

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ АКТЫ ФОТОРЕАКЦИЙ 2,6-ДИФЕНИЛ-1,4-БЕНЗОХИНОНА В РАЗЛИЧНЫХ РАСТВОРИТЕЛЯХ

Д.Н. Гурулев, Л.В. Палаткина, Н.А. Кузнецова, В.И. Порхун

Дмитрий Николаевич Гурулев, Любовь Владимировна Палаткина *

Кафедра технологии материалов, Волгоградский государственный технический университет, просп. им. В.И. Ленина, 28, Волгоград, Российская Федерация, 400005

E-mail: rct2005@yandex.ru, lv.palatkina@yandex.ru *

Владимир Иванович Порхун, Наталья Анатольевна Кузнецова

Кафедра физики ИАиС ВолгГТУ, Волгоградский государственный технический университет, просп. им. В.И. Ленина, 28, Волгоград, Российская Федерация, 400005

С целью выяснения влияния полярности растворителей на реакционную способность и ход течения реакций семихинонных радикалов, их комплексов, проведено настоящее исследование 2,6-дифенил-1,4-бензохинона (класс замещенных бензохинонов) и его димера Д. Установлено, что в спектре ПМР раствора димера при увеличении температуры линии уширяются, и наблюдается одна широкая линия, близкая по химическому сдвигу к протонам мета-групп хинона. Спектр ПМР раствора Д в дейтерохлороформе при отрицательных температурах содержит линии, соответствующие ароматической части протонов в мета-положении соответственно (7,05 м.д, 6,89 м.д.). Т.е. процесс обмена между неэквивалентными частями диамагнитной молекулы димера предшествующей диссоциации проходит с константой скорости k_1 , совпадающей по порядку величины обратной времени спин-спиновой релаксации. Величина k_1 с ростом полярности растворителя возрастает более чем на порядок. Этот эффект обусловлен более сильной сольватацией растворителя активированного комплекса в переходном состоянии по сравнению с молекулой Д. Реакция димеризации семихинонных радикалов является диффузионно контролируемой, так как величины ΔH_i^\ddagger во всех растворителях отличаются от энергии активации вязкости не более чем на 1 ккал/М, и величины константы скорости в 5 - 8 раз отличаются от диффузионной константы скорости, рассчитанной по Дебаю. Сольватация радикалов приводит к уменьшению коэффициентов диффузии радикалов и, возможно, к экранированию реакционного центра, что вызывает уменьшение k_1 . С уменьшением константы в указанном ряду растворителей возрастает стабильность радикала, что проявляется в симбатном увеличении константы равновесия К. Объяснена причина увеличения прямой константы k_1 в растворителях с высокой диэлектрической проницаемостью.

Ключевые слова: замещенные парабензохиноны, фотореакции хинонов, флеш-фотолиз

ELEMENTARY ACTS OF PHOTOREACTIONS OF 2,6-DIPHENYL-1,4-BENZOQUINONE IN VARIOUS SOLVENTS

D.N. Gurulev, L.V. Palatkina, N.A. Kuznetsova, V.I. Porkhun

Dmitriy N. Gurulev, Lyubov V. Palatkina *

Department of Technology of Materials, Volgograd State Technical University, Lenin ave., 28, Volgograd, 400005, Russia

E-mail: rct2005@yandex.ru, lv.palatkina@yandex.ru *

Vladimir I. Porkhun, Natalia A. Kuznetsova

Department of Physics, IAiS VolgGTU, Volgograd State Technical University, Lenin ave., 28, Volgograd, 400005, Russia

In order to determine the effect of the polarity of solvents on the reactivity and the course of the reactions of semiquinone radicals, their complexes, this study of 2,6-diphenyl-1,4-benzoquinone, (class of substituted benzoquinones) and its dimer D was carried out. It was found that in the NMR spectrum of the dimer solution, with increasing temperature, the lines widen, and there is one wide line close to the chemical shift to the protons of the meta-groups of quinone. The NMR spectrum of a solution D in deuteriochloroform at low temperatures contains lines corresponding to the aromatic part of the protons in the meta position, respectively (7.05 M.d, 6.89 M.d.). That is, the exchange process between the non-equivalent parts of the diamagnetic dimer molecule of the preceding dissociation takes place with the constant of the velocity k_{-1} , coinciding in order of the inverse spin-spin relaxation time. The value of k_{-1} increases by more than an order of magnitude with the increasing polarity of the solvent. This effect is due to the stronger solvent solvation of the activated complex in the transition state compared to the molecule. The reaction of dimerization of semiquinone radicals is diffusion-controlled, since the values of ΔH_1^\ddagger in all solvents differ from the activation energy of viscosity by no more than 1 kcal/M and the values of the velocity constant in 5-8 times differ from the diffusion rate constant calculated by Debye. The solvation of radicals leads to a decrease in the diffusion coefficients of radicals and, possibly, to the shielding of the reaction center, which causes a decrease in k_1 . With the decrease of the constant in the specified number of solvents, the stability of the radical increases, which is manifested in a symbiotic increase in the equilibrium constant K. The reason for the increase of the direct constant k_1 in solvents with high permittivity is explained.

Key words: substituted parabenzoquinone, photoreactions of quinones, flash photolysis, triplet exiplexes

Для цитирования:

Гурулев Д.Н., Палаткина Л.В., Кузнецова Н.А., Порхун В.И. Элементарные акты фотореакций 2,6-дифенил-1,4-бензохинона в различных растворителях. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2019. Т. 62. Вып. 1. С. 26–30

For citation:

Gurulev D.N., Palatkina L.V., Kuznetsova N.A., Porkhun V.I. Elementary acts of photoreactions of 2,6-diphenyl-1,4-benzoquinone in various solvents. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2019. V. 62. N 1. P. 26–30

ВВЕДЕНИЕ

В ряду хинонов важную роль в органической химии и биохимии играют 2,6-дизамещенные 1,4-бензохиноны, поведение которых в «темновых» и фотореакциях определяется в первую очередь пространственным экранированием одной из карбонильных групп и сольватацией с растворителями [1-22].

В настоящей работе методом импульсного фотолиза и ПМР спектроскопии изучена реакция димеризации 2,6-дифенил-1,4-бензохинонового радикала (Q \dot{O}) в различных растворителях в равновесии со своим димером (D):



k_1 – константа скорости прямой реакции; k_{-1} – константа скорости обратной реакции; $K = k_1 / k_{-1}$ константа равновесия.

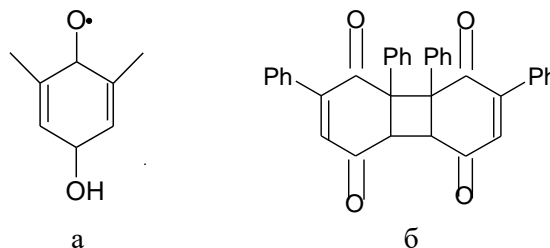


Рис. 1. Структурные формулы Q \dot{O} 2,6-дифенил-1,4-бензохинонового радикала (а) и димера (б)

Fig. 1. The structural formula of Q \dot{O} 2,6-diphenyl-1,4-benzoquinone radical (a) and dimer (b)

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Спектры ПМР снимали на спектрометре Tesla 587 A (100 МГц). Спектры УФ на спектрометре Specord UV-VIS. С целью изучения промежуточных продуктов быстропротекающих химических реакций была создана установка импульсного фотолиза. Длительность импульса фотолизирующих ламп при энергии разряда 0,6 кДж составляла 10^{-5} с. Приемником света служил фотоэлектрический умножитель ФЭУ-38, сигнал с которого подавался на катодный повторитель, а затем на осциллограф С8-16. Конструкция кювет предусматривала возможность обескислороживания и термостатирования исследуемых растворов. Для регистрации спектров поглощения и кинетики гибели частиц в УФ области использовали лампу ДКсШ-120. Для полосы поглощения хинона ($n \rightarrow \pi^*$ -переход) использовали фильтры БС-8 и УФС-2. Коэффициенты экстинкции взяты из [9].

Осциллограмма гибели промежуточного соединения представляет зависимость интенсивности излучения (оптическая плотность) на данной длине волны от времени. Для построения кинетических кривых брались ряд значений (до 10)

интенсивности в разные моменты времени. В зависимости от порядка реакции выбирали подходящие оси координат для нахождения из графиков константы скоростей. Спектр поглощения строился по точкам величины поглощения от длины волны. Термостатируемая кювета позволяла проводить эксперименты при разных температурах с получением соответствующих кинетических параметров. По уравнению Вант-Гоффа и методу Шулеры получали термодинамические параметры реакции.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Импульсное фотовозбуждение раствора димера D (10^{-4} М) через светофильтры приводит к неравновесной концентрации семихиноновых радикалов в результате распада димера.

$$K = k_{-1}/k_1$$

Величина K получена спектрофотометрически.

Полученные кинетические и термодинамические характеристики в различных растворителях приведены в таблице. ΔH , ΔS , ΔG - соответственно изменение энтальпии, энтропии и свободной энергии в рассматриваемых реакциях.

Таблица

Кинетические и термодинамические характеристики реакции (1) в различных растворителях (25 °С)
Table. Kinetic and thermodynamic characteristics of reaction (1) in various solvents (25 °С)

Растворитель	$K \cdot 10^7$, моль/ л	$k_1 \cdot 10^{-8}$, л/(моль·с)	$K_{\text{дифф}}/k_1$	$k_{-1} \cdot 10^{-2}$, с ⁻¹	ΔH^0 , кДж/ моль	ΔH_{-1}^\ddagger , кДж/ моль	ΔH_{-1}^\ddagger , кДж/ моль	ΔS^0 , Дж/ (моль·град)	$\Delta S_{1^\ddagger}^\ddagger$, кДж/ (моль·град)	$\Delta S_{-1^\ddagger}^\ddagger$, кДж/ (моль·град)	ΔG^0 , кДж/ моль	$\Delta G_{1^\ddagger}^\ddagger$, кДж/ моль	$\Delta G_{-1^\ddagger}^\ddagger$, кДж/ моль
Гексан	0,25	32	6,3	0,8	51	2,1	53,1	29,4	-48	-19	43,3	17,2	60,5
CCl ₄	0,55	8,5	7,9	0,5	50	10,5	60,5	33	-33	0	41,6	20,6	62,2
Толуол	2	7,5	15	1,5	46	13,5	59,5	29	-29	0	37,8	22	59,8
Диоксан	4	3	17	1,2	47,8	14	61,8	42	-36	6	36,1	23,1	59,2
Пропанол	4	7	4,3	2,8	41	21	62	17	0	17	36,1	22	58
Метанол	7	12	9,2	8,4	40	6,3	46,3	17	-44	-27	35,3	19,7	55
Ацетонитрил	12	6	30	7,2	35,7	8,4	44,1	8	-44	-36	33,6	21,4	55
Хлороформ	13	2	58	2,5	33	8,2	41,2	0	-52	-52	33,6	23,9	57,5
ДФМА	16	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Спектр ПМР раствора D в дейтерохлороформе при -20 °С содержит линии, соответствующие ароматической части протонов в мета положении соответственно (7,05 м.д, 6,89 м.д.), при увеличении температуры линии уширяются, при температуре 10 °С в области наблюдается одна широкая линия, близкая к протонам мета-групп хинона.

Таким образом, процесс обмена между неэквивалентными частями диамагнитной молекулы

D, предшествующий диссоциации, проходит с константой скорости, совпадающей по порядку величины k_{-1} , которая оценивается:

$$k_{-1} = 1/T_2,$$

где T_2 – время спин-спиновой релаксации ядер в магнитном поле, $\approx 10^{-2}$ с.

Значение $k_{-1} = 10$ с⁻¹ и $\Delta H_1 = 10$ ккал/М (-20 °), следовательно, $k_{-1} = 2 \cdot 10^2$ с⁻¹ (25 °), что находится в согласии с аналогичными величинами, полученными методом флеш – фотолиза (таблица).

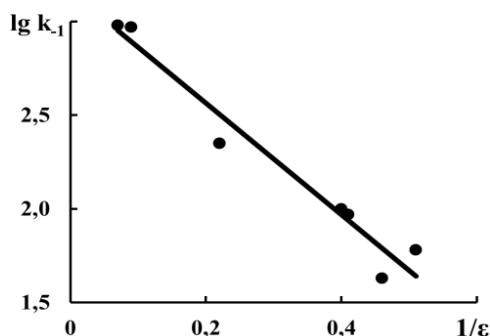


Рис. 2. Зависимость от обратной диэлектрической проницаемости среды k_{-1} (k_{-1} - константа скорости обратной реакции, ϵ - диэлектрическая проницаемость)

Fig. 2. The dependence on the inverse dielectric constant of the medium k_{-1} (k_{-1} - rate constant of the reverse reaction, ϵ - dielectric capacity)

Растворитель оказывает значительное влияние на величину K , что указывает на различную сольватацию радикала и димера. Величина k_{-1} с ростом полярности растворителя возрастает более чем на порядок (таблица, рис. 2). Этот эффект обусловлен более сильной сольватацией растворителя активированного комплекса в переходном состоянии по сравнению с молекулой D , что приводит к уменьшению ΔG_{-1}^\ddagger .

Реакция димеризации семихинонных радикалов является, по-видимому, диффузионно контролируемой, так как величина ΔH_1^\ddagger (таблица) во всех растворителях отличается от энергии активации вязкости не более чем на 1 ккал/М, и величины k_1 всего в 5-8 раз отличаются от диффузионной константы скорости, рассчитанной по Дебаю. (Формула Дебая дает, как правило, завышенные константы рекомбинации радикалов [12]).

На рис. 3 приведена зависимость k_1 от параметра E_T (E_T - эмпирический параметр растворителя. Используется для корреляции изменения свойств растворителя с соответствующим изменением скоростей реакции и состояния равновесия, характеризующего сольватирующую способность растворителя [12]), k_1 уменьшается в ряду гексан - CCl_4 - толуол - диоксан - хлороформ. Сольватация радикалов приводит, как правило, к уменьшению коэффициентов диффузии радикалов и, возможно, к экранированию реакционного центра,

ЛИТЕРАТУРА

1. Свиридов Б.Д., Сердобов М.В., Порхун В.И., Попонина Р.В. Механизм реакции взаимодействия 2,6-дифенил 1,4-бензохинона с алифатическими диаминами. *Изв. АН СССР. Сер. химич.* 1983. № 1. С. 105-112.
2. Порхун В.И., Рахимов А.И. Механизм фотолитиза 2,6-дифенил-1,4-парабензохинона в фосфортрихлориде. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2009. Т. 52. Вып. 5. С. 7-9.
3. Порхун В.И., Рахимов А.И. Фотохимические реакции 2,6-дифенил-1,4-парабензохинона в три- и тетра-этоксисилане.

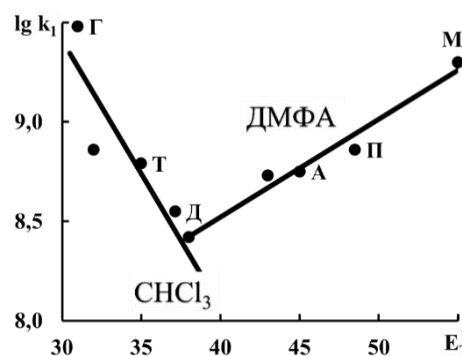


Рис. 3. Зависимость k от полярности растворителя E_T ; Г - гексан, Т - толуол, Д - диоксан, А - ацетонитрил, П - пропанол, М - метанол

Fig. 3. The dependence of k on E_T solvent polarity; Н - hexane, Т - toluene, Д - dioxane, А - acetonitrile, Р - propanol, М - methanol

что вызывает уменьшение k_1 . С его уменьшением в указанном ряду растворителей возрастает стабильность радикала, что проявляется в симбатном увеличении константы равновесия K .

Увеличение k_1 в растворителях с $E_T > 40$ (рис. 2) можно объяснить тем, что ДМФА, ацетонитрил, пропанол и метанол характеризуются высокими значениями ϵ и имеют неподеленную пару электронов, а пропанол и метанол способны образовывать водородную связь с QO . Перераспределение зарядов на этих радикалах в результате сольватации растворителем способствует быстрому достижению необходимой ориентации при рекомбинации радикалов в клетке. Вследствие этого k_1 должны расти и приближаться к диффузионной. Для пропанола и этанола k_1 одного порядка с $k_{диф}$.

ВЫВОДЫ

Таким образом, получены кинетические и термодинамические параметры реакции семихинонных радикалов со своим димером (D) в различных растворителях.

Обнаружено уменьшение констант скорости реакции димеризации в ряду растворителей: гексан, CCl_4 , толуол, диоксан, хлороформ.

Димеризация во всех растворителях лимитируется диффузией.

REFERENCES

1. Sviridov B.D., Serdobov M.V., Porkhun V.I., Poponova R.V. Mechanism of the reaction of 2,6-diphenyl 1,4-benzoquinone with aliphatic diamines. *Izv. USSR Academy of Sciences. Ser. Khim.* 1983. N 1. P. 105-112 (in Russian).
2. Porkhun V.I., Rakhimov A.I. The mechanism of the photolysis of 2,6-diphenyl-1,4-parabenzoquinone in phosphorotriothioite. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2009. V. 52. N 5. P. 7-9 (in Russian).
3. Porkhun V.I., Rakhimov A.I. Photochemical reactions of 2,6-diphenyl-1,4-parabenzoquinone in tri- and tetra-ethoxysilane.

- Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2009. Т. 52. Вып. 5. С. 123-125.
4. **Порхун В.И., Аршинов А.В., Перминов В.Н.** Изучение комплексов семихиноновых радикалов с ионами меди, как модели переноса заряда в биосистемах. *Биомед. радиоэлектр.* 2009. № 4. С. 67-71.
 5. **Порхун В.И., Рахимов А.И.** Механизмы фотохимических реакций замещенных бензохинонов. *Журн. общ. химии.* 2011. Т. 81. Вып. 3. С. 801-804.
 6. **Порхун В.И., Рахимов А.И.** Эффекты ХПЯ в фотореакциях 1,4-дiazобидицикло-октана с карбонилсодержащими соединениями. *Журн. физ. химии.* 2012. Т. 86. № 11. С. 1881-1882.
 7. **Порхун В.И., Рахимов А.И.** Исследование механизма фотолитиза замещенного тетрафенилпорфина с пара-бензохинонами in vitro по данным ХПЯ. *Журн. физ. химии.* 2012. Т. 86. № 12. С. 2041-2042.
 8. **Порхун В.И., Рахимов А.И.** Исследование механизма фотолитиза диамина с парабензохинонами с помощью эффектов химической поляризации ядер. *Журн. хим. физики.* 2012. Т. 31. № 11. С. 14-16.
 9. **Ершов В.В., Никифоров Г.А., Вольдькин А.А.** Пространственно затрудненные фенолы. М.: Химия. 1972. С. 252.
 10. **Гордон А.Д., Форд Р.А.** Спутник химика. Физико-химические свойства, методики, библиография (справочник). М.: Мир. 1976. С. 541.
 11. **Порхун В.И., Навроцкий В.А., Рыгалов Л.Н.** Механизм переноса электронов от семихиноновых радикалов к ионам металлов. *Биомед. радиоэлектр.* 2011. № 6. С. 59-64.
 12. **Порхун В.И., Аввакумов В.Е., Поляков И.В., Войтенко П.П.** Изучение механизмов фотореакций некоторых кетонов с помощью эффекта химической поляризации ядер. *Биомед. радиоэлектр.* 2010. № 6. С. 76-80.
 13. **Порхун В.И., Аршинов А.В., Дорохин Б.И., Порхун Э.В.** Исследование механизмов фотохимических реакций фотоинициатора в фотополимеризующихся композициях с помощью эффектов химической поляризации ядер. *Биомед. Радиоэлектр.* 2010. № 6. С. 71-75.
 14. **Порхун В.И., Рахимов А.И.** О комплексообразовании бензосемихиноновых радикалов с ионами двухвалентной меди. *Журн. общ. химии.* 2010. Т. 80. Вып. 1. С. 154.
 15. **Порхун В.И., Рахимов А.И.** Особенности взаимодействия n-бензосемихиноновых радикалов с солями железа. *Журн. общ. химии.* 2010. Т. 80. Вып. 1. С. 155.
 16. **Порхун В.И., Рахимов А.И.** Особенности химической поляризации ядер при фотолитизе системы 8-гидрокси-6-фенилдибензофуран-дейтерометанол. *Журн. общ. химии.* 2010. Т. 80. Вып. 4. С. 702.
 17. **Порхун В.И., Аристова Ю.В., Порхун Э.В.** Исследование перегруппировки феноксильных-гидроксифенильных радикалов квантово-механическими методами. *Журн. физ. химии.* 2017. Т. 91. № 3. С. 455-458.
 18. **Порхун В.И., Аристова Ю.В., Аршинов А.В., Порхун Э.В., Сивко А.Н.** Механизмы элементарных фотохимических процессов взаимодействия меркаптанов с замещенными пара-бензохинонами. *Журн. физ. химии.* 2017. Т. 87 (149). Вып. 4. С. 570-573.
 19. **Порхун В.И., Аристова Ю.В., Шаркевич И.В.** Фото-взаимодействие замещенных бензохинонов с гетероциклическими соединениями. *Журн. физ. химии.* 2017. Т. 91. № 7. С. 1237-1238.
 20. **Порхун В.И., Аристова Ю.В., Литинская Н.Н.** Исследование моделей первичного переноса зарядов при фотосинтезе с помощью эффектов химической поляризации ядер. *Журн. физ. химии.* 2016. Т. 86. Вып. 9. С. 1581-1582.
- Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2009. V. 52. N 5. P. 123-125 (in Russian).
4. **Porkhun V.I., Arshinov V.A., Perminov V.N.** The Study of Complexes of Semiquinone Radicals with Copper Ions as the Model of Charge Transfer. *Biomeditsin. Radioelektr.* 2009. N 4. P. 67-71 (in Russian).
 5. **Porkhun V.I., Rakhimov A.I.** Mechanisms of photochemical reactions of substituted benzoquinones. *Zhurn. Obshch. Khim.* 2011. V. 81. N 3. P. 801-804 (in Russian).
 6. **Porkhun V.I., Rakhimov A.I.** The effects of CINP in photoreaction of 1,4-diazobicyclo-octane with carbonyl-containing compounds. *Zhurn. Fizich. Khim.* 2012. V. 86. N 11. P. 1881-1882 (in Russian).
 7. **Porkhun V.I., Rakhimov A.I.** The investigation of the mechanism of photolysis of the substituted tetraphenylporphine with pseudo-benjaminone in vitro according to CINP. *Zhurn. Fizich. Khim.* 2012. V. 86. N 12. P. 2041-2042 (in Russian).
 8. **Porkhun V.I., Rakhimov A.I.** The investigation of the mechanism of photolysis of diamine with parabenzoquinone with the help of the chemical polarization effects of nuclei. *Zhurn. Fizich. Khim.* 2012. V. 31. N 11. P. 14-16 (in Russian).
 9. **Ershev V.V., Nikiforov G.A., Volodkin A.A.** Spatially-hindered phenols. M.: Khimiya. 1972. P. 252 (in Russian).
 10. **Gordon A.D., Ford R.A.** The chemist companion. Physicochemical properties, methods and bibliography (reference book). M.: Mir. 1976. P. 541 (in Russian).
 11. **Porkhun V.I., Navrotskiy V.A., Rygalov L.N.** The mechanism of electron transfer from semiquinone radicals to ions of metals. *Biomeditsin. Radioelektr.* 2011. N 6. P. 59-64 (in Russian).
 12. **Porkhun V.I., Avvakumov V.E., Polyakov I.V., Voitenko P.P.** Study of photoreaction mechanisms of some ketones using the effect of chemical polarization of nuclei. *Biomeditsin. Radioelektr.* 2010. N 6. P. 76-80 (in Russian).
 13. **Porkhun V.I., Arshinov A.V., Dorokhin B.I., Porkhun E.V.** Research of mechanisms of photochemical reactions, fotonica Torah in photopolymerizable compositions with effects of chemical polarization of nuclei. *Biomeditsin. Radioelektr.* 2010. N 6. P. 71-75 (in Russian).
 14. **Porkhun V.I., Rakhimov A.I.** On complexation benzoimidazole radicals with ions of bivalent copper. *Zhurn. Obshch. Khim.* 2010. V. 80. N 1. P. 154 (in Russian).
 15. **Porkhun V.I., Rakhimov A.I.** Features of the interaction of n-benzoimidazole radicals with ferric salts. *Zhurn. Obshch. Khim.* 2010. V. 80. N 1. P. 155 (in Russian).
 16. **Porkhun V.I., Rakhimov A.I.** Features of chemical polarization in the photolysis of 8-hydroxy-6-penaltiesfor-deuteromethane. *Zhurn. Obshch. Khim.* 2010. V. 80. V. 4. P. 702 (in Russian).
 17. **Porkhun V.I., Aristova Yu.V., Porkhun E.V.** Investigation of the rearrangement of phenoxy-phenyl radicals by quantum mechanical methods. *Zhurn. Fizich. Khim.* 2017. V. 91. N 3. P. 455-458 (in Russian).
 18. **Porkhun V.I., Aristova Yu.V., Arshinov A.V., Porkhun E.V., Sivko A.N.** Mechanisms of elementary photochemical processes of interaction of mercaptans with substituted para-benzoquinones. *Zhurn. Obshch. Khim.* 2017. V. 87 (149). N 4. P. 570-573.
 19. **Porkhun V.I., Aristova Yu.V., Sharkevich I.V.** Focusinterative substituted benzoquinones with heterocyclic compounds. *Zhurn. Fizich. Khim.* 2017. V. 91. N 7. P. 1237-1238 (in Russian).
 20. **Porkhun V.I., Aristova Yu.A., Litinskaya N.N.** Investigation of models of primary charge transfer in photosynthesis using the effects of chemical polarization of nuclei. *Zhurn. Obshch. Khim.* 2016. V. 86. N 9. P. 1581-1582. (in Russian).

Поступила в редакцию (Received) 29.01.2018

Принята к опубликованию (Accepted) 03.12.2018