



## Исследование биологического действия экзогенного глутатиона на прорастание семян пшеницы методом электронной абсорбционной спектrophотометрии

*Л. А. Смурова<sup>1</sup>✉, В. В. Ведутенко<sup>1</sup>, Д. А. Круговов<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук, Россия, Москва, e-mail: smurova.lid@yandex.ru

Поступила в редакцию: 24.03.2026 г.; после доработки: 27.04.2026; принята в печать: 04.05.2026 г.

**Аннотация** – Изучена биологическая активность экзогенного глутатиона. Показано рост-стимулирующее действие данного препарата на начальные стадии прорастания семян пшеницы. Использовался метод электронной абсорбционной спектроскопии для мониторинга выхода продуктов жизнедеятельности семян (метаболитов) в среду культивирования (дистиллированная вода) на начальной стадии замачивания. Определены спектральные характеристики образующихся метаболитов. Фиксировалась скорость накопления метаболитов в контроле и опытах с различными концентрациями глутатиона. Показан доза-зависимый эффект рост-стимулирующего действия соединения на скорость накопления метаболитов.

**Ключевые слова:** экзогенный глутатион, электронная абсорбционная спектроскопия, семена пшеницы, рост-стимулирующий эффект.

### Chemical safety of food products

## Investigation of biological activity of exogenous glutathione on the wheat seed germination by UV-spectroscopy method

*Lydia A. Smurova<sup>1</sup>✉, Viktor V. Vedutenko<sup>1</sup>, and Dmitry A. Krugovov<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>N.N. Semenov Federal Research Center for Chemical Physics, Russian Academy of Sciences Moscow, Russia, e-mail: smurova.lid@yandex.ru

Received: March 24, 2026; Revised: April 27, 2026; Accepted: May 4, 2026

**Abstract** – The biological activity of exogenous glutathione was studied. The growth-stimulating effect of this drug on the initial stages of wheat seed germination was shown. The method of electronic absorption spectroscopy was used to monitor the release of seed products (metabolites) into the cultivation medium (distilled water) at the initial stage of soaking. The spectral

characteristics of the resulting metabolites were determined. The rate of metabolite accumulation was recorded in the control and in experiments with different concentrations of glutathione. The study demonstrates a dose-dependent effect of the compound's growth-stimulating action on the rate of metabolite accumulation.

*Keywords:* exogenous glutathione, electron absorption spectroscopy, wheat seeds, growth-stimulating effect.

---

## ВВЕДЕНИЕ

Глутатион (GSH) представляет собой трипептид, известный как биоантиоксидант, участвующий в регуляции большинства окислительных процессов в клетках, в том числе в поддержании клеточного цикла в клетках образовательных тканей растений и защите белков во время обезвоживания семян [1, 2].

В последнее время большое внимание уделяют сигнальной роли глутатиона, часто в сочетании с  $H_2O_2$ , в регулировании окислительного стресса и организации ответа живых организмов на внешние воздействия [1, 3, 4].

GSH является эндогенным антиоксидантом и синтезируется в растениях, играя важную роль в борьбе с биотическим и абиотическим стрессами [5].

В сочетании с динитрозильными комплексами железа глутатион является эффективным лекарством для заживления кожных ран у крыс [6].

Добавленный в различных концентрациях в питательную среду глутатион влияет на прирост массы каллусных тканей и повышение регенерационного потенциала кок-сагыза, перспективного отечественного источника натурального каучука [7].

Целью настоящей работы являлось исследование биологического действия GSH на начальные стадии прорастания семян пшеницы при предварительном их замачивании с различными концентрациями глутатиона. Использовался метод электронной абсорбционной спектроскопии.

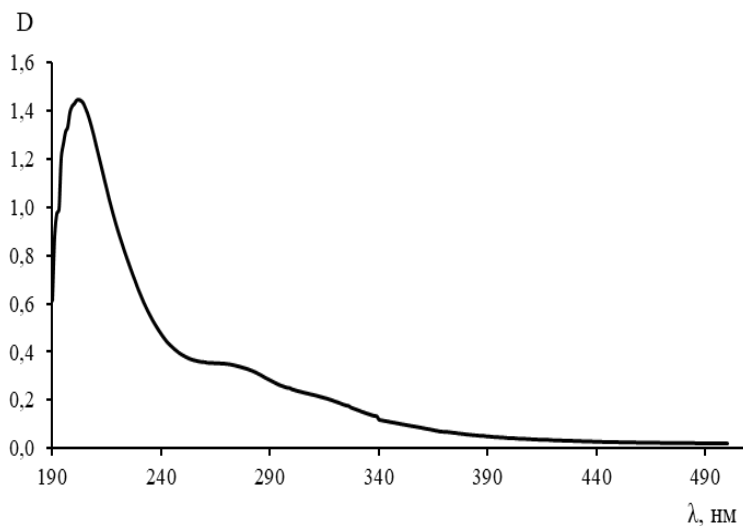
## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В работе использовался восстановленный L-глутатион PanReac Aplichem без дополнительной очистки.

Одним из первых тестов, по которому можно судить об эффекте биологического действия экзогенного глутатиона на прорастание семян (в данных экспериментах использовались семена пшеницы сорта озимая Безенчукская 380) является фиксация выхода метаболитов в среду их культивирования. В настоящем исследовании получены данные, относящиеся к начальным стадиям прорастания семян пшеницы, замоченных в дистиллированной воде при воздействии различных концентраций экзогенного глутатиона.

Начальные стадии процесса прорастания семян вообще и пшеницы, в частности, сопровождаются высвобождением в водную среду продуктов метаболизма (обмена веществ), имеющих характерный спектр поглощения в УФ-области с четко выраженным максимумом при  $\lambda=208$  нм и полосами

меньшей интенсивности в интервале длин волн вплоть до видимой области спектра (рис.1). Выход метаболитов, регистрируемый по электронным спектрам поглощения, наблюдается практически сразу после замачивания семян, когда морфологические признаки (зеленая надземная и корневая части) еще не проявляются. Спектры записывали на спектрофотометре Specord- UV-VIS при комнатной температуре в кварцевых кюветах с длиной оптического пути 1 см. Кювета сравнения - дистиллированная вода.



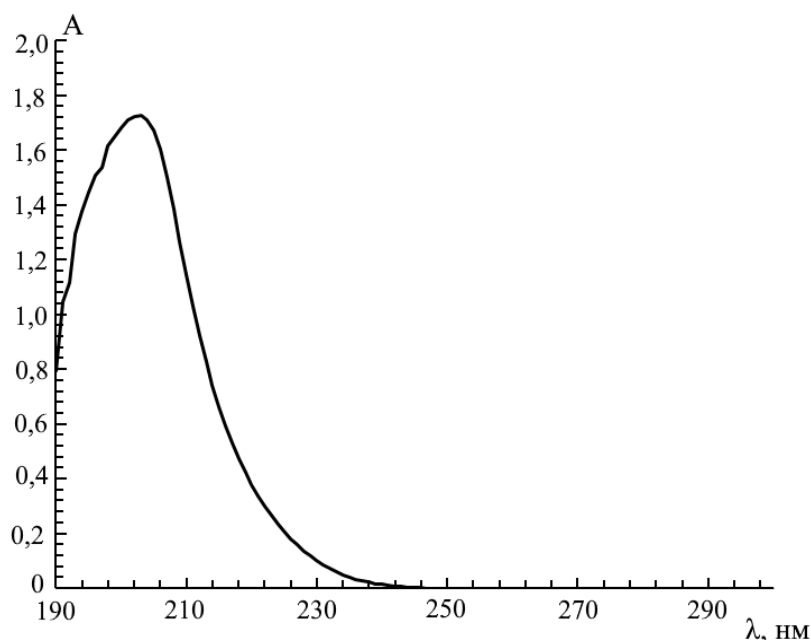
**Рис. 1.** Спектр метаболитов зерен пшеницы.

**Fig. 1.** UV-spectrum of wheat grain metabolites.

Водный раствор глутатиона имеет характерный спектр поглощения с максимумом при  $\lambda=204$  нм (коэффициент экстинкции  $\epsilon = 4,10^3 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ), т.е. имеет поглощение практически в той же спектральной области, что и выходящие из семян продукты метаболизма (рис. 2). Чтобы исключить наложение спектров в эксперименте и анализировать только скорость накопления метаболитов, предварительно производились следующие действия:

1. Семена пшеницы (10 штук) замачивались в 6 мл водного раствора глутатиона с концентрациями  $1,3 \cdot 10^{-3}$  и  $4 \cdot 10^{-3}$  моль/л в чашках Петри и выдерживались в течение 30 минут. Время достаточное для прохождения в клетку через плазмолемму растворенных в воде органических веществ. Проверено экспериментально с различным временем замачивания и выбором оптимального варианта по скорости выхода метаболитов через 30 и 60 минут. Скорость выхода метаболитов практически одинакова.
2. Далее семена тщательно промывались дистиллированной водой (3 раза) с просушиванием на бумажных фильтрах от следов глутатиона и выделившихся за время замачивания метаболитов с поверхности семян. Смывы проверялись на чистоту спектрофотометрически до полного исчезновения следов глутатиона и выделившихся за это время метаболитов.
3. Отмытые таким образом семена (10 шт.) вновь замачивались в 6 мл дистиллированной воды в чашках Петри. Анализировали выход

метаболитов отбором проб через определенные промежутки времени с измерением оптической плотности  $D$  в максимуме поглощения и последующим возвращением отобранного количества в экспериментальный объем.



**Рис. 2.** Спектральные характеристики водного раствора глутатиона с концентрацией  $0,33 \cdot 10^{-3}$  моль/л.

**Fig. 2.** Spectral characteristics of an aqueous solution of glutathione with a concentration of  $0.33 \cdot 10^{-3}$  mol/L.

Контролем служили семена, замоченные в таком же соотношении (10 семян, 6 мл  $H_2O$ ) также с предварительным выдерживанием в дистиллированной воде в течение 30 минут для создания равных стартовых условий контрольных опытов и экспериментальных. Далее семена также тщательно отмывались от выделившихся за это время метаболитов и вновь замачивались в 6 мл  $H_2O$  с последующим анализом отобранных проб.

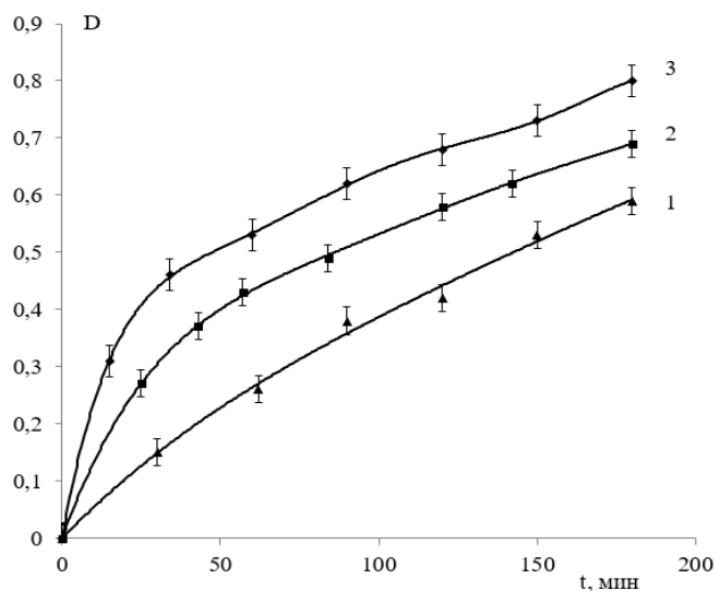
Соотношение количества семян и воды для всех опытов экспериментально подбиралось с учетом максимальных оптических возможностей используемого спектрофотометра для получения достоверной кинетической картины накопления метаболитов в течение всего эксперимента (нескольких часов) рисунок 3.

Поскольку высвобождающиеся метаболиты не являются индивидуальным соединением, для построения кинетических кривых вместо концентрации использовалась величина оптической плотности на длине волны характерного пика.

Все проведенные в работе эксперименты повторялись трехкратно. Результаты независимых экспериментов, равно как и контрольных опытов, различались не более чем на 10%.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Измеряемая величина оптической плотности выходящих в среду культивирования метаболитов (D) в максимуме поглощения при 208 нм в контроле и опытах может рассматриваться как показатель интенсивности жизнедеятельности семян при замачивании на самых ранних стадиях прорастания.



**Рис. 3.** Кинетические кривые высвобождения метаболитов зерен пшеницы.

1 – контроль; 2 – [GSH]=  $1,3 \cdot 10^{-3}$  моль/л, [GSH]=  $4,0 \cdot 10^{-3}$  моль/л.

**Fig. 3.** Kinetic curves of wheat grain metabolite accumulation: 1 – control; 2 – [GSH]=  $1.3 \cdot 10^{-3}$  моль/л, [GSH]=  $4.0 \cdot 10^{-3}$  моль/л.

На рисунке 3 представлены кинетические кривые высвобождения метаболитов в контроле (кр. 1) и при замачивании водным раствором GSH с концентрациями  $1,3 \cdot 10^{-3}$  моль/л (кр. 2) и  $4,0 \cdot 10^{-3}$  моль/л (кр. 3).

Из рисунка видно, что на начальных участках процесс метаболизма происходит достаточно быстро со скоростями  $W_1 = 7 \cdot 10^{-3}$  опт. ед./мин,  $W_2 = 1,02 \cdot 10^{-2}$  опт. ед./мин,  $W_3 = 2,0 \cdot 10^{-2}$  опт. ед./мин с дальнейшим уменьшением скорости по ходу эксперимента. Сравнение скоростей выхода метаболитов в контроле и опытах свидетельствует о рост-стимулирующем действии глутатиона на прорастание семян пшеницы на начальных стадиях. Наблюдается доза-зависимый эффект: чем больше концентрация, тем выше скорость выхода метаболитов (кр. 2 и 3, рис. 3).

Выход метаболитов, регистрируемый по электронным спектрам поглощения, наблюдается практически сразу после замачивания, когда морфологические изменения еще не проявляются. Можно предполагать, что вещества, выделяемые в водную среду сразу после замачивания, представляют собой продукты катаболизма: жиры и крахмал превращаются в органические кислоты и сахара, белки – в аминокислоты и другие соединения, содержащие ароматические и гетероциклические фрагменты.

Процессы поступления и распределения воды и ее состояние в ходе набухания в семенах пшеницы изучали с помощью метода спинового эха ЯМР [8]. Показано, что вода в семени распределена неравномерно. Отмечалось, что в эндосперме семян пшеницы имеется, по крайней мере, два типа клеточных структур, резко отличающихся по своему взаимодействию с водой. В один из них вода проникает быстро, и там образуются достаточно устойчивые области, содержащие воду. Это является необходимым условием для активации метаболизма и перехода к биологической стадии прорастания семян. В связи с этим можно полагать, что растворенные в воде соединения попадают в ответственную клеточную структуру семени за экспериментальное время замачивания (30 минут).

Характер спектров продуктов метаболизма в контроле и опытах в присутствии глутатиона оставался неизменным на протяжении всего эксперимента, что может свидетельствовать о постоянном составе выделяемых продуктов в течении всего времени эксперимента. Другие возможные метаболиты не имеют заметного поглощения в ультрафиолетовой области на начальных стадиях прорастания или выходящие в среду культивирования продукты ограничиваются только этим составом. Это давало возможность достоверно представить кинетику их накопления за время эксперимента.

Наблюдалась идентичность спектров в контроле и опытах с исследуемым соединением. На основании этого с большой долей вероятности можно сделать предположение об отсутствии непосредственного взаимодействия глутатиона с веществами внутри семени. В противном случае характер спектров отличался бы от контрольного. Возможно, GSH является своего рода «катализатором» в совокупности поэтапных ферментативных процессов построения и расщепления сложных молекул внутри семени до простых с последующим выходом их в среду культивирования.

### ВЫВОДЫ

Глутатион является биологически активным соединением, проявляя рост-стимулирующее доза-зависимое действие на начальные стадии прорастания семян пшеницы.

Предложенная в работе спектрофотометрическая методика фиксации продуктов жизнедеятельности на ранних стадиях прорастания семян может служить экспресс-методом для определения биологической активности различных соединений и их стимулирующего или угнетающего действия.

Этот метод также может использоваться в качестве первичного теста для выявления токсичности лекарственных средств.

*Работа выполнена в рамках Государственного Задания Министерства Образования и Науки Российской Федерации НИКТР 125012200615-3*

*ACKNOWLEDGEMENT The work was carried out within the framework of the State Assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation of NICTR 125012200615-3*

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**CONFLICT OF INTERESTS:**

The authors declare no conflict of interests.

## Список литературы:

1. Cairns, N. G., Pasternak, M., Wachter, A., Cobbett, C. S., & Meyer, A. J. (2006). Maturation of Arabidopsis seeds is dependent on glutathione biosynthesis within the embryo. *Plant physiology*, 141(2), 446–455. <https://doi.org/10.1104/pp.106.077982>.
2. Szalai, G., Kellős, T., Galiba, G., & Kocsy, G. (2009). Glutathione as an antioxidant and regulatory molecule in plants under abiotic stress conditions. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28(1), 66–80.
3. Sies, H. (2017). Hydrogen peroxide as a central redox signaling molecule in physiological oxidative stress: Oxidative eustress. *Redox biology*, 11, 613–619. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2016.12.035>.
4. Winterbourn C.C., Hampton M.B. Thiol chemistry and specificity in redox signaling. *Free Radical Biol Med.* (2008). 45, 549. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2008.05.004>.
5. Kasaikina, O. T., Zinatullina, K. M., Kancheva, V. D., Slavova-Kasakova, A. K., & Loshadkin, D. V. (2022). Effect of Lipophilic and Hydrophilic Thiols on the Lipid Oxidation. In *Lipid Oxidation in Food and Biological Systems: A Physical Chemistry Perspective* (pp. 185–200). Cham: Springer International Publishing.
6. Шехтер А. Б., Руденко Т.Г., Сереженков В.А., Ванин А.Ф. (2007). Динитрозильные комплексы железа с тиолсодержащими лигандами ускоряют заживление кожных ран у животных. *Биофизика*. 52(3), 539–547.
7. Мартиросян Л.Ю., Рубцова Н.А., Смурова Л.А., Ю.Ц. Мартиросян, Зинатуллина К.М., Лобанов А.В., Касаикина О.Т. (2022). Влияние экзогенного глутатиона на регенерационный потенциал каллусных тканей *Taraxacum kok-saghyz* L.E. Rodin. *Химическая безопасность*, 6(1), 198–207. <https://doi.org/10.25514/CHS.2022.1.21014>.
8. Аксенов С.И., Головина Е.А. (1996). Проникновение и распределение воды в семенах пшеницы во время набухания. *Физиология растений*. 33(1), 150–158

## References:

1. Cairns, N. G., Pasternak, M., Wachter, A., Cobbett, C. S., & Meyer, A. J. (2006). Maturation of Arabidopsis seeds is dependent on glutathione biosynthesis within the embryo. *Plant physiology*, 141(2), 446–455. <https://doi.org/10.1104/pp.106.077982>.
2. Szalai, G., Kellős, T., Galiba, G., & Kocsy, G. (2009). Glutathione as an antioxidant and regulatory molecule in plants under abiotic stress conditions. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28(1), 66–80.
3. Sies, H. (2017). Hydrogen peroxide as a central redox signaling molecule in physiological oxidative stress: Oxidative eustress. *Redox biology*, 11, 613–619. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2016.12.035>.
4. Winterbourn C.C., Hampton M.B. (2008). Thiol chemistry and specificity in redox signaling. *Free Radical Biol Med.* 45, 549. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2008.05.004>.
5. Kasaikina, O. T., Zinatullina, K. M., Kancheva, V. D., Slavova-Kasakova, A. K., & Loshadkin, D. V. (2022). Effect of Lipophilic and Hydrophilic Thiols on the Lipid Oxidation. In *Lipid Oxidation in Food and Biological Systems: A Physical Chemistry Perspective* (pp. 185–200). Cham: Springer International Publishing.

6. Shekhter A.B., Rudenko T.G., Serezhenkov V.A., Vanin A.F. (2007). Dinitrosyl-iron complexes with cysteine or glutathione accelerate skin wound healing in animals. *Biophysics*. 52(3), 539–547.
7. Martirosyan L.YU., Rubtsova N.A., Smurova L.A., Martirosyan YU.TS., Zinatullina K.M., Lobanov A.V., Kasaikina O.T. (2022). The effect of exogenous glutathione on the regenerative potential of callus tissues of *taraxacum kok-saghyz l.e. rodin*. *Khimicheskaya Bezopasnost' = Chemical Safety Science*, 6(1), 198–207. <https://doi.org/10.25514/CHS.2022.1.21014>
8. Aksenov S. I., Golovina E. A. (1996). Penetration and distribution of water in wheat seeds during imbibition. *Plant Physiology* 33(1), 150–158.