

УДК 631.811.98

DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-3-485-490>



Влияние протатранов на физиологические параметры яровой пшеницы при хлоридном засолении

Анатолий Владимирович Поморцев*, Николай Владимирович Дорофеев*,
Сергей Николаевич Адамович**, Елизавета Николаевна Оборина**

*Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН,

г. Иркутск, Российская Федерация

**Иркутский институт химии им. А. Е. Фаворского СО РАН,

г. Иркутск, Российская Федерация

Автор, ответственный за переписку: Дорофеев Николай Владимирович, nikolay.v.dorofeev@gmail.com

Аннотация. В современном сельскохозяйственном производстве для управления посевами полевых культур, снижения отрицательного влияния абиотических факторов среды, повышения продуктивности и качества продукции используют химические соединения – аналоги эндогенных фитогормонов. Физиологическая ценность ряда этих веществ обусловлена способностью увеличивать устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды. Повышенный интерес к подобным препаратам связан с их невысокой стоимостью и эффективностью в низких концентрациях. Изучено влияние смеси протатранов (a, b, c) в низких концентрациях (10^{-6} и 10^{-9} г/л) на изменение физиологических параметров (ростовые характеристики, водный статус) яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в условиях хлоридного засоления. Растения выращивали в лабораторных условиях в камере CLF PlantClimatics, где необработанные и обработанные химическими соединениями семена яровой пшеницы оценивали по изменению морфологических и физиологических показателей в условиях солевого стресса (150 mM NaCl). Анализ полученных данных показал, что протатраны положительно влияют на морфометрические параметры и водный статус растений при действии хлоридного засоления. Так, исследуемые вещества уменьшают ингибирование ростовых процессов при хлоридном засолении. Обработка семян исследуемыми веществами приводит к увеличению оводненности тканей и уменьшению падения осмотического потенциала в листьях и корнях. Химические соединения протатраны, независимо от соотношения смеси, способствуют улучшению водного режима растений и смягчают отрицательное действие хлоридного засоления на рост растений.

Ключевые слова: пшеница, хлоридное засоление, протатраны, осмотический потенциал

Благодарности. Исследования проводились на оборудовании ЦКП «Биоаналитика» с коллекцией ЦКП «Биоресурсный центр» Сибирского института физиологии и биохимии растений СО РАН и на оборудовании Байкальского аналитического центра коллективного пользования СО РАН.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке государственного контракта (AAAA-A16-116112510004-0).

Для цитирования: Поморцев А. В., Дорофеев Н. В., Адамович С. Н., Оборина Е. Н. Влияние протатранов на физиологические параметры яровой пшеницы при хлоридном засолении // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2022. Т. 12. N 3. С. 485–490. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-3-485-490>.

BRIEF COMMUNICATION

Effect of protatranes on the physiological parameters of spring wheat under chloride salinity conditions

Anatolii V. Pomortsev*, Nikolai V. Dorofeev*, Sergey N. Adamovich**, Elizaveta N. Oborina**

*Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk, Russian Federation

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

Corresponding author: Nikolai V. Dorofeev, nikolay.v.dorofeev@gmail.com

Abstract. In order to manage field crop production, reduce the negative impact of abiotic factors, and increase productivity and product quality, the modern agricultural industry uses chemical compounds analogous to endogenous phytohormones. Some of these substances are physiologically valuable due to their capability to improve the resistance of plants to adverse environmental factors. The increased interest in such preparations can be attributed to their low cost and effectiveness at low concentrations. The effect of a protatrane mixture (a, b, c) on changes in the physiological parameters (growth characteristics; water status) of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) was studied at low concentrations (10^{-6} and 10^{-9} g/L) under chloride salinity conditions. The plants were grown under laboratory conditions in a CLF PlantClimatics chamber, in which untreated and chemically treated spring wheat seeds were evaluated for changes in morphological and physiological parameters under salt stress conditions (150 mM NaCl). The analysis of obtained data revealed that protatranes have a positive effect on the morphometric parameters and water status of plants under chloride salinity conditions. Thus, the examined substances decrease the inhibition of growth processes under chloride salinity conditions. The treatment of seeds with the studied substances increases the tissue water content while decreasing the osmotic potential drop in leaves and roots. Irrespective of the mix ratio, protatranes help to improve the plant water status and mitigate the negative effects of chloride salinity on plant growth.

Keywords: wheat, chloride salinity, protatranes, osmotic potential

Acknowledgements. The studies were carried out on the equipment of the Center for Collective Use "Bioanalytics" with the collection of the Center for Collective Use "Bioresource Center" of the Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences and on the equipment of the Baikal Analytical Center for Collective Use of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.

Funding. The work was supported by the state contract (AAAA-A16-116112510004-0).

For citation: Pomortsev A. V., Dorofeev N. V., Adamovich S. N., Oborina E. N. Effect of protatranes on the physiological parameters of spring wheat under chloride salinity conditions. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2022;12(3):485-490. (In Russian). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-3-485-490>.

ВВЕДЕНИЕ

Адаптация растений к неблагоприятным факторам среды (засоление) сопровождается метаболическими изменениями, которые приводят к накоплению веществ для защиты клеточных структур и процессов, для поддержания ионного гомеостаза, уменьшения свободных радикалов, экспрессии определенных белков, регуляции их генов и индукции фитогормонов [1–3]. Фитогормоны – это соединения, которые контролируют многие физиологические и биохимические процессы в растениях [2, 5]. Они играют жизненно важную роль в реакции растений на абиотический стресс и имеют решающее значение для модулирования физиологических реакций, способствующих адаптации к неблагоприятным условиям окружающей среды [6–8]. Получено много данных о действии синтетических соединений, положительно влияющих на рост и развитие растений и повышающих их устойчивость к неблагоприятным факторам внешней среды [9]. Особый интерес вызывают доступные и недорогие

аналоги фитогормонов – арилхалькогенилацетаты трис(2-гидроксиэтил)аммония, так называемые протатраны, которые в крайне низких концентрациях оказались мощными биостимуляторами различных биологических процессов [10]. Во-первых, объединение 2-х биологических активных компонентов (арилхалькогенилуксусных кислот и аминоспиртов) в одной молекуле обеспечивает их синергетический эффект [11]. Во-вторых, уникальная структура атранов, в частности протатранов, обеспечивает легкую химическую адсорбцию на поверхности биологических мембран и дальнейшее проникновение в клетку [12]. Цель исследования состояла в изучении влияния протатранов на физиологические процессы яровой пшеницы при хлоридном засолении.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В исследованиях использовали семена пшеницы сорта Новосибирская 29. На основании предварительных данных [4] обработку семян прово-

дили смесью протатранов (рис. 1), а именно веществом (CP1) и веществом (CP2) в концентрациях 10-6 и 10-9 г/л соответственно. Вещество CP1 представляет собой смесь а+б+с (соотношение 1:1:10 соответственно), вещество CP2 – смесь а+б+с (соотношение 10:1:1 соответственно).

Для определения морфометрических параметров (длины растений и корней) в каждой биологической повторности проводили по 50 независимых измерений. Относительное содержание воды измеряли согласно Р. Э. Смарту и Г. Э. Бингхэму [13]. Осмолярность сока (с) определяли с помощью осмометра ОМКА 1Ц-01 (НПО «Медлабортехника», Россия) и переводили в МПа по формуле: Ψ_s (МПа) = $-с \times 2,58 \times 10^{-3}$ по уравнению Вант-Гоффа [14]. Все экспериментальные данные были подвергнуты статистическому анализу с использованием SigmaPlot для Windows 14.0.

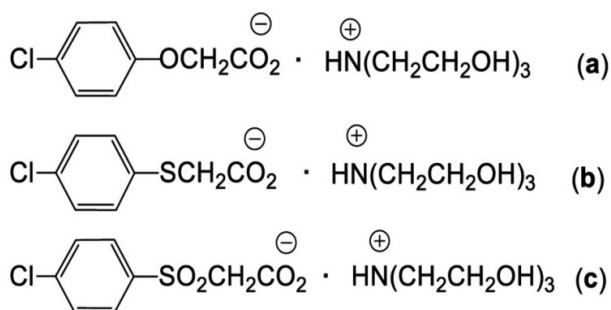


Рис. 1. Структура исследуемых веществ
 Fig. 1. Structure of investigated substances

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ полученных данных показал, что рост надземной части и корней яровой пшеницы значительно снижался на 35 и 67% под действием NaCl (150 mM) по сравнению с контролем (табл. 1). Применение веществ CP1 и CP2 для обработки семян статистически значимо снижало ингибирующее действие засоления NaCl на рост как надземной части растений (23%), так и корней (55%). Положительное действие ростовых веществ на ослабление влияния солевого стресса на рост растений было показано другими исследователями на примере индолил-3-уксусной кислоты (ИУК) [15, 16]. Было предположено, что экзогенное добавление ИУК компен-

сировало ее недостаток, возникающий из-за засоления [17].

Данные представлены в виде $M \pm SD$ ($n=4$). К – необработанные семена (контроль); К+CP1 – семена, обработанные веществом №1 без стресса; К+CP2 – семена, обработанные веществом №2 без стресса; ХЗ – необработанные семена при действии 150 mM NaCl (стресс); ХЗ+CP1 – семена, обработанные веществом №1 при стрессе; ХЗ+CP2 – семена, обработанные веществом №2 при стрессе. Различными надстрочными буквами показаны статистически значимые различия при $P \leq 0,05$ (метод Дункана), одинаковые буквы демонстрируют отсутствие различий.

Воздействие солевого стресса достоверно снижало осмотический потенциал в листьях и корнях (рис. 2, С), а также относительное содержание воды (рис. 2, А) в этих органах по сравнению с контролем. Применение синтетических веществ CP1 и CP2 (обработка семян) при хлоридном засолении способствовало меньшему падению осмотического потенциала (рис. 2, D) и нормализации содержания воды (рис. 2, В) в тканях надземной и корневой частей растений.

Следует отметить, что у растений, выращенных из семян, обработанных тестируемыми веществами и не подвергаемых стрессу хлоридным засолением, относительное содержание воды и осмотический потенциал в корнях и листьях не отличались от контрольных растений. Способность веществ CP1 и CP2 снижать падение осмотического потенциала, возможно, обусловлена регуляцией клеточных транспортных систем, обеспечивающих трансмембранный транспорт ионов натрия и калия [18, 19]. Аналогичная реакция при обработке листьев пшеницы brassinosterоидами в период засоления показана в работе А. Касима и др. [20].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных лабораторных исследований о влиянии протатранов в микроконцентрациях (10^{-6} и 10^{-9} г/л) на устойчивость яровой пшеницы к хлоридному засолению установлено следующее:

– обработка семян смесями протатранов (CP1 и CP2) снижает ингибирующий эффект ростовых процессов надземной части и корней при стрессовых условиях (150 mM NaCl);

Таблица 1. Влияние протатранов на длину растений и корней при NaCl (150 mM)

Table 1. Protatranes influence on the length of plants and roots with NaCl (150 mM)

Варианты	Длина надземной части, мм	Длина корней, мм
К	197,6±16,3 ^{ae}	126,9±20,9 ^a
К+CP1	202,3±13,5 ^{bf}	109,5±24,6 ^{bf}
К+CP2	200,9±17,3 ^{cf}	108,1±20,0 ^{cf}
ХЗ	121,8±27,0 ^d	41,5±10,6 ^d
ХЗ+CP1	145,0±20,7 ^h	57,5±15,5 ^h
ХЗ+CP2	146,9±24,3 ^h	60,1±15,2 ^h

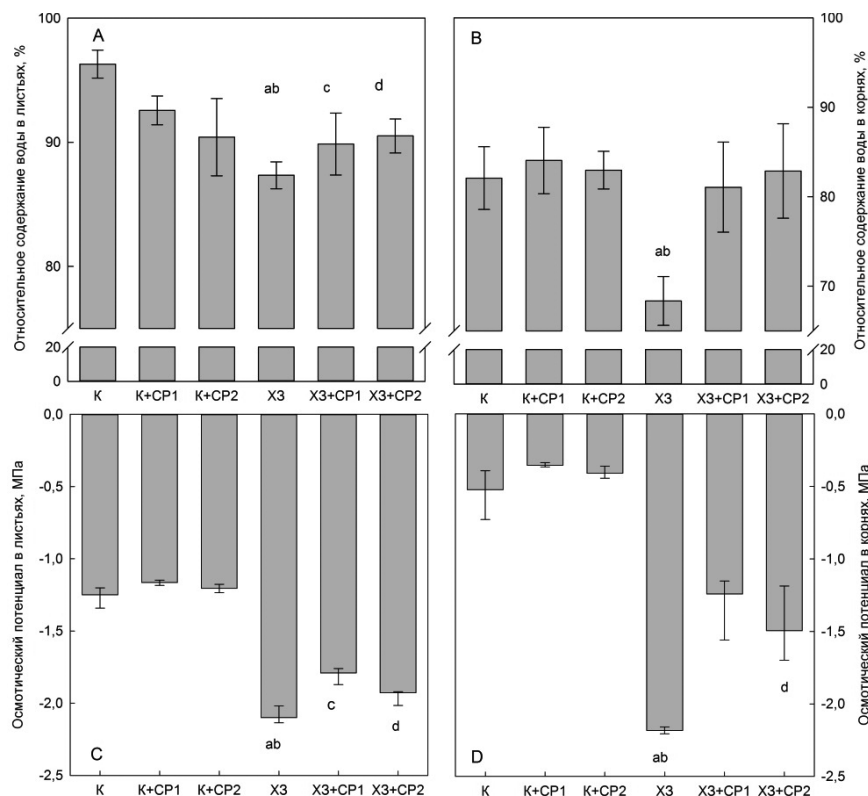


Рис. 2. Влияние протатранов на относительное содержание воды в листьях (А), корнях (В) и осмотический потенциал (Ψ_s) в листьях (С), корнях (D) при действии солевого стресса (150 mM NaCl). К – необработанные семена (контроль); К+CP1 – семена, обработанные веществом №1 без стресса; К+CP2 – семена, обработанные веществом №2 без стресса; X3 – необработанные семена при действии 150 mM NaCl (стресс); X3+CP1 – семена, обработанные веществом №1 при стрессе; X3+CP2 – семена, обработанные веществом №2 при стрессе. Данные по содержанию относительной оводненности представлены в виде $M \pm SD$ ($n=3$). Данные по осмотическому потенциалу – в виде медианы ($n=3$). Барами представлены 25 и 75%-е процентиля. Буквами показаны статистически значимые различия при $P \leq 0.05$ (метод Стьюдента-Ньюмена-Кейлса)

Fig. 2. Protatranes influence on the relative water content in leaves (A), roots (B) and osmotic potential (Ψ_s) in leaves (C), roots (D) under the action of salt stress (150 mM NaCl). K – untreated seeds (control); K+CP1 – seeds treated with substance no. 1 without stress; K+CP2 – seeds treated with substance no. 2 without stress; CS, untreated seeds exposed to 150 mM NaCl (stress); XZ+CP1 – seeds treated with substance no. 1 under stress; X3+CP2 – seeds treated with substance no. 2 under stress. Data on the relative water content are presented as $M \pm SD$ ($n=3$). Osmotic potential data are presented as a median ($n=3$). Bars represent 25 and 75% percentiles. Letters show statistically significant differences at $P \leq 0.05$ (Student-Newman-Keuls method)

– протатраны (CP1 и CP2) при действии хлоридного засоления способствуют меньшему падению осмотического потенциала и улучшают водный статус растений;

– данные вещества могут рассматриваться как возможные стресс-протекторы растений для применения в сельском хозяйстве.

REFERENCES

1. Munns R., Tester M. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Physiology*. 2008;59:651-681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>.
2. Hussain S., Khalig A., Matloob A., Wahid M. A., Afzal I. Germination and growth response of three wheat cultivars to NaCl salinity. *Soil Environment*. 2013;32:36-43.
3. Mustafa Z., Pervez M. A., Ayyub C. M., Matloob A., Khalig A., Hussain S., et al. Morpho-physiological characterization of chilli genotypes under NaCl salinity. *Soil Environment*. 2014;33:133-141.
4. Peleg Z., Blumwald E. Hormone balance and abiotic stress tolerance in crop plants. *Current Opinion in Plant Biology*. 2011;14(3):290-295. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2011.02.001>.
5. Gavelienė V., Novickienė L., Pakalniškytė L. Effect of auxin physiological analogues on rapeseed (*Brassica napus*) cold hardening, seed yield and quality. *Journal of Plant Research*. 2013;126:283-292. <https://doi.org/10.1007/s10265-012-0525-3>.
6. Skirycz A., Inzé D. More from less: plant growth under limited water. *Current Opinion in Biotechnology*. 2010;21(2):197-203. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2010.03.002>.
7. Khan M. I. R., Khan N. A. Salicylic acid

and jasmonates: approaches in abiotic stress tolerance. *Journal of Plant Biochemistry and Physiology*. 2013;1(4). <https://doi.org/10.4172/2329-9029.1000e113>.

8. Fatma M., Khan M. I. R., Masood A., Khan N. A. Coordinate changes in assimilatory sulphate reduction are correlated to salt tolerance: involvement of phytohormones. *Annual Research & Review in Biology*. 2013;3:267-295.

9. Merkys A., Novickienė L., Darginiavičienė J., Maksimov G. Advantages of auxin analogues of plant growth and productivity regulators. *International Journal of Environment and Pollution*. 2007;29(4):443-456.

10. Mirskova A. N., Adamovich S. N., Mirskov R. G. Protatranes as effective biostimulators for agriculture, biotechnology, and microbiology. *Chemistry for Sustainable Development*. 2016;6:713-728.

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

12. Adamovich S. N., Kondrashov E. V., Ushakov I. A., Shatokhina N. S., Oborina E. N., Vashchenko A. V., et al. Isoxazole derivatives of silatrane: synthesis, characterization, in silico ADME profile, prediction of potential pharmacological activity and evaluation of antimicrobial action. *Applied Organometallic Chemistry*. 2020;34(22):e5976. <https://doi.org/10.1002/aoc.5976>.

13. Smart R. E., Bingham G. E. Rapid estimates of relative water content. *Plant Physiology*. 1974;53(2):258-260. <https://doi.org/10.1104/pp.53.2.258>.

14. Martinez J.-P., Lutts S., Schanck A., Bajjia M., Kinet J.-M. Is osmotic adjustment required for wa-

ter stress resistance in the mediterranean shrub *Atriplex halimus* L? *Journal of Plant Physiology*. 2004;161(9):1041-1051. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2003.12.009>.

15. Javid M. G., Sorooshzadeh A., Moradi F., Modarres Sanavy S. A. M., Allahdadi I. The role of phytohormones in alleviating salt stress in crop plants. *Australian Journal of Crop Science*. 2011;5(6):726-734.

16. Zörb C., Geilfus C.-M., Mühling K. H., Ludwig-Müller J. The influence of salt stress on ABA and auxin concentrations in two maize cultivars differing in salt resistance. *Journal of Plant Physiology*. 2013;170(2):220-224. <http://doi.org/10.1016/j.jplph.2012.09.012>.

17. Sastry E. V. D., Shekhawala K. S. Alleviatory effect of GA₃ on the effect of salt at seedling stage in wheat (*Triticum aestivum*). *Indian Journal of Agricultural Research*. 2001;35:226-231.

18. Koyro H.-W. Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of the potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* (L.). *Environmental and Experimental Botany*. 2006;56(2):136-146. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.02.001>.

19. Hasegawa P. M., Bressan R. A., Zhu J.-K., Bohnert H. J. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 2000;51:463-499. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.51.1.463>.

20. Qasim A., Habib A., Ashraf M. Influence of exogenously applied brassinosteroids on the mineral nutrient status of two wheat cultivars grown under saline conditions. *Pakistan Journal of Botany*. 2006;38(5):1621-1632.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

А. В. Поморцев,

к.б.н., научный сотрудник,
Сибирский институт физиологии и биохимии
растений СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 132,
Российская Федерация,
pomorcevanatolii@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8025-7647>

Н. В. Дорофеев,

к.б.н., заместитель директора по прикладной
и инновационной работе,
Сибирский институт физиологии и биохимии
растений СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 132,
Российская Федерация,
nikolay.v.dorofeev@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-0005-0134>

С. Н. Адамович,

д.х.н., ведущий научный сотрудник,
Иркутский институт химии им. А. Е. Фаворского
СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1,
Российская Федерация,

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anatolii V. Pomortsev,

Cand. Sci. (Biology), Researcher,
Siberian Institute of Plant Physiology
and Biochemistry SB RAS,
132, Lermontov St., 664033, Irkutsk,
Russian Federation,
pomorcevanatolii@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8025-7647>

Nikolai V. Dorofeev,

Cand. Sci. (Biology), Deputy Director for Applied
and Innovative Work,
Siberian Institute of Plant Physiology
and Biochemistry SB RAS,
132, Lermontov St., 664033, Irkutsk,
Russian Federation,
nikolay.v.dorofeev@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-0005-0134>

Sergey N. Adamovich,

Dr. Sci. (Chemistry), Leading Researcher,
A. E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry
SB RAS,
1, Favorsky St., 664033, Irkutsk,
Russian Federation,

mir@irioch.irk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1276-924X>

Е. Н. Оборина,
к.х.н., старший научный сотрудник,
Иркутский институт химии им. А. Е. Фаворского
СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1,
Российская Федерация,
oborina@irioch.irk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4770-3403>

Вклад авторов

С. Н. Адамович, Е. Н. Оборина – выполнение
работы по синтезу протатранов.

А. В. Поморцев, Н. В. Дорофеев – проведение
экспериментальной работы по оценке
биологической эффективности протатранов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

*Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.*

Информация о статье

*Поступила в редакцию 31.03.2022.
Одобрена после рецензирования 07.09.2022.
Принята к публикации 15.09.2022.*

mir@irioch.irk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1276-924X>

Elizaveta N. Oborina,
Cand. Sci. (Chemistry), Senior Researcher,
A. E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry
SB RAS,
1, Favorsky St., 664033, Irkutsk,
Russian Federation,
oborina@irioch.irk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4770-3403>

Contribution of the authors

Sergey N. Adamovich, Elizaveta N. Oborina –
synthesis of protatranes.

Anatolii V. Pomortsev, Nikolai V. Dorofeev – carrying
out the experimental work on the assessment of the
biological effectiveness of protatrans.

Conflict interests

The authors declare no conflict of interests regarding
the publication of this article.

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

Information about the article

*The article was submitted 31.03.2022.
Approved after reviewing 07.09.2022.
Accepted for publication 15.09.2022.*