



## ИЗМЕНЕНИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ВЫРАЩИВАНИЯ

✉ <sup>1</sup>Козак Д.К., <sup>1</sup>Иваченко Л.Е., <sup>2</sup>Голохваст К.С.

<sup>1</sup>Благовещенский государственный педагогический университет

Благовещенск, Россия

<sup>2</sup>Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук

Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

✉ e-mail: [dasha\\_chernishuk@mail.ru](mailto:dasha_chernishuk@mail.ru)

Представлены результаты анализа изменений биохимических показателей сои в зависимости от условий выращивания. Объектом исследования служили образцы сои (*Glycine max* (L.) Merr) сорта Лидия и дикой сои (*Glycine soja* Sieb. & Zucc.) формы КА-1344, выращенные на естественных почвах (контрольной и с повышенным содержанием тяжелых металлов). Анализ проводили в листьях, стеблях, корнях, цветках и семенах культурной и дикой сои в фазу первого тройчатого листа, цветения и плодоношения. Содержание малонового диальдегида и удельной активности кислой фосфатазы определяли спектрофотометрическим методом, активность пероксидазы – колориметрическим, содержание цинка, меди и свинца – атомно-абсорбционным. Электрофоретические спектры кислой фосфатазы выявляли методом электрофореза на колонках 7,5%-го полиакриламидного геля. Выявление на геле зон с ферментативной активностью проводили соответствующими гистохимическими методами. Установлено, что выращивание сои на почве с повышенным содержанием цинка, меди и свинца приводит к их накоплению в ее органах. Наибольшее содержание исследуемых металлов установлено в корнях. Выращивание сои на почве с повышенным содержанием цинка, меди и свинца привело к увеличению удельной активности пероксидазы в ее органах. При этом содержание малонового диальдегида у культурной сои достоверно увеличивалось лишь в стеблях в фазу первого тройчатого листа и в корнях в фазу цветения, у дикой сои – в листьях, стеблях и корнях в фазу первого тройчатого листа и в стеблях в фазу цветения. Выявлено, что максимальной удельной активностью кислой фосфатазы обладают цветки. Культурная соя в условиях повышенного содержания цинка, меди и свинца в почве характеризовалась увеличением удельной активности кислой фосфатазы и появлением новых множественных форм. Для дикой сои в целом отмечено снижение удельной активности кислой фосфатазы и увеличение числа множественных форм фермента.

**Ключевые слова:** соя, *Glycine max*, *Glycine soja*, адаптация, тяжелые металлы, малоновый диальдегид, пероксидаза, кислая фосфатаза

## CHANGES IN THE BIOCHEMICAL PARAMETERS OF SOYBEANS DEPENDING ON THE GROWING CONDITIONS

✉ <sup>1</sup>Kozak D.K., <sup>1</sup>Ivachenko L.E., <sup>2</sup>Golokhvast K.S.

<sup>1</sup>Blagoveshchensk State Pedagogical University,

Blagoveshchensk, Russia

<sup>2</sup>Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences

Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

✉ e-mail: [dasha\\_chernishuk@mail.ru](mailto:dasha_chernishuk@mail.ru)

The results of the analysis of changes in biochemical parameters of soybeans depending on growing conditions are presented. The object of the study was samples of soybean (*Glycine max*

(L.) Merr) of the Lydia variety and wild soybean (*Glycine soja* Sieb. & Zucc.) forms of KA-1344 grown on natural soils (control and with a high content of heavy metals). The analysis was carried out in leaves, stems, roots, flowers and seeds of cultivated and wild soybeans in the phase of the first triple leaf, flowering and fruiting. The content of malonic dialdehyde and the specific activity of acid phosphatase were determined by spectrophotometric method, the activity of peroxidase – by colorimetric method, the content of zinc, copper and lead – by atomic absorption. Electrophoretic spectra of acid phosphatase were detected by electrophoresis on columns of 7.5% polyacrylamide gel. Identification of zones with enzymatic activity on the gel was carried out by appropriate histochemical methods. It has been established that the cultivation of soybeans on soil with a high content of zinc, copper and lead leads to their accumulation in the organs of soybeans. The highest content of the studied metals is found in the roots. Growing soybeans on soil with a high content of zinc, copper and lead led to an increase in the specific activity of peroxidase in its organs. At the same time, the content of malonic dialdehyde in cultivated soybeans significantly increased only in stems during the phase of the first triple leaf and in roots during the flowering phase, and in wild soybeans in leaves, stems and roots during the phase of the first triple leaf and in stems during the flowering phase. It has been revealed that the flowers have the maximum specific activity of acid phosphatase. Cultivated soybeans, under conditions of increased zinc, copper and lead content in the soil, were characterized by an increase in the specific activity of acid phosphatase and the appearance of new multiple forms. For wild soybeans, in general, there was a decrease in the specific activity of acid phosphatase and an increase in the number of multiple forms of the enzyme.

**Key words:** soya, *Glycine max*, *Glycine soja*, adaptation, heavy metals, malonic dialdehyde, peroxidase, acid phosphatase

**Для цитирования:** Козак Д.К., Иваченко Л.Е., Голохваст К.С. Изменение биохимических показателей сои в зависимости от условий выращивания // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2022. Т. 52. № 1. С. 16–24. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-1-2>

**For citation:** Kozak D.K., Ivachenko L.E., Golokhvast K.S. Changes in the biochemical parameters of soybeans depending on the growing conditions. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2022, vol. 52, no. 1, pp. 16–24. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-1-2>

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одной из глобальных экологических проблем современности является загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами [1]. Для ее решения принимают различные меры, в том числе проводят мониторинговые исследования состояния различных объектов окружающей среды. Значительный интерес представляют исследования состава и интенсивности влияния химического загрязнения среды на состояние растений, произрастающих в разных эколого-географических условиях [2].

Поступление тяжелых металлов в растения определяется комплексом факторов,

важнейшие из которых – свойства почв и динамика почвенных процессов, концентрация элементов в окружающей среде и их физиологическая значимость для растения, физиологические особенности растений и др. Для каждого растения формируется характерная картина распределения элементов по органам и тканям<sup>1,2</sup>.

Избыточное содержание химических элементов оказывает угнетающее и даже токсическое воздействие на растения. Существует утверждение, что нет токсичных металлов, есть токсичные концентрации. Следовательно, микроэлементы и тяжелые металлы – понятия, относящиеся к одним

<sup>1</sup>Janadeleh H., Kardani M., Salemi M. Study of heavy metals effects on plants // Third International Symposium On Environmental and Water Resources, Engineering. Tehran, Iran, 2–3 June 2015 г.

<sup>2</sup>Логина А.С., Отраднова М.И., Шилова Н.А., Рогачева С.М. Оценка безопасности растительных культур при загрязнении почвы тяжелыми металлами // Техногенная и природная безопасность: материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. (Саратов, 19–21 апреля 2017 г.). Саратов: ООО «Амирит», 2017. С. 69–72.

и тем же элементам, характеризующим их концентрацию в различных средах [3]. Действие тяжелых металлов на растение может отличаться на разных стадиях его развития. Окислительный стресс, вызванный действием тяжелых металлов, – один из основных, отрицательно сказывающийся на сельскохозяйственных культурах [4].

Показателем устойчивости растений может служить ферментативная система. Хорошо изученным ферментом является пероксидаза (КФ 1.11.1.X), которая играет важную роль в системе иммунной защиты растений [5]. Кислая фосфатаза (КФ 3.1.3.2) представляет значительный интерес, поскольку является важнейшим ферментом основных метаболических путей живых систем и недостаточно изучена для растений [6, 7].

Цель исследования – изучить изменение биохимических показателей в органах культурной и дикой сои в ходе онтогенеза в зависимости от условий выращивания.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования служили образцы сои сорта Лидия и дикой сои формы КА-1344. Ранее нами проанализированы почвы в местах произрастания сои [8]. Для данного исследования отобраны естественные почвы в фоновой точке (контроль) и с повышенным содержанием тяжелых металлов (опыт) (см. табл. 1).

Образцы сои выращивали в теплице при температуре 18–28 °С. Перед посадкой в отобранную почву семена поверхностно

стерилизовали 70%-м раствором этилового спирта, промывали дистиллированной водой, затем высаживали в затемненные сосуды с почвой. Анализ проводили в листьях, стеблях и корнях на стадии первого тройчатого листа, в листьях, стеблях, корнях и цветках – на стадии цветения, в семенах – на стадии плодоношения.

Для биохимического анализа готовили экстракты растворимых белков сои<sup>3</sup>. Белок в экстрактах определяли по методу Лоури [9], удельную активность кислой фосфатазы – спектрофотометрическим методом с п-нитрофенилфосфатом в качестве субстрата. Удельную активность выражали в единицах на 1 мг белка. Множественные формы фермента выявляли методом электрофореза в 7,5% ПААГ с последующим окрашиванием зон соответствующими гистохимическими методами (см. сноску 3). Стандартным критерием для характеристики множественных форм ферментов служит их относительная электрофоретическая подвижность (Rf). Ранее выявлены 13 форм кислой фосфатазы с Rf от 0,04 до 0,75 [10].

В качестве маркеров окислительного стресса использовали содержание малонового диальдегида (МДА) и удельную активность пероксидазы. Удельную активность пероксидазы определяли фотометрическим методом по Бояркину в модификации Мокроносова на фотоэлектрическом концентрационном колориметре марки КФК-2 (Россия) по изменению оптической плотности (см. сноску 3). В качестве субстрата использовали бензидин солянокислый («Интерхим», Россия). Содержание МДА устанавливали реакцией с тио-

**Табл. 1.** Характеристика почв для исследований  
**Table 1.** Characteristics of soils for research

Почва	Гумус, %	рН	Содержание, мг/кг				
			Водорастворимые формы фосфат-ионов в пересчете на P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Водорастворимые формы ионов калия	Подвижные формы		
					цинк	свинец	медь
Контроль	4,2 ± 0,6	5,1 ± 0,2	9,2 ± 1,4	3,1 ± 0,5	<1,0	<0,5	<1,0
Опыт	4,6 ± 0,7	5,0 ± 0,2	15,7 ± 2,4	7,3 ± 1,2	20,2 ± 6,1	0,9 ± 0,3	2,4 ± 0,7

<sup>3</sup>Иваченко Л.Е., Кашина В.А., Маскальцова В.И., Разанцевей В.И., Стасюк Е.М., Трофимцова И.А. Методы изучения полиморфизма сои. Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2008. 138 с.

барбитуровой кислотой, которая при высокой температуре и кислом значении pH протекает с образованием окрашенного триметинового комплекса<sup>4</sup>. Содержание цинка, меди и свинца определяли атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре КВАНТ.З (Россия).

Статистическую обработку полученных данных осуществляли с помощью программного обеспечения Microsoft Excel. Анализ растительного материала проводили в двух биологических и трех аналитических повторностях (всего 6 повторностей). Результаты выражали как среднее ( $n = 6$ ) ± стандартное отклонение, различия считались статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

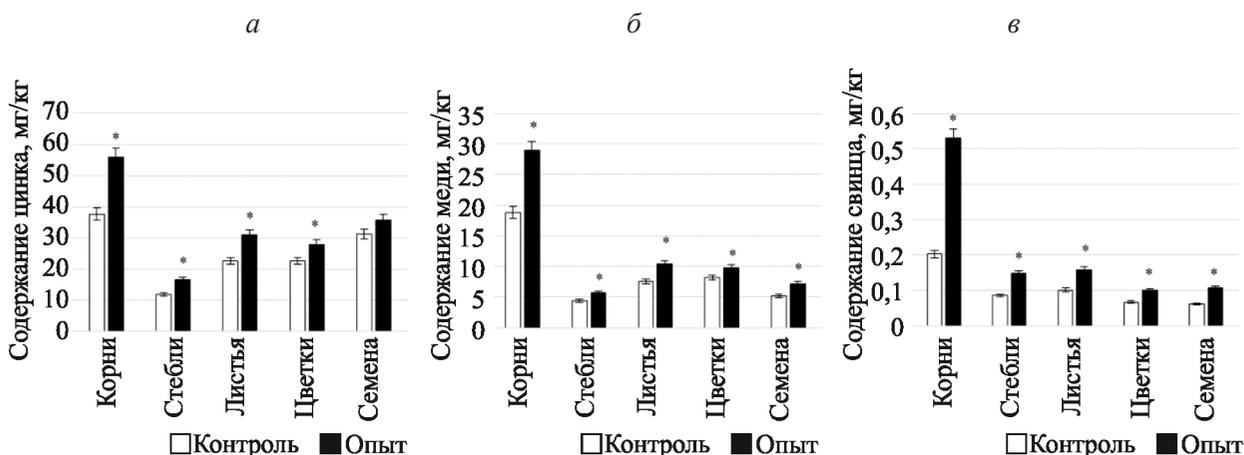
В настоящее время повышенное внимание уделяется вопросам накопления и распределения тяжелых металлов в органах растений, а также их действия на основные физиологические процессы и продуктивность. Типичное распределение металлов по органам у растений следующее (по убыванию): корень > надземная масса > генеративные органы [11]. Способность к накоплению металлов варьирует не только между видами, но и между сортами и генотипами. Накопление

тяжелых металлов в репродуктивных органах и семенах менее интенсивно [12]. Это имеет большое биологическое значение, связанное с сохранением способности к репродукции и семенной продуктивности.

В ходе проведенного нами анализа органы сои распределились по способности к аккумуляции цинка (по убыванию): корни > семена > листья = цветки > стебли (см. рис. 1, а). В литературе отмечено, что в целом цинк распределяется между различными органами растений следующим образом: корни > листья > стебли > ствол (стебель)<sup>5</sup>. Отмечено увеличение концентрации цинка во всех органах сои при выращивании в условиях повышенного содержания тяжелых металлов в почве. Максимум зафиксирован в корнях сои – от 37,65 до 56,02 мг/кг.

Распределение меди по органам сои следующее (по убыванию): корни > цветки = листья > семена > стебли (см. рис. 1, б). Содержание меди в образцах, выращенных на опытной почве, выше, чем в контроле. Максимальное накопление меди зафиксировано в корнях сои – от 18,83 до 28,97 мг/кг.

Способность к аккумуляции свинца (по убыванию): корни > листья = стебли > цветки = семена (см. рис. 1, в). Большинство



**Рис. 1.** Содержание цинка (а), меди (б) и свинца (в) в органах сои (среднее) в зависимости от агрофона. Здесь и в рис. 2–5 различия с контролем достоверны при  $p \leq 0,05$

**Fig. 1.** The content of zinc (a), copper (b) and lead (c) in soybean organs (average) depending on the agricultural background

\*Here and in Figs. 2-5 differences with control are significant at  $p \leq 0.05$

<sup>4</sup>Рогожин В.В., Рогожина Т.В. Практикум по физиологии и биохимии растений: учебное пособие. СПб.: ГИОРД, 2013. 352 с.

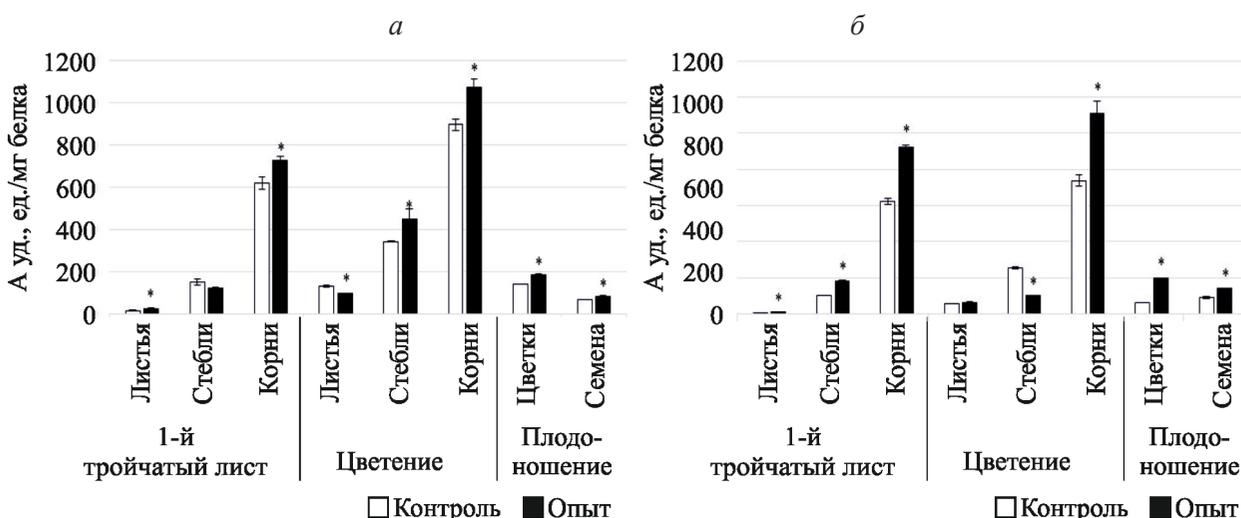
<sup>5</sup>Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. L.: CRC Press, 2011. 505 p.

исследователей, изучавших распределение свинца в органах различных видов растений, сообщают о преимущественном накоплении элемента в корнях [13]. Нами также отмечена данная закономерность: накопление свинца при выращивании на опытной почве происходит во всех органах сои. Концентрация свинца в корнях сои, выращенной на опытной почве, была выше более чем в 2,5 раза относительно контрольной. Минимальная концентрация свинца установлена в генеративных органах сои, что свидетельствует о защитных механизмах, препятствующих накоплению тяжелых металлов в семенах растений.

Накопление тяжелых металлов приводит к усилению окислительного стресса, маркерами которого являются содержание МДА и пероксидазный тест. В ходе проведенного анализа показано достоверное увеличение удельной активности пероксидазы в большинстве органов культурной и дикой сои (см. рис. 2).

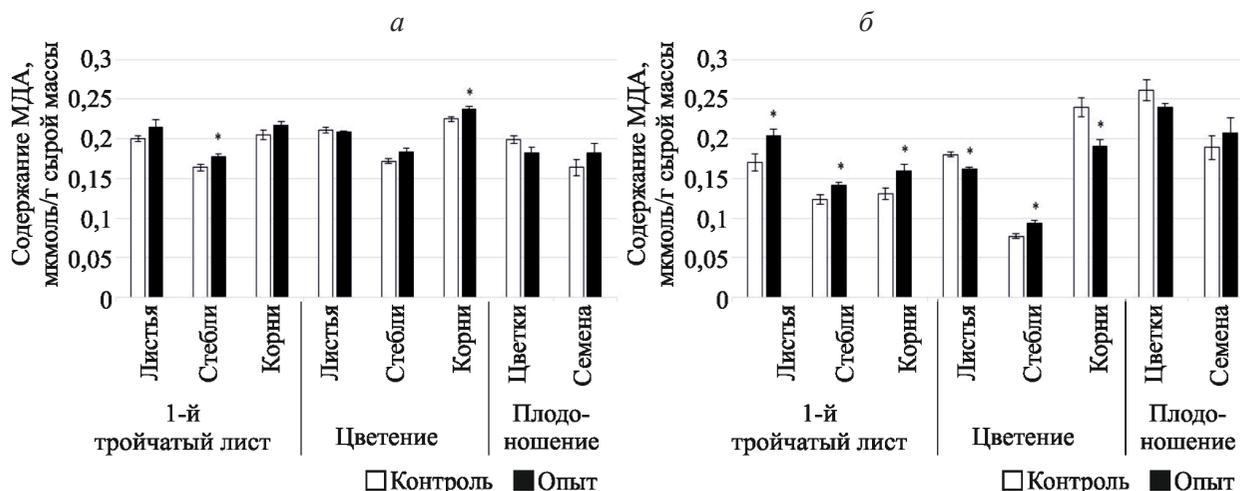
Содержание МДА у культурной сои достоверно увеличивалось в стеблях в фазу первого тройчатого листа и в корнях в фазу цветения, у дикой сои – в листьях, стеблях и корнях в фазу первого тройчатого листа и в стеблях в фазу цветения (см. рис. 3).

В ходе исследований установлено, что максимальной удельной активностью и высокой гетерогенностью кислой фосфатазы характеризовались цветки сои (см. рис. 4, А). При выращивании культурной и дикой сои на контрольной почве в цветках выявлено шесть и пять форм соответственно. Выращивание сои на опытной почве привело к увеличению удельной активности кислой фосфатазы в цветках культурной сои и снижению в дикой. При этом число форм фермента увеличивалось для дикой сои (отмечена новая форма КФ10), а для культурной сои оставалось стабильно (см. рис. 4, Б). Отмечено значительное увеличение удельной активности кислой фосфатазы в листьях (в 1,7 и 1,4 раза) и корнях культурной сои (в 1,4 и 1,6 раза) в фазу первого тройчатого листа и цветения соответственно. Число форм фермента также увеличивалось: в корнях выявлена новая форма КФ5 (первый тройчатый лист), в листьях – КФ10, в корнях – КФ9 (цветение). Минимальной активностью характеризовались семена. Выращивание культурной сои на опытной почве привело к увеличению удельной активности и числа множественных форм кислой фосфатазы в семенах, отмечена новая форма фермента – КФ4 (см. рис. 4, Б).



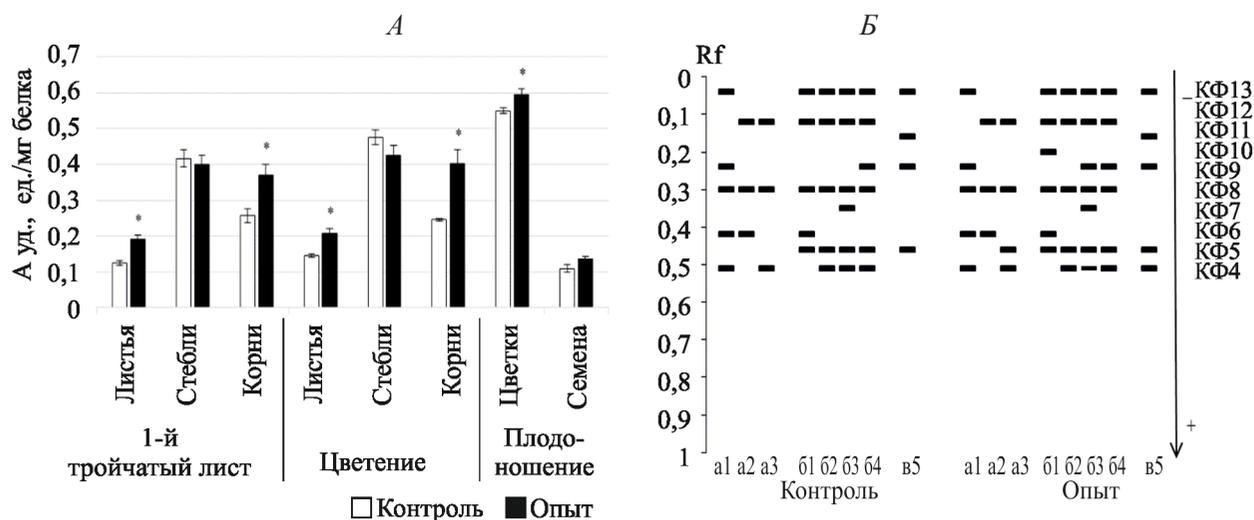
**Рис. 2.** Удельная активность пероксидазы в различных органах культурной (а) и дикой сои (б) в фазу первого тройчатого листа, цветения и плодоношения

**Fig. 2.** Specific activity of peroxidase in various organs of cultivated (a) and wild soybean (b) in the phase of the first trifoliate leaf, flowering and fruiting



**Рис. 3.** Содержание МДА в различных органах культурной (а) и дикой сои (б) в фазу первого тройчатого листа, цветения и плодоношения

**Fig. 3.** The content of MDA in various organs of cultivated (a) and wild (b) soybeans in the phase of the first trifoliolate leaf, flowering and fruiting



**Рис. 4.** Удельная активность (А) и схемы энзимограмм (Б) кислой фосфатазы в различных органах культурной сои в фазу первого тройчатого листа (а), цветения (б) и плодоношения (в):

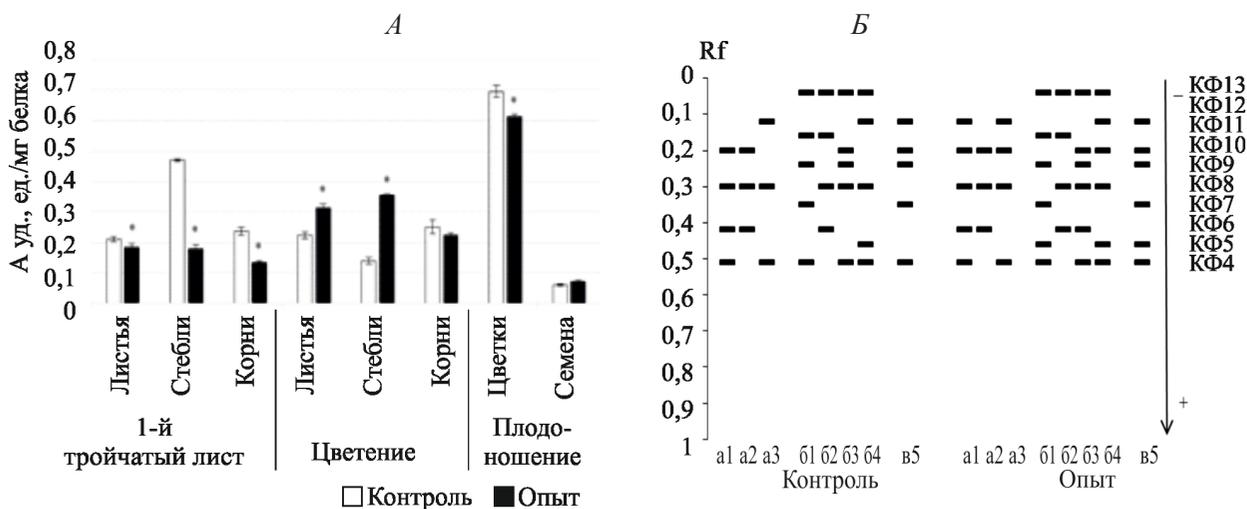
1 – листья; 2 – стебли; 3 – корни; 4 – цветки; 5 – семена. Стрелка указывает направление электрофореза (от катода к аноду). Справа указана нумерация выявленных форм фермента

**Fig. 4.** Specific activity (А) and enzyme diagrams (Б) of acid phosphatase in various organs of cultivated soybean in the phase of the first trifoliolate leaf (a), flowering (b) and fruiting (c):

1 – leaves; 2 – stems; 3 – roots; 4 – flowers; 5 – seeds. The arrow indicates the direction of electrophoresis (from the cathode to the anode). On the right is the numbering of the identified forms of the enzyme

Для дикой сои отмечено снижение удельной активности кислой фосфатазы в листьях, стеблях и корнях в фазу первого тройчатого листа в 1,1; 2,5 и 1,8 раза соответственно, цветках в 1,2 раза. При этом выявлены новые формы фермента в листьях (КФ12), корнях (КФ6, КФ10) и цветках (КФ10). По-

вышение удельной активности фермента отмечено в листьях и стеблях дикой сои в фазу цветения в 1,5 и 2,6 раза соответственно, а также в семенах, что соотносится с появлением новой формы фермента в листьях и семенах (КФ5) (см. рис. 5).



**Рис. 5.** Удельная активность (А) и схемы энзимогрaмм (В) кислой фосфатазы в различных органах дикой сои в фазу первого тройчатого листа (а), цветения (б) и плодоношения (в): 1 – листья, 2 – стебли, 3 – корни, 4 – цветки, 5 – семена. Стрелка указывает направление электрофореза (от катода к аноду). Справа указана нумерация выявленных форм фермента.

**Fig. 5.** Specific activity (A) and schemes of enzymeograms (B) of acid phosphatase in various organs of wild soybean in the phase of the first trifoliolate leaf (a), flowering (b) and fruiting (c): 1 – leaves, 2 – stems, 3 – roots, 4 – flowers, 5 – seeds. The arrow indicates the direction of electrophoresis (from the cathode to the anode). On the right is the numbering of the identified forms of the enzyme.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что выращивание сои на почве с повышенным содержанием цинка, меди и свинца приводит к их накоплению в органах сои. Наибольшее содержание исследуемых металлов установлено в корнях. При выращивании культурной и дикой сои на почве с повышенным содержанием тяжелых металлов отмечено увеличение удельной активности пероксидазы в большинстве органов культурной и дикой сои. При этом содержание МДА у культурной сои достоверно увеличивалось лишь в стеблях в фазу первого тройчатого листа и в корнях в фазу цветения, у дикой сои – в листьях, стеблях и корнях в фазу первого тройчатого листа и в стеблях в фазу цветения. Анализ удельной активности кислой фосфатазы показал, что наибольшей активностью фермента обладали цветки, что, вероятнее всего, связано с участием кислой фосфатазы в мобилизации фосфата, который необходим в процессах, протекающих на фазе цветения. Культурная соя в условиях повышенного содержания цинка, меди и свинца в почве характеризовалась увеличением удельной активности кислой фосфатазы и появлением новых множе-

ственных форм: в листьях – КФ10, корнях – КФ5 и КФ9 и в семенах – КФ4. Для дикой сои в целом отмечены снижение удельной активности кислой фосфатазы и увеличение числа множественных форм фермента в листьях – КФ5 и КФ12, корнях – КФ6 и КФ10, цветках – КФ10, семенах – КФ5.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елубай М.А. Исследование содержания солей тяжелых металлов в почве Павлодарской области // Наука и техника Казахстана. 2019. № 2. С. 102–113.
2. Безель В.С., Жуйкова Т.В., Гордеева В.А., Мелинг Э.В. Надземная фитомасса и скорость деструкции растительных остатков в травянистых сообществах при загрязнении почвы тяжелыми металлами // Экология. 2016. № 4. С. 264–269. DOI: 10.7868/S0367059716040089.
3. Пищик В.Н., Воробьев Н.И., Проворов Н.А., Хомяков Ю.В. Механизмы адаптации растений к тяжелым металлам // Агрофизика. 2015. № 2. С. 39–49. DOI: 10.7868/S0026365616030113.
4. Nasim F., Khalil R., Sumreen A., Shafiq M. Nickel metal uptake and metal-specific stress alleviation in a perennial desert grass *Cenchrus*

- ciliaris* // *Pollutants and Remediation*. 2015. P. 99–110. DOI: 10.1007/978-94-017-7194-8\_5.
5. Кузнецова В.А., Блинова А.А., Тарасова О.Н., Иваченко Л.Е. Активность оксидоредуктаз семян и проростков сои в условиях грибковой инфекции *Septoria glycines* Hemmi // *Аграрный вестник Урала*. 2020. № 7 (198). С. 47–55. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-198-7-47-55.
  6. Chernyshuk D.K., Ivachenko L.Y., Doğan H., Raza G., Ali M.A., Golokhvast K.S., Nawaz M.A. Dihydroquercetin increases the adaptive potential of wild soybean against copper sulfate and cadmium sulfate toxicity // *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2020. Vol. 44. N. 5. P. 492–499. DOI: 10.3906/tar-1912-50.
  7. Чернышук Д.К., Иваченко Л.Е., Голохваст К.С. Изменчивость активности кислой фосфатазы у сои (*Glycine soja*) в условиях токсического воздействия сульфатов кадмия и меди // *Вестник Камчатского государственного технического университета*. 2019. № 48. С. 116–124. DOI: 10.17217/2079-0333-2019-48-116-124.
  8. Чернышук Д.К., Лаврентьева С.В., Иваченко Л.Е., Голохваст К.С. Содержание загрязняющих веществ в почвах Амурской области в местах произрастания культурной и дикорастущей сои // *Проблемы региональной экологии*. 2018. № 2. С. 27–32. DOI: 10.24411/1728-323X-2018-12027.
  9. Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.L., Randall R.J. Protein measurement with the Folin phenol reagent // *Journal of Biological Chemistry*. 1951. Vol. 193. N 1. P. 265–275. DOI: 10.1016/S0021-9258(19)52451-6.
  10. Иваченко Л.Е. Роль множественных форм ферментов сои в процессе биохимической адаптации к условиям выращивания // *Успехи современного естествознания*. 2010. № 9. С. 96–98.
  11. Лебедева Л.А., Арзамасова А.В. Влияние агрохимических средств на поступление свинца в растения ячменя при загрязнении дерново-подзолистой почвы этим металлом // *Проблемы агрохимии и экологии*. 2010. № 2. С. 22–26.
  12. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение // *Почвоведение*. 2007. № 9. С. 1112–1119.
  13. Петухов А.С., Хритохин Н.А., Петухова Г.А., Кремлева Т.А. Транслокация Cu, Zn, Fe, Mn, Pb и Cd в ткани овса посевного (*Avena Sativa*) // *Вестник Воронежского государственного университета*. 2019. № 1. С. 65–72. DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-1-65-70.

## REFERENCES

1. Elubai M.A. Study of the content of heavy metal salts in the soil of Pavlodar region. *Nauka i tekhnika Kazakhstana = Science and Technology of Kazakhstan*, 2019, no. 2, pp. 102–113. (In Kazakhstan).
2. Bezel' V.S., Zhuikova T.V., Gordeeva V.A., Meling E.V. Aboveground phytomass and rate of plant debris decomposition in herbaceous communities exposed to soil pollution with heavy metals. *Ekologiya = Ecology*, 2016, no. 4, pp. 264–269. (In Russian). DOI: 10.7868/S0367059716040089.
3. Pishchik V.N., Vorob'ev N.I., Provorov N.A., Khomyakov Yu.V. Mechanisms of plant adaptation to heavy metals. *Agrofizika = Agrophysics*, 2015, no. 2, pp. 39–49. (In Russian). DOI: 10.7868/S0026365616030113.
4. Nasim F., Khalil R., Sumreen A., Shafiq M. Nickel metal uptake and metal-specific stress alleviation in a perennial desert grass *Cenchrus ciliaris*. *Pollutants and Remediation*, 2015, pp. 99–110. DOI: 10.1007/978-94-017-7194-8\_5.
5. Kuznetsova V.A., Blinova A.A., Tarasova O.N., Ivachenko L.E. Activity of oxidoreductase of seeds and soybean seedlings under conditions of fungal infection *Septoria glycines* Hemmi. *Agrarnyi vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*, 2020, no. 7 (198), pp. 47–55. (In Russian). DOI: 10.32417/1997-4868-2020-198-7-47-55.
6. Chernyshuk D.K., Ivachenko L.Y., Doğan H., Raza G., Ali M.A., Golokhvast K.S., Nawaz M.A. Dihydroquercetin increases the adaptive potential of wild soybean against copper sulfate and cadmium sulfate toxicity. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 2020, vol. 44, no. 5, pp. 492–499. DOI: 10.3906/tar-1912-50.
7. Chernyshuk D.K., Ivachenko L.E., Golokhvast K.S. Variability of acid phosphatase activity in soybean (*Glycine soja*) under conditions of toxic effects of cadmium and copper sulfates. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin*

- of the Kamchatka State Technical University, 2019, no. 48, pp. 116–124. (In Russian). DOI: 10.17217/2079-0333-2019-48-116-124.
8. Chernyshuk D.K., Lavrent'eva S.V., Ivachenko L.E., Golokhvast K.S. The content of the pollutants in the soils of the Amur region in the places of cultural and wild-growing soybeans growth. *Problemy regional'noi ekologii = Regional environmental issues*, 2018, no. 2, pp. 27–32. (In Russian). DOI: 10.24411/1728-323X-2018-12027.
  9. Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.L., Randall R.J. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 1951, vol. 193, no. 1, pp. 265–275. DOI: 10.1016/S0021-9258(19)52451-6.
  10. Ivachenko L.E. The role of multiple forms of soybean enzymes in the process of biochemical adaptation to growing conditions. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya = Advances in current natural sciences*, 2010, no. 9, pp. 96–98. (In Russian).
  11. Lebedeva L.A., Arzamazova A.V. Influence of agrochemical agents on the supply of lead to barley plants when soddy-podzolic soil is contaminated with this metal. *Problemy agrokhimii i ekologii = Problems of agrochemistry and ecology*, 2010, no. 2, pp. 22–26. (In Russian).
  12. Il'in V. B. Heavy metals in the soil–crop system. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*, 2007, no. 9, pp. 1112–1119. (In Russian).
  13. Petukhov A.S., Khritokhin N.A., Petukhova G.A., Kremleva T.A. Translocation of Cu, Zn, Fe, Mn, Pb and Cd in the cultivated oat (*Avena Sativa*). *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of Voronezh State University*, 2019, no. 1, pp. 65–72. (In Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-1-65-70.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Козак Д.К.**, аспирант, адрес для переписки: Россия, 675000, Амурская область, Благовещенск, ул. Ленина, 104; e-mail: [dasha\\_chernishuk@mail.ru](mailto:dasha_chernishuk@mail.ru)

**Иваченко Л.Е.**, доктор биологических наук, профессор

**Голохваст К.С.**, доктор биологических наук, профессор РАН, член-корреспондент РАО, директор СФНЦА РАН

#### AUTHOR INFORMATION

✉ **Darya K. Kozak**, Postgraduate Student; address: 104, Lenina St., Blagoveshensk, Amur region, 675000, Russia; e-mail: [dasha\\_chernishuk@mail.ru](mailto:dasha_chernishuk@mail.ru)

**Lyubov E. Ivachenko**, Doctor of Science in Biology, Professor

**Kirill S. Golokhvast**, Doctor of Science in Biology, Professor RAS, Corresponding Member RAE, Director SFSCA RAS

Дата поступления статьи / Received by the editors 04.11.2021  
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 04.02.2022  
Дата публикации / Published 25.03.2022