



## Хлорофилл как критерий устойчивости растений сои к длительному затоплению почвы

© 2022. В. Т. Синеговская✉, С. Е. Низкий, Е. Е. Науменко

ФГБНУ Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», г. Благовещенск, Российская Федерация

Длительное затопление растений сои водой приводит к их гибели из-за наступления гипоксии корней, поэтому поиск маркеров устойчивости к этому фактору позволит создавать сорта, способные противостоять данному стрессу. В этой связи целью наших исследований было изучение реакции растений трех сортов сои селекции ВНИИ сои на длительное затопление по показателю содержания в листьях сои хлорофилла а и в. Исследования проводили в 2019-2021 гг. в лабораторных опытах при выращивании растений на гидропонных установках при 24-суточном затоплении почвы (контроль – почва с оптимальной влажностью). Сорта сои Евгения и Куханна, зарегистрированные как устойчивые к переувлажнению почвы, различались по содержанию форм хлорофилла в листьях при 24-суточном затоплении поверхности почвы водой слоем 1-2 см. Установлено, что увеличение хлорофилла а в листьях растений сорта Евгения при затоплении связано с обеспечением устойчивости растений этого сорта к перенесению стрессового фактора. Наличие хлорофилла в в листьях этого сорта до фазы спелости указывает на то, что он в большей степени может служить индикатором устойчивости растений к гипоксии корней, так как растения продолжали расти и развиваться. У сорта Куханна содержание обеих форм хлорофилла при оптимальной влажности почвы контрольного варианта было выше или находилось на уровне показателей растений варианта с затоплением, что не может служить критерием устойчивости этого сорта к гипоксии корней. У сорта Китросса, устойчивость которого к переувлажнению селекционерами не отмечена, выявлены волнообразные колебания в соотношении хлорофилла а и в в течение первых 10 суток затопления. Колебания обусловлены изменениями в содержании хлорофилла в, концентрация которого сначала возрастала, а потом снижалась. Наиболее четко такая волнообразность отмечена на графике изменений соотношения между хлорофиллом а и в, что может служить маркером определения устойчивости сортов сои к длительному затоплению почвы.

**Ключевые слова:** сорт, лист, переувлажнение, стресс, гидропоника, гипоксия корней

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Государственного задания ФГБНУ Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои» (тема № 0548-2019-0009).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Синеговская В. Т., Низкий С. Е., Науменко Е. Е. Хлорофилл как критерий устойчивости растений сои к длительному затоплению почвы. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(6):788-795. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.788-795>

Поступила: 27.09.2022

Принята к публикации: 28.11.2022

Опубликована онлайн: 16.12.2022

## Chlorophyll as a criterion of soybean resistance to prolonged soil flooding

© 2022. Valentina T. Sinegovskaya✉, Sergey E. Nizkii, Evgenii E. Naumenko

Federal Research Center All-Russian Scientific Research Institute of Soybean, Blagoveshchensk, Russian Federation

Prolonged inundation of soybean plants leads to their death because of root hypoxia. Therefore, the search for markers of resistance to this factor will provide the opportunity to develop the varieties able to resist this stress. The research was aimed at the study of response of 3 varieties bred by Federal Research Center All-Russian Scientific Research Institute of Soybean to prolonged flooding according to the indicator of chlorophyll a and b content in soybean leaves. The study was carried out in 2019-2021 in laboratory experiments when growing plants on hydroponic installations with 24-day soil flooding (control - soil with optimal moisture content). In soybean varieties Evgeniya and Kukhanna, registered as resistant to overwatering soil, the response by content of chlorophyll forms in leaves under 24-day flooding of the soil surface with 1-2 cm layer of water differed. It was found that increase of chlorophyll a in leaves of Evgeniya variety under flooding was connected with providing the ability of this variety plants to resist the stressful flooding factor. The presence of chlorophyll b in the leaves of this variety before the ripeness phase indicates that it can serve as an indicator of plant resistance to root hypoxia to a greater extent, since the plants continued to grow and develop. In the Kukhanna variety, the content of both forms of chlorophyll at optimum soil moisture of the control variety was higher or at the same level as in the variant with flooding, that cannot serve as the criterion of resistance of this variety to root hypoxia. In the Kitrossa variety, the resistance of which to overwatering has not been noted by the breeders yet there were revealed wavy fluctuations in chlorophyll a/b ratio during the first 10 days of flooding. The fluctuations were caused by changes in the content of chlorophyll b, the concentration of which increased first and then

*decreased. This fluctuation is most clearly seen in the graph of the change in the ratio between chlorophyll a and b, that may serve as a marker for determination of resistance of soybean varieties to prolonged soil flooding.*

**Keywords:** *variety, leaf, overwatering, stress, hydroponics, root hypoxia*

**Acknowledgements:** the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Center All-Russian Scientific Research Institute of Soybean (theme No. 0548-2019-0009).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**Conflict of interest:** the author stated that there was no conflict of interest.

**For citations:** Sinegovskaya V. T., Nizkii S. E., Naumenko E. E. The role of chlorophyll in determining the resistance of soybean plants to prolonged soil flooding. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(6):788-795. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.788-795>

Received: 27.09.2022

Accepted for publication: 28.11.2022

Published online: 16.12.2022

В основе продукционного процесса растений лежит фотосинтез, который является основным накопителем энергии и первоисточником органических субстратов для формирования урожая [1, 2]. Главным компонентом в фотосинтетическом комплексе является хлорофилл – зеленый пигмент растений, который играет ведущую роль в процессе фотосинтеза и служит важным фактором метаболизма растительного организма в целом [3]. По современным представлениям хлорофилл *a* содержится как в реакционных центрах фотосистем, так и светособирающем комплексе (ССК). Хлорофилл *b* рассматривается как дополнительный пигмент, находящийся преимущественно в ССК. Соотношение хлорофиллов *a* и *b* варьируется в зависимости от вида и условий произрастания растений, но в большинстве случаев эта величина близка к четырем, на что указывал еще К. А. Тимирязев<sup>1</sup>. Более низкое значение соотношения хлорофилла *a* к *b* может свидетельствовать о росте содержания хлорофилла *b* и «включении» его синтеза для повышения устойчивости растения и увеличения количества ССК фотосистем [4]. Некоторые исследователи полагают, что хлорофилл *b* оказывает экранирующее действие на фотосинтетически активный хлорофилл *a* [5]. Поэтому увеличение содержания хлорофилла *b* может характеризовать приспособительные возможности растений [6]. Хлорофилл *b* увеличивается в концентрации при состоянии экологического неблагополучия, в этом случае снижение отношения Хл *a* и Хл *b* может свидетельствовать о повышении устойчивости растений к неблагоприятным условиям внешней среды [7]. Увеличение содержания фотосинтетических пигментов является одной из неспе-

цифических реакций адаптации в условиях действия стрессовых факторов [8]. Эти данные, как и результаты других исследователей<sup>2</sup> [9, 10], предполагают возможность поиска маркеров устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды на основании анализа динамики накопления фотосинтетических пигментов в условиях стресса растительного организма [11, 12].

В условиях муссонного характера климата южной зоны Амурской области в июле и августе наблюдается выпадение обильных осадков [13]. При выращивании сои длительные переувлажнения, приводящие к затоплению посевов, становятся серьезной угрозой снижения урожайности, что существенно повышает необходимость создания сортов сои, устойчивых к этому стрессу. В этой связи создание сортов, адаптированных к длительному затоплению, на основе изучения реакции фотосинтетической системы растений сои на стресс, вызванный затоплением посевов, имеет не только научное, но и практическое значение для Дальнего Востока.

**Цель исследований** – изучение динамики содержания хлорофиллов *a* и *b*, их соотношения в листьях сортов сои в зависимости от продолжительности затопления растений.

**Новизна исследований** – получены новые данные о накоплении хлорофиллов и изменении соотношения Хл *a* к Хл *b* в листьях амурских сортов сои в условиях длительного затопления корневой системы, свидетельствующие о возможности использования показателей пигментного комплекса для индикации адаптивных реакций фотосинтетического аппарата и выявления устойчивости растений сои к недостатку кислорода.

<sup>1</sup>Тимирязев К. А. Избранные сочинения в 4 томах: Солнце, жизнь и хлорофилл. М., 1948. Т.1. С. 388-389.

<sup>2</sup>Третьяков Н. Н., Кошкин Е. И., Макрушин Н. М. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений. Под ред. Н. Н. Третьякова. М.: Колос, 2000. С. 101-109.

**Материал и методы.** Исследования проводили в 2019-2021 гг. со среднеспелыми сортами сои Евгения, Куханна и Китросса селекции Всероссийского научно-исследовательского института сои. Сорта Евгения и Куханна по оценкам селекционеров устойчивы к переувлажнению<sup>3</sup>, у сорта Китросса устойчивость к переувлажнению селекционерами не выявлена. Опыт проводили в лабораторных условиях с 2-кратным повторением во времени и 4-кратным в пространстве для каждого сорта. Растения выращивали в пластиковых сосудах емкостью 1 л на гидропонной установке ПГС 2-3 при комнатной температуре 24 °С и влажности воздуха 56%, искусственном освещении с использованием люминесцентных ламп (3350 Лм). В каждый сосуд помещалось по 1,0 кг луговой черноземовидной почвы с исходной влажностью 35,3 % полной полевой влагоемкости (ППВ). Перед посевом во всех сосудах влажность почвы доводилась до 80 % ППВ.

Для всех сортов обеспечивали влажность почвы в сосудах по схеме:

1. Контроль – оптимальная влажность почвы (80 % ППВ весь период вегетации).

2. Затопление водой – влажность почвы до фазы R<sub>1</sub> (начало цветения) 80 % ППВ, затем от фазы R<sub>1</sub> и до фазы R<sub>7</sub> (начало спелости) – влажность почвы поддерживалась на уровне 120 % ППВ, при этом на поверхности почвы постоянно находился слой воды в 1-2 см.

В опыте проводили фенологические наблюдения с регистрацией фаз роста и развития растений по В. Р. Фэр с соавт. (W. R. Fehr et al.) [14].

В вариантах опыта с различной влажностью почвы каждый сорт выращивали в 3 сосудах (по 2 растения) в 4-кратной повторности. При появлении на растениях примордиальных листьев (фаза вегетативного развития V<sub>1</sub>) и затем в каждую последующую репродуктивную фазу, начиная с фазы R<sub>1</sub> (начало цветения), отбирали образцы листьев для определения в них содержания хлорофилла *a* и *b*. Отбор образцов и затопление продолжалось вплоть до фазы R<sub>7</sub> (начало спелости). В каждом варианте опыта, с 24 растений одного сорта, отбирали по 4 образца листьев общей массой

1 г, в которых определяли содержание Хл *a* и Хл *b* в расчете на сырое вещество<sup>4</sup> с использованием спектрофотометра Cary-50 фирмы Varian (США). Образец разделяли на две аналитические пробы, в которых определяли содержание хлорофиллов *a* и *b*. По каждому из этих показателей рассчитывали среднее квадратичное отклонение с оценкой полученных результатов по критерию Стьюдента (*t*-критерий для уровня значимости  $p < 0,05$ )<sup>5</sup>.

**Результаты и их обсуждение.** У растений сортов Евгения и Китросса, произрастающих в оптимальных условиях увлажнения почвы контрольного варианта, концентрация Хл *a* и Хл *b* с фазы V<sub>1</sub> постепенно возрастала до максимальной величины к фазе R<sub>2</sub> (полное цветение). При этом у сорта Евгения содержание Хл *a* за 20-25 дней роста и развития растений увеличилось от 1,80 до 5,20 мг/г, а Хл *b* – от 0,48 до 1,35 мг/г (табл. 1). Аналогичные изменения отмечены по этим показателям и у сорта Китросса.

Содержание обеих форм хлорофилла достигало максимума у растений сорта Евгения в фазу R<sub>2</sub> (полное цветение), а у сорта Китросса содержание Хл *a* было максимальным уже к фазе R<sub>1</sub> (начало цветения). Разница между этими фазами роста и развития по времени составляла 3-4 дня. После достижения максимальных значений содержание хлорофилла у растений сои обоих сортов начинало постепенно снижаться. К концу вегетации в фазу R<sub>7</sub> (начало спелости) содержание Хл *a* снизилось до 1,32 мг/г у сорта Евгения, у сорта Китросса наблюдалось менее интенсивное снижение – до 2,20.

В варианте с затоплением у растений сорта Евгения содержание Хл *a*, достигнув максимального уровня в фазу R<sub>3</sub>, начинало постепенно снижаться (табл. 2). В контрольном варианте снижение произошло с фазы R<sub>3</sub> (начало образования бобов), а при затоплении – с фазы R<sub>4</sub> (формирование бобов).

В то же время в контрольном варианте содержание Хл *a* в листьях этого сорта к фазе R<sub>7</sub> (начало спелости) было в 1,8 раза меньше, чем у растений в варианте с затоплением.

<sup>3</sup>Фокина Е. М., Беляева Г. Н., Синеговский М. О., Синеговская В. Т., Клеткина О. О. Каталог сортов сои. Под общ. ред. академика РАН В. Т. Синеговской. Благовещенск: ООО «ИНК «ОДЕОН», 2021. С 22-36.

<sup>4</sup>Кудряшов А. П., Дитченко Т. И., Молчан О. В., Смолич И. И., Яковец О. Г. Физиология растений: лабораторный практикум для студентов биологического факультета. Минск: БГУ, 2011. С. 33-35.  
URL: [http://www.bio.bsu.by/fbr/files/plant-phys\\_metod\\_2011.pdf](http://www.bio.bsu.by/fbr/files/plant-phys_metod_2011.pdf)

<sup>5</sup>Лакин Г. Ф. Биометрия: учебное пособие для биол. спец. вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1990. С. 111-113.

**Таблица 1 – Содержание хлорофилла в листьях сои в течение вегетации при оптимальной влажности почвы, мг/г (среднее за 2019-2021 гг.) /**

**Table 1 – Chlorophyll content in soybean leaves during the growing season at optimal soil moisture, mg/g (average for 2019-2021)**

Сорт сои / Soybean variety	Форма хлорофилла / Form of chlorophyll	Фаза роста и развития растений / Plant growth and development phase							
		V <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>6</sub>	R <sub>7</sub>
Евгения / Evgeniya	a	1,80±0,08	4,18±0,44	5,20±0,32	4,83±0,36	4,87±0,28	3,64±0,28	2,52±0,12	1,32±0,01
	b	0,48±0,04	1,00±0,03	1,35±0,03	1,31±0,12	1,21±0,04	1,17±0,02	0,59±0,01	-
Китросса / Kitrossa	a	1,86±0,020	4,34±0,24	3,80±0,20	3,63±0,40	3,51±0,24	3,41±0,20	3,00±0,18	2,20±0,24
	b	0,48±0,04	1,08±0,02	1,37±0,04	1,27±0,04	1,14±0,12	0,97±0,02	0,87±0,01	-

Примечания: V<sub>1</sub> – Первый узел; R<sub>1</sub> – Начало цветения; R<sub>2</sub> – Полное цветение; R<sub>3</sub> – Начало образования бобов; R<sub>4</sub> – Формирование бобов; R<sub>5</sub> – Начало формирования семян; R<sub>6</sub> – Наллив семян; R<sub>7</sub> – Начало спелости /

Notes: V<sub>1</sub> – The first node; R<sub>1</sub> – Beginning of blossom; R<sub>2</sub> – Full blossom; R<sub>3</sub> – Beginning of pod formation; R<sub>4</sub> – Pod formation; R<sub>5</sub> – Beginning of seed formation; R<sub>6</sub> – Seed filling; R<sub>7</sub> – Beginning of maturity

**Таблица 2 – Динамика содержания форм хлорофилла в листьях сои при затоплении, мг/г (среднее за 2019-2021 гг.) /**

**Table 2 – Dynamics of the content of chlorophyll forms in soybean leaves during flooding, mg/g (average for 2019-2021)**

Сорт сои / Soybean variety	Форма хлорофилла / Form of chlorophyll	Продолжительность затопления, сутки (фаза роста и развития растений) / Flooding duration, days (plant growth and development phase)					
		3 (R <sub>2</sub> )	6 (R <sub>3</sub> )	10 (R <sub>4</sub> )	15 (R <sub>5</sub> )	20 (R <sub>6</sub> )	24 (R <sub>7</sub> )
Евгения / Evgeniya	a	3,55±0,28	3,86±0,40	3,15±0,28	2,66±0,12	2,52±0,12	2,34±0,25
	b	0,92±0,08	1,31±0,12	0,97±0,08	0,72±0,02	0,61±0,04	0,56±0,02
Китросса / Kitrossa	a	3,30±0,14	3,48±0,14	2,48±0,12	2,22±0,16	2,09±0,20	1,36±0,08
	b	1,48±0,01	0,89±0,04	1,26±0,08	0,60±0,01	0,58±0,04	0,32±0,04

Увеличение Хл *a* в листьях растений при затоплении возможно связано с обеспечением устойчивости растений этого сорта к перенесению стрессового фактора затопления. Содержание Хл *b* в листьях сорта Евгения увеличилось на 6-е сутки после затопления (фаза R<sub>3</sub>) на 0,39 мг/г, а на 10-е сутки этот показатель стал снижаться, достигнув к фазе R<sub>7</sub> 0,56 мг/г, тогда как в контрольном варианте Хл *b* в эту фазу не был обнаружен. Следовательно, обе формы хлорофилла обеспечивали устойчивость растений сорта Евгения к гипоксии корней и сохранность растений, так как они продолжали расти и развиваться.

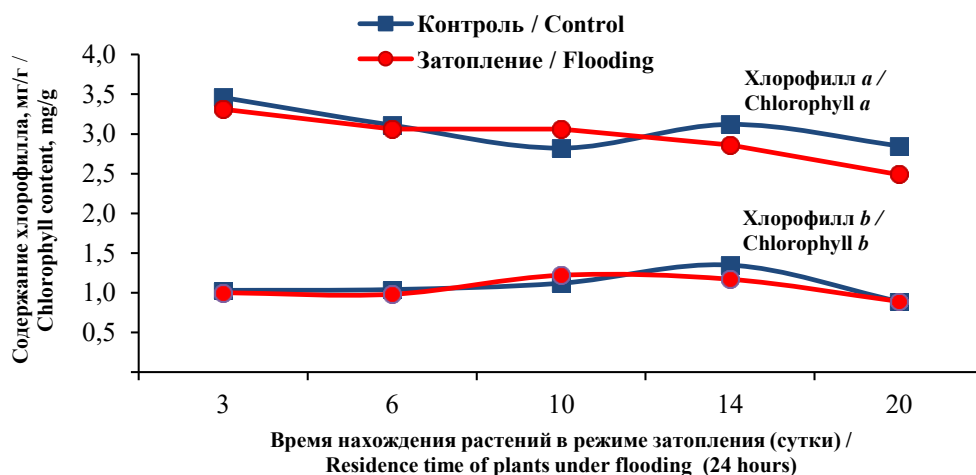
В листьях растений сорта Китросса, не зарегистрированного по устойчивости к переувлажнению, в период затопления изменение содержания Хл *a* было практически аналогич-

ным сорту Евгения: максимальное значение (3,48 мг/г), достигнутое на 6-е сутки после затопления (фаза R<sub>3</sub>), постепенно и плавно снижалось, составив к фазе R<sub>7</sub> (полная спелость) 1,36 мг/г. В целом такая динамика соответствовала показаниям контрольного варианта. В то же время динамика содержания Хл *b* в листьях этого сорта при затоплении существенно отличалась от контроля. Если к фазе R<sub>2</sub> (начало цветения) содержание Хл *b* у сорта Китросса в варианте с затоплением составило 1,48 мг/г (на 7 % выше контроля), то к последующей фазе роста и развития R<sub>3</sub> (начало образования бобов), через трое суток, содержание Хл *b* снизилось до 0,89 мг/г (почти на 40 %). Затем, на десятые сутки затопления, этот показатель увеличился на 41 %, составив 1,26 мг/г. Регистрируемые колебания в содержании Хл *b*

при этом статистически достоверны при 95%-ном уровне вероятности. Таким образом, у сорта Китросса выявлена волнообразность в изменении содержания Хл *b* при затоплении. В опытах с сортами сои Евгения (табл. 2) и Куханна (рис. 1), устойчивыми к переувлажнению,

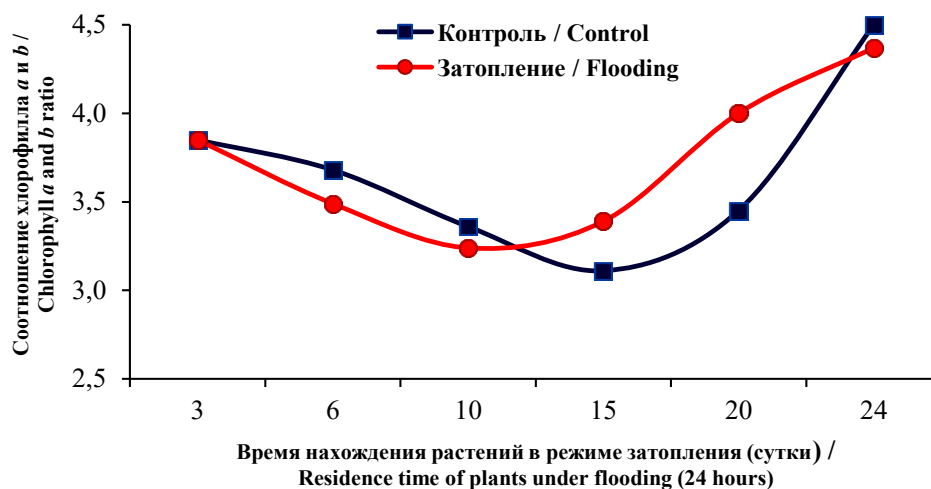
различия в динамике накопления обеих форм хлорофилла при затоплении не обнаружены.

У сорта Евгения существенных различий между вариантами опытов по соотношению Хл *a* и Хл *b* не выявлено в течение всего периода вегетации (рис. 2).



**Рис. 1.** Динамика содержания хлорофилла *a* и *b* в листьях сои сорта Куханна при затоплении (среднее за 2019-2021 гг.) /

**Fig. 1.** Dynamics in chlorophyll *a* and *b* content in the leaves of Kukhanna soybean variety under flooding, average for 2019-2021



**Рис. 2.** Динамика соотношения хлорофилла *a* и *b* в листьях сои сорта Евгения в контроле и при затоплении, среднее за 2019-2021 гг. /

**Fig. 2.** Dynamics in chlorophyll *a* and *b* ratio in the leaves of Eugeniya soybean variety in control and under flooding, average for 2019-2021

В обоих вариантах опыта отмечено постепенное снижение соотношения между Хл *a* и Хл *b*, начавшееся с первого дня затопления в фазу R<sub>1</sub> (начало цветения) и продолжавшееся до 15-ти суток затопления (фаза R<sub>5</sub> – начало формирования семян). Затем величина Хл *a* / Хл *b* вновь повышалась, что было обусловлено более быстрым снижением концентрации Хл *b*.

Изучение динамики соотношения двух форм хлорофилла в растениях сорта Китросса при затоплении и в контроле позволило выявить более выраженную волнообразность изменения данного показателя в варианте с затоплением, что вероятно, больше связано с динамикой содержания хлорофилла *b* (рис. 3).



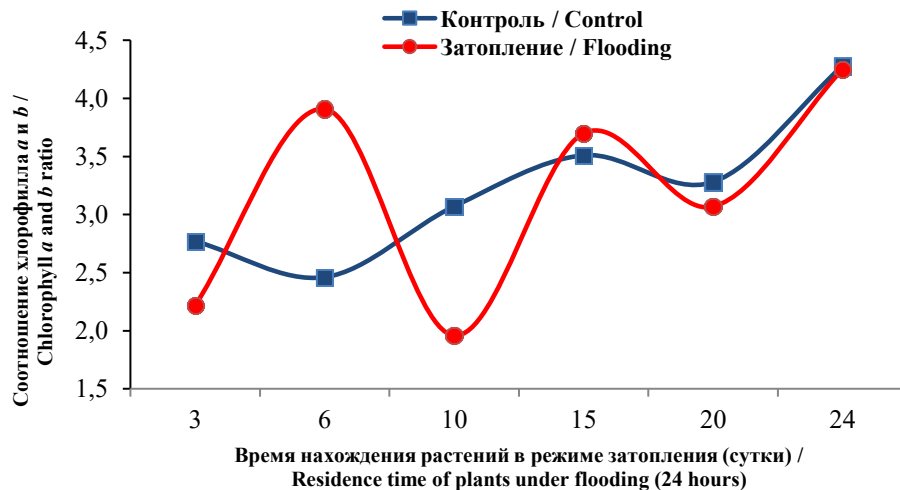


Рис. 3. Динамика соотношения форм хлорофилла в листьях сои сорта Китросса в контроле и при затоплении (среднее за 2019-2021 гг.)

Fig. 3. Dynamics in chlorophyll a and b form ratios in the leaves of Kitrossa soybean variety in control and under flooding (average for 2019-2021)

**Заключение.** Выявлена сортовая специфичность сои по динамике содержания форм хлорофилла при длительном затоплении почвы. Установлено, что устойчивость растений сорта Евгения к стрессовому воздействию – гипоксии в зоне корней, подтверждается увеличением содержания хлорофилла *a* и сохранением хлорофилла *b* в листьях до фазы R<sub>7</sub> (начало спелости) при затоплении. У сорта Куханна содержание обеих форм хлорофилла при затоплении снижалось или находилось на

уровне показателей для растений контрольного варианта. Реакция растений сорта Китросса на стресс проявлялась в волнообразном изменении величины содержания Хл *a* и Хл *b* в течение первых 10 суток затопления. Полученные результаты позволяют заключить, что закономерные изменения в содержании хлорофилла *b* и соотношении Хл *a* к Хл *b* в листьях различных сортов сои могут служить критерием для оценки устойчивости растений к воздействию длительного затопления.

#### Список литературы

1. Коломейченко В. В., Беденко В. П. Теория продукционного процесса растений и фитоценоза. Вестник ОрелГАУ. 2008;(4):17-21. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12888060>
2. Шестакова Е. О., Ерошенко Ф. В., Сторчак И. Г., Оганян Л. Р., Чернова И. В. Влияние различных элементов технологии возделывания на содержание хлорофилла в растениях озимой пшеницы и ее урожайность. Аграрный вестник Урала. 2020;(5(196)):27-37. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44161470>
3. Кабашникова Л. Ф. Хлорофилл – зеленое вещество жизни. Наука и инновации. 2018;(1(179)):65-69. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35086632>
4. Дерендовская А., Жосан С. Хлорофильные показатели и их связь с продуктивностью растений озимого ячменя. Stiinta Agricola. 2008;(1):3-7. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14779104>
5. Головина Е. В. Эколого-генетическая изменчивость содержания пигментов в листьях сортов сои северного экотипа. Зернобобовые и крупяные культуры. 2019;(3(31)):74-79. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39562102>
6. Зеленцов С. В., Мошненко Е. В., Бубнова Л. А., Будников Е. Н., Трунова М. В., Рамазанова С. А. Среднеранний теневыносливый сорт сои Вилана бета. Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2020;(1(181)):140-146. DOI: <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2020-1-181-140-146>
7. Петухова А. С., Хритохин Н. А., Петухова Г. А. Оценка содержания пигментов фотосинтеза у растений разных видов в условиях антропогенного стресса. Международный студенческий научный вестник. 2017;(6):166. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32374189>
8. Рыктор И. А., Зубкова Ю. Н., Погромская Я. А., Бутогин А. В. Влияние буроугольных гуминовых удобрений на антистрессовую устойчивость растений. Аграрный вестник Урала. 2012;(12(104)):45-47. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18882163>

9. Абуразакова З. Л., Юнусханов Ш., Абзалов М. Ф., Курбанбаев И. Д. Содержание хлорофиллов в листьях растений сои на различных фазах их развития. Роль физиологии и биохимии в интродукции и селекции сельскохозяйственных растений: сб. мат-лов V Международ. научн.-метод. конф. М.: РУДН, 2019. Т. 1. С. 234-236.

10. Davison P. A., Hunter C. N., Horton P. Over expression of  $\beta$ -carotene hydroxylase enhances stress tolerance in *Arabidopsis*. *Nature*. 2002;418(6894):203-206. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/60032.pdf>

11. Головина Е. В., Зотиков В. И. Влияние погодных условий на фотосинтетическую деятельность и зерновую продуктивность сортов сои северного экотипа. *Земледелие*. 2012;(5):44-46.

Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-pogodnyh-usloviy-na-fotosinteticheskuyu-deyatelnost-i-zernovuyu-produktivnost-sortov-soi-severnogo-ekotipa/viewer>

12. Романцова С. В., Гладышева И. В., Вервекина Н. В., Нагорнов С. А., Ликсутина А. П., Корнев А. Ю. Химический стресс сельскохозяйственных растений и способ его снижения. *Наука в центральной России*. 2021;(4(52)):64-73. DOI: <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2021-4-64-73>

13. Синеговская В. Т. Посевы сои в Приамурье как фотосинтезирующие системы. Благовещенск: изд-во «Зея», 2005. С. 6-7.

14. Fehr W. R., Caviness Ch. E. Stages of Soybean Development. Special Report 80. Agriculture and Home Economics Experiment Station IOWA STATE UNIVERSITY of Science and Technology. 1977. 13 p.

URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/83024475.pdf>

### References

1. Kolomeychenko V. V., Bedenko V. P. The theory of the plant production process and phytocenosis. *Vestnik OrelGAU = Vestnik OrelGAU*. 2008;(4):17-21. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12888060>

2. Shestakova E. O., Eroshenko F. V., Storzhak I. G., Oganyan L. R., Chernova I. V. Influence of various elements of cultivation technology on the chlorophyll content in winter wheat plants and its yield. *Agrarnyy vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*. 2020;(5(196)):27-37. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44161470>

3. Kabashnikova L. F. Chlorophyll is the green substance of life. *Nauka i innovatsii = The Science and Innovations*. 2018;(1(179)):65-69. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35086632>

4. Derendovskaya A., Zhosan S. Chlorophyll indicators and their relationship with the productivity of winter barley plants. *Stiinta Agricola*. 2008;(1):3-7. (In Moldova). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14779104>

5. Golovina E. V. Ecological and genetic variability of pigment content in the leaves of soybean varieties of the northern ecotype. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury = Legumes and Groat Crops*. 2019;(3(31)):74-79. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39562102>

6. Zelentsov S. V., Moshnenko E. V., Bubnova L. A., Budnikov E. N., Trunova M. V., Ramazanov S. A. A middle-early shade tolerant soybean cultivar vilana beta. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tehnicheskii byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur = Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK*. 2020;(1(181)):140-146. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2020-1-181-140-146>

7. Petukhova A. S., Khritokhin N. A., Petukhova G. A. Assessment of photosynthetic pigments content in plants of various species grown under anthropogenic stress. *Mezhdunarodnyy studencheskiy nauchnyy vestnik*. 2017;(6):166. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32374189>

8. Ryktor I. A., Zubkova Yu. N., Pogromskaya Ya. A., Butyugin A. V. The influence of lignite humic fertilizers on antistress stability of plants. *Agrarnyy vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*. 2012;(12(104)):45-47. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18882163>

9. Aburazakova Z. L., Yunuskhonov Sh., Abzalov M. F., Kurbanbaev I. D. The content of chlorophyll in the leaves of soybean plants at various stages of the development. The role of physiology and biochemistry in the introduction and breeding of agricultural plants: collection of Proceedings of the 5th International scientific.-method. conf. Moscow: *RUDN*, 2019. Vol. 1. pp. 234-236.

10. Davison P. A., Hunter C. N., Horton P. Over expression of  $\beta$ -carotene hydroxylase enhances stress tolerance in *Arabidopsis*. *Nature*. 2002;418(6894):203-206. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/60032.pdf>

11. Golovina E. V., Zotikov V. I. Weather conditions and their influence on photosynthetic activity and grain productivity of northern ecotype of soya varieties. *Zemledelie*. 2012;(5):44-46. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-pogodnyh-usloviy-na-fotosinteticheskuyu-deyatelnost-i-zernovuyu-produktivnost-sortov-soi-severnogo-ekotipa/viewer>

12. Romantsova S. V., Gladysheva I. V., Vervekina N. V., Nagornov S. A., Liksutina A. P., Kornev A. Yu. Chemical stress of agricultural plants and method of its reduction. *Nauka v tsentral'noy Rossii = Science in Central Russia*. 2021;(4(52)):64-73. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2021-4-64-73>

13. Sinegovskaya V. T. Soybean crops in the Amur River Region as photosynthetic systems. Blagoveshchensk: *izd-vo «Zeya»*, 2005. pp. 6-7.

14. Fehr W. R., Caviness Ch. E. Stages of Soybean Development. Special Report 80. Agriculture and Home Economics Experiment Station IOWA STATE UNIVERSITY of Science and Technology. 1977. 13 p. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/83024475.pdf>

*Сведения об авторах*

✉ **Синеговская Валентина Тимофеевна**, доктор с.-х. наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник лаборатории физиологии и биохимии растений, ФГБНУ Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», ул. Игнатьевское ш., 19, г. Благовещенск, Амурская область, Российская Федерация, 675025, e-mail: [info@vniisoi.ru](mailto:info@vniisoi.ru),

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9048-3119>, e-mail: [valsini09@gmail.com](mailto:valsini09@gmail.com)

**Низкий Сергей Евгеньевич**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии и биохимии растений, ФГБНУ Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», ул. Игнатьевское ш., 19, г. Благовещенск, Амурская область, Российская Федерация, 675025, e-mail: [info@vniisoi.ru](mailto:info@vniisoi.ru), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1451-5422>

**Науменко Евгений Евгеньевич**, младший научный сотрудник лаборатории физиологии и биохимии растений, ФГБНУ Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», ул. Игнатьевское ш., 19, г. Благовещенск, Амурская область, Российская Федерация, 675025, e-mail: [info@vniisoi.ru](mailto:info@vniisoi.ru), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4149-584X>

*Information about the authors*

✉ **Valentina T. Sinegovskaya**, DSc in Agricultural Science, professor, Academician of RAS, chief researcher, the Laboratory of Plants Physiology and Biochemistry, Federal Research Center All-Russian Scientific Research Institute of Soybean, Ignatievskoe shosse 19, Blagoveshchensk, Amur Region, Russian Federation, 675025, e-mail: [info@vniisoi.ru](mailto:info@vniisoi.ru), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9048-3119>, e-mail: [valsini09@gmail.com](mailto:valsini09@gmail.com)

**Sergey E. Nizkii**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Laboratory of Plant Physiology and Biochemistry, Federal Research Center All-Russian Scientific Research Institute of Soybean, Ignatievskoe Shosse 19, Blagoveshchensk, Amur Region, Russian Federation, 675025, e-mail: [info@vniisoi.ru](mailto:info@vniisoi.ru), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1451-5422>

**Evgenii E. Naumenko**, junior researcher, the Laboratory of Plant Physiology and Biochemistry, Federal Research Center All-Russian Scientific Research Institute of Soybean, Ignatievskoe Shosse 19, Blagoveshchensk, Amur Region, Russian Federation, 675025, e-mail: [info@vniisoi.ru](mailto:info@vniisoi.ru), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4149-584X>

✉ – Для контактов / Corresponding author