

Оригинальная статья / Original article

УДК [633.11+633.112.9]: 581.142:631.53.02:631.547.1:631.811.98: 631.53.026

DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-2-272-280>



Влияние протатранов на всхожесть семян пшеницы и тритикале после их длительного хранения

© Г.И. Филипенко*, С.Н. Адамович**, Е.Н. Оборина**,
И.Б. Розенцвейг***, Г.Ф. Сафина*

*Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР),
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН,
г. Иркутск, Российская Федерация

***Иркутский государственный университет,
г. Иркутск, Российская Федерация

Резюме: Цель работы – исследование химических соединений ряда протатранов в качестве биостимуляторов всхожести пшеницы и тритикале после длительного хранения их семян, что обусловлено необходимостью восстановления всхожести уникальных образцов зерновых культур из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (Санкт-Петербурга). В качестве объекта исследований использовали семена разных лет репродукции, имеющие разную исходную всхожесть, а также семена с исходно высокой всхожестью и подвергнутые ускоренному старению. Опыты велись в присутствии физиологически активных нетоксичных соединений – протатранов $2\text{-Me-C}_6\text{H}_4\text{OCH}_2\text{COO}^- \cdot \text{HN}^+(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3$ (1) и $4\text{-Cl-C}_6\text{H}_4\text{SCH}_2\text{COO}^- \cdot \text{HN}^+(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3$ (2), в широком диапазоне концентраций ($1 \cdot 10^{-2}$ – $1 \cdot 10^{-9}$ М). На первом этапе исследовано действие протатрана 1 на всхожесть мягкой яровой пшеницы. Наблюдали, что под влиянием соединения 1 в концентрациях от 10^{-4} до 10^{-9} М всхожесть семян повышалась на 8,7–20,0%, а энергии прорастания – на 4,7–8,0%. Использование протатрана 1 в более высокой концентрации (10^{-2} М) приводило к снижению всхожести. Далее были проведены опыты на трех образцах семян мягкой озимой пшеницы, хранившихся в течение 52 лет и имевших всхожесть 19–26%. Экспозиция семян в течение 20 ч в водных растворах соединения 1 концентрации $5 \cdot 10^{-7}$ – 10^{-9} М приводила к повышению всхожести на 3,7–10,0%. Наилучший стимулирующий эффект давала концентрация $5 \cdot 10^{-7}$ М. На следующем этапе работы использовали семена, имеющие высокую исходную всхожесть (86–96%), но подвергнутые процедуре ускоренного старения. Обработка таких образцов протатраном 1 в концентрации 10^{-6} и 10^{-4} М менее эффективна: энергия прорастания и всхожесть не изменялись или увеличивались незначительно (на 3,5 и 7,5% соответственно). Аналогично осуществляли обработку семян тритикале протатранами 1 и 2 в концентрации $5 \cdot 10^{-7}$ М. Показано, что действие соединений 1 и 2 приводит к увеличению всхожести на 3–7% и выраженному повышению энергии прорастания на 7–45%. При дальнейшей оптимизации процесса и выборе наиболее активных протатранов описанный здесь подход может обеспечить значимое восстановление всхожести семян.

Ключевые слова: семена, пшеница, тритикале, биостимуляторы, протатраны, хранение, всхожесть

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту N 0662-2019-0006 «Поиск, поддержание жизнеспособности и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

Синтез протатранов проведен на оборудовании Байкальского аналитического центра коллективного пользования СО РАН.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области в рамках научного проекта 20-43-380001.

Для цитирования: Филипенко Г.И., Адамович С.Н., Оборина Е.Н., Розенцвейг И.Б., Сафина Г.Ф. Влияние протатранов на всхожесть семян пшеницы и тритикале после их длительного хранения. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2021. Т. 11. N 2. С. 272–280. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-2-272-280>

Effects of protatranes on the germination of wheat and tritcale seeds after their long-term storage

Galina I. Filipenko*, Sergei N. Adamovich**, Elizavete N. Oborina**,
Igor B. Rozentsveig***, Guzel F. Safina*

*Federal Research Center
N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources,
St. Petersburg, Russian Federation

**A.E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry, SB RAS,
Irkutsk, Russian Federation

***Irkutsk State University,
Irkutsk, Russian Federation

Abstract: The article studies the chemical compounds of a number of protatranes as biostimulants of the germination of wheat and tritcale seeds after their long-term storage. The relevance of the study is determined by the need to restore the germination of unique samples of grain crops from the collection of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) (Saint Petersburg). The research objects were the seeds of different years of reproduction with various levels of original germination, as well as those with an initially high germination and subjected to accelerated aging. The experiments were conducted in the presence of the following physiologically active non-toxic protatranes $2\text{-Me-C}_6\text{H}_4\text{OCH}_2\text{COO}^- \cdot \text{HN}^+(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3$ (**1**) and $4\text{-Cl-C}_6\text{H}_4\text{SCH}_2\text{COO}^- \cdot \text{HN}^+(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3$ (**2**) across a wide range of concentrations ($1 \cdot 10^{-2}$ – $1 \cdot 10^{-9}$ M). At the first stage, the effect of protatrane **1** on the germination of soft spring wheat was investigated. It was observed that, under the influence of protatrane **1** at concentrations from 10^{-4} to 10^{-9} M, the seed germination and the germination energy increased by 8.7–20.0% and 4.7–8.0%, respectively. The use of protatrane **1** at higher concentrations (10^{-2} M) resulted in a decrease in germination. Subsequently, experiments were carried out on 3 samples of soft winter wheat seeds stored for 52 years and having the germination of 19–26%. The 20-hour exposure of seeds to water solutions of protatrane **1** at concentrations of $5 \cdot 10^{-7}$ – 10^{-9} M increased their germination by 3.7–10.0%. The best stimulating effect was achieved at a concentration of $5 \cdot 10^{-7}$ M. At the next stage, the seeds with a high original germination (86–96%) and subjected to accelerated aging were investigated. The treatment of such samples with protatrane **1** at concentrations of 10^{-6} and 10^{-4} M turned out to be less effective: the germination and its energy either remained the same or increased insignificantly (by 3.5% and 7.5%, respectively). The treatment of tritcale seeds with protatranes **1** and **2** at a concentration of $5 \cdot 10^{-7}$ M was carried out in a similar manner. It was shown that the action of protatranes **1** and **2** led to an increase in the germination by 3–7% and a significant increase in the germination energy by 7–45%. By further optimising the production process and selecting the most active protatranes, the described approach can provide for a significant recovery of seed germination.

Keywords: seeds, wheat, tritcale, biostimulants, protatranes, storage, germination

Acknowledgments: The work was carried out within the framework of the state assignment in accordance with the VIR's thematic plan for project no. 0662-2019-0006 "Search, viability maintenance and the discovery of the potential of hereditary variability of the VIR world collection of grains and cereals for the development of the optimised gene bank and rational use in breeding and crop production."

The synthesis of protatranes was carried out using the facilities of the Baikal Analytical Centre for Collective Use of the SB RAS.

The study was carried out with the financial support of the Russian Fund for Basic Research (RFBR) and the Government of the Irkutsk Region as a part of the scientific project no. 20-43-380001.

For citation: Filipenko GI, Adamovich SN, Oborina EN, Rozentsveig IB, Safina GF. Effects of protatranes on the germination of wheat and tritcale seeds after their long-term storage. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya* = *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2021;11(2):272–280. (In Russian) <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-2-272-280>

ВВЕДЕНИЕ

По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), в мире существует более 1700 генных банков, сохраня-

ющих около 7,5 млн коллекционных образцов растений¹. Коллекция Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР; Санкт-Петербург, Россия) насчиты-

¹FAO. The Second Report on the State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. Rome: Commission on genetic resources for food and agriculture FAO, 2010. Available from: http://www.fao.org/docrep/013/i1500e/i1500e_brief.pdf [Accessed 30 October 2020].

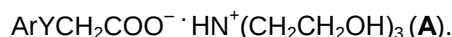
вадет более 300 тыс. образцов, из них более 54 тыс. составляет коллекция отдела генетических ресурсов пшеницы.

Длительное сохранение и поддержание коллекции осуществляется с использованием низкотемпературных технологий, путем пересевов и др.

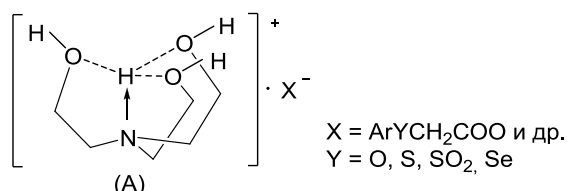
Тем не менее длительное хранение семян растений неизбежно приводит к их старению, снижению жизнеспособности и всхожести. Для повышения всхожести и ускорения прорастания семян в сельском хозяйстве используются различные регуляторы роста растений (РРР).

Ранее нами была исследована возможность восстановления всхожести семян пшеницы с помощью таких РРР, как ауксины и янтарная кислота. Было показано, что для старых семян эти РРР малоэффективны [1].

На основе доступных реагентов – биологически активных арилхалькогенилуксусных кислот и биогенных этаноламинов (в частности, триэтанолamina), в Иркутском институте химии им. А.Е. Фаворского синтезирован ряд атранов, а именно, протатранов, общей формулы



Установлены их физические и химические свойства, а также трициклическая структура [2–9]



Благодаря своему уникальному составу и строению протатраны (A) обладают синергическим эффектом и проявляют биологическую активность, многократно превосходящую активность исходных кислот и аминов.

Среди протатранов выявлены нетоксичные (LD₅₀ 2000–6000 мг · кг⁻¹) вещества с высокой биодоступностью и физиологической (иммунотропной, противовоспалительной, противоопухолевой, антиметастатической, антитромботической, антисклеротической и др.) активностью – перспективные соединения для дизайна передовых лекарственных препаратов [2, 3, 7, 10].

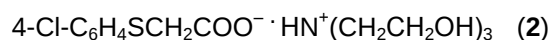
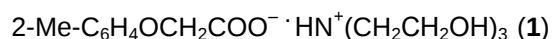
С другой стороны, ряд протатранов в чрезвычайно низких концентрациях (до 1·10⁻¹² мол. %) оказались мощными активаторами различных биологических процессов, например, таких, как получение пивоваренного солода, хлебопекар-

ных дрожжей, кормового и пищевого белка, лимонной кислоты, биоэтанола, а также увеличение биомассы женьшеня, полезных бактерий нефтедеструкторов и др. Это открывает путь к широкому использованию протатранов в биотехнологии, клинической микробиологии и экологии [2, 5, 6, 8–10]. Кроме того, протатраны оказывают защитное, ростстимулирующее и др. действие на животных, птиц, рыб, насекомых и растения [2, 5, 6, 8–10], что может привести к повышению эффективности ветеринарии [10], продуктивности аквакультур [11] и сельского хозяйства [5, 12–18]. В ряде работ было показано, что предпосевная обработка семян сельскохозяйственных культур некоторыми протатранами увеличивает их урожайность [5, 12, 13].

Целью настоящей работы являлось исследование влияния протатранов на всхожесть пшеницы и тритикале после длительного хранения их семян.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В данном исследовании на основе усовершенствованного нами способа [19] были синтезированы протатраны:



Синтез протатранов 1, 2 (общая методика). Смесь 0,01 моль арилхалькогенилуксусной кислоты и 0,01 моль NaOH или KOH перемешивали при кипении в 30 мл метанола или этанола в течение 1 ч. Затем добавляли 0,01 моль гидрохлорида триэтанолamina. Смесь перемешивали еще 2 ч, затем охлаждали до 5 °С. Осадок NaCl (или KCl) отфильтровывали, растворитель отгоняли, получали твердый продукт с выходом до 99,8%. Чистота соединений 1, 2 составляла 99,7–99,8%.

В экспериментах использовали протатран 1 в концентрации 1·10⁻²–1·10⁻⁹ М и протатран 2 в концентрации 5·10⁻⁷ М. При выборе концентрации ориентировались на литературные данные [5, 12, 13]. Всхожесть семян пшеницы и тритикале определяли по ГОСТ-12038-84. Ускоренное старение семян проводили по разработанной нами методике [15]. Семена для опытов использовали в 3-х повторностях.

Для работы применяли семена пшеницы и тритикале из коллекции ВИР разных лет репродукции и имеющих разную исходную всхожесть (табл. 1), а также семена пшеницы с исходно высокой всхожестью и подвергнутые ускоренному старению (табл. 2).

Таблица 1. Образцы коллекции ВИР, использованные в опытах по изучению всхожести семян после хранения

Table 1. Samples of the VIR collection used in the study of seed germination after storage

Номер по каталогу ВИР	Образец сорта	Место репродукции	Год репродукции	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %
Пшеница мягкая яровая					
16742	–	Республика Дагестан	2012	13,3±3,7	17,3±5,1
66378	Омская юбилейная	Омская обл.	2016	91,0±3,0	96,0±2,0
66387	Ом ГАУ 100 (Эритроспермум 88-12)	Омская обл.	2016	69±7,0	86,0±4,0
66388	Столыпинская 2	Омская обл.	2017	67,0±9,0	91,0±1,0
Пшеница мягкая озимая					
–	Турунд	г. Пушкин	1968	2,5±1,9	19,0±2,0
–	Зорька	г. Пушкин	1968	2,0±1,0	26,0±2,0
–	Старке	г. Пушкин	1968	6,0±3,6	22,2±0,7
Тритикале					
2669	ПРАГ 336	Республика Дагестан	2015	72,0±5,0	91,0±1,0
2806	Л 372	Республика Дагестан	2015	25,0±1,0	94,0±2,0
2817	Пушкинский 22/1	Республика Дагестан	2015	42,0±2,0	67,0±1,0

Таблица 2. Посевные качества образцов мягкой яровой пшеницы после ускоренного старения

Table 2 Sowing qualities of soft spring wheat samples after accelerated aging

Номер по каталогу ВИР	Продолжительность ускоренного старения		
	0	1 неделя	4 недели
Энергия прорастания, %			
66378	91,0±3,0	98,5±0,5	0
66387	69,0±7,0	30,5±3,5	0
66388	67,0±9,0	19,0±1,5	0
Всхожесть, %			
66378	96,0±2,0	98,5±0,5	0
66387	86,0±4,0	39,5±4,5	0
66388	91,0±1,0	25,0±4,0	0

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В широком диапазоне концентраций (10^{-2} – 10^{-9} М) было исследовано действие протатрана **1** на всхожесть мягкой яровой пшеницы (к-16742). Установлено, что под влиянием соединения **1** в концентрациях от 10^{-4} до 10^{-9} М наблюдалось повышение всхожести на 8,7–20%, а энергии прорастания – на 4,7–8,0%. В более высокой концентрации (10^{-2} М) протатран **1** приводил к снижению всхожести (табл. 3).

Далее были проведены опыты на 3-х образцах семян мягкой озимой пшеницы, хранившихся

в течение 52 лет – первые 32 года при температуре 7–9 °С, позже – при температуре -10 °С. Данные образцы имели всхожесть после хранения 19–26%. Растворы протатрана **1** использовали в концентрации $5 \cdot 10^{-7}$ – 10^{-9} М.

Экспозиция семян в течение 20 ч в растворах соединения **1** приводила к повышению всхожести на 3,7–10,0%. При этом наиболее заметный стимулирующий эффект давала концентрация $5 \cdot 10^{-7}$ М. Увеличение всхожести с протатраном **1** в концентрации $5 \cdot 10^{-7}$ М сопровождалось увеличением энергии прорастания (табл. 4).

Таблица 3. Влияние протатрана **1** в концентрации 10^{-2} – 10^{-9} М на всхожесть семян мягкой яровой пшеницы (номер по каталогу ВИР 16742)

Table 3. Effect of protatran **1** at a concentration of 10^{-2} – 10^{-9} М on the germination of soft spring wheat seeds, catalog number VIR 16742

Показатель, %	Контроль (H ₂ O)	Протатран 1 (концентрация, М)					
		10^{-9}	10^{-7}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}
Энергия прорастания	13,3±3,7	20,7±4,2	18,0±4,2	21,3±6,4	19,3±4,1	12,7±4,0	4,8±1,8
Всхожесть	17,3±5,1	26,0±5,3	33,3±4,7	37,3±2,4	37,0±6,2	24,7±5,1	9,0±1,0

Таблица 4. Влияние протатрана 1 на энергию прорастания и всхожесть мягкой озимой пшеницы после длительного хранения

Table 4. Effect of protatran 1 on germination energy and germination of soft winter wheat after long-term storage

Образец сорта	Контроль (H ₂ O)	Протатран 1 (концентрация, М)		
		10 ⁻⁹	5·10 ⁻⁹	5·10 ⁻⁷
Энергия прорастания, %				
Турунд	2,5±1,9	2,7±0,7	2,8±1,6	6,0±3,2
Зорька	2,0±1,0	18,0±2,0	4,5±0.5	12,0±2,0
Старке	6,0±3,6	5,3±3,3	2,4±0,5	8,1±2,3
Всхожесть, %				
Турунд	19,0±1,2	25,0±2,0	22,7±2,9	27,0±2,9
Зорька	26,0±2,0	26,5±1,7	30,0±2.9	36±1,6
Старке	22,2±1,7	30,0±6,0	27,0±3,0	31,2±3,3

На следующем этапе работы были использованы семена трех образцов пшеницы – к-66378, к-66387 и к-66388, имеющих высокую исходную всхожесть (86–96%) и подвергнутые процедуре ускоренного старения в течение одной и четырех недель (см. табл. 2).

Показано, что при ускоренном старении в течение одной недели у образца к-66378 со всхожестью 96% наблюдалось небольшое повышение всхожести – до 98,5%. У образцов к-66387 и к-66388 после одной недели старения всхожесть снижалась с 86,0 до 39,5% и с 91,0 до 25,0% соответственно.

Обработка образцов к-66378 и к-66388 после недели ускоренного старения протатраном 1 в концентрации 10⁻⁶ М и 10⁻⁴ М не давала заметного эффекта. Однако у образца к-66387 при обработке соединением 1 (10⁻⁴ М) энергия прорастания и всхожесть были выше, чем в контроле, на

3,5 и 7,5% соответственно.

После 4-х недель старения семена всех трех образцов полностью потеряли всхожесть. Обработка образцов к-66387 и к-66388 протатраном 1 в концентрациях 10⁻⁶ М и 10⁻⁴ М не привела к восстановлению их всхожести. Однако у образца к-66378 с самой высокой исходной всхожестью (96%) энергия прорастания и всхожесть восстанавливались на 2% (табл. 5).

Также проведены опыты с семенами 3-х сортов тритикале – к-2669, к-2806, к-2817, имеющих всхожесть от 67 до 94%. Их обработку осуществляли протатранами 1 и 2 при найденной нами наиболее эффективной концентрации 5·10⁻⁷ М. Показано, что действие соединений 1 и 2 приводит к росту всхожести на 3–7% и выраженному повышению энергии прорастания на 7–45% у всех трех образцов (табл. 6).

Таблица 5. Влияние протатрана 1 на посевные качества семян мягкой яровой пшеницы после ускоренного старения

Table 5. Effect of protatran 1 on sowing qualities of soft spring wheat seeds after accelerated aging

Номер по каталогу ВИР	Продолжительность ускоренного старения, нед.	Контроль (Н ₂ O)	Протатран 1 (концентрация, М)	
			10 ⁻⁶	10 ⁻⁴
Энергия прорастания, %				
66378	1	98,5±0,5	97,0±1,3	96,5±0,5
	4	0	2,0±0	2,0±0
66387	1	30,5±3,5	25,0±5,0	34,0±3,0
	4	0	0	0
66388	1	19,0±1,5	15,5±3,5	17,5±1,5
	4	0	0	0
Всхожесть, %				
66378	1	98,5±0,5	98,0±1,0	96,5±0,5
	4	0	2,0±0	2,0±0
66387	1	39,5±4,5	37,5±0,5	47,0±2,0
	4	0	0	0
66388	1	25,0±4,0	25,0±2,0	26,0±2,0
	4	0	0	0

Таблица 6. Влияние протатранов 1 и 2 на энергию прорастания и всхожесть семян тритикале

Table 6. Effect of protatranes 1 and 2 on the germination energy and germination of triticale seeds

Номер по каталогу ВИР	Контроль (H ₂ O)	Протатран 1 (концентрация 5·10 ⁻⁷ М)	Протатран 2 (концентрация 5·10 ⁻⁷ М)
Энергия прорастания, %			
2669	72,0±5,0	84,0±6,0	79,0±5,0
2806	25,0±1,0	70,0±2,0	63,0±3,0
2817	42,0±2,0	49,0±3,0	51,0±1,0
Всхожесть, %			
2669	91,0±1,0	95,0±1,0	98,0±0
2806	94,0±2,0	98,0±0	97,0±1,0
2817	67,0±1,0	71,0±5,0	71,0±7,0

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основе доступных реактивов усовершенствованным методом синтезированы нетоксичные и экологически безопасные химические соединения – протатраны 1 и 2 – потенциальные биостимуляторы всхожести пшеницы и тритикале после длительного хранения их семян.

Опыты по влиянию соединений 1 и 2 на всхожесть семян пшеницы и тритикале показали, что эффект неоднозначен и зависит от нескольких факторов, в частности, от концентрации стимулятора, а также физиологического статуса семян, а именно, от их исходной всхожести. Установлено, что у семян пшеницы и тритикале с исходной всхожестью, близкой к 20% и выше,

всхожесть удается восстановить на 3–20%. Стимулирующий эффект давали микроконцентрации протатранов 1 и 2 от 10⁻⁴ до 10⁻⁹ М. Наиболее эффективной в большинстве случаев была концентрация стимуляторов 5 · 10⁻⁷ М. Повышение всхожести сопровождается увеличением энергии прорастания проростков на 3–45%. Восстановить всхожесть семян пшеницы с критически низкой исходной всхожестью на данном этапе исследования не удалось. Тем не менее при дальнейшей оптимизации процесса и применении стратегии, основанной на скрининге и выборе наиболее эффективных протатранов, описанный здесь подход может обеспечить значимое восстановление всхожести семян.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафина Г.Ф., Филипенко Г.И. Влияние гетероауксина и янтарной кислоты на всхожесть семян пшеницы после их длительного хранения // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. N 11-1 (77). С. 143–147. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.027>
2. Mirskova A.N., Adamovich S.N., Mirskov R.G., Voronkov M.G. Pharmacologically active salts and ionic liquids based on 2-hydroxyethylamines, arylchalcogenylacetic acids, and essential metals // Russian Chemical Bulletin. 2014. Vol. 63. Issue 9. P. 1869–1883. <https://doi.org/10.1007/s11172-014-0679-3>
3. Mirskova A.N., Adamovich S.N., Mirskov R.G., Kolesnikova O.P., Schilde U. Immunoactive ionic liquids based on 2-hydroxyethylamines and 1-R-indol-3-ylsulfanylacetic acids. Crystal and molecular structure of immunodepressant tris-(2-hydroxyethyl)ammonium indol-3-ylsulfanylacetate // Open Chemistry. 2015. Vol. 13. Issue 1. P. 149–155. <https://doi.org/10.1515/chem-2015-0018>
4. Ushakov I.A., Voronov V.K., Adamovich S.N., Mirskov R.G., Mirskova A.N. The NMR study of biologically active metallated alkanol ammonium ionic liquids // Journal of Molecular Structure 2016. Vol. 1103. P. 125–131. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2015.08.074>
5. Мирскова А.Н., Адамович С.Н., Мирсков Р.Г. Протатраны – эффективные биостимуляторы для сельского хозяйства, биотехнологии и

- микробиологии // Химия в интересах устойчивого развития. 2016. Т. 24. N 6. С. 713–729. <https://doi.org/10.15372/KhUR20160601>
6. Privalova E.A., Tiguntseva N.P., Adamovich S.N., Mirskov R.G., Mirskova A.N. Tris(2-hydroxyethyl)ammonium arylchalcogenylacetates, growth stimulants of alcohol yeast *Saccharomyces cerevisiae* // Russian Chemical Bulletin. 2017. Vol. 6. Issue 7. P. 1320–1324. <https://doi.org/10.1007/s11172-017-1893-6>
 7. Adamovich S.N. New atranes and similar ionic complexes. Synthesis, structure, properties // Applied Organometallic Chemistry. 2019. Vol. 33. Issue 7. P. e4940. <https://doi.org/10.1002/aoc.4940>
 8. Pavlova O.N., Adamovich S.N., Novikova A.S., Gorshkov A.G., Izosimovaa O.N., Ushakov I.A., et al. Protatranes, effective growth biostimulants of hydrocarbon-oxidizing bacteria from lake Baikal, Russia // Biotechnology Reports. 2019. Vol. 24. P. e00371. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00371>
 9. Adamovich S.N., Oborina E.N. Protatranes as synthetic malting biostimulants // Russian Chemical Bulletin. 2020. Vol. 69. Issue 1. P. 179–181. <https://doi.org/10.1007/s11172-020-2742-6>
 10. Лукьянова С.В., Гефан Н.Г., Адамович С.Н., Оборина Е.Н., Хаптанова Н.М., Кузнецов В.И. [и др.]. Изучение действия биологически активного соединения трис(2-гидроксиэтил)аммоний 4-хлорфенил-сульфанилацетата на рост бактерий *Listeria monocytogenes* и *Staphylococcus aureus* // Acta Bio-

medica Scientifica. 2020. Т. 5. N 1. С. 47–53. <https://doi.org/10.29413/ABS.2020-5.1.6>

11. Глызина О.Ю., Адамович С.Н., Белых О.А., Суханова Л.В., Оборина Е.Н., Глызин Л.А. [и др.]. Перспективы использования синтетических биостимуляторов при развитии аквакультуры сиговых рыб озера Байкал // Известия Байкальского государственного университета. 2020. Т. 30. N 3. С. 463–471. [https://doi.org/10.17150/2500-2759.2020.30\(3\).463-471](https://doi.org/10.17150/2500-2759.2020.30(3).463-471)

12. Voronkov M.G., Dolmaa G., Tserenpil Sh., Ugtakhybayar O., Chimidsogzol A. Stimulation of barley seed germination by micromolar aqueous solutions of silatrane and cresacin // Doklady Biological Sciences. 2005. Vol. 404. Issue 1–6. P. 367–369. <https://doi.org/10.1007/s10630-005-0138-2>

13. Воронков М.Г., Барышок В.П. Силатраны в медицине и сельском хозяйстве. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. 258 с.

14. Voronkov M.G., Belousova L.I., Grigor'eva O.Yu., Vlasova N.N. Tris(2-hydroxyethyl)ammonium 4-halo-2-methylphenoxyacetates (halocresacins) // Russian Journal of Organic Chemistry. 2014. Vol. 50. Issue 12. P. 1763–1766. <https://doi.org/10.1134/S1070428014120082>

15. Mirskova A.N., Levkovskaya G.G., Mirskov R.G., Voronkov M.G. Hydroxyalkylammonium salts of organylsulfanyl(sulfonyl)acetic. Acids – new stimulators of biological processes // Russian Journal of Organic Chemistry. 2008. Vol. 44. Issue 10. P. 1478–1485. <https://doi.org/10.1134/S1070428008100126>

16. Kondratenko Yu.A., Kochina T.A., Fundamenskii V.S. Protic alkanolammonium ionic liquids based on triethanolammonium salts of carboxylic acids // Glass Physics and Chemistry. 2016. Vol. 42. Issue 6. P. 621–626. <https://doi.org/10.1134/S1087659616060092>

17. Даин И.А., Логинов С.В., Лебедев А.В., Стороженко П.А. Синтез борсодержащих производных трис (2-гидроксиэтил)аммония и их влияние на рост и развитие растений // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2017. Т. 79. N 4. С. 165–174. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-4-165-174>

18. Kondratenko Yu.A., Kochina T.A., Fundamenskiy V.S., Vlasov Yu.G. Triethanolammonium salts of biologically active carboxylic acids // Russian Journal of General Chemistry. 2015. Vol. 85. Issue 12. P. 2710–2714. <https://doi.org/10.1134/S1070363215120075>

19. Adamovich S.N., Oborina E.N., Ushakov I.A., Mirskova A.N. New method of synthesis of biologically active get(aryl)chalcogenylacetates of tris(2-hydroxyethyl)ammonium // Russian Journal of General Chemistry. 2018. Vol. 88. Issue 10. P. 2227–2229. <https://doi.org/10.1134/S1070363218100353>

20. Сафина Г.Ф., Филипенко Г.И. Долговечность семян при хранении и ее прогнозирование методом ускоренного старения // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2013. Т. 174. С. 123–130.

REFERENCES

1. Safina GF, Filipenko GI. Effect of heteroauxin and amber acid on germinating ability of wheat seeds after their durable storage. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal = International Research Journal*. 2018;11-1:143–147. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.027> (In Russian)

2. Mirskova AN, Adamovich SN, Mirskov RG, Voronkov MG. Pharmacologically active salts and ionic liquids based on 2-hydroxyethylamines, arylchalcogenylacetic acids, and essential metals. *Russian Chemical Bulletin*. 2014;63(9):1869–1883. <https://doi.org/10.1007/s11172-014-0679-3>

3. Mirskova AN, Adamovich SN, Mirskov RG, Kolesnikova OP, Schilde U. Immunoactive ionic liquids based on 2-hydroxyethylamines and 1-R-indol-3-ylsulfanylacetic acids. Crystal and molecular structure of immunodepressant tris-(2-hydroxyethyl) ammonium indol-3-ylsulfanylacetate. *Open Chemistry*. 2015;13(1):149–155. <https://doi.org/10.1515/chem-2015-0018>

4. Ushakov IA, Voronov VK, Adamovich SN, Mirskov RG, Mirskova AN. The NMR study of biologically active metallated alkanol ammonium ionic liquids. *Journal of Molecular Structure* 2016;1103: 125–131. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2015.08.074>

5. Mirskova A.N., Adamovich S.N., Mirskov R.G. Protatranes as effective biostimulators for agricul-

ture, biotechnology, and microbiology. *Khimiya v interesakh ustoichivogo razvitiya = Chemistry for Sustainable Development*. 2016;24(6):713–729. <https://doi.org/10.15372/KhUR20160601> (In Russian)

6. Privalova EA, Tiguntseva NP, Adamovich SN, Mirskov RG, Mirskova AN. Tris(2-hydroxyethyl) ammonium arylchalcogenylacetates, growth stimulants of alcohol yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Russian Chemical Bulletin*. 2017;6(7):1320–1324. <https://doi.org/10.1007/s11172-017-1893-6>

7. Adamovich SN. New atranes and similar ionic complexes. Synthesis, structure, properties. *Applied Organometallic Chemistry*. 2019;33(7):e4940. <https://doi.org/10.1002/aoc.4940>

8. Pavlova ON, Adamovich SN, Novikova AS, Gorshkov AG, Izosimovaa ON, Ushakov IA, et al. Protatranes, effective growth biostimulants of hydrocarbon-oxidizing bacteria from lake Baikal, Russia. *Biotechnology Reports*. 2019;24:e00371. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00371>

9. Adamovich SN, Oborina EN. Protatranes as synthetic malting biostimulants. *Russian Chemical Bulletin*. 2020;69(1):179–181. <https://doi.org/10.1007/s11172-020-2742-6>

10. Lukyanova SV, Gefan NG, Adamovich SN, Oborina EN, Khaptanova NM, Kuznetsov VI, et al. Study of the effect of a biologically active compound

tris(2-hydroxyethyl)ammonium 4-chlorophenylsulfanylacetae on the growth of *Listeria monocytogenes* and *Staphylococcus aureus*. *Acta Biomedica Scientifica*. 2020;5(1):47–53. <https://doi.org/10.29413/ABS.2020-5.1.6> (In Russia)

11. Glyzina OYu, Adamovich SN, Belykh OA, Sukhanova LV, Oborina EN, Glyzin LA, et al. Prospects of the use of synthetic biostimulants for the development of aquaculture of whitefishes in lake Baikal. *Izvestiya Baikal'skogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Baikal State University*. 2020;30(3):463–471. [https://doi.org/10.17150/2500-2759.2020.30\(3\).463-471](https://doi.org/10.17150/2500-2759.2020.30(3).463-471) (In Russia)

12. Voronkov MG, Dolmaa G, Tserenpil Sh, Ugtakbayar O, Chimidsogzol A. Stimulation of barley seed germination by micromolar aqueous solutions of silatrane and cresacin. *Doklady Biological Sciences*. 2005;404(1-6):367–369. <https://doi.org/10.1007/s10630-005-0138-2>

13. Voronkov MG, Baryshok VP. *Silatranes in Medicine and Agriculture*. Novosibirsk: Izdatel'stvo SO RAN; 2005. 258 p. (In Russian)

14. Voronkov MG, Belousova LI, Grigor'eva OYu, Vlasova NN. Tris(2-hydroxyethyl)ammonium 4-halo-2-methylphenoxyacetates (halocresacins). *Russian Journal of Organic Chemistry*. 2014;50(12):1763–1766. <https://doi.org/10.1134/S1070428014120082>

15. Mirskova AN, Levkovskaya GG, Mirskov RG, Voronkov MG. Hydroxyalkylammonium salts of organylsulfanyl(sulfonyl)acetic. Acids – new stimulators of biological processes. *Russian Journal of Organic Chemistry*. 2008;44(10):1478–1485. <https://doi.org/10.1134/S1070428008100126>

doi.org/10.1134/S1070428008100126

16. Kondratenko YuA, Kochina TA, Fundamenskii VS. Protic alkanolammonium ionic liquids based on triethanolammonium salts of carboxylic acids. *Glass Physics and Chemistry*. 2016;42(6): 621–626. <https://doi.org/10.1134/S1087659616060092>

17. Dain IA, Loginov SV, Lebedev AV, Storozhenko PA. Synthesis and plant growth modulation of tris (2-hydroxyethyl)ammonium boroncontaining compounds. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii = Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2017;79(4):165–174. (In Russian) <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-4-165-174>

18. Kondratenko YuA, Kochina TA, Fundamenskiy VS, Vlasov YuG. Triethanolammonium salts of biologically active carboxylic acids. *Russian Journal of General Chemistry*. 2015;85(12):2710–2714. <https://doi.org/10.1134/S1070363215120075>

19. Adamovich SN, Oborina EN, Ushakov IA, Mirskova AN. New method of synthesis of biologically active get(aryl)chalcogenylacetates of tris(2-hydroxyethyl)ammonium. *Russian Journal of General Chemistry*. 2018;88(10):2227–2229. <https://doi.org/10.1134/S1070363218100353>

20. Safina GF, Filipenko GI. Longevity of seeds at storage and its predicting by the accelerated ageing method. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2013;174:123–130. (In Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Филипенко Галина Ивановна,
к.с.-х.н., заведующая лабораторией
длительного хранения генетических
ресурсов растений,
Федеральный исследовательский центр
Всероссийского института генетических
ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР),
190000, г. Санкт-Петербург,
ул. Большая Морская, 42,
Российская Федерация,
e-mail: g.filipenko@vir.nw.ru

Адамович Сергей Николаевич,
д.х.н., ведущий научный сотрудник,
Иркутский институт химии
им. А.Е. Фаворского СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1,
Российская Федерация,
✉ e-mail: mir@irioch.irk.ru

Оборина Елизавета Николаевна,
к.х.н., старший научный сотрудник,
Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского
СО РАН,

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Galina I. Filipenko,
Cand. Sci. (Agricultural Sciences),
Leading Researcher,
Head of the Laboratory for Long-Term Storage
of Plant Genetic Resources,
Federal Research Center,
N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources (VIR),
42, Bolshaya Morskaya St.,
St. Petersburg, 190000,
Russian Federation,
e-mail: g.filipenko@vir.nw.ru

Sergei N. Adamovich,
Dr. Sci. (Chemistry), Leading Researcher,
A.E. Favorsky Irkutsk Institute
of Chemistry SB RAS,
1, Favorsky St., Irkutsk, 664033,
Russian Federation,
✉ e-mail: mir@irioch.irk.ru

Elizaveta N. Oborina,
Cand. Sci. (Chemistry), Senior Researcher,
A.E. Favorsky Irkutsk Institute
of Chemistry SB RAS,

664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1,
Российская Федерация,
e-mail: oborina@irioch.irk.ru

Розенцвейг Игорь Борисович,
д.х.н., доцент, заместитель директора
по научной работе,
Иркутский институт химии
им. А.Е. Фаворского СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1,
Российская Федерация;
профессор кафедры теоретической
и прикладной органической химии
и полимеризационных процессов,
Иркутский государственный университет,
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1,
Российская Федерация,
e-mail: i_roz@irioch.irk.ru

Сафина Гузель Фаридуновна,
к.б.н., старший научный сотрудник,
Федеральный исследовательский центр
Всероссийского института генетических
ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР),
190000, г. Санкт-Петербург,
ул. Большая Морская, 42,
Российская Федерация,
e-mail: g.safina@mail.ru

Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

*Все авторы прочитали и одобрили оконча-
тельный вариант рукописи.*

*Поступила в редакцию 16.02.2021.
Одобрена после рецензирования 15.04.2021.
Принята к публикации 31.05.2021.*

1, Favorsky St., Irkutsk, 664033,
Russian Federation,
e-mail: oborina@irioch.irk.ru

Igor B. Rozentsveig,
Dr. Sci. (Chemistry), Associate Professor,
Deputy Director for Research,
A.E. Favorsky Irkutsk Institute
of Chemistry SB RAS,
1, Favorsky St., Irkutsk, 664033,
Russian Federation;
Professor, Department of Theoretical
and Applied Organic Chemistry
and Polymerization Processes,
Irkutsk State University,
1, K. Marks St., Irkutsk, 664003,
Russian Federation,
e-mail: i_roz@irioch.irk.ru

Guzel F. Safina,
Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher,
Federal Research Center N.I. Vavilov
All-Russian Institute of Plant Genetic
Resources (VIR),
42, Bolshaya Morskaya St.,
St. Petersburg, 190000,
Russian Federation,
e-mail: g.safina@mail.ru

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict interests

The authors declare no conflict of interests re-
garding the publication of this article.

*The final manuscript has been read and approved
by all the co-authors.*

*The article was submitted 16.02.2021.
Approved after reviewing 15.04.2021.
Accepted for publication 31.05.2021.*