2024 г. – в фазу начала образования стручка-начала налива семян на дерново-подзолистой временно избыточно увлажненной почве –  $59,3$  тыс.  $\text{м}^2/\text{га}$ . К концу вегетации она уменьшалась за счет усыхания листьев в нижней части стебля.

Степень увлажнения почвы оказывала положительное влияние на увеличение показателя фотосинтетического потенциала на временно избыточно увлажненной почве в фазу цветения в 2023 г. Цветение проходило в резкую смену засушливых условий на влажные. В фазу начала формирования стручка показатели ФСП уже существенно не различались. Наибольшие значения ФСП отмечены на стадии окончания формирования бобов на дерново-подзолистой почве –  $780,6$  тыс.  $\text{м}^2\text{сут.}/\text{га}$  (на временно избыточно увлажненной ниже на  $24\%$ , ГТК =  $1,53$ ). На 95-й день вегетации значения ФСП не отличались.

В 2024 г. значения ФСП в начальные фазы существенно не различались на почвах-объектах исследования, но на более поздних стадиях развития показатели были выше на переувлажненной почве. Максимальный показатель ФСП в 2024 г. отмечен в фазу окончания формирования бобов –  $1276,6-1465,8$  тыс.  $\text{м}^2\text{сут.}/\text{га}$  на автоморфной и временно избыточно увлажненной почвах соответственно.

На основании результатов корреляционно-регрессионного анализа выявлена существенная связь между диапазоном активной влаги в слое  $0-20$  см и величинами ПЛП и ФСП сои на обеих почвенных разновидностях. Коэффициент детерминации для ПЛП равен  $0,56-0,92$ , а для ФСП –  $0,72-0,94$ . Выявлена зависимость между показателями фотосинтетической деятельности растений (ПЛП) сои и количеством осадков в межфазный период. Более «сильная» связь установлена в 2023 г., где коэффициент корреляции равен  $0,74$  на автоморфной почве и  $0,56$  – на временно избыточно увлажненной. В 2024 г. связь не установлена. Коэффициент корреляции для ФСП составил  $0,62-0,41$  для автоморфной почвы и  $0,46-0,43$  – для временно избыточно увлажненной.

Дефицит влаги, наблюдавшийся в 2023 г. в начальные фазы вегетации, негативно сказался на образовании генеративных органов и последующей урожайности сои на

дерново-подзолистой автоморфной почве. Выпавшие осадки в конце июля – начале августа 2023 г. привели к удлинению вегетационного периода и затягивания созревания семян. Посевы сои достигли полной спелости только к концу сентября. В 2024 г. в начальные фазы вегетации складывались благоприятные условия ( $ГТК = 1,24–1,53$ ) для развития растений, а засушливый период наступил, когда растения находились в стадии начала созревания. Соответственно, растения достигли полной спелости примерно на три недели быстрее, чем в 2023 г.

Таким образом, при засушливых условиях в начальные фазы вегетации сои ее продуктивность на дерново-подзолистых временно-избыточно увлажненных суглинистых почвах на 10–15 % выше (38,2 ц/га против 34,1 ц/га), чем на автоморфных почвах. При достаточном увлажнении ( $ГТК = 1,25–1,45$ ) продуктивность на автоморфных почвах на 20 % выше (39,3 ц/га против 31,6 ц/га), чем на временно избыточно увлажненных почвах.

Установлены корреляционные зависимости ( $r$ ) продуктивности сои от агрометеорологических условий их произрастания: агрофизических, агрохимических факторов и фотосинтетической деятельности. Выявлена «сильная» связь ( $r = 0,84–0,97$ ) между показателями урожайности сои и запасами калия, фосфора и гумуса и «умеренная» зависимость от показателей фотосинтетической деятельности ( $r = -0,31–0,39$ ).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Земледелие / П. И. Никончик, А. Ч. Скируха, С. С. Небышинец [и др.]; под ред. П. И. Никончика. – Минск: ИВЦ Минфина, 2014. – 584 с.
2. Головина, Е. В. Физиологические особенности сортов сои северного экотипа, возделываемых в условиях ЦЧР / Е. В. Головина, А. А. Зеленев // Аграрная наука. – 2020. – № 11–12. – С. 89–96.
3. Головина, Е. В. Влияние погодных условий на продукционный процесс у сортов сои северного экотипа / Е. В. Головина, В. И. Зотиков // Сельскохозяйственная биология. – 2013. – Т. 48. – № 6. – С. 112–118.
4. Гавриленко, В. Ф. Большой практикум по фотосинтезу: учеб. пособие для студ. вузов / В. Ф. Гавриленко, Т. В. Жигалова; под ред. И. П. Ермакова. – М.: Изд. центр «Академия», 2003. – 256 с.
5. Гарбар, Л. А. Формирование площади листовой поверхности гибридов подсолнечника под влиянием минерального удобрения / Л. А. Гарбар, Т. В. Ковтун // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – № 11(169). – 2018. – С. 19–24.
6. Ничипорович, А. А. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах / А. А. Ничипорович, Л. Е. Строганова, М. П. Власова. – М.: АН СССР, 1969. – 137 с.
7. Методика крупномасштабного агрохимического и радиационного обследования почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / И. М. Богдевич, В. В. Лапа, Н. Н. Цыбулько [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: Ин-т системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2020. – 45 с.
8. Методические указания по почвенно-геоботаническим и агрохимическим крупномасштабным исследованиям в БССР / Н. И. Смеян, И. Н. Соловей; под ред. Н. И. Смеяна. – Минск: Ураджай, 1973. – 299 с.
9. ТКП 2018 (33520) Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель. Технология работ / РУП «Проектный институт Белгипрозем». – Минск. – 2018. – 133 с.

10. Агрофизические методы исследования почв / С. И. Долгов, А. И. Мичманова, С. А. Модина [и др.]; под общ. ред. С. И. Долгова. – М.: Наука, 1966. – 260 с.
11. Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почв (учебное пособие для ВУЗов) / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина // 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
12. Зерновой соевый союз ПФО [Электронный ресурс]. – URL: <https://soya-pfo.ru/> (дата обращения: 09.06.2023).
13. Основные фазы роста и развития сои, особенности агротехнологических мероприятий [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://vniimk.ru/press/news/osnovnye-fazy-rosta-i-razvitiya-soi-i-osobennosti-agrotekhnologicheskikh-meropriyatiy-v-zavisimosti> (дата обращения: 24.02.2023).
14. Индекс листовой поверхности: методы полевых инструментальных измерений и использование материалов дистанционного зондирования / Е. И. Голубева, М. В. Зимин, О. В. Тутубалина [и др.] // Экология. Экономика. Информатика. Серия Геоинформационные технологии и космический мониторинг. – № 5. – Т. 2. – 2020. – С. 70–74.
15. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Колос, 1965. – 423 с.
16. Агроэкологические особенности возделывания сои в Беларуси / О. В. Матыченкова, Т. Н. Азаренок, Д. В. Матыченков, С. В. Дыдышко // Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия: сб. докл. XVIII Междунар. науч.-практ. конф. Курского отделения МОО «Общество почвоведов им. В. В. Докучаева», г. Курск, 26–28 апр. 2023 г. – Курск: ФГБНУ «Курский ФАНЦ», 2023. – С. 196–200.
17. Архив метеорологических данных [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=26850/> (дата обращения: 21.10.2024).

## **INFLUENCE OF SOIL AND WEATHER CONDITIONS THE PHOTOSYNTHETIC POTENTIAL AND PRODUCTIVITY OF SOYBEANS**

**O. V. Matychenkova, T. N. Azarenok, S. V. Dydyshka**

### **Summary**

The indices of photosynthetic activity of the soybean variety «Adessa» (leaf surface area, photosynthetic potential) were determined in the agrometeorological conditions of 2023–2024. The influence of soil and agroclimatic conditions of the Central Soil and Ecological Province of Belarus on soybean productivity was established. It was found that under dry conditions in the initial phases of soybean vegetation, its productivity on sod-podzolic temporarily over-moistened loamy soils is 10–15 % higher (38,2 c/ha versus 34,1 c/ha) than on automorphic soils. With sufficient moisture (HTC = 1,25–1,45), productivity on automorphic soils is 20 % higher (39,3 c/ha versus 31,6 c/ha) than on temporarily over-moistened soils. A «strong» relationship ( $r = 0,84–0,97$ ) was found between the yield indicators and the reserves of potassium, phosphorus and humus; a «strong» inverse relationship ( $r = -0,88$ ) between the range of active moisture in the 0–20 cm layer and the indicators of mobile and active iron ( $r = -0,73$ ); a «moderate» relationship with the indicators of photosynthetic activity ( $r = -0,31–0,39$ ).

*Поступила 12.05.25*