



DOI 10.22363/2313-2310-2018-26-3-326-334

УДК 504.06

## Деструкция гербицида атразина солнечным излучением в системе фото-Фентона

К.М. Загибалова, Г.Г. Матафонова, В.Б. Батоев

Байкальский институт природопользования СО РАН  
Российская Федерация, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6

В работе исследована эффективность солар-индуцированной деструкции гербицида атразина в природной воде и водных вытяжках из пахотной и целинной почв в системе фото-Фентона. Во всех водных матрицах достигнуто разложение 80–90 % атразина. При использовании ксеноновой лампы как симулятора солнечного излучения найдено, что скорость деструкции атразина в водных почвенных вытяжках выше, чем в природной воде. Вместе с тем значимых различий в динамике его деструкции в природной воде и почвенных вытяжках под воздействием естественного солнечного света не выявлено. Это, возможно, обусловлено более высоким уровнем генерации гидроксильных радикалов при более высокой интенсивности УФ-излучения Солнца.

**Ключевые слова:** атразин, деструкция, природная вода, водная вытяжка из почв, фото-Фентон, солнечное излучение

### Введение

Атразин (2-хлор-4-этиламино-6-изопропиламино-1,3,5-триазин, АТЗ) является доступным и широко используемым в сельском хозяйстве селективным гербицидом из группы симм-триазинов для борьбы с широколиственными сорняками в посевах кукурузы на зерно, силос и зеленый корм. В растения АТЗ проникает преимущественно через корни и ингибирует процесс фотосинтеза [1]. АТЗ связывается почвой, но с обильными осадками, талыми водами и при орошении его остаточные количества в составе почвенных вод могут выщелачиваться и поступать в поверхностные и грунтовые воды, вызывая их загрязнение. В РФ АТЗ относится к 3 классу опасности и нормируется в воде водных объектов рыбохозяйственного значения с ПДК 5 мкг/л [2]. Вместе с тем даже при относительно низких обнаруживаемых концентрациях в природных поверхностных и грунтовых водах (в основном до 2 мкг/л [3]), АТЗ вызывает хронические токсические эффекты главным образом поражая эндокринную систему водных организмов. Известно, что АТЗ нарушает онтогенез земноводных и вызывает их феминизацию, представляя опасность для живых организмов, в том числе и человека. Поэтому,

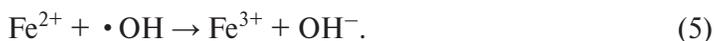
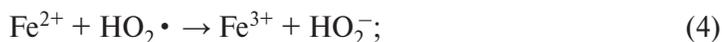
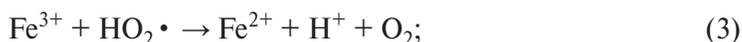
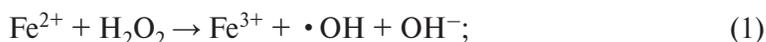
© Загибалова К.М., Матафонова Г.Г., Батоев В.Б., 2018



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

поскольку АТЗ достаточно устойчив к разложению, проблема минимизации загрязнения подобными гербицидами водных экосистем, включая водоисточники, остается актуальной.

Попав в природные воды, органические загрязняющие вещества, как известно, подвергаются фотохимической и биологической деструкции. Известно, что при облучении воды ультрафиолетовым (УФ) светом в присутствии окислителей или катализаторов, кроме прямого фотолиза, органическое вещество окисляется образующимися активными формами кислорода, в первую очередь гидроксильными радикалами ( $\text{OH}\cdot$ ) с константами скорости ( $k_{\text{OH}\cdot}$ ) порядка  $\sim 10^9 \text{ M}^{-1} \text{ c}^{-1}$  [4]. Гидроксильные радикалы в естественных условиях могут генерироваться при облучении воды УФ-светом в присутствии фотоактивного растворенного органического вещества (РОВ), пероксида водорода ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) или ионов железа (II, III). Так, содержание  $\text{OH}\cdot$  в природных поверхностных водах варьирует в пределах  $10^{-18}$ – $10^{-15} \text{ M}$  [5], а концентрация  $\text{H}_2\text{O}_2$  может достигать  $10^{-5} \text{ M}$  [6]. В результате по радикально-цепному механизму могут протекать реакции Фентона ( $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ ) и фото-Фентона ( $\text{УФ}/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ ) (1–5):



Окисление АТЗ в системе фото-Фентона с использованием солнечного излучения и других УФ-источников в ультрачистых водах изучено достаточно полно, тогда как в природных водах малоисследовано. Поверхностные природные воды образуются в результате осадков, т.е. в реки попадает вода, стекающая с поверхности почв, а также вода, дренировавшая через почву. Поэтому природная поверхностная вода реки несет отпечаток преобладающих почв своего бассейна. В связи с этим фотохимическая деструкция АТЗ в почвенных вытяжках и в природной воде, а также влияние РОВ, содержащихся в этих водных матрицах, на эффективность деструкции атразина представляет научный и практический интерес.

**Целью работы** явилось установление закономерностей деструкции гербицида атразина в природной воде и водных почвенных вытяжках в системе фото-Фентона  $\{\text{УФ}/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2\}$  под воздействием естественного и симулированного солнечного излучения.

### Материалы и методы

В работе использованы атразин (99,1 %, Sigma-Aldrich), гептагидрат сульфата железа (II) пероксид водорода («Химреактивснаб», г. Иркутск). Все рабочие растворы были приготовлены с использованием деионизованной воды (Simplicity®UVsystem, Millipore, 18,2 МΩ см).

Природная вода была отобрана в реке Селенге, главном притоке озера Байкал (N51°43'; E107°27', WGS 84), отфильтрована через фильтр «синяя лента» (размер пор 3—5 мкм) и целлюлозные фильтры (размер пор 0,45 мкм). Образцы целинной и пахотной почв отобраны на территории полигона ФГБНУ «Бурятский НИИСХ» в п. Иволгинск Республики Бурятия (N51°73'; E107°24'). Почва каштановая, мучнисто-карбонатная, среднемощная, легкосуглинистая. Содержание гумуса в пахотном слое составляет 1,0—1,5 %. Образцы почв были просеяны от посторонних включений и доведены до воздушно-сухого состояния. Далее по методике [7] из целинной и пахотной почв были получены водные вытяжки с содержанием растворенного органического углерода (РОУ) 34,8 и 28,1 мг/л соответственно. РОУ определяли на анализаторе Shimadzu TOC-L CSN. Концентрация РОУ в природной воде составила 7,2 мг/л. Все пробы для экспериментов предварительно разбавляли до 5 мг/л РОУ. Для оценки влияния фоновой неорганической матрицы в водных пробах также определены основные анионы, способные генерировать или связывать генерируемые радикалы, с использованием стандартных методик (табл. 1).

Таблица 1

**Гидрохимические характеристики проб природной поверхностной воды и водных почвенных вытяжек после разбавления до РОУ 5 мг/л**

Показатель	Природная вода	Водная вытяжка из пахотной почвы	Водная вытяжка из целинной почвы
pH	7,2	6,7	6,6
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/л	< 0,05	0,72 ± 0,14	0,64 ± 0,13
Общее Fe, мг/л	0,08 ± 0,02	0,17 ± 0,03	0,23 ± 0,05
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	84,7 ± 14,6	12,20 ± 2,6	18,30 ± 3,84
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	6,3 ± 1,9	<6,0	<6,0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	< 0,1	0,5 ± 0,06	<0,1
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг/л	< 0,1	<0,1	<0,1
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	8,9 ± 1,7	1,1 ± 0,1	1,0 ± 0,1
Cl <sup>-</sup> , мг/л	1,3 ± 0,2	0,7 ± 0,1	0,97 ± 0,13
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/л	< 0,1	<0,1	<0,1
ХПК, мгО/л	7,6 ± 2,7	31,0 ± 4,7	33,0 ± 4,9

Table 1

**Hydrochemical characteristics of natural surface water and aqueous soil extracts after dilution to DOC 5 mg/L**

Parameter	Natural water	Aqueous extract from agrogenic soil	Aqueous extract from unbroken soil
pH	7.2	6.7	6.6
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mg/L	< 0.05	0.72 ± 0.14	0.64 ± 0.13
Общее Fe, mg/L	0.08 ± 0.02	0.17 ± 0.03	0.23 ± 0.05
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , mg/L	84.7 ± 14.6	12.20 ± 2.6	18.30 ± 3.84
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , mg/L	6.3 ± 1.9	<6.0	<6.0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , mg/L	< 0.1	0.5 ± 0.06	<0.1
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , mg/L	< 0.1	<0.1	<0.1
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , mg/L	8.9 ± 1.7	1.1 ± 0.1	1.0 ± 0.1
Cl <sup>-</sup> , mg/L	1.3 ± 0.2	0.7 ± 0.1	0.97 ± 0.13
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , mg/L	< 0.1	<0.1	<0.1
ХПК, mgO/L	7.6 ± 2.7	31.0 ± 4.7	33.0 ± 4.9

Эксперименты по деструкции АТЗ в природной воде и водных вытяжках из почв проведены в системе фото-Фентона {УФ/Fe<sup>2+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>} при воздействии естественного солнечного излучения при ясных метеоусловиях в летний период 2017 года и симулированного солнечного излучения с использованием ксеноновой лампы 6000КН1 (MaxLight, Южная Корея). Темновые контрольные эксперименты осуществлены при тех же условиях, но без облучения (система Fe<sup>2+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Водную матрицу, содержащую АТЗ (1 мг/л), подвергали облучению солнечным светом в присутствии H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> и Fe<sup>2+</sup> при различных рН среды в статическом фотореакторе при постоянном перемешивании на магнитной мешалке (IKA®Color Squid, 300 об/мин). Интенсивность падающего солнечного излучения измеряли с помощью радиометра ТКА-ПКМ-06 (НТП «ТКА», г. Санкт-Петербург). В ходе каждого эксперимента пробы отобраны через определенные промежутки времени облучения, отфильтрованы через ПЭТФ-фильтры после доведения рН до 8,0–8,5 и далее проанализированы на содержание остаточного АТЗ методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Съемку проводили в изократическом режиме со скоростью элюирования 0,5 мл/мин на хроматографе Agilent 1260 Infinity с УФ-детектором. В качестве подвижной фазы использовали ацетонитрил («Криохром», г. Санкт-Петербург) и 75 мМ СН<sub>3</sub>СООН («Химреактивснаб», г. Иркутск) в соотношении 60:40. Результаты графически представлены в виде зависимостей соотношения остаточной (С) и начальной концентрации (С<sub>0</sub>) атразина (степени деструкции) от продолжительности облучения.

### Результаты и их обсуждение

На начальном этапе установлены эффективные концентрации окислителя H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> и Fe<sup>2+</sup> в деионизованной и природной воде для деструкции 1 мг/л АТЗ естественным солнечным светом. Исходная концентрация H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0,2 мМ или 6,8 мг/л) была взята на основе полученных ранее результатов для деструкции 1 мг/л АТЗ в системе УФ/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> [8]. Из табл. 2 следует, что наибольшая эффективность деструкции АТЗ в деионизованной и природной водах достигается при концентрации Fe<sup>2+</sup> 2 мг/л в кислой среде при рН 4,4–4,6. Последующие эксперименты в водных почвенных вытяжках проведены при данных условиях.

Таблица 2

Table 2

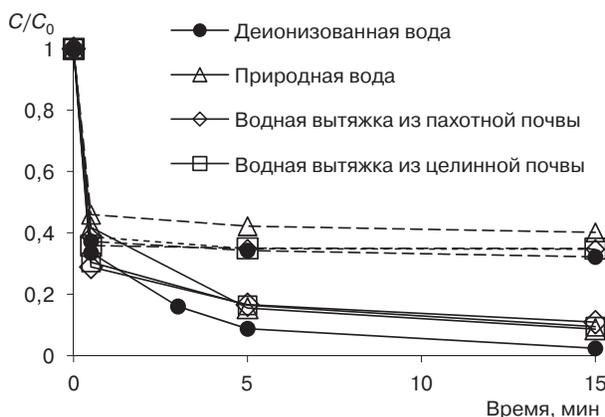
**Эффективность деструкции атразина (X) в системе фото-Фентона при облучении естественным солнечным светом в течение 15 мин; [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]<sub>0</sub> = 6,8 мг/л**

**Efficiency of atrazine destruction (X) in photo-Fenton system under natural solar light exposure for 15 min; [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]<sub>0</sub> = 6,8 mg/L**

[Fe <sup>2+</sup> ] <sub>0</sub> , мг/л	рН	X, %
Деионизованная вода		
1	5,5	80
2	4,6	96
Природная вода		
1	7,2	20
1	4,8	45
2	4,4	90

[Fe <sup>2+</sup> ] <sub>0</sub> , mg/L	pH	X, %
Deionized water		
1	5.5	80
2	4.6	96
Natural water		
1	7.2	20
1	4.8	45
2	4.4	90

Как видно из рис. 1, после внесения Fe(II) наблюдалось снижение содержания АТЗ на ~60 % за счет темновой реакции во всех водных матрицах, далее концентрация гербицида оставалась постоянной. При облучении солнечным светом водных вытяжек, полученных как из целинных, так и из пахотных почв, в течение 15 мин наблюдалось разложение ~90 % АТЗ (как и в природной воде). В деионизованной воде, в отсутствие фоновой органической и неорганической матрицы, эффективность деструкции гербицида была выше и достигала 90 % уже через 5 мин облучения (рис. 1).



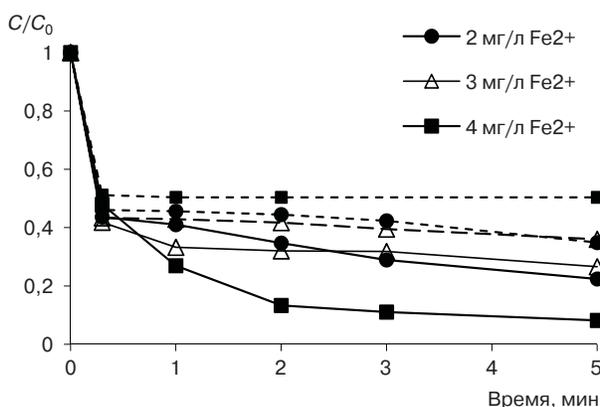
**Рис. 1.** Динамика деструкции атразина в природной воде и водных почвенных вытяжках естественным солнечным излучением в системе фото-Фентона;  $[\text{H}_2\text{O}_2]_0 = 6,8$  мг/л,  $[\text{Fe}^{2+}]_0 = 2$  мг/л,  $\text{pH} = 4,4$ . Пунктирные кривые соответствуют темновым экспериментам  
**[Figure 1.]** Dynamics of atrazine destruction in natural water and aqueous soil extracts under natural solar light exposure in photo-Fenton system;  $[\text{H}_2\text{O}_2]_0 = 6.8$  mg/L,  $[\text{Fe}^{2+}]_0 = 2$  mg/L,  $\text{pH} = 4.4$ . Dashed lines correspond to dark experiments]

Далее были проведены эксперименты по деструкции АТЗ в различных водных матрицах с использованием ксеноновой лампы как источника симулированного солнечного излучения. Выявлено, что при исходной концентрации  $\text{Fe}^{2+}$  2 мг/л ( $\text{pH} = 4,4$ ) и 3 мг/л ( $\text{pH} = 4,2$ ) и той же концентрации  $\text{H}_2\text{O}_2$  (6,8 мг/л) в деионизованной воде процесс фото-Фентона малоэффективен в силу более низкой интенсивности УФ-излучения ксеноновой лампы. Так, средняя интенсивность падающего излучения ксеноновой лампы в УФ-диапазоне (А+В) составила  $7,6$  Вт/м<sup>2</sup>, тогда как средняя интенсивность естественного солнечного излучения была выше в 3 раза и в дни с высокой инсоляцией достигала  $40$  Вт/м<sup>2</sup>. При повышении же исходной концентрации  $\text{Fe}^{2+}$  до 4 мг/л и снижения  $\text{pH}$  до 3,7–3,8 через 2 мин облучения достигнуто разложение около 90 % АТЗ, причем за счет темновой реакции разложилось 50 % АТЗ (рис. 2).

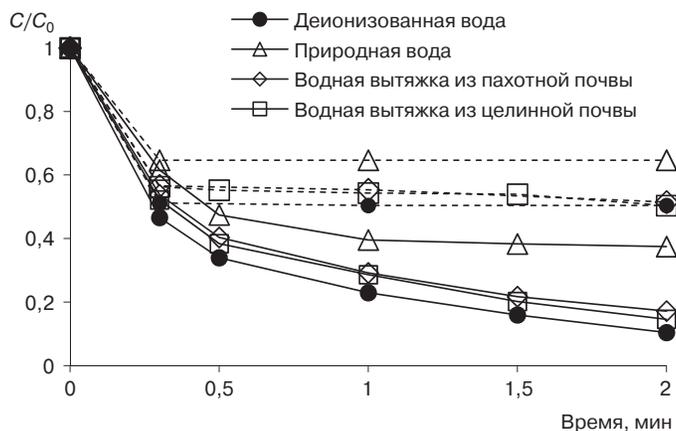
Последующие эксперименты с природной водой и почвенными вытяжками были проведены при вышеуказанных условиях. Результаты показали, что скорость деструкции АТЗ как при облучении, так и в темновом варианте в природной воде ниже, чем в обоих почвенных вытяжках (рис. 3).

После разбавления данных водных матриц до РОУ 5 мг/л содержание сульфатов в природной воде составило 8,9 мг/л, что значительно выше, чем в обоих по-

чвенных вытяжках. В связи с этим более низкая эффективность разложения АТЗ в природной воде, возможно, обусловлена мешающим влиянием сульфатов, реагирующих с  $\text{OH}\cdot$  радикалами ( $k = 1,5 \times 10^8 \text{ M}^{-1} \text{ c}^{-1}$ ) [9]. Напротив, химическое потребление кислорода (ХПК) водных вытяжек из почв было в ~4 раза выше, чем природной воды (табл. 1). Тем не менее фоновое растворенное органическое вещество почвенных вытяжек, не содержащее углерод (по показателю ХПК), способствует генерации  $\text{OH}\cdot$  радикалов. При этом, как и в случае естественного солнечного облучения, скорости деструкции АТЗ в водных вытяжках из пахотной и целинной почв были одинаковыми ( $k = 0,6 \text{ мин}^{-1}$ ), что связано с их близким гидрохимическим составом.



**Рис. 2.** Динамика деструкции атразина в деионизованной воде симулированным солнечным излучением в системе фото-Фентона при различных исходных концентрациях  $\text{Fe}^{2+}$ ;  $[\text{H}_2\text{O}_2]_0 = 6,8 \text{ мг/л}$ . Пунктирные кривые соответствуют темновым экспериментам  
**[Figure 2.** Dynamics of atrazine destruction in deionized water under simulated solar light exposure in photo-Fenton system at different initial  $\text{Fe}^{2+}$  concentrations;  $[\text{H}_2\text{O}_2]_0 = 6.8 \text{ mg/L}$ . Dashed lines correspond to dark experiments]



**Рис. 3.** Динамика деструкции атразина в природной воде и водных почвенных вытяжках симулированным солнечным излучением в системе фото-Фентона;  $[\text{H}_2\text{O}_2]_0 = 6,8 \text{ мг/л}$ ,  $[\text{Fe}^{2+}]_0 = 4 \text{ мг/л}$ ,  $\text{pH} = 3,8$ . Пунктирные кривые соответствуют темновым экспериментам  
**[Figure 3.** Dynamics of atrazine destruction in natural water and aqueous soil extracts under simulated solar light exposure in photo-Fenton system;  $[\text{H}_2\text{O}_2]_0 = 6.8 \text{ mg/L}$ ,  $[\text{Fe}^{2+}]_0 = 4 \text{ mg/L}$ ,  $\text{pH} = 3.8$ . Dashed lines correspond to dark experiments]

## Заключение

В результате проведенного исследования установлена высокая эффективность (80—90 %) солар-индуцированного окисления гербицида атразина в природной воде и водных почвенных вытяжках в системе фото-Фентона. Показано, что скорость разложения атразина в почвенных вытяжках с использованием ксеноновой лампы выше, чем в природной воде. Вместе с тем значимых различий в динамике деструкции атразина в природной воде и водных почвенных вытяжках под воздействием естественного солнечного света не выявлено, что, возможно, обусловлено более высоким уровнем генерации  $\text{OH} \cdot$  радикалов при более высокой интенсивности УФ-излучения Солнца.

### Благодарности:

Работа выполнена в рамках государственного задания БИП СО РАН (проект № 0339-2018-0005).

Авторы выражают благодарность кандидату биологических наук А.С. Билтуеву (БГСХА имени В.Р. Филиппова) за помощь в проведении исследования.

### Участие авторов:

Загибалова К.М. — выполнение эксперимента и обработка данных; Матафонова Г.Г. — сбор и анализ результатов; Батоев В.Б. — концепция и дизайн исследования, обсуждение результатов.

## Список литературы

- [1] Куликова Н.А., Лебедева Г.Ф. Гербициды и экологические аспекты их применения. М.: Либроком, 2010. 152 с.
- [2] Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Приказ Минсельхоза РФ от 13 декабря 2016 года. URL: <http://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minselkhoza-Rossii-ot-13.12.2016-N-552/> (дата обращения: 06.06.2018).
- [3] Atrazine and its metabolites in drinking water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. World Health Organization, 2011. URL: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/antrazine.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/antrazine.pdf) (дата обращения: 06.06.2018).
- [4] Buxton G.V., Greenstock C.L., Helman W.P., Ross W.P. Critical review of rate constants for reactions of hydrated electrons, hydrogen atoms and hydroxyl radicals in aqueous solution // J. Phys. Chem. Ref. Data. 1988. Vol. 17. Pp. 513—886.
- [5] Скурлатов Ю.И. Определяющая роль окислительно-восстановительных процессов в формировании качества природной водной среды // Успехи химии. 1991. Вып. 3. С. 575—580.
- [6] Mostofa K.M.G., Liu C.-Q., Sakugawa H., Vione D., Minakata D., Wu F. Photoinduced and microbial generation of hydrogen peroxide and organic peroxides in natural waters // Photobiogeochemistry of Organic Matter. Principles and Practices in Water Environments. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. Pp. 139—207.
- [7] ГОСТ 26423—85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки; введ. с 01.01.1986 (попр. от 03.06.2011). М.: Стандартинформ, 2011. 8 с.
- [8] Matafonova G., Batoev V. Comparison of energy requirements for removal of organic micropollutants from lake water and wastewater effluents by direct UV and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> using excilamp // Desal. Wat. Treat. 2017. Vol. 85. Pp. 92—102.
- [9] Grčić I., Vujević D., Koprivanac N. Modeling the mineralization and discoloration in colored systems by (US)Fe<sup>2+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> processes: A proposed degradation pathway // Chem. Eng. J. 2010. Vol. 157. Pp. 35—44.

### История статьи:

Дата поступления в редакцию: 22.02.2018

Дата принятия к печати: 20.09.2018

### Для цитирования:

Загibalова К.М., Матафонова Г.Г., Батоев В.Б. Деструкция гербицида атразина солнечным излучением в системе фото-Фентона // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2018. Т. 26. № 3. С. 326–334. DOI 10.22363/2313-2310-2018-26-3-326-334

### Сведения об авторах:

Загibalова Кристина Михайловна — магистрант, инженер 2 категории, Лаборатория инженерной экологии, Байкальский институт природопользования СО РАН. Контактная информация: e-mail: kristina-lapohcka@mail.ru

Матафонова Галина Георгиевна — доктор химических наук, старший научный сотрудник, Лаборатория инженерной экологии, Байкальский институт природопользования СО РАН. Контактная информация: e-mail: g.matafonova@gmail.com; ngal@binm.ru; ORCID ID: 0000-0001-7383-9788; eLIBRARY SPIN-код: 3674-8648

Батоев Валерий Бабудоржиевич — доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник Лаборатория инженерной экологии, Байкальский институт природопользования СО РАН. Контактная информация: e-mail: vbat@binm.ru; ORCID ID: 0000-0002-9548-2975; eLIBRARY SPIN-код: 5998-3356

## Destruction of herbicide atrazine by solar radiation in photo-Fenton system

C.M. Zagibalova, G.G. Matafonova, V.B. Batoev

Baikal Institute of Nature Management of SB RAS  
6 Sakhyanovoy St., Ulan-Ude, 670047, Russian Federation

The efficiency of solar-induced destruction of herbicide atrazine in natural water and aqueous extract from agrogenic and unbroken soil by using photo-Fenton system was studied in this work. 80–90 % atrazine was removed in all water matrices. Using xenon lamp as a solar simulator, the rate of atrazine destruction was found to be higher in aqueous soil extracts than that observed in natural water. However, no significant difference was found between the destruction dynamics in natural water and soil extracts, exposed to natural solar light. This could be attributed to the higher hydroxyl radical exposure under the higher UV irradiance of the Sun.

**Keywords:** atrazine, destruction, natural water, aqueous soil extract, photo-Fenton, solar radiation

### References

- [1] Kulikova NA, Lebedeva GF. *Gerbicydy i ehkologicheskie aspekty ih primeneniya*. M.: Librokom Publ.; 2010.
- [2] *Normativy kachestva vody vodnyh ob"ektov rybohozyajstvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimyh koncentracij vrednyh veshchestv v vodah vodnyh ob"ektov rybohozyajstvennogo znacheniya*. Prikaz Minsel'hoza RF ot 13 dekabrya 2016 goda. <http://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minselhoza-Rossii-ot-13.12.2016-N-552/>
- [3] *Atrazine and its metabolites in drinking water*. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. World Health Organization, 2011. [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/antrazine.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/antrazine.pdf)

- [4] Buxton GV, Greenstock CL, Helman WP, Ross WP. Critical review of rate constants for reactions of hydrated electrons, hydrogen atoms and hydroxyl radicals in aqueous solution. *J. Phys. Chem. Ref. Data*. 1988;17: 513—886.
- [5] Skurlatov YI. Opredelyayushchaya rol' oksiditel'no-vosstanovitel'nyh processov v formirovanii kachestva prirodnoj vodnoj sredy. *Uspekhihimii*. 1991;3: 575—580.
- [6] Mostofa KMG, Liu C-Q, Sakugawa H, Vione D, Minakata D, Wu F. Photoinduced and microbial generation of hydrogen peroxide and organic peroxides in natural waters. *Photobiogeochemistry of Organic Matter. Principles and Practices in Water Environments*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2013: 139—207.
- [7] GOST 26423—85. *Pochvy. Metody opredeleniya udel'noj ehlektricheskoy provodimosti, pH i plotnogo ostatka vodnoj vytyazhki*; vved. s 01.01.1986 (popr. ot 03.06.2011). M.: Standartinform Publ.; 2011.
- [8] Matafonova G, Batoev V. Comparison of energy requirements for removal of organic micropollutants from lake water and wastewater effluents by direct UV and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> using excilamp. *Desal. Wat. Treat.* 2017;85: 92—102.
- [9] Grčić I, Vujević D, Koprivanac N. Modeling the mineralization and discoloration in colored systems by (US)Fe<sup>2+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> processes: A proposed degradation pathway. *Chem. Eng. J.* 2010;157: 35—44.

#### **Acknowledgements:**

The work was carried out within the framework of the state task of Baikal Institute of Nature Management, Siberian branch of the Russian Academy of Sciences (project No. 0339-2018-0005). The authors thank PhD (Biology) A.S. Biltueva (V.R. Filippov Buryat State Academy of Agriculture) for assistance in the study.

#### **The participation of the authors:**

C.M. Zagibalova — experiment execution and data processing; G.G. Matafonova — the collection and analysis of results; V.B. Batoev — conception and design of the study, discussion of the results.

#### **Article history:**

Received: 22.02.2018

Revised: 20.09.2018

#### **For citation:**

Zagibalova CM, Matafonova GG, Batoev VB. Destruction of herbicide atrazine by solar radiation in photo-Fenton system. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2018;26(3): 326—334. DOI 10.22363/2313-2310-2018-26-3-326-334

#### **Bio Note:**

*Christina Mikhailovna Zagibalova* — undergraduate student, engineer of the 2nd category, Laboratory of Engineering Ecology, Baikal Institute of Nature Management, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (BINM SB RAS). *Contact information:* e-mail: kristinalapohcka@mail.ru

*Galina Georgievna Matafonova* — Doctor of Chemical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Engineering Ecology, Baikal Institute of Nature Management, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (BINM SB RAS). *Contact information:* e-mail: g.matafonova@gmail.com; ngal@binm.ru; ORCID ID: 0000-0001-7383-9788; eLIBRARY SPIN-code: 3674-8648

*Valery Babudorzhievich Batoev* — Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Researcher, Laboratory of Engineering Ecology, Baikal Institute of Nature Management, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (BINM SB RAS). *Contact information:* e-mail: vbat@binm.ru; ORCID ID: 0000-0002-9548-2975; eLIBRARY SPIN-code: 5998-3356