УДК 378.147:547 DOI: 10.15507/Inted.079.019.201502.092

О ХИМИИ СТАБИЛЬНЫХ СВОБОДНЫХ РАДИКАЛОВ В КУРСЕ ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

Б. С. Танасейчук, А. А Буртасов, М. К. Пряничникова
(*Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, г. Саранск, Россия*)

Важность изучения раздела химии стабильных свободных радикалов в курсе органической химии объясняется значительно возросшим в последнее время интересом к химии свободных радикалов, в том числе и стабильных. Стабильные свободные радикалы находят применение в качестве ингибиторов процесса старения полимеров, используются в качестве строительных блоков при создании магнитоактивных полимеров, в качестве катализаторов в реакциях окисления-восстановления и других реакциях, а также и для моделирования химических процессов, протекающих в живом организме с целью внедрения в химическое производство экологически приемлемых процессов. Исходя из этого, познание закономерностей, связывающих строение и реакционную способность стабильных радикалов, является необходимым и весьма актуальным и в статье рассматривается в качестве предмета данного обсуждения материала по химии стабильных свободных радикалов. В работе дается характеристика стабильных свободных радикалов и предлагается единый подход изучения химии стабильных свободных радикалов в курсе органической химии, позволяющий объяснить и предсказать возможные особенности реакционной способности различных типов радикалов («электронодонор», «электроноакцептор», «амфотерный радикал»), основанный на классификации радикалов по энергетической характеристике уровня верхней однократно занятой орбитали. Обосновывается необходимость рассмотрения реакций свободнорадикального инициирования и ингибирования применительно к конкретным классам органических соединений. Подробно рассматривается реакция стабильных радикалов с минеральными кислотами; предлагается механизм реакции для каждого типа радикала. Также дается объяснение существованию в ряде случаев двух типов димеров радикалов – симметричного (образование связи по центрам с наибольшей спиновой плотностью) и несимметричного (образование связи между центрами с разноименными зарядами, т. е. так называемая донорно-акцепторная димеризация).

Ключевые слова: стабильный свободный радикал; классификация; химические свойства; электронодонор; электроноакцептор; амфотерный стабильный радикал; реакция с кислотами; димеризация; димер; структура димера; «электронодонор»; «электроноакцептор»; «амфотерный радикал».

ON STABLE FREE RADICALS CHEMISTRY IN A COURSE OF ORGANIC CHEMISTRY

B. S. Tanaseychuk, A. A Burtasov, M. K. Pryanichnikova
(*Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia*)

The importance of the study of the chemistry of stable free radicals in organic chemistry is associated with the substantial increase in interest in the chemistry of free radicals, including stable ones. Stable free radicals can be used as inhibitors of the ageing process of polymers as well as building blocks when generating magnetoactive polymers, as catalysts in the reactions of oxidation-reduction and other reactions; for modeling chemical processes occurring in living organisms with a view of introduction into chemical manufacturing environment-friendly processes. Considering the above, the knowledge of the patterns of linking structure and reactivity of stable radicals, is necessary and very timely and is the subject of the discussion material on the chemistry of stable free radical. The work describes the stable free radical and advocates a unified approach to the study the chemistry of stable free radicals in organic chemistry that explains and predicts the possible features of the reactivity of different types of radicals (“electron donor”, “electron acceptor”, “amphoteric radical”), based on the classification of the energy-level profile radicals top once occupied orbitals. The paper substanciates the necessity to consider the initiation and inhibition of free radical reactions in relation to specific classes of organic compounds. It provides a detailed account of the reaction of stable radicals with mineral acids and explains the mechanism of the reaction for each type of radical. It provides an explanation to the existence, in some cases, of two types of dimers of radicals − symmetric (formation of bonding along the centres with the highest spin density) and asymmetric (formation of bonding between centres with opposite charge, that is the so-called dipolar donor-dimerization).

Keywords: free stable radical; classification; chemical properties; donor of electron; acceptor of electron; ampoteric radical sabilny; rection with acids; dimerization; dimer; dimmer structure; “electron donor”; “electron acceptor”; “amphoteric radical”.

© Танасейчук Б. С., Буртасов А. А., Пряничникова М. К., 2015

Основные положения классификации стабильных свободных радикалов

Несмотря на то, что подавляющее большинство химических реакций, протекающих как в природе, так и в живых организмах, происходит с участием свободных радикалов, в учебниках органической химии этим реакциям уделяется, на наш взгляд, недостаточное внимание. Подробно рассматриваются лишь реакции свободнорадикального галогенирования алканов и присоединения бромистого водорода к алкенам (эффект Хараша). Еще меньше времени уделяется химии стабильных* свободных радикалов. Как правило, приводятся сведения только о трифенилметильном радикале [1; 4; 16]. Более детально химия свободных радикалов рассмотрена только в учебниках О. А. Реутова «Органическая химия» и Ф. Кери «Углубленный курс органической химии» [3; 10], и лишь только в одном из них [10] рассмотрены достаточно подробно химические свойства нескольких наиболее известных типов стабильных свободных радикалов. Однако подробное рассмотрение химических свойств радикалов и в этом случае не объединено единой концепцией, позволяющей объяснить связь наблюдаемых химических свойств радикалов с их структурой.

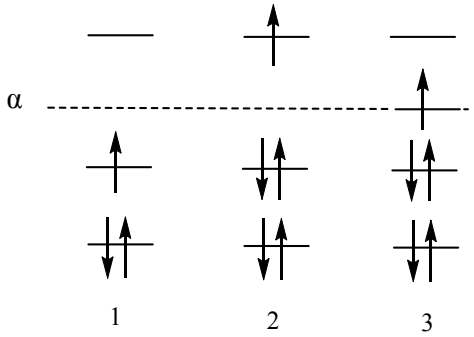
Изучение химии стабильных свободных радикалов представляется весьма важным и в связи с тем, что стабильные радикалы позволяют изучать и моделировать химические процессы, протекающие в живом организме. Это в свою очередь позволяет внедрить в химическое производство экологически приемлемые процессы.

С точки зрения авторов статьи, представляется значимым и необходимым более глубокое изучение химии свободных радикалов и в особенности стабильных, а именно, рассмотрение взаимосвязи химических свойств радикалов с их структурой, что и является предметом данного обобщения материала по химии стабильных свободных радикалов.

В принципе радикал можно рассматривать как промежуточное состояние между катионом и анионом **1**, и, естественно, в зависимости от структуры радикала он может либо принимать, либо отдавать электрон, переходя в состояние иона.

$$R^{\oplus} \underset{-e^-}{\overset{+e^-}{\rightleftharpoons}} R^{\bullet} \underset{-e^-}{\overset{+e^-}{\rightleftharpoons}} R^{\ominus} \quad (1).$$

Так как наиболее устойчивыми системами являются системы с полностью заполненными молекулярными орбиталями, то в связи с этим можно классифицировать свободно-радикальные системы по энергетической характеристике уровня занимаемого неспаренным электроном (в рамках π-электронного приближения Хюккеля метода МОЛКАО) [14]. В этом случае возможны три варианта (рис. 1):



Р и с. 1. Классификация свободных радикалов по энергетической характеристике уровня занимаемого неспаренным электроном : 1) электронодифецитные радикалы ($\varepsilon^{\text{взмо}} < \alpha$); 2) электроноизбыточные радикалы ($\varepsilon^{\text{взмо}} > \alpha$); 3) электроноамфотерные радикалы ($\varepsilon^{\text{взмо}} \sim \alpha$)

F i g. 1. Classification of free radicals in terms of energetic characteristics of the level occupied by unpaired electron: 1) electron-deficient radicals ($\varepsilon^{\text{взмо}} < \alpha$); 2) electron-excess radicals ($\varepsilon^{\text{взмо}} > \alpha$); 3) electronamphoterous radicals ($\varepsilon^{\text{взмо}} \sim \alpha$).

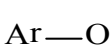
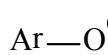
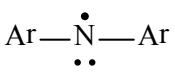
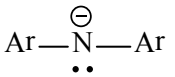
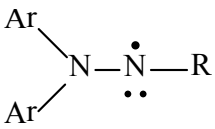
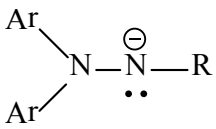
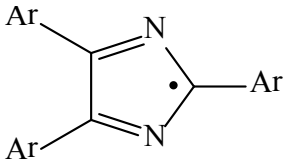
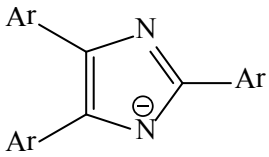
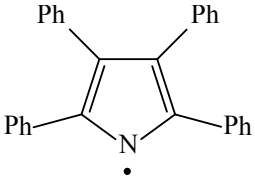
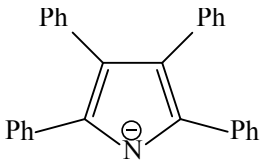
* К долгоживущим (стабильным) радикалам относятся частицы, время жизни которых в растворе в инертном растворителе варьируется от нескольких минут до многих недель, месяцев или даже лет [10].

Наиболее устойчивыми являются системы с полностью заполненными связывающими молекулярными орбиталями. В этой связи становится понятным, что радикалы первых двух групп будут стремиться к переходу в более энергетически выгодные ионные состояния, получаемые либо путем переноса электрона к радикалу («электронодефицитные радикалы», окислители), либо путем отдачи электрона («электроноакцепторные радикалы, восстановители). Радикалы третьей группы способны образовывать как анионы, так и катионы, т. е. проявлять в зависимости от реагента как окислительные, так и восстановительные свойства (например, трифенилметильный радикал). Из них только трифенилметильный радикал имеет неспаренный электрон на несвязывающей орбитали. Введение электронодонорных заместителей в любое из ароматических колец трифенилметильного радикала сдвигает $\varepsilon^{\text{взмо}}$ на разрыхляющую орбиталь, а электроноакцепторных заместителей – на связывающую орбиталь. В этом случае более приемлемым отнесением радикалов к этому классу является возможность существования двух относительно стабильных ионов (аниона и катиона), полученных при восстановлении или окислении данного радикала* (табл. 1).

Позднее аналогичное деление стабильных свободных радикалов на электронодонорные, электроноакцепторные и электроноамфотерные (амбидентные) было предложено и другими авторами [21].

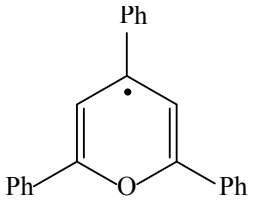
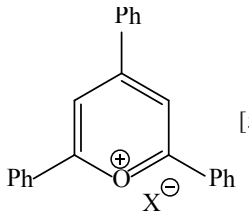
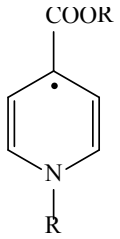
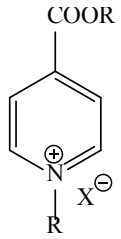
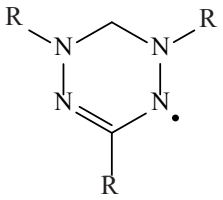
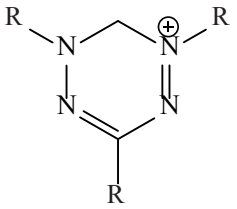
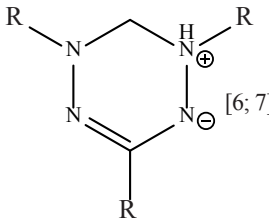
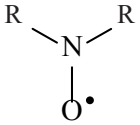
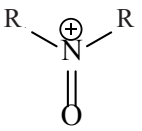
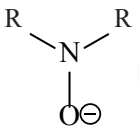
Таблица 1. **Классификация свободных радикалов**

Table 1. **Classification of stable free radicals**

Класс радикала	Формула	
	радикала	наиболее стабильного иона
1	2	3
Электронодефицитные		 [9]
		 [19]
		 [18]
		 [20]
		 [12]

*Об окислительно-восстановительных свойствах стабильных радикалов см. [8]

Окончание табл. 1
End of table 1

Класс радикала	Формула	
	радикала	наиболее стабильного иона
1	2	3
Электроноизбыточные		 [5; 15]
		 [22]
Электроноамфотерные	$Ar_3C^{\bullet}$	$Ar_3C^{\oplus}$ $Ar_3C^{\ominus}$ [17]
		  [6; 7]
		  [11]

При рассмотрении химии алканов, алкенов и свободнорадикальных реакций уместно более подробно ознакомиться и с понятием инициаторов радикальных процессов (перекиси алкилов, перекиси ацилов, гидроперикиси и т. д.), образующих при распаде активные короткоживущие радикалы.

Вопрос об ингибиторах свободнорадикальных реакций наиболее целесообразно

рассматривать после изучения химии фенолов, так как наиболее известным ингибитором радикальных процессов (стабилизатором каучуков, полимеров и т. п.) является 2,6-ди*трет*.бутил-4-метилфенол – «ионол»). К тому же при окислении фенолов образуются достаточно хорошо изученные феноксильные радикалы. Стабильные радикалы, образующиеся при окислении ингибиторов (фенолов и аминов), ингибируют свободнорадикальные процессы, вступая в реакции с короткоживущими радикалами, и тем самым, предотвращая дальнейшую цепную реакцию.

Применимость предложенной классификации радикалов к объяснению ранее непонятых реакций можно проиллюстрировать на примере реакций радикалов с минеральными кислотами.

Реакции стабильных радикалов с минеральными кислотами

Одной из реакций, не имеющей достаточно ясного объяснения, является реакция стабильных радикалов с минеральными кислотами, протекающая по уравнению:

$$2\,R^{\bullet} + HX \longrightarrow RH + RX.$$

Эта реакция описывается в ряде случаев уравнением первого порядка по радикалу, в других же случаях – уравнением второго порядка по радикалу. Исходя из предложенной классификации радикалов, данную реакцию можно объяснить достаточно просто.

Так, первой стадией реакции радикала (независимо от класса радикала) является образование катион-радикала (реакция 2)

$$R^{\bullet} + H^{\oplus} \overset{M}{\rightleftharpoons} RH^{\bullet +} \quad (2).$$

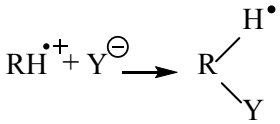
Дальнейшие превращения катион-радикалов будут определяться характеристиками (классом) радикала. При протонировании радикала (реакция 2) донорно-акцепторные характеристики радикалов будут изменяться – электронодонорные свойства уменьшаться, а электроноакцепторные – увеличиваться. Поэтому на следующей стадии (стадии переноса электрона) радикалы, относящиеся к типу электроноизбыточных или электроноамфотерных будут реагировать по схеме (реакции 3, 4) [6]:

$$RH^{\bullet +} + R^{\bullet} \xrightarrow{M} RH + R^{\oplus} \quad (3),$$

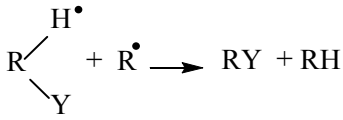
$$R^{\oplus} + X^{\ominus} \xrightarrow{Б} RX \quad (4).$$

Эта реакция подробно изучена в случае реакции нитроксильных радикалов с кислотами. Скорость данной реакции описывается уравнением второго порядка по радикалу [2; 11].

Для радикалов, относящихся к группе электронодефицитных, протонирование только усиливает его электроноакцепторные свойства, а стадией, определяющей скорость реакции, будет являться взаимодействие образовавшегося катион-радикала с нуклеофилом (анионом кислоты) (реакции 2, 5, 6):



(5),



(6).

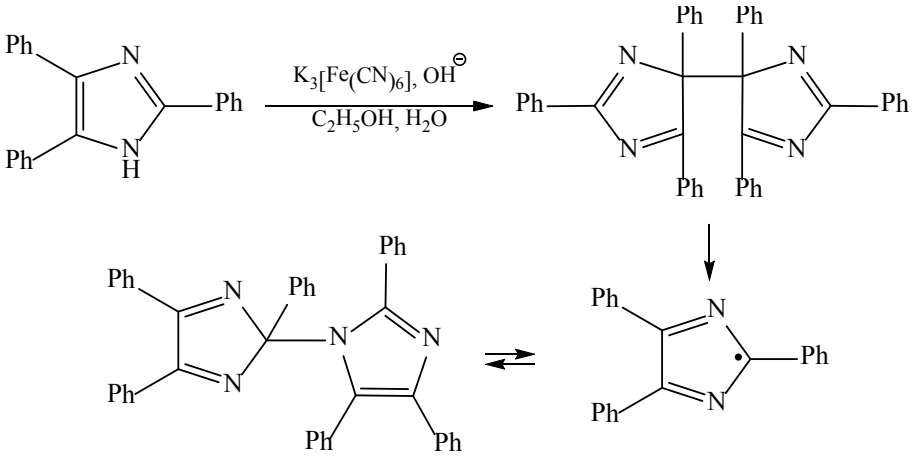
Скорость реакции (6) будет описываться уравнением первого порядка по радикалу, что соотетствует литературным данным для реакции электронодефицитного N,N-дифенилпикрилгидразила с кислотами [23].

Димеризация радикалов [13]

Ряд стабильных свободных радикалов существует в равновесии со своими димерами (реакция 7):

$$2\,R^{\bullet} \rightleftharpoons R{-}R \quad (7).$$

Однако если короткоживущие радикалы димеризуются всегда по атомам, имеющим наибольшую спиновую плотность (плотность неспаренного электрона), образуя симметричный димер, то в случае стабильных радикалов возможно образование в ряде случаев димеров как симметричного, так и несимметричного строения. Так, для стабильного 2,4,6-трифенилимидазолильного радикала наблюдалось образование двух димеров:



Это связано с тем, что у стабильных радикалов, имеющих достаточно обширную цепь сопряжения, наряду с центрами, имеющими наибольшую плотность неспаренного электрона, имеет место и частичное разделение заряда, т. е. существуют центры с наибольшей и наименьшей электронной плотностью (донорные и акцепторные центры).

В случае, если димеризация радикала идет по атомам с наибольшей спиновой плотностью, образуется симметричный димер, а если идет димеризация донорно-акцепторного типа, образуется несимметричный димер.

Если синтез радикала осуществляется окислением или восстановлением иона в высокополярных средах (кислотной или щелочной, спиртовой или водно-спиртовой), то радикал, не сольватирующийся в этих условиях, димеризуется по центрам с наибольшей спиновой плотностью, образуя симметричный димер. Когда среда (растворитель) способна сольватировать радикал, то он димеризуется по центрам с наибольшими разноименными зарядами, т. е. димеризация осуществляется по донорно-акцепторному типу, образуя термодинамически более выгодный несимметричный димир.

Таким образом, рассматриваемая в данной работе классификация стабильных свободных радикалов, основанная на их стремлении к переходу в более выгодное стабильное состояние иона, позволяет объяснить механизмы большинства реакций органических соединений, протекающих с участием свободных радикалов, в том числе и реакций, протекающих в живом организме. Это дает возможность целенаправленно синтезировать органические соединения со специально заданными свойствами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гауптман, З.* Органическая химия / З. Гауптман, Ю. Грефе, Х. Ремане. – Москва : Химия, 1994. – С. 273–274.

2. *Голубев, В. А.* Механизм кислотного диспропорционирования дитреталкилнитроксильных радикалов / В. А. Голубев, В. Д. Сень, А. А. Александров // Известия АН СССР. Сер. «Химия». – 1975. – С. 2235–2243.

3. *Кери, Ф.* Углубленный курс органической химии / Ф. Керри, Р. Сандберг. – Москва : Химия, 1981. – Т. 1. – С. 4473–4498.

4. *Моррисон, Р.* Органическая химия / Р. Моррисон, Р. Бойд. – Москва : Мир, 1974. – С. 381–384.

5. *Палчков, В. А.* Синтез стабильного радикала из 2,4,6-трифенилпирилиевых солей / В. А. Палчков, Ю. В. Жданов, Г. Н. Дорофеенко // Журнал органической химии. – 1975. – Т. 1. – С. 1171.

6. *Полумбрик, О. М.* Реакции замещенных трифенилвердазилов с монохлоруксусной кислотой / О. М. Полумбрик [и др.] // Журнал органической химии. – 1972. – Т. 8. – С. 1925–1929.

7. *Полумбрик, О. М.* Химия вердазильных радикалов / О. М. Полумбрик. – Киев : Наукова думка, 1984. – 250 с.

8. *Походенко, В. Д.* Окислительно-восстановительные реакции свободных радикалов / В. Д. Походенко, А. А. Белодед, В. Г. Кошечко. – Киев : Наукова думка, 1977. – 274 с.

9. *Походенко, В. Д.* Феноксильные радикалы / В. Д. Походенко. – Киев : Наукова думка, 1969. – 194 с.

10. *Реутов, О. А.* Органическая химия : в 4 т. / О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин. – Москва : Бином, 2004. – Т. 2. – 496 с.

11. *Розанцев, Э. Г.* Свободные иминоксильные радикалы. – Москва : Химия, 1970. – 216 с.

12. *Танасейчук, Б. С.* Исследования в области азотсодержащих гетероциклических свободных радикалов. XVI. Синтез 2-арил-3,4—дифенил-5-бифенилилпирролов и исследование свободных радикалов на их основе / Б. С. Танасейчук, С. Л. Власова, Е. Н. Морозов // Химия гетероциклических соединений. – 1972. – Т. 12. – С. 1681–1683.

13. *Танасейчук, Б. С.* К вопросу об общих закономерностях образования димеров свободных радикалов / Б. С. Танасейчук // Журнал органической химии. – 2004. – Т. 40, № 4. – С. 629–632.

14. *Танасейчук, Б. С.* О влиянии заместителей на относительную стабильность свободных радикалов / Б. С. Танасейчук, О. Б. Томилин, К. П. Бутин // Журнал органической химии. – 1982. – Т. 18, № 2. – С. 241–246.

15. *Танасейчук, Б. С.* Свободные радикалы. XXVIII. Реакция 2,4,6-трифенилпиранила с (диацетокси-λ3-иоданил) бензолом / Б. С. Танасейчук [и др.] // Журнал органической химии. – 2011. – Т. 47, № 3. – С. 447–450.

16. *Шабаров, Ю. С.* Органическая химия / Ю. С. Шабаров. – Москва : Химия, 1979. – Т 2. − С. 700–702.

17. *Шолле, В. Д.* Успехи химии стабильных углеводородных радикалов / В. Д. Шолле, Э. Г. Розанцев // Успехи химии. – 1973. – Т. 42. – С. 2176–2193.

18. *Balaban, A. T.* Stability and Equilibrina of Free Radicals. III. Preparation of stable stercally snielded, diarylnitrogen in the same molecules / A. T. Balaban, P. T. Frangopol, N. Negoita // Tetrahedron. – 1967. – Vol. 23. – P. 4661–4676.

19. *Danen, W. C.* Aminyl Free Padicals / W. C. Danen, F. A. Neugebauer // Angew. Chem. Inter. Ed. – 1975. – Vol. 14, № 12. – P. 783–789.

20. *Dessauer, R.* Photochemistry, History and Cjmmercial Applications of Hexaarylbiimidazoles. All about HABIS Elsevier, 2006. – 236 p.

21. *Fabian, J.* MO-KCAO-Calculation on Polymethines. XXI. Electro-dabive, Electro-captive and Electrono-amdident Polymethine Radicals / J. Fabian, H. Hartmann // J. Pract. Chem. – 1984. – Vol. 326, № 3. – P. 443–456.

22. *Mohammed M.* The reaction between 1-ethyl-4-carbonetheoxy-ryridinyl radical and 4-nitrobenzyl halides / M. Mohammed, E. M. Kosower // Journal American Chemical Society. – 1971. – Vol. 93. – P. 2713–2719.

23. *Proll, P. J.* Kinetics of the decomposition of DFPH in some non-aqueous solvents / P. J. Proll, R. H. Sutclifte // Trans. Faradoy Soc. – 1963. – Vol. 59. – P. 2090–2098.

Поступила 19.03.15.

Об авторах:

Танасейчук Борис Сергеевич, профессор кафедры органической химии ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева» (Россия, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68), доктор химических наук, orgchem@mrsu.ru

Буртасов Алексей Анатольевич, доцент кафедры органической химии химии ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева» (Россия, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68), кандидат химических наук, burtasovaa@mail.ru

Пряничникова Маргарита Константиновна, ведущий инженер кафедры органической химии ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева» (Россия, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68), orgchem2014@yandex.ru

Для цитирования: Танасейчук, Б. С. О химии стабильных свободных радикалов в курсе органической химии / Б. С. Танасейчук, А. А Буртасов, М. К. Пряничникова // Интеграция образования. − 2015. − Т. 19, № 2. − С. 92−99. DOI: 10.15507/Inted.079.019.201502.092

REFERENCES

1. Hauptmann Z., Graefe Yu., Remane H. Oganicheskaya khimiya [Organic chemistry]. Moscow, Khimiya Publ., 1994, pp. 273–274.

2. Golubev V. A. Mekhanizm kislotnogo disproportsionirovaniya ditretalkilnitroksil'nykh radikalov [The mechanism of acid disproportionation di tretalkilnitroksilnyh radicals]. *Izvestiya AN SSSR. Ser. khim.* = Newsletter of the Academy of Sciences of the USSR. Ser. chem.. 1975, pp. 2235–2243.

3. Keri F., Sandberg R. Uglublennyy kurs organicheskoy khimii [Advanced course of organic chemistry]. Moscow, Khimiya Publ., 1981, p. 4473–498.

4. Morrison R., Boyd R. Oganicheskaya khimiya [Organic chemistry]. Moscow, Mir Publ., 1974, pp. 381–384.

5. Palchkov V. A., Zhdanov Yu. V., Dorofeenko G. N. Sintez stabil'nogo radikala iz 2,4,6-trifenilpirilievykh soley [Synthesis of stable radical 2,4,6-trifenilpirilievyh salts]. *Zhurnal organicheskoy khimii* = Journal of Organic Chemistry. 1975, vol. 1, pp. 1171.

6. Polumbrik O. M., Dvorko G. F., Ponomareva E. A., Zaika E. I. Reaktsii zameshchennykh trifenilverdazilov s monokhloruksusnoy kislotoy [Substitution reaction of trifenilverdazils with monochloroacetic acid]. *Zhurnal organicheskoy khimii* = Journal of Organic Chemistry. 1972, vol. 8, pp. 1925–1929.

7. Polumbrik O. M. Khimiya verdazil'nykh radikalov [Chemistry of verdazil radicals]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1984, 250 p.

8. Pokhodenko V. D., Beloded A. A., Koshechko V. G. Okislitel'no-vosstanovitel'nye reaktsii svobodnykh radikalov [Redox reactions of free radicals]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1977, 274 p.

9. Pokhodenko V. D. Fenoksil'nye radikaly [Phenoxyl radicals]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1969, 194 p.

10. Reutov O. A., Kurtz A. L., Butin K. P. Oganicheskaya khimiya [Organic chemistry]. Moscow, Binom Publ., 2004, p. 496.

11. Rozantsev E. G. Svobodnye iminoksil'nye radikaly [Free iminoxyl radikals]. Moscow, Chemistry Publ., 1970, 216 p.

12. Tanaseychuk B. S., Vlasova S. L. Morozov E. N. Issledovaniya v oblasti azotsoderzhashchikh geterotsiklicheskikh svobodnykh radikalov. XVI. Sintez 2-aril-3,4—difenil-5-bifenililpirrolov i issledovanie svobodnykh radikalov na ikh osnove [Research in the field of heterocyclic nitrogen free radicals. XVI. Synthesis of 2-aryl-4,4-diphenyl-5-bifenililpirrolov free radicals and research based on these]. *Khimiya geterotsiklicheskikh soedineniy* = Chemistry of Heterocyclic Compounds. 1972, vol. 12, pp. 1681–1683.

13. Tanaseychuk B. S. K voprosu ob obshchikh zakonomernostyakh obrazovaniya dimerov svobodnykh radikalov [On the general laws of dimer formation of free radicals]. *Zhurnal organicheskoy khimii* = Journal of Organic Chemistry. 2004, vol. 40, no. 4, pp. 629–632.

14. Tanaseychuk B. S., Tomilin O. B., Butin K. P. O vliyanii zamestiteley na otnositel'nuyu stabil'nost' svobodnykh radikalov [On the influence of substituents on the relative stability of free radicals]. *Zhurnal organicheskoy khimii* = Journal of Organic Chemistry. 1982, vol. 18, no. 2, pp. 241–246.

15. Tanaseychuk B. S., Pryanichnikova M. K., Burtasov A. A., Lisina A. I., Dolganov A. V. Svobodnye radikaly. XXVIII. Reaktsiya 2,4,6-trifenilpiranila s (diatsetoksi-λ3-iodanil)benzolom [Free radicals. XXVIII. The reaction of 2,4,6-trifenilpiranila with (diacetoxy-λ3-iodanil) benzene]. *Zhurnal organicheskoy khimii* = Journal of Organic Chemistry. 2011, vol. 47, no. 3, pp. 447–450.

16. Shabarov Yu. S. Oganicheskaya khimiya [Organic chemistry]. Moscow, Chemistry, 1979, pp. 700–702.

17. Sholle V. D. Uspekhi khimii stabil'nykh uglevodorodnykh radikalov [Advances of chemistry of stable hydrocarbon radicals]. *Uspekhi khimii* = Russian Chemical Reviews. 1973, vol. 42, pp. 2176–2193.

18. Balaban A. T., Frangopol P. T., Negoita N. Stability and Equilibrina of Free Radicals. III. Preparation of stable stercally snielded, diarylnitrogen in the same molecules. Tetrahedron, 1967, vol. 23, pp. 4661–4676.

19. Danen W. C., Neugebauer F. A. Aminyl Free Padicals. Angew. Chem. Inter. Ed., 1975, vol. 14, no. 12, pp. 783–789.

20. Dessauer R. Photochemistry, History and Cjmmercial Applications of Hexaarylbiimidazoles. All about HABIS Elsevier. 2006, 236 p.

21. Fabian J., Hartmann H. MO-KCAO-Calculation on Polymethines. XXI. Electro-dabive, Electro-captive and Electrono-amdident Polymethine Radicals. J. Pract. Chem. 1984, vol. 326, no. 3, pp. 443–456.

22. Mohammed M., Kosower E. M. The reaction between 1-ethyl-4-carbonetheoxy-ryridinyl radical and 4-nitrobenzyl halides. Journal of American Chemical Society. 1971, vol. 93, pp. 2713–2719.

23. Proll P. J. Kinetics of the decomposition of DFPH in some non-aqueous solvents. Faradoy Soc. 1963, vol. 59, pp. 2090–2098.

Submitted 19.03.15.

About the authors:

Tanaseychuk Boris Sergeevich, professor, Chair of Organic Chemistry, Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya Str., Saransk, Russia), Dr. Sci. (Chemistry), orgchem@mrsu.ru

Burtasov Alexey Anatolievich, reseach assistant professor, Chair of Organic Chemistry, Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya Str., Saransk, Russia), Ph.D. (Chemistry), burtasovaa@mail.ru

Pryanichnikova Margarita Konstantinovna, senior engineer, Chair of Organic Chemistry, Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya Str., Saransk, Russia), orgchem2014@yandex.ru

For citation: Tanaseychuk B. S., Burtasov A. A., Pryanichnikova M. K. O himii stabil'nyh svobodnyh radikalov v kurse organicheskoj himii [On stable free radicals chemistry in a course of organic chemistry]. *Integracija obrazovanija* = Integration of Education. 2015, vol. 19, no. 2, pp. 92−99. DOI: 10.15507/Inted.079.019.201502.092