

ISSN 1561-8323 (Print)
ISSN 2524-2431 (Online)

УДК 544.341.2+581.133.8
<https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-1-55-60>

Поступило в редакцию 12.09.2018
Received 12.09.2018

**Академик В. С. Солдатов, О. В. ИONOва, А. П. Езубец,
С. Ю. Косандрович, Н. В. Вонсович**

*Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Республика Беларусь*

БЕЗНИТРАТНЫЙ ПИТАТЕЛЬНЫЙ СУБСТРАТ ДЛЯ РАСТЕНИЙ НА ОСНОВЕ КЛИНОПТИЛОЛИТА

Аннотация. Разработана рецептура питательного гранульного субстрата для растений (рабочее название «Цион»), содержащего в высокой концентрации в химически связанном виде все необходимые растению питательные элементы и не содержащего органических веществ. Субстрат не содержит нитратов, весь азот находится в форме иона аммония. Не требует дополнительного удобрения во время всего периода вегетации растения. Субстрат испытан в лабораторных вазонных экспериментах на плодородие и содержание нитратов в двух культурах, накапливающих в биомассе большое количество нитратов – листового салата (*Lactuca sativa* L.) сорта Афицион и кормовой злак райграс пастбищный (*Lolium perenne* L.). Растения выращивались на 100 %-ном субстрате и его смесях с бесплодными компонентами – кварцевый песок, торф, вермикулит. Во всех случаях при использовании смесей субстрата Цион с бесплодными грунтами максимальное содержание нитратов было 209 мг/кг, минимальное – менее 50 мг/кг, что на порядок ниже предельно допустимых санитарных норм для изученных растений.

Ключевые слова: питательный субстрат для растений, нитраты, клиноптилолит, салат, райграс

Для цитирования. Безнитратный питательный субстрат для растений на основе клиноптилолита / В. С. Солдатов [и др.] // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2019. – Т. 63, № 1. – С. 55–60. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-1-55-60>

Academician Vladimir S. Soldatov, Olga V. Ionova, Hanna P. Yezubets, Svetlana Y. Kosandrovich, Natalia V. Vonsovich

Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

NITRATE-FREE NUTRIENT SUBSTRATE FOR PLANTS ON THE BASIS OF CLINOPTILOLITE

Abstract. A recipe for the nutrient granular substrate for growing plants (the working name is “Zion”) has been developed. The substrate contains all necessary for plant nutrient elements in the chemically bound state in high concentration; it does not contain any organic matter and nitrates, and does not need additional fertilization during the plant vegetation. All nitrogen in the substrate is contained in ammonium form. The substrate has been tested in the laboratory conditions in pot experiments for fertility and nitrates concentration in the biomass of the two cultures accumulating a large amount of nitrates that is leaf salad (*Lactuca sativa* L.) cultivar Afficion and ryegrass (*Lolium perenne* L.). The plants were grown on a 100 % substrate as well as on its mixtures (3–10 %) with different fruitless media – quartz sand, peat, and vermiculite. It appeared that in all the cases, when Zion has been used, the maximal content of nitrates in the plant biomass was 209 mg/kg dry, the minimal one was less than 50 mg/kg dry, which is lower by an order of magnitude than the admitted sanitary norm for the plants used in the study.

Keywords: nutrient substrate for plants, nitrates, clinoptilolite, salad, ryegrass

For citation: Soldatov V. S., Ionova O. V., Yezubets H. P., Kosandrovich S. Y., Vonsovich N. V. Nitrate-free nutrient substrate for plants on the basis of clinoptilolite. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2019, vol. 63, no. 1, pp. 55–60 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-1-55-60>

Все известные питательные среды для растений, включая природные почвы, питательные грунты и гидропонные растворы, содержат нитраты в качестве основного источника азотного питания. Нитраты могут накапливаться в растениях, достигая опасного для здоровья человека уровня. Несмотря на то что их содержание в растительной продукции можно несколько уменьшить за счет изменения соотношения биогенных ионов в питательной среде и условий выращивания растений, надежного и практически приемлемого способа контроля их содержания нет.

В настоящем сообщении приводится рецептура полноценного безнитратного субстрата на основе природного минерала клиноптилолита из группы цеолитов¹ и продемонстрирована его

¹ Питательные субстраты для выращивания растений: пат. RU № 2662772 / Д. А. Ефремов, Е. Г. Косандрович, И. А. Мельников, А. Н. Печкуров, Е. М. Полховский, В. С. Солдатов, В. В. Сапрыкин. – Оpubл.: 30.06.2018.

применимость для получения высоких урожаев малонитратной биомассы двух растений, накапливающих особенно большое количество нитратов в биомассе, при культивации на естественных почвах или на гидропонных растворах. В качестве примеров выбраны салат листовой (*Lactuca sativa* L.) сорта Афицион и кормовой злак райграсс пастбищный (*Lolium perenne* L.). Предельно допустимая концентрация нитратов в сырой биомассе этих культур равна 2000 и 500 мг/кг соответственно¹.

Субстрат имеет условное название «Цион» – Цеолит Ионообменный (Zion). Он состоит из гидрофильных частиц неправильной формы с размером 1–3 мм с насыпной плотностью 1,1 кг/дм³. Его максимальное водопоглощение составляет 0,1 г воды на грамм сухого вещества. Содержит все необходимые растениям элементы питания в химически связанном виде. Весь азот содержится в виде иона аммония; нитрат в субстрате отсутствует. Соотношение ионов в субстрате и pH равновесного с ним раствора может произвольно изменяться в соответствии с требованиями пользователя. Состав по подвижным ионам одного из вариантов субстрата, который использовался при выращивании растений, представлен в табл. 1. Концентрации катионов в субстрате определялись полным вытеснением всех ионов из субстрата 0,3 М HCl с последующим анализом экстракта методом капиллярного электрофореза (прибор Капель 104-Т). Фосфаты определялись в соответствии с рекомендациями в [1]. Концентрации в водных вытяжках получены в результате контакта 10 г субстрата с 45 мл воды в равновесных растворах.

Т а б л и ц а 1. Содержание подвижных ионов в субстрате Цион pH 7,0 и их концентрация в водных вытяжках

Table 1. Content of exchangeable ions in the substrate Zion pH 7.0 and their concentration in the equilibrium water solution

Параметр Parametr	NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻
Содержание в субстрате, мэкв/100 г	37	25	12	1,8	29				7,6*
Содержание в субстрате, мг/100 г	666	975	276	21,6	580				722
Конц. в вытяжке дист. водой, мэкв/л	4,92	1,50	3,33	0,31	0,83	0,85	0,16	0	5,98**
Конц. в вытяжке водопр. водой, мэкв/л	5,35	1,62	3,97	0,48	1,06	1,59	0,65	0,10	4,73**
Конц. в водопр. воде, мэкв/л	0	0	0,50	1,34	3,19	0,76	0,54	0,18	0

П р и м е ч а н и я: * – концентрации в ммоль/100 г, ** – концентрации в ммоль/л.

Notes: * concentration in mmol/100 g, ** – concentration in mmol/l.

Из данных табл. 1, 2 видно, что субстрат Цион содержит все необходимые растению макроэлементы в значительно больших концентрациях, чем в почве и других используемых в практике питательных средах. В нем не указаны содержания микроэлементов, так как они вносятся в субстрат в виде сухих солей в соответствии с общепринятыми рекомендациями [2] и потребностями выращиваемых на субстрате культур и/или технологией их выращивания. Кроме того, природный клиноптилолит содержит значительное количество микроэлементов, что во многих случаях делает их дополнительное внесение необязательным.

¹ Об утверждении Ветеринарно-санитарных правил обеспечения безопасности кормов, кормовых добавок и сырья для производства комбикормов: постановление Министерства сельского хозяйства и продовольствия Респ. Беларусь, 5 февр. 2018 г., № 9 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pravo.newsby.org/belarus/postanov4/pst623.htm>. – Дата доступа: 28.06.2018; Об утверждении Санитарных норм, правил и гигиенических нормативов «Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов» и признании утратившими силу некоторых постановлений Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь и постановлений Министерства здравоохранения Республики Беларусь: постановление Министерства здравоохранения Респ. Беларусь, 9 июня 2009 г., № 63 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа: <http://pravo.levonevsky.org/bazaby11/republic10/text318/index5.htm>. – Дата доступа: 08.08.2018.

Т а б л и ц а 2. Сравнение содержания основных питательных элементов для растений в различных питательных средах

T a b l e 2. Comparison of the content of the main nutrients elements for plants in the different nutrient media

Питательная среда Nutrient media	N		K ₂ O		P ₂ O ₅	
	мг/дм ³	мг/кг	мг/дм ³	мг/кг	мг/дм ³	мг/кг
Цион	5698	5180	12925	11750	6560	5964
Питательный раствор [3]	238	238	710	710	400	400
Чернозем [4]					700	500
Питательный торфогрунт «Флорабел»*	241	1000	289	1200	241	1000

П р и м е ч а н и е. * – производство Республики Беларусь, ООО «Флорабел», ТУ BY100348359.007–2013.

N o t e. * – production of the Republic of Belarus, LLC “Florabel”, TU BY100348359.007–2013.

В то же время он образует при контакте с водой питательный раствор с концентрацией и соотношением ионов, близкими к оптимальным [3], что исключает возможность передозировки удобрений в субстратном растворе и допускает возможность прямого контакта частиц субстрата с корнем растения.

Тот факт, что весь азот в субстрате Цион входит в состав иона аммония может рассматриваться как фактор, облегчающий его усвоение растением, так как он принимает непосредственное участие в синтезе аминокислот, предшествующем образованию белков [4]. Нитраты, поглощаемые растением из нитратных удобрений, непосредственного участия в этом процессе не принимают. Они должны быть восстановлены до иона аммония, что требует большой затраты энергии. При использовании аммония в качестве источника азота этот многостадийный процесс исключается. Применение нитратов в качестве азотных удобрений не связано с физиологической потребностью растений и обусловлено доступностью и относительной стабильностью нитратов в почвах по сравнению с аммонием, который быстро окисляется за счет микробиологических и ферментативных процессов. С агрохимической точки зрения нитрификация (превращение NH_4^+ в NO_3^-), происходящая в почвах, нежелательна, так как она приводит к потерям азота за счет вымывания ее продуктов из почвы и загрязнения ими природных вод, а также денитрификации с образованием газообразных соединений азота.

Аммонийные удобрения не имеют этих недостатков, но они вызывают закисление почв и требуют дополнительного внесения карбонатов кальция и/или магния. Это, в свою очередь, может подавить поглощение калия. Эту цепь процессов трудно контролировать, что является одной из причин, по которым на практике отдается предпочтение нитратным удобрениям [5]. Однако закисление питательной среды растений, в которой ион аммония входит в ионообменном виде, не происходит. Считается, что причиной уменьшения рН является поглощение корневой системой растения иона аммония из нейтральной соли, используемой в качестве удобрения (например $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) с освобождением аниона, образующего свободную кислоту. В нашем случае этого не происходит, так как роль аниона выполняет кристаллическая решетка клиноптилолита, имеющая некомпенсированный отрицательный заряд. Ион аммония поглощается корнем растения только в обмен на ион корневого метаболита, среди которых преобладают ионы водорода. Последние не могут покинуть частицу клиноптилолита, и рН субстратного раствора остается практически постоянным. Некоторый сдвиг рН может происходить за счет гидролиза образующейся H^+ -формы клиноптилолита, однако буферная емкость субстрата велика и, как оказалось, позволяет поддерживать его кислотность на физиологически приемлемом уровне до практически полного истощения. Ниже приводятся экспериментальные данные по выращиванию салата листового (*Lactuca sativa* L.) сорта Афицион и кормового злака райграса пастбищного (*Lolium perenne* L.).

В качестве питательной среды для растений испытывался субстрат Цион и его смеси со следующими практически бесплодными средами: 1) кварцевый песок, обработанный 2 М соляной кислотой для удаления карбонатов, оксидов и гидроксидов металлов; 2) практически бесплодный раскисленный верховой торф; 3) вермикулит. Эти среды были проверены на наличие вымы-

ваемых водой ионов. Во всех случаях нитраты в компонентах питательных сред для растений отсутствовали в измеряемых концентрациях. Условия экспериментов по выращиванию растений приводятся ниже.

Черные пластиковые вазоны высотой 8,0 см и площадью 49 см² (7 × 7 см) объемом 250 см³ заполнялись 220 см³ питательной среды. В них высаживались по трафарету 36 пророщенных семян райграса; 6 семян салата, их которых на 7-й день оставлялось одно растение. Продолжительность выращивания – 30 суток, после чего растения срезались на высоте 4 см и определялась сырая и сухая (сушка при 90 °С) биомасса их надземной части. Освещение – светодиодные лампы ДНБО1-4х9-001 У4.1 «Светодар» с отношением интенсивности излучения в красной и синей областях 4 : 1; фотопериод 18 ч (6.00–24.00). Общая освещенность была 10000 Лк. Поддерживалась температура на уровне 20–22 °С. Трехкратная повторность. Полив водопроводной водой (состав в табл. 1). Содержание нитратов в сырой биомассе определялось потенциометрически с помощью нитрат-селективного электрода. Результаты этих экспериментов представлены в табл. 3 и 4.

Т а б л и ц а 3. Влияние концентрации субстрата Цион в смеси с бесплодным песком на урожай райграса в двух последовательных вегетациях

T a b l e 3. Influence of the concentration of Zion substrate with a quartz sand mixture on the plant biomass of ryegrass in two consecutive vegetations

Объемный процент Циона Volume percent of Zion	Биомасса сырая, г/вазон Biomass raw, g/pot		NO ₃ ⁻ , мг/кг сырой биомассы NO ₃ ⁻ , mg/kg of raw biomass	
	I вегетация I vegetation	II вегетация II vegetation	I вегетация I vegetation	II вегетация II vegetation
3	5,02	2,18	189	25
5	7,79	7,11	29	25
10	7,04	8,39	40	40

Т а б л и ц а 4. Масса надземной части и содержание нитратов в растениях, выросших на смесях 10 % субстрата Цион с различными бесплодными грунтами

T a b l e 4. The mass of the leaves and the content of nitrates in it, which were grown on the mixtures of 10 % Zion with the various inert media

Состав питательной среды Composition of the nutrient medium	Биомасса сырая, г/вазон Biomass raw, g/pot		NO ₃ ⁻ , мг/кг сырой биомассы NO ₃ ⁻ , mg/kg of raw biomass	
	салат salad	райграсс ryegrass	салат salad	райграсс ryegrass
1. Цион 10 % + песок 90 %	3,03	8,02	51	50
2. Цион 10 % + песок 60 % + 30 % вермикулит	4,19	10,06	52	36
3. Цион 10 % + песок 60 % + 30 % вермикулит*	3,61	–	25	–
4. Торф 100 %	0,33	0,85	209	44
5. Цион 10 % + торф 90 %	7,06	10,63	64	39
6. Цион 10 % + торф 60 % + 30 % вермикулит	12,71	10,42	48	70

П р и м е ч а н и е. * – субстрат обрабатывался торфяным экстрактом.

N o t e. * – the substrate was treated with a commercial peat extract.

Влияние на урожай салата и содержания в нем нитратов, величины рН, соотношения N : K и количества Циона в смеси с бесплодным песком выяснялось в эксперименте с вазонами объемом 50 см³. Четырехкратная повторность, остальные условия эксперимента были такими же, как описано выше.

Известно, что накопление нитратов в биомассе растений сильно зависит не только от вида, но и от условий выращивания: интенсивности и спектрального состава света, режима полива и водоудерживающих свойств почвы, обеспеченности корневого питания, температуры и других факторов. Некоторые из них были изучены в настоящей работе и могут быть суммированы следующим образом.

Во всех случаях содержание нитратов в биомассе растений было в 10–20 раз ниже их предельной санитарной нормы для употребления в пищу человеком и животными.

Не наблюдалось существенной разницы в концентрации нитратов в растениях салата и райграса, выросших в одинаковых условиях (табл. 4).

При выращивании салата и райграса на смесях песка с 5 и 10 % Циона получено практически одинаковое количество надземной биомассы (табл. 3, 5). Растения не испытывали недостатка питательных веществ в более бедной смеси. Это означает, что в смеси с 10 % Циона остался не использованным их большой запас. Это подтверждается и тем фактом, что биомасса растений райграса, полученная во второй вегетации, практически такая же, как и в первой для 5-процентной смеси и заметно выше для 10-процентной. Для среды с 3 % Циона очевидно снижение урожая во второй вегетации, что вызвано истощением среды. Более высокий урожай массы во второй вегетации, чем в первой на 10-процентной смеси обусловлен тем, что растения росли на хорошо развитой в первой вегетации корневой системе.

Т а б л и ц а 5. Влияние рН, соотношения N : K и содержания Циона в смеси с бесплодным песком на урожай салата и содержание в нем нитратов

Table 5. The influence of pH, ratio of N : K and content of Zion in a mixture with quartz sand on the biomass production and nitrate content in the salad plant

рН	N : K = 2		N : K = 3		N : K = 4		N : K = 6	
	Масса растений Mass of plants	NO ₃ ⁻ , мг/кг	Масса растений Mass of plants	NO ₃ ⁻ , мг/кг	Масса растений Mass of plants	NO ₃ ⁻ , мг/кг	Масса растений Mass of plants	NO ₃ ⁻ , мг/кг
<i>5 объемных % Циона</i>								
7	3,98	130	4,66	209	–	–	–	–
6	3,53	180	4,82	100	–	–	–	–
<i>10 объемных % Циона</i>								
7	4,42	–	4,07	–	4,09	110	4,69	140
5	3,03	100	3,79	180	–	–	–	–
<i>100 % Цион</i>								
7	7,89	70	8,52	90	–	–	–	–
6	5,21	70	4,30	120	–	–	–	–

Данные по выращиванию салата в вазонах, сильно различающегося размера (50 и 250 см³), согласуются с этим выводом (табл. 4, 5). Биомассы растений оказались почти одинаковыми.

Растения салата существенно лучше росли на смесях Циона с бесплодным торфом, чем с песком, несмотря на то что запас корневого питания в обоих случаях был одинаковым (табл. 4). Контрольный опыт показал, что урожай салата на чистом торфе был пренебрежимо мал. Мы рассмотрели возможность того, что из торфа могут экстрагироваться поливной водой какие-то вещества, ускоряющие рост растений. Для проверки этого полив салата, росшего на смеси Циона с песком, осуществлялся водой, настоянной в течение ночи на торфе (табл. 4, строки 2 и 3). Полив экстрактом не вызывал улучшения роста растений. Поэтому мы считаем, что существенно лучший рост растений салата на смесях с торфом и вермикулитом вызван лучшими, чем у песчаной смеси водно-воздушными свойствами этой питательной среды. Замена песка на торф и вермикулит не привела к увеличению содержания нитратов в биомассе растений. Растения райграса оказались менее чувствительны к замене песка на торф.

Изменение рН субстрата в пределах 5–7 и отношения N : K в пределах 2–6 практически не повлияли на содержание нитратов в растениях салата, которое не превышало 209 мг/кг (табл. 5).

Несмотря на то что нитрат ионы отсутствовали в питательных средах, их небольшое количество обнаруживается в биомассе растений во всех случаях. Это может быть связано с тем, что наши эксперименты по выращиванию растений проводились в нестерильных условиях и в прикорневой зоне могли развиваться колонии бактерий нитрификаторов, конвертирующих часть свободных ионов аммония в нитраты. Известно, что присутствие цеолитов и некоторых других минеральных сорбентов в водных средах и почвах способствует развитию нитрифицирующих

бактерий [6]. В литературе обсуждается также возможность синтеза некоторого количества нитратов растением по пока еще неизвестным механизмам [6]. В любом случае, содержание нитратов в культурах, выращенных с применением 100-процентного субстрата Цион или его комбинаций с бесплодными грунтами, многократно ниже, чем на обычных питательных средах, применяющихся на практике для выращивания зеленых культур. Например, содержание нитратов в семи образцах салата Афицион (живые растения в пластиковых вазонах с торфосмесью), выращенных в крупном агрокомбинате и купленных в нескольких супермаркетах Минска, оказалось равным в среднем 1474 мг/кг, что соответствует официальной санитарной норме. При использовании смесей субстрата Цион максимальное содержание нитратов было 209 мг/кг, минимальное – менее 50 мг/кг. Результаты этой работы показывают, что применение субстратов Цион открывает возможность получения малонитратной растительной продукции, отвечающей существенно более высоким санитарным требованиям, чем принятые в настоящее время.

Список использованных источников

1. Кидин, В. В. Практикум по агрохимии / В. В. Кидин, И. П. Дерюгин. – М., 2008. – 599 с.
2. Солдатов, В. С. Ионитные почвы / В. С. Солдатов, Н. Г. Перышкина, Р. П. Хорошко. – Минск, 1978. – 270 с.
3. Чесноков, В. А. Выращивание растений без почвы / В. А. Чесноков, Е. Н. Барызина. – Ленинград, 1960. – 170 с.
4. Кидин, В. В. Агрохимия / В. В. Кидин, С. П. Торшин. – М., 2016. – 608 с.
5. Вильдфлуш, И. Р. Агрохимия / И. Р. Вильдфлуш, А. А. Каменский, С. М. Камасин. – Минск, 2013. – 704 с.
6. Greig, L. A. The enhancement of ammonium ion removal onto columns of clinoptilolite in the presence of nitrifying bacteria, In *Ion exchange at the millennium* / L. A. Greig. – London, 2000. – 141 p.

References

1. Kidin V. V., Deriugin I. P. *Practical work on agricultural chemistry*. Moscow, 2008. 599 p. (in Russian).
2. Soldatov V. S., Perishkina N. G., Khoroshko R. P. *Ion exchange soils*. Minsk, 1978. 270 p. (in Russian).
3. Chesnokov V. A., Baryzina E. N. *Cultivation plants without soil*. Leningrad, 1960. 170 p. (in Russian).
4. Kidin V. V., Torshin S. P. *Agricultural chemistry*. Moscow, 2016. 608 p. (in Russian).
5. Vildflush I. R., Kamensky A. A., Kamasin S. M. *Agricultural chemistry*. Minsk, 2013. 704 p. (in Russian).
6. Greig L. A. *The enhancement of ammonium ion removal onto columns of clinoptilolite in the presence of nitrifying bacteria*, In *Ion exchange at the millennium*. London, 2000. 141 p.

Информация об авторах

Солдатов Владимир Сергеевич – академик, д-р хим. наук, профессор. Институт физико-органической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 13, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: soldatov@ifoch.bas-net.by.

Ионова Ольга Владимировна – науч. сотрудник. Институт физико-органической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 13, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: olga.ionova@tut.by.

Езубец Анна Павловна – мл. науч. сотрудник. Институт физико-органической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 13, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: anna.ezubets@gmail.com.

Косандрович Светлана Юрьевна – науч. сотрудник. Институт физико-органической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 13, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: svetlanakos79@yandex.ru.

Вонсович Наталья Васильевна – мл. науч. сотрудник. Институт физико-органической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 13, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: nataha-ya-vonsovich@tut.by.

Information about the authors

Soldatov Vladimir Sergeevich – Academician, D. Sc. (Chemistry), Professor. Institute Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (13, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: soldatov@ifoch.bas-net.by.

Ionova Olga Vladimirovna – Researcher. Institute Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (13, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: olga.ionova@tut.by.

Yezubets Hanna Pavlovna – Junior researcher. Institute Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (13, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: anna.ezubets@gmail.com.

Kasandrovich Svetlana Yurievna – Researcher. Institute Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (13, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: svetlanakos79@yandex.ru.

Vonsovich Natalia Vasilevna – Junior researcher. Institute Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (13, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nataha-ya-vonsovich@tut.by.