

УДК 543.429.23:582.746.21

Е. Д. Скаковский¹, Д. Н. Латышевич¹, Л. Ю. Тычинская¹, С. А. Ламоткин²¹ Институт физико-органической химии НАН Беларуси² Белорусский государственный технологический университет**АНАЛИЗ ЭКСТРАКТОВ ЛИМОНА МЕТОДОМ ЯМР**

Проведен сравнительный анализ составов хлороформных, водных и спиртовых экстрактов цедры, семян, листьев лимона и его сока методом ЯМР.

Объект исследования – плод лимона и его листья (страна происхождения – Греция, о. Закинф). Экстракцию осуществляли непосредственно дейтерированными растворителями при комнатной температуре в течение 24 ч. Сок лимона, полученный прямой выжимкой, анализировали с добавлением D₂O. Спектры ЯМР зарегистрированы на спектрометре AVANCE-500 (Bruker). Определение химических сдвигов проводили с использованием сигналов растворителя или его изотопомеров. Количественные измерения осуществляли на основании интегральных интенсивностей линий.

Установлено, что лимонный сок является водным раствором лимонной, молочной, яблочной кислот, сахаров (глюкоза, фруктоза и сахароза) и аминокислот. Хлороформный экстракт цедры содержит смесь терпеновых углеводородов с преобладанием лимонена. Водный и метанольный – смесь сахаров, лимонной кислоты и небольшого количества аминокислот. В хлороформном экстракте семян обнаружены триацилглицериды с большим содержанием ненасыщенных кислот (олеиновой, линолевой и α -линоленовой), а в водном и метанольном – сахара и аминокислоты. Главными компонентами хлороформных экстрактов листьев являются парафины, а водных и метанольных – сахара, аминокислоты и хлорофиллы. Измерено количественное содержание компонентов в экстрактах.

Ключевые слова: метод ЯМР, лимон, сок, цедра, семена, листья.

Ye. D. Skakovskiy¹, D. N. Latyshevich¹, L. Yu. Tychinskaya¹, S. A. Lamotkin²¹ Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus² Belarusian State Technological University**ANALYSIS OF LEMON EXTRACT BY NMR METHOD**

A comparative compositional analysis of chloroform, water and alcohol extracts of lemon peel, seeds, leaves and its juice by NMR method was carried out.

The object of the study is the fruit of the lemon and its leaves (the country of origin is Greece, the island of Zakynthos). The extraction was carried out directly by deuterated solvents at room temperature for 24 hours. Lemon juice obtained by direct squeezing was analyzed with the addition of D₂O. The NMR spectra were recorded on AVANCE-500 spectrometer (Bruker). Chemical shifts were determined using the signals of the solvent or its isotopomers. Quantitative measurements were made on the basis of line integral intensities.

It was found that lemon juice is an aqueous solution of lemon, lactic, apple acids, sugars (glucose, fructose and sucrose) and amino acids. The chloroform extract of peel contains a mixture of terpenic hydrocarbons with a predominance of limonene. Water and methanol extracts – a mixture of sugars, citric acid and a small number of amino acids. Triacylglycerides with a high content of unsaturated acids (oleic, linoleic and α -linolenic) are found in the chloroform extract of seeds, and in water and methanol ones – sugar and amino acids. The main components of the chloroform extracts of leaves are paraffines, and of aqueous and methanol ones – sugar, amino acids and chlorophylls. The quantitative content of the components in the extracts was measured.

Key words: NMR method, lemon, juice, peel, seeds, leaves.

Введение. Лимон (*Citrus limon* L.) – небольшое вечнозеленое дерево, плоды которого повсеместно используются из-за широкого спектра полезных свойств для человека. Плоды содержат органические кислоты, аминокислоты, сахара, минеральные вещества и витамины. Из цедры плодов и листьев лимона извлекают эфирное масло, которое применяется в медицине и косметологии. Лимонный сок богат витамином С, цитрином и органическим калием,

благоприятно влияющим на жизнедеятельность сердечно-сосудистой системы и почек. Находят применение и косточки лимона.

Существует обширная информация о компонентном составе плодов лимона, полученная преимущественно методами хроматографии. Хроматограммы дают исчерпывающую информацию о составе и распределении компонентов, однако для получения достоверных результатов при анализе смесей в хроматографии

предполагается использование различных колонок и наличие индивидуальных компонентов, что увеличивает время анализа. В настоящее время также широко применяется спектроскопия ЯМР высокого разрешения на разных ядрах [1]. Метод обладает высокой чувствительностью, экспрессностью и достоверностью.

Установление катионного состава лимонного сока проводилось разными методами [2]. Так, при помощи ЯМР высокого разрешения с вращением под магическим углом (рабочая частота спектрометра 700 МГц на ^1H) изучен состав сока сицилийского лимона. Идентифицировано 39 соединений и определено их содержание. Состав флавоноидов в соке лимона был проанализирован при помощи хромато-масс-спектрометрии [3]. Волокна цедры исследованы в работе [4]. Различными хроматографическими методами достаточно подробно изучены эфирные масла, выделенные из кожуры плодов и листьев методами холодного прессования и экстракции [5–7]. Исследование [8] посвящено анализу антиоксидантной активности фенольных соединений цедры и семян лимона, выделенных экстракцией метанолом и щелочным гидролизом. Однако информация о составе триацилглицеридов масла семян, сахаров и аминокислот экстрактов листьев практически отсутствует.

Цель данного исследования – сравнительный анализ хлороформных, водных и спиртовых экстрактов цедры, семян, листьев лимона и его сока методом ЯМР на ядрах ^1H и ^{13}C .

Основная часть. Объект исследования – плод лимона и его листья (страна происхождения – Греция, о. Закинф). Экстракцию осуществляли непосредственно дейтерированными растворителями при комнатной температуре в течение 24 ч. Сок лимона, полученный прямой выжимкой, анализировали с добавлением D_2O (30%), а также после предварительного удаления воды и дальнейшего растворения в D_2O . Сухой остаток сока составил 8,2%.

Спектры ЯМР зарегистрированы на спектрометре AVANCE-500 (Bruker) с рабочими частотами 500 и 126 МГц для ядер ^1H и ^{13}C , соответственно, при температуре 293 К. Определение химических сдвигов проводили с использованием сигналов растворителя и его изотопомеров. Для водных экстрактов в качестве внутреннего стандарта использовали добавленный в раствор трет-бутиловый спирт, для протонов метильных групп которого химический сдвиг $\delta(\text{CH}_3)_3 = 1,24$ м. д., а для ядер ^{13}C $\delta(\text{CH}_3)_3 = 30,29$ м. д. Для идентификации соединений в смесях зарегистрированы спектры ряда индивидуальных соединений. Количественные измерения осуществляли на основании интегральных интенсивностей линий в спектрах ^1H .

На рис. 1 показаны спектры ЯМР лимонного сока. В спектрах идентифицированы оксикислоты: лимонная (I), молочная (II), яблочная (III); аминокислоты: аланин (IV), аспарагин (V), валин (VI), глутаминовая кислота (VII), изолейцин (VIII), пролин (IX), треонин (X), а также сахара: глюкоза (XI), сахароза (XII) и фруктоза (XIII).

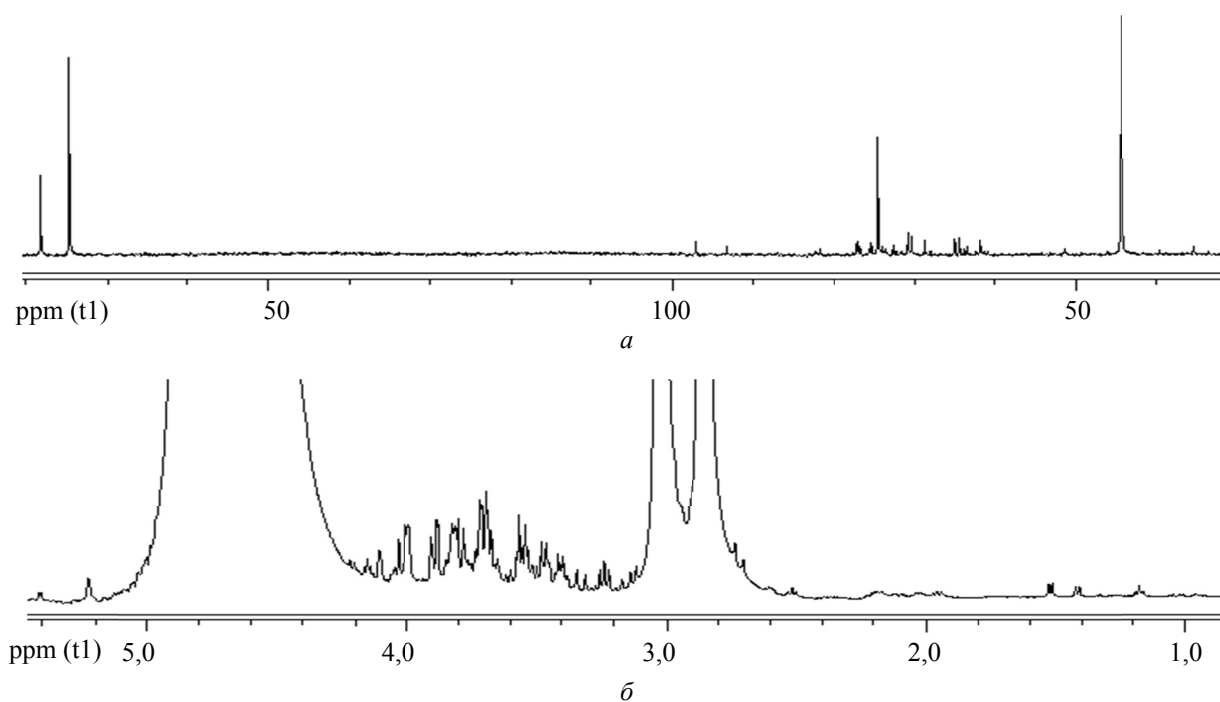
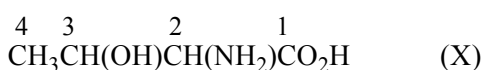
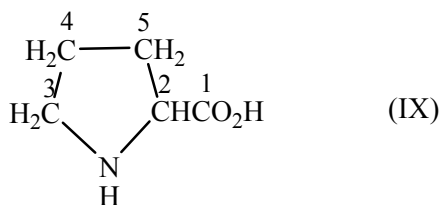
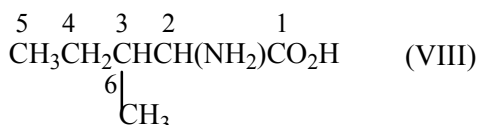
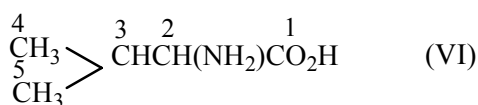
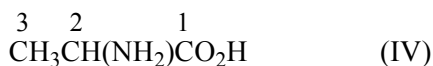
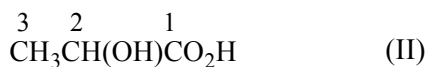
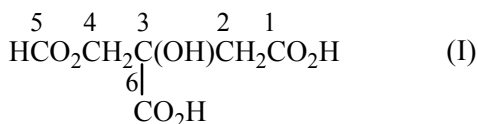
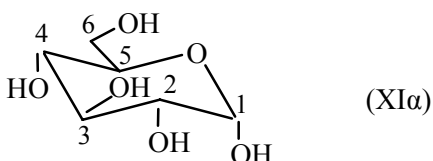
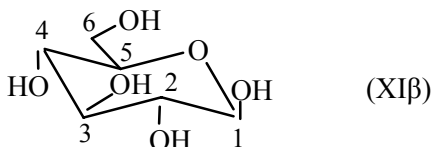


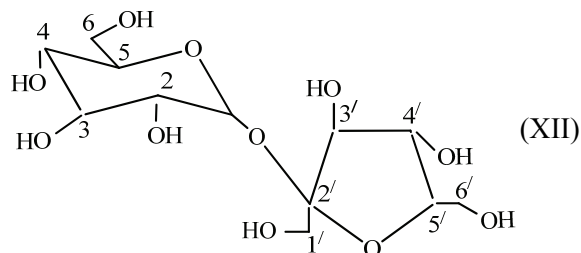
Рис. 1. ЯМР-спектры лимонного сока:
а – ^{13}C ; б – ^1H



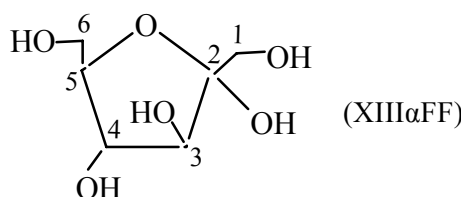
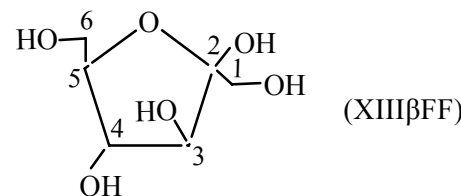
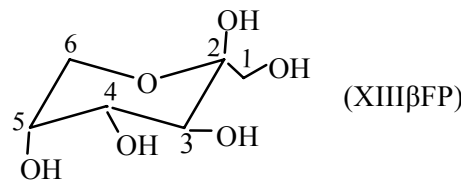
Глюкоза в водном растворе присутствует в виде двух изомеров: β-глюкопиранозы (XI β) и α-глюкопиранозы (XI α) [9].



Дисахарид сахараза в водном растворе присутствует в виде одного изомера:



Известно [10], что фруктоза существует в растворе в виде пяти конформеров. В спектрах устойчиво идентифицируются только три мажорных компонента: β-фруктопираноза (XIII β FP), β-фруктофураноза (XIII β FF) и α-фруктофураноза (XIII α FF).

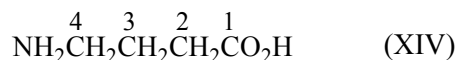


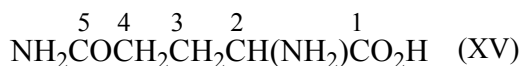
В таблице приведены химические сдвиги (δ, м. д.) ядер ¹H и ¹³C указанных соединений.

В результате количественной обработки ЯМР спектров сока лимона определено относительное содержание компонентов (мол. %): 85,73 (I); 0,12 (II); 0,15 (III); 0,16 (IV); 0,31 (V); 0,03 (VI); 0,26 (VII); 0,08 (VIII); 0,15 (IX); 0,03 (X); 2,14 (XI); 0,33 (XII) и 5,50 (XIII).

В результате экстракции цедры водой и ее последующего удаления на пленочном испарителе вес сухого остатка составил 6,2% от веса сухой навески, который затем растворили в D₂O и провели запись спектров ¹H и ¹³C ЯМР по стандартной методике. Далее был проведен качественный анализ полученных спектров с последующей количественной их обработкой.

В спектрах ЯМР были обнаружены: аланин (IV), аспарагин (V), пролин (IX), глюкоза (XI), сахароза (XII) и фруктоза (XIII). Кроме того, присутствуют сигналы γ-аминомасляной кислоты (XIV) и глутамина (XV).





Химические сдвиги для соединения XIV ^1H , δ , м. д.: 2,29 (2); 1,90 (3); 3,01 (4). ^{13}C , δ , м. д.: 181,93 (1); 35,20 (2); 24,40 (3); 40,05 (4).

Для соединения XV δ , м. д. ^1H : 3,77 (2); 2,13 (3) и 2,41, 2,47 (4). ^{13}C δ , м. д.: 174,59 (1); 54,80 (2); 26,84 (3) 31,48 (4) и 178,24 (5).

Относительное содержание компонентов в водном экстракте цедры лимона равно (мол. %): 0,36 (IV); 10,17 (V); 0,73 (IX); 30,27 (XI); 3,39 (XII); 47,94 (XIII); 0,97 (XIV) и 1,21 (XV).

В результате экстракции семян лимона без оболочки в D_2O в раствор перешло 11,1% веществ.

Спектры ЯМР водного экстракта семян приведены на рис. 2.

Химические сдвиги (δ , м. д.) ядер ^1H и ^{13}C оксикислот, аминокислот и сахаров лимонного сока

Соединение	C (1)	C (2)	C (3)	C (4)	C (5)	C (6)	C (1')	C (2')	C (3')	C (4')	C (5')	C (6')
^1H												
I	–	2,89 3,05	–	2,89 3,05	–	–	–	–	–	–	–	–
II	–	4,40	1,42	–	–	–	–	–	–	–	–	–
III	–	4,60	2,86 2,94	–	–	–	–	–	–	–	–	–
IV	–	3,77	1,47	–	–	–	–	–	–	–	–	–
V	–	4,00	2,85 2,94	–	–	–	–	–	–	–	–	–
VI	–	3,60	2,27	1,04	0,99	–	–	–	–	–	–	–
VII	–	3,83	2,13 2,17	2,54 2,59	–	–	–	–	–	–	–	–
VIII	–	3,66	1,98	1,27 1,47	0,93	1,00	–	–	–	–	–	–
IX	–	4,12	3,35 3,43	2,01	2,05 2,34	–	–	–	–	–	–	–
X	–	3,58	4,25	1,33	–	–	–	–	–	–	–	–
XI β	4,63	3,24	3,46	3,40	3,45	3,71 3,89	–	–	–	–	–	–
XI α	5,22	3,52	3,69	3,41	3,81	3,75 3,80	–	–	–	–	–	–
XII	5,40	3,55	3,75	3,46	3,84	3,81	3,67	–	4,20	4,04	3,88	3,80
XIII β FP	3,55 3,70	–	3,79	3,88	3,98	3,69 4,01	–	–	–	–	–	–
XIII β FF	3,54 3,58	–	4,10	4,10	3,83	3,66 3,79	–	–	–	–	–	–
XIII α FF	3,63 3,66	–	4,09	3,98	4,05	3,68 3,80	–	–	–	–	–	–
^{13}C												
I	174,00	45,85	73,95	45,85	174,00	177,23	–	–	–	–	–	–
II	179,36	67,27	20,22	–	–	–	–	–	–	–	–	–
III	177,14	67,54	39,19	175,13	–	–	–	–	–	–	–	–
IV	176,44	51,14	16,80	–	–	–	–	–	–	–	–	–
V	173,93	51,91	35,12	175,06	–	–	–	–	–	–	–	–
VI	174,84	61,13	29,85	18,77	17,41	–	–	–	–	–	–	–
VII	174,30	54,48	26,17	30,64	177,58	–	–	–	–	–	–	–
VIII	174,63	60,14	36,46	25,03	11,69	15,27	–	–	–	–	–	–
IX	175,12	61,83	46,68	24,41	29,62	–	–	–	–	–	–	–
X	173,48	61,20	66,66	20,26	–	–	–	–	–	–	–	–
XI β	96,59	74,84	76,46	70,31	76,60	61,47	–	–	–	–	–	–
XI α	92,77	72,18	73,48	70,31	72,11	61,33	–	–	–	–	–	–
XII	92,91	71,81	73,13	69,97	73,33	60,89	62,12	104,40	77,18	74,74	82,11	63,10
XIII β FP	64,66	98,81	68,32	70,46	69,96	64,10	–	–	–	–	–	–
XIII β FF	63,45	102,25	76,80	75,22	81,43	63,15	–	–	–	–	–	–
XIII α FF	63,76	105,15	82,74	76,80	82,03	61,86	–	–	–	–	–	–

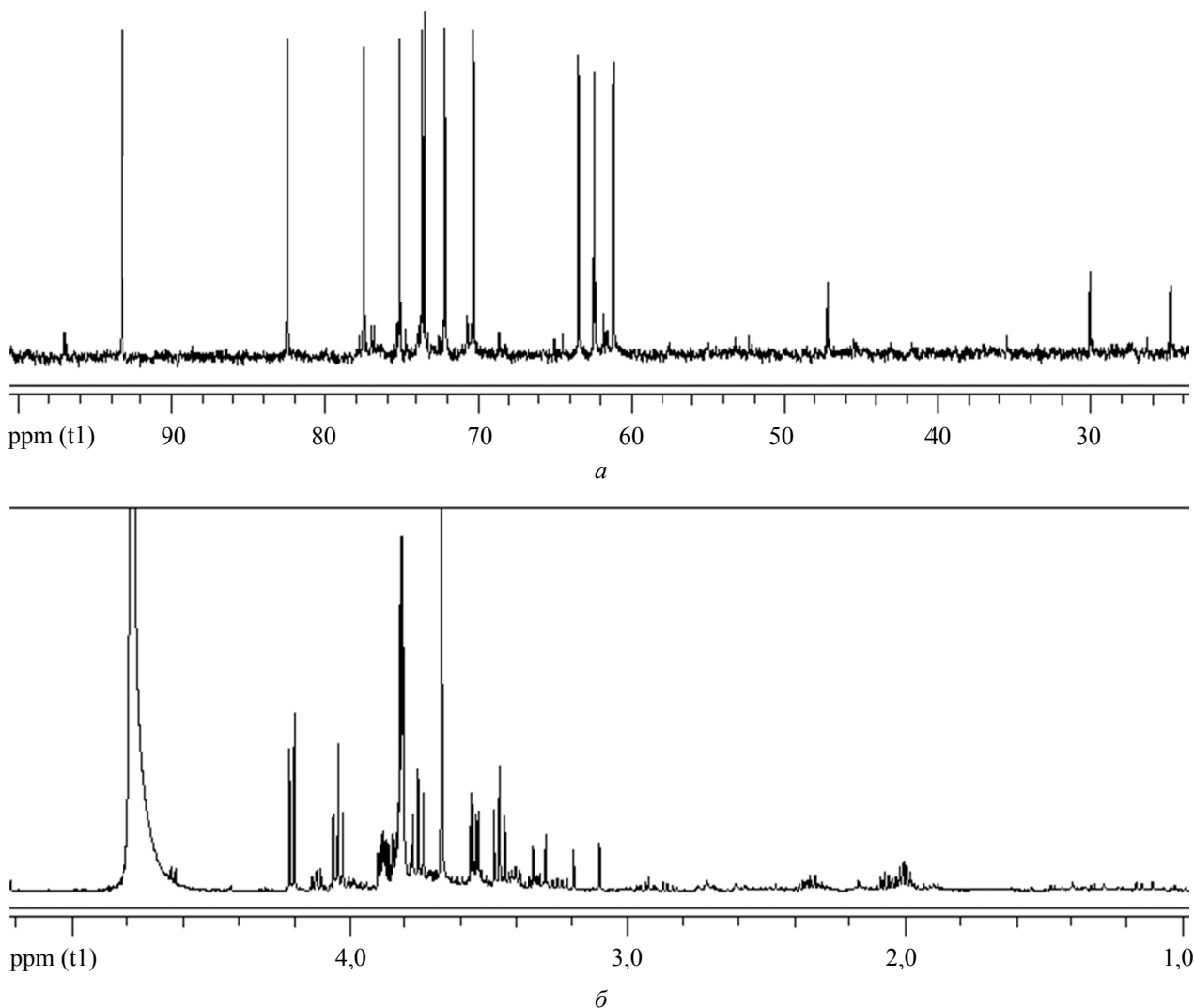
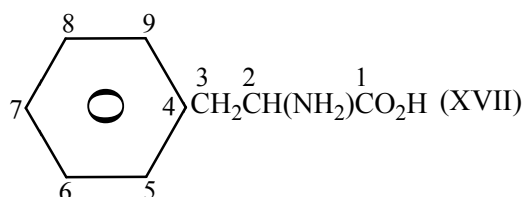
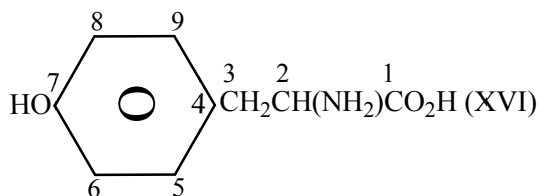


Рис. 2. ЯМР-спектры D₂O-экстракта семян лимона:
а – ¹H; б – ¹³C

В спектрах присутствуют: аланин (IV), аспарагин (V), валин (VI), пролин (IX), треонин (X), глюкоза (XI), сахароза (XII), фруктоза (XIII) и γ-аминомасляная кислота (XIV). Дополнительно обнаружены тирозин (XVI) и фенилаланин (XVII).



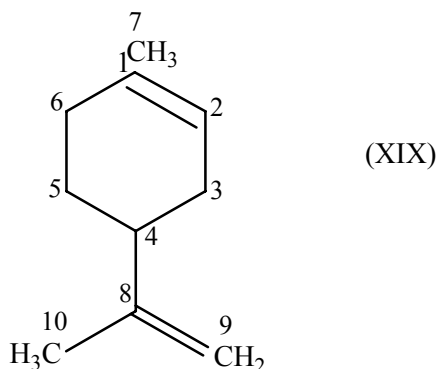
XVI ¹H, δ, м. д.: 3,93 (2); 3,07, 3,18 (3); 7,18 (5,9); 6,88 (6,8). ¹³C, δ, м. д.: 174,77 (1); 56,89 (2); 36,28 (3); 157,63 (4); 131,55 (5, 9); 116,63 (6, 8); 155,68 (7).

XVII ¹H, δ, м. д.: 3,98 (2); 3,12, 3,28 (3); 7,32 (5,9); 7,42 (6, 8) и 7,36 (7). ¹³C, δ, м. д.: 174,50 (1); 56,75 (2); 37,06 (3); 135,78 (4); 130,06 (5, 9); 129,81 (6, 8) и 128,38 (7).

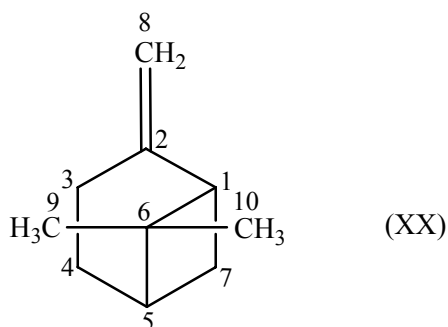
В водном экстракте семян относительное содержание компонентов равно (мол. %): 0,98 (IV); 4,51 (V); 0,50 (VI); 16,71 (IX); 1,11 (X); 6,98 (XI); 42,47 (XII); 7,39 (XIII); 3,84 (XIV); 0,06 (XVI) и 0,45 (XVII).

Количество растворимых соединений, содержащихся в D₂O-экстракте листьев лимона, составляет 15,8% от веса навески. Дополнительно к описанным соединениям была идентифицирована хинная кислота (XVIII), химические сдвиги которой приведены в [11]. Содержание компонентов в экстракте (мол. %): 15,02 (I); 2,14 (IV); 2,95 (V); 0,69 (VI); 15,87 (IX); 10,09 (XI); 17,56 (XIII); 2,14 (XIV) и 8,56 (XVIII).

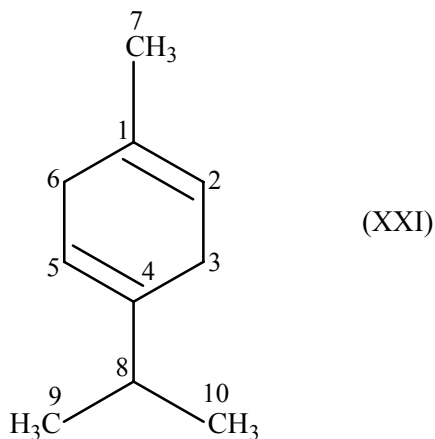
CDCl_3 -экстракт цедры лимона содержал 1,1% растворенных веществ, из которых в заметных количествах присутствуют лимонен (XIX), β -пинен (XX), γ -терпинен (XXI) и ряд парафинов (XXII).



XIX ^1H δ , м. д.: 5,42 (2); 1,91; 2,08 (3); 2,11 (4); 1,81 (5); 1,97 (6); 1,67 (7); 4,73 (9); 1,75 (10). ^{13}C : 134,31 (1); 121,34 (2); 31,50 (3); 41,78 (4); 28,60 (5); 31,28 (6); 24,14 (7); 150,80 (8); 109,06 (9); 21,46 (10).



XX ^1H δ , м. д.: 2,48 (1); 2,27; 2,55 (3); 1,84; 1,87 (4); 2,00 (5); 1,45 (7); 4,59; 4,65 (8); 1,27 (9); 0,75 (10). ^{13}C : 52,46 (1); 152,73 (2); 24,26 (3); 24,28 (4); 41,12 (5); 41,32 (6); 27,65 (7); 106,68 (8); 26,79 (9); 22,52 (10).



XXI ^1H δ , м. д.: 5,47 (2, 5); 2,64 (3, 6); 1,71 (7); 2,24 (8); 1,06 (9) и 1,05 (10). ^{13}C : 131,86 (1);

119,53 (2); 28,20 (3); 141,23 (4); 116,65 (5); 32,28 (6); 23,65 (7); 35,24 (8) и 21,94 (9, 10).

В хлороформном экстракте цедры содержится (мол. %): 56,93 (IXX); 13,81 (XX); 8,96 (XXI) и 10,32 (XXII).

При экстрагировании семян лимона без оболочки CDCl_3 удалось выделить 31,2% веществ. На рис. 3 приведены спектры ЯМР этого экстракта. Экстракт содержит растительное масло, состоящее практически полностью из триацилглицеридов. В их составе представлены следующие кислоты: олеиновая (XXIII), линолевая (XXIV) и α -линоленовая (XXV). Отнесение химических сдвигов этих соединений дано в [12, 13].

Определено относительное содержание жирных кислот в составе триацилглицеридов (мол. %): 41,71 (XXIII); 31,68 (XXIV); 10,70 (XXV) и 15% насыщенных жирных кислот (XXVI), которые трудно идентифицируются методом ЯМР.

Интересную информацию о распределении ненасыщенных жирных кислот в триацилглицеридах можно получить на основании соотношения интегральных интенсивностей дублетов, принадлежащих одним и тем же C-атомам двойных связей. Это отношение равно: 0,44 (XXIII), 0,90 (XXIV) и 0,82 (XXV). Таким образом, XXIII предпочитает занимать крайние положения в триацилглицеридах, а XXIV и XXV – центральное.

Главными компонентами CDCl_3 экстрактов листьев лимона являются нормальные парафиновые углеводороды, которые отчетливо себя проявляют в спектрах ЯМР с общим содержанием 1,9%. Хорошим экстрагентом является и метанол. Так из цедры удалось выделить 15,7% веществ. На рис. 4 показаны спектры ЯМР CD_3OD экстракта цедры лимона. Были идентифицированы: аланин (IV), аспарагин (V), γ -аминомасляная кислота (XIV), а также глюкоза (XI), сахароза (XII) и фруктоза (XIII). Их относительное содержание соответственно равно (мол. %): 0,53 (IV); 11,71 (V); 1,18 (XIV); 33,16 (XI); 13,16 (XII) и 30,26 (XIII).

В семенах лимона содержалось 17,0% веществ, растворившихся в CD_3OD . Из них были идентифицированы аланин (IV), валин (VI), пролин (IX), сахароза (XII) и γ -аминомасляная кислота (XIV) с содержанием (мол. %): 2,36 (IV); 0,79 (VI); 25,35 (IX); 31,50 (XII) и 5,04 (XIV).

Из листьев лимона CD_3OD удалось извлечь 11,0% растворимых веществ, которые по спектрам ЯМР трудно идентифицируются. Однако в этом растворе наблюдаются сигналы хлорофиллов, подробно описанные в [14].

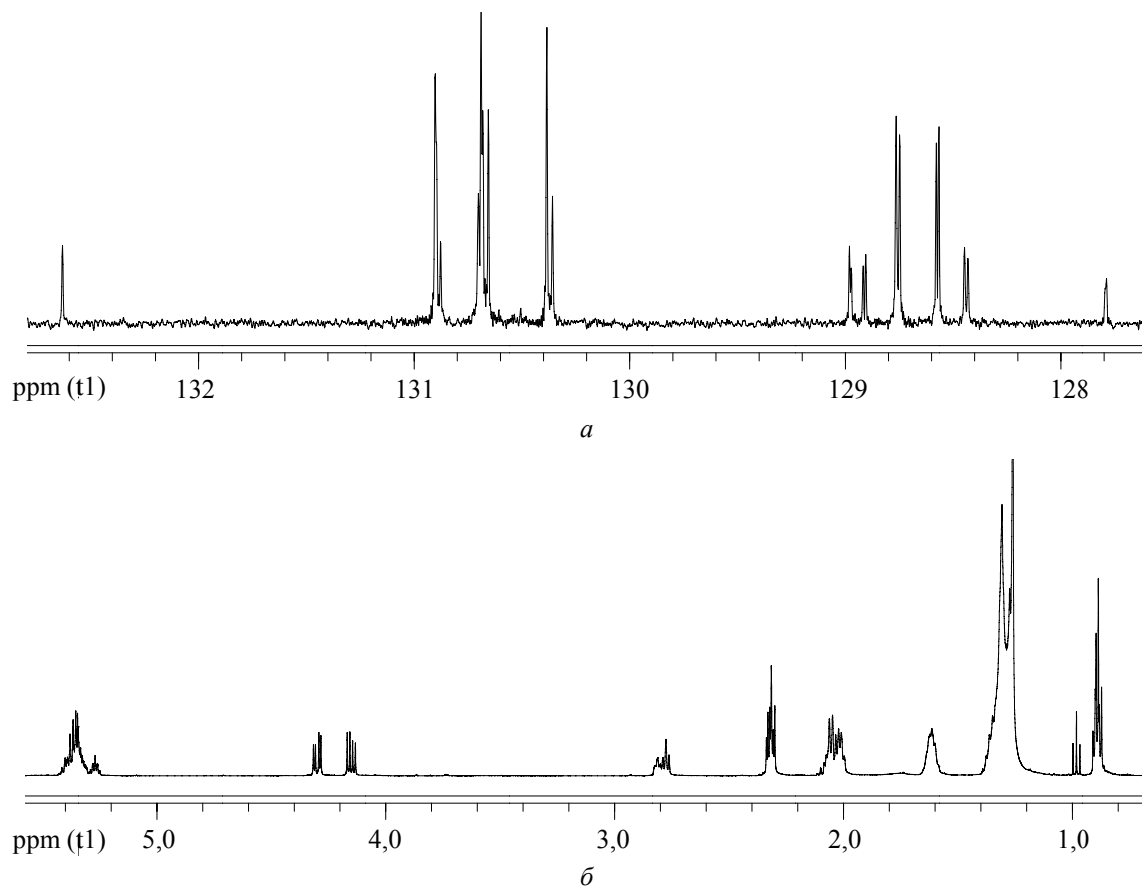


Рис. 3. ЯМР-спектры CDCl_3 -экстракта семян лимона:
 а – ^1H ; б – фрагмент двойных связей ^{13}C

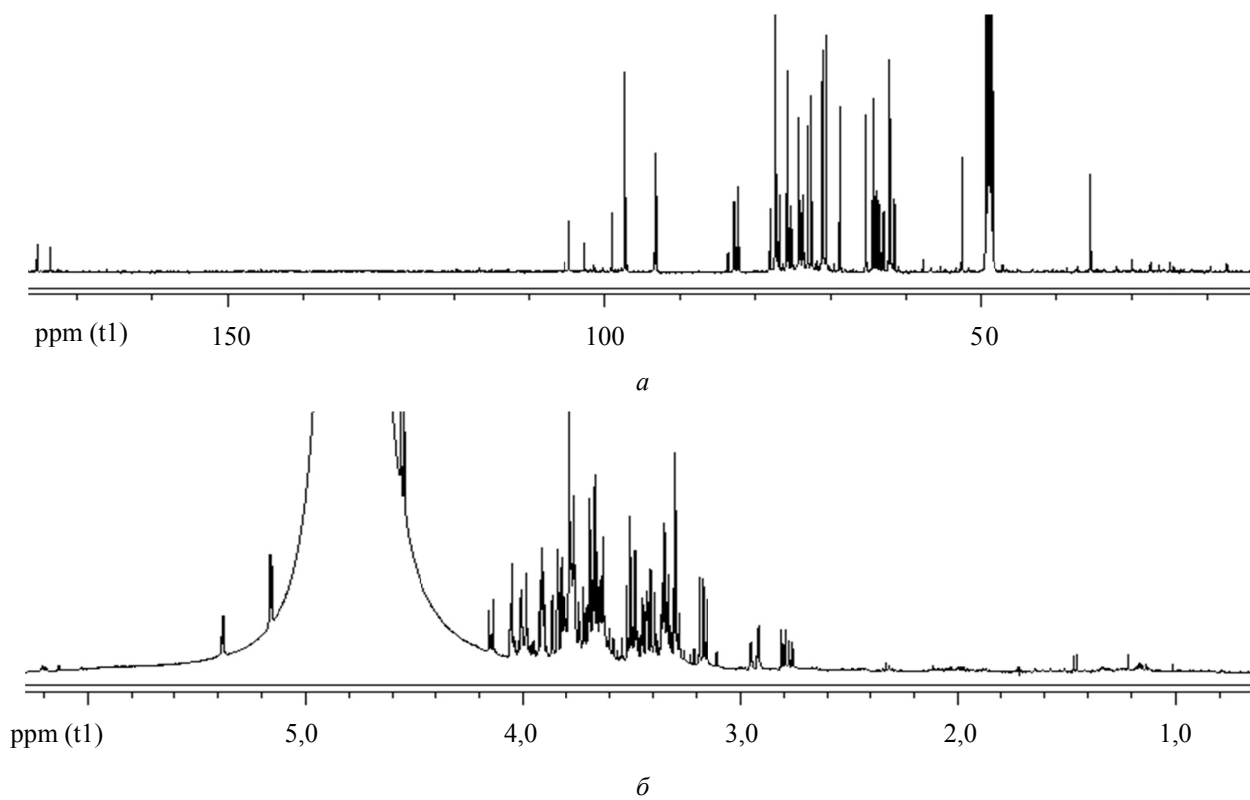


Рис. 4. ЯМР-спектры CD_3OD -экстракта цедры лимона:
 а – ^1H ; б – ^{13}C

Заключение. Методом ^1H и ^{13}C ЯМР изучены составы водных, хлороформенных и метанольных экстрактов цедры, семян и листьев лимона, выращенного на острове Закинф (Греция), а также его сока, приведены химические

сдвиги идентифицированных соединений. Измерено содержание в экстрактах сахаров, органических кислот, аминокислот, терпенов, триацилглицеридов и парафинов. В метанольном экстракте обнаружены хлорофиллы.

Литература

1. ЯМР-спектроскопия в исследовании водных экстрактов травы пажитника греческого (*Trigonella foenum graecum* L.) / Е. Д. Скаковский [и др.] // Журнал прикладной спектроскопии. 2014. Т. 81, № 4. С. 542–546.
2. Cicero N., Corsaro C., Salvo A., Vasi S., Giofre S. V., Ferrantelli V., Di Stefano V., Mallamace D., Dudo G. The metabolic profile of lemon juice by proton HR-MAS NMR: the case of the PGI Interdonato Lemon of Messina // *Natural Product Research*. 2015. Vol. 29. No. 20. P. 1894–1902.
3. Gattuso G., Barreca D., Gargiulli C., Leuzzi U., Caristi C. Flavonoid Composition of Citrus Juices // *Molecules*. 2007. Vol. 12. No. 8. P. 1641–1673.
4. Chau C. F., Huang Y. L. Comparison of the Chemical Composition and Physicochemical Properties of Different Fibers Prepared from the Peel of Citrus Sinensis L. Cv. Liucheng // *J. Agric. Food Chem.* 2003. Vol. 51. No. 9. P. 2615–2618.
5. Chamblee T. S., Clark B. C., Brewster G. B., Radford T., Iacobucci G. A. Quantitative Analysis of Volatile Constituents of Lemon Peel Oil. Effects of Silica Gel Chromatography on the Composition of Its Hydrocarbon and Oxygenated Fractions // *J. Agric. Food Chem.* 1991. Vol. 39. No. 1. P. 162–169.
6. Vekiaris S. A., Protopapadakis E. E., Papadopoulou P., Papanicolaou D., Panou C., Vamvakias M. Composition and Seasonal Variation of the Essential Oil from Leaves and Peel of a Cretan Lemon Variety // *J. Agric. Food Chem.* 2002. Vol. 50. No. 1. P. 147–153.
7. Мишарина Т. А., Теренина М. Б., Крикунова Н. И., Калинин М. А. Влияние состава эфирных масел лимона на их антиоксидантные свойства и стабильность компонентов // *Химия растительного сырья*. 2010. No. 1. С. 87–92.
8. Bocco A., Cuvelier M. E., Richard H., Berset C. Antioxidant Activity and Phenolic Composition of Citrus Peel and Seed Extracts // *J. Agric. Food Chem.* 1998. Vol. 46. No. 6. P. 2123–2129.
9. Curatolo W., Neuriger L. J., Ruben D., Haberkorn R. Twodimensional j-resolved ^1H -nuclear magnetic resonance spectroscopy of α , β -D-glucose at 500 MHz // *Carbohydrate Res.* 1983. Vol. 112. No. 2. P. 297–300.
10. Barclay T., Ginie-Markovic M., Johnston M. R., Cooper P., Petrovsky N. Observation of the Keto tautomer of D-fructose in D_2O using ^1H NMR spectroscopy // *Carbohydrate Res.* 2012. Vol. 347. No. 1. P. 136–141.
11. Flores-Parra A., Gatierez-Avella D. M., Contreras R., Khuong-Huu F. ^{13}C and ^1H NMR investigations of quinic acid derivatives: Complete spectral assignment and elucidation of preferred conformations // *Magn. Res. Chem.* 1989. Vol. 27. No. 6. P. 544–555.
12. Гайдукевич О. А., Скаковский Е. Д., Тychинская Л. Ю., Ломоткин С. А. Исследование методом ЯМР распределения жирных кислот в глицеридах растительных масел // *Труды БГТУ. Сер. IV, Химия и технология орган. в-в*. 2009. Вып. VII. С. 188–191.
13. Волкович А. Н., Ломоткин С. А., Глоба И. И., Скаковский Е. Д., Тychинская Л. Ю., Гайдукевич О. А. Изучение липидов семян яблок и ягод физико-химическими методами // *Труды БГТУ. Сер. IV, Химия и технология орган. в-в*. 2009. Вып. VII. С. 210–214.
14. Smith K. M., Goff D. A., Abraham R. J. The NMR spectra of Porphyrins. 27-Proton NMR spectra of Chlorophylla and Pheophytin-a // *Org. Magn. Reson.* 1984. Vol. 22. No. 12. P. 779–783.

References

1. Skakovskiy Ye. D., Tychinskaya L. Yu., Matveychuk S. V., Karankevich E. G., Agabalaeva E. D., Reshetnikov V. N. NMR spectroscopy in the study of water extracts of fenugreek (*Trigonella foenum graecum* L.). *Zhurnal prikladnoy spektroskopii* [Journal of Applied Spectroscopy], 2014, vol. 81, no. 4, pp. 542–546 (In Russian).
2. Cicero N., Corsaro C., Salvo A., Vasi S., Giofre S. V., Ferrantelli V., Di Stefano V., Mallamace D., Dudo G. The metabolic profile of lemon juice by proton HR-MAS NMR: the case of the PGI Interdonato Lemon of Messina. *Natural Product Research*, 2015, vol. 29, no. 20, pp. 1894–1902.
3. Gattuso G., Barreca D., Gargiulli C., Leuzzi U., Caristi C. Flavonoid Composition of Citrus Juices. *Molecules*, 2007, vol. 12, no. 8, pp. 1641–1673.

4. Chau C. F., Huang Y. L. Comparison of the Chemical Composition and Physicochemical Properties of Different Fibers Prepared from the Peel of Citrus Sinensis L. Cv. Liucheng. *J. Agric. Food Chem.*, 2003, vol. 51, no. 9, pp. 2615–2618.
5. Chamblee T. S., Clark B. C. Jr., Brewster G. B., Radford T., Iacobucci G. A. Quantitative Analysis of Volatile Constituents of Lemon Peel Oil. Effects of Silica Gel Chromatography on the Composition of Its Hydrocarbon and Oxidized Fractions. *J. Agric. Food Chem.*, 1991, vol. 39, no. 1, pp. 162–169.
6. Vekari S. A., Protopapadakis E. E., Papadopoulou P., Papanicolaou D., Panou C., Vamvakias M. Composition and Seasonal Variation of the Essential Oil from Leaves and Peel of a Cretan Lemon Variety. *J. Agric. Food Chem.*, 2002, vol. 50, no. 1, pp. 147–153.
7. Misharina T. A., Terenina M. B., Krikunova N. I., Kalinchenko M. A. Effect of the composition of essential oils of lemon on their antioxidant properties and stability of components. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], 2010, no. 1, pp. 87–92 (In Russian).
8. Bocco A., Cuvelier M. E., Richard H., Berset C. Antioxidant Activity and Phenolic Composition of Citrus Peel and Seed Extracts. *J. Agric. Food Chem.*, 1998, vol. 46, no. 6, pp. 2123–2129.
9. Curatolo W., Neuriger L. J., Ruben D., Haberkorn R. Two-dimensional J-resolved ¹H-nuclear magnetic resonance spectroscopy of α , β -D-glucose at 500 MHz. *Carbohydrate Res.*, 1983, vol. 112, no. 2, pp. 297–300.
10. Barclay T., Ginie-Markovic M., Johnston M. R., Cooper P., Petrovsky N. Observation of the Keto tautomer of D-fructose in D₂O using ¹H NMR spectroscopy. *Carbohydrate Res.*, 2012, vol. 347, no. 1, pp. 136–141.
11. Flores-Parra A., Gatierez-Avella D. M., Contreras R., Khuong-Huu F. ¹³C and ¹H NMR investigations of quinic acid derivatives: Complete spectral assignment and elucidation of preferred conformations. *Magn. Res. Chem.*, 1989, vol. 27, no. 6, pp. 544–555.
12. Gaydukevich O. A., Skakovskii Ye. D., Tychinskaya L. Yu., Lamotkin S. A. NMR analysis of the distribution of fatty acids in vegetable oil glycerides. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series IV, Chemistry, Organic Substances Technology and Biotechnology, 2009, issue VII, pp. 188–191 (In Russian).
13. Volkovich A. N., Lamotkin S. A., Globa I. I., Skakovskii Ye. D., Tychinskaya L. Yu., Gaydukevich O. A. Study of lipids of apples and berries seeds by physico-chemical methods. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series IV, Chemistry and Technology Organic Substances, 2009, issue VII, pp. 210–214 (In Russian).
14. Smith K. M., Goff D. A., Abraham R. J. The NMR spectra of Porphyrins. 27-Proton NMR spectra of Chlorophylla and Pheophytin-a. *Org. Magn. Reson.*, 1984, vol. 22, no. 12, pp. 779–783.

Информация об авторах

Скаковский Евгений Доминикович – кандидат химических наук, доцент. Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси (220072, г. Минск, ул. Сурганова, 13, Республика Беларусь). E-mail: sed@ifoch.bas-net.by

Латышевич Дарья Николаевна – младший научный сотрудник. Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси (220072, г. Минск, ул. Сурганова, 13, Республика Беларусь). E-mail: dashalatyshovich@yandex.ru

Тychинская Людмила Юльевна – ведущий научный сотрудник, кандидат химических наук. Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси (220072, г. Минск, ул. Сурганова, 13, Республика Беларусь). E-mail: sed@ifoch.bas-net.by

Ламоткин Сергей Александрович – кандидат химических наук, доцент кафедры физико-химических методов сертификации продукции. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: jossby@rambler.ru

Information about the authors

Skakovskiy Yevgeniy Dominikovich – PhD (Chemistry), Assistant Professor. Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (13, Sarganova str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sed@ifoch.bas-net.by

Latyshevich Dar'ya Nikolaevna – Junior Researcher. Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (13, Sarganova str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dashalatyshovich@yandex.ru

Tychinskaya Lyudmila Yul'yevna – PhD (Chemistry), Leading Researcher. Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (13, Sarganova str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sed@ifoch.bas-net.by

Lamotkin Sergey Aleksandrovich – PhD (Chemistry), Assistant Professor, the Department of Physical and Chemical Methods for Products Certification. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: jossby@rambler.ru

Поступила 22.09.2017