

Тип статьи: научная

УДК 547.326

DOI: 10.35887/2305-2538-2024-2-141-149

ВЛИЯНИЕ ОЗОНА НА КОРРОЗИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

*Иван Васильевич Баскаков*¹, *Владимир Иванович Оробинский*²,
*Аркадий Васильевич Химченко*³, *Алексей Викторович Чернышов*⁴,
*Ольга Васильевна Чернова*⁵

^{1, 2, 3, 4} Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I,
г. Воронеж, Российская Федерация

⁵ МБОУ Панинская СОШ, Российская Федерация, п.г.т. Панино Панинского района
Воронежской области

¹ vasich2@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6041-5943>,

² main@agroeng.vsau.ru,

³ himch.arkady@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9340-4252>,

⁴ lexa-c@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9302-9934>,

⁵ chernovaol2012@yandex.ru

Автор, ответственный за переписку: Баскаков Иван Васильевич, vasich2@yandex.ru
Corresponding author: Baskakov Ivan, vasich2@yandex.ru

Реферат. Исследования по влиянию озонной обработки на коррозию металлов приведены в статье. Результаты экспериментов по изменению состояния металлов и сталей при их нахождении в агрессивных средах в присутствии озона проанализированы. В большинстве случаев озono-воздушная смесь оказывает отрицательное воздействие на различные металлы и сварные соединения, увеличивая скорость коррозии. Учитывая, что в последнее время популярность озонных технологий во всех отраслях неуклонно растёт, то массовое применение озона в сельском хозяйстве это дело времени. Поэтому возникает необходимость проведения исследований, направленных на изучение коррозионной устойчивости различных сталей и сплавов, используемых в агропромышленном комплексе. Аналитическим путём установлено, что одним из наиболее доступных легирующих элементов, устойчивых к озонной обработке, является хром. Однако его содержание в сталях марок Сталь 08кп, Сталь 45, 45Х, Сталь 60С2, наиболее массово применяемые в сельхозмашиностроении, колеблется от 0,1 до 1,1%. Такое содержание хрома может быть недостаточным и поэтому необходимо провести подобные исследования. Установлено, что наиболее распространённая Сталь 08кп показала достаточную устойчивость к агрессивной среде в присутствии озона в результате эксперимента, вполне сопоставимую с более дорогими сплавами. При этом введение озона в раствор 70% уксусной кислоты снизило потерю массы на единицу площади сталей марок Сталь 08кп, Сталь 45, 45Х, Сталь 60С2 в 2...7 раз. Это говорит о том, что озон блокирует атомы металлов и предотвращает воздействие агрессивной среды.

Ключевые слова: коррозионная стойкость металлов, коррозия металлов, уксусная кислота, озон, озonoвоздушная смесь.

THE EFFECT OF OZONE ON THE CORROSIVE BEHAVIOR OF METALS AND ALLOYS

*Ivan Baskakov*¹, *Vladimir Orobinsky*²; *Arkady Himchenko*³, *Aleksey Chernyshov*⁴,
*Olga Chernova*⁵

^{1, 2, 3, 4} Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

⁵ Municipal budgetary educational institution Paninskaya secondary school, Russia, Panino,
Paninsky district, Voronezh region

¹ vasich2@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6041-5943>,

² main@agroeng.vsau.ru,

³ himch.arkady@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9340-4252>,

⁴ lexa-c@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9302-9934>.

⁵ chernovaol2012@yandex.ru

Abstract. *Research on the effect of ozone treatment on metal corrosion is presented in the article. The results of experiments on changes in the state of metals and steels when they are in aggressive environments in the presence of ozone are analyzed. In most cases, the ozone-air mixture has a negative effect on various metals and welded joints, increasing the rate of corrosion. Considering that recently the popularity of ozone technologies in all industries has been steadily growing, the massive use of ozone in agriculture is a matter of time. Therefore, there is a need to conduct research aimed at studying the corrosion resistance of various steels and alloys used in the agricultural sector. It has been analytically established that one of the most accessible alloying elements resistant to ozone treatment is chromium. However, its content in steel grades Steel 08kp, Steel 45, 45X, Steel 60S2, which are most widely used in agricultural engineering, ranges from 0.1 to 1.1%. This chromium content may be insufficient and therefore similar studies need to be carried out. It was established that the most common Steel 08kp showed sufficient resistance to aggressive environments in the presence of ozone as a result of the experiment, quite comparable with more expensive alloys. At the same time, the introduction of ozone into a solution of 70% acetic acid reduced the weight loss per unit area of steel grades Steel 08kp, Steel 45, 45X, Steel 60S2 by 2...7 times. This suggests that ozone blocks metal atoms and prevents exposure to aggressive environments.*

Keywords: *corrosion resistance of metals, metal corrosion, acetic acid, ozone, ozone-air mixture.*

Для цитирования: Баскаков И.В., Оробинский В.И., Химченков А.В., Чернышнов А.В., Чернова О.В. Влияние озона на коррозионное поведение металлов и сплавов // Наука в Центральной России Science in the Central Russia. 2024. Т. 68, № 2. С. 141-149. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-2-141-149>.

For citation: Baskakov I., Orobinsky V., Khimchenkov A., Chernyshnov A., Chernova O. The effect of ozone on the corrosive behavior of metals and alloys. *Nauka v central'noj Rossii = Science in the Central Russia*: 2024; 68(2): 141-149. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-2-141-149>.

Введение. Озон образуется в стратосфере Земли под воздействием ультрафиолетовых лучей Солнца. Этот процесс называется фотохимическим окислением и происходит естественным образом без участия человека. Однако люди научились получать газ искусственным путем. Наиболее распространенным способом образования озона является пропуск электрического разряда в кислороде. Приборы, работающие на данном принципе, называются озонаторами. При этом электрический разряд создаёт условия, при которых молекулы кислорода, состоящие из двух атомов и присутствующие в атмосфере Земли, распадаются и затем на некоторое время объединяются в трёхатомные молекулы озона. Он является очень реакционноспособным газом, окисляя практически все вещества. Поэтому озон используется для дезинфекции и очистки различных сред от опасных веществ. При этом газ через некоторое время разложится до обычного кислорода, не оставив после себя вредных соединений.

Развитие науки и техники позволило значительно усовершенствовать конструкцию озонаторов, одновременно повысив их производительность и снизив цену оборудования. На данный момент применение озона даже в бытовых приборах, например, холодильниках, очистителях воды, кондиционерах и многих других повседневно используемых устройствах уже никого не удивляют. Тем более не оправдано слабое внедрение процесса озонирования в сельское хозяйство РФ, хотя научные исследования по применению озоновооздушной смеси при предпосевной обработке семян сельскохозяйственных культур [1, 2], сушке влажного зерна [3, 4], дезинсекции [5] и хранении [6] урожая ведутся и доказали свою эффективность. Поэтому широкое использование озонных технологий в агропромышленном комплексе дело времени. Так как озон является достаточно активным окислителем, он может приводить к повышенной коррозии металлических элементов конструкций в местах хранения и обработки сельскохозяйственной продукции, что приведёт к снижению срока эксплуатации конструкций в целом. В связи с этим

исследования, направленные на изменение состояния металлов и их сплавов в присутствии озона, являются актуальными.

Целью статьи является оценка возможного окислительного воздействия озоновоздушной смеси на металлические конструкции из различных сплавов, в том числе при наличии дополнительного агрессивной среды.

Анализ состояния вопроса. Озонные технологии человек начал промышленно применять в конце XIX века. При этом отмечался повышенный износ большинства узлов оборудования в присутствии озона. Однако было отмечено, что некоторые материалы неплохо переносят воздействие агрессивного газа. Поскольку озон образуется в довольно специфических условиях, то его воздействие в основном изучали в кислой среде и с редкими металлами, например, никель [7], хром [8], титан [9-10], кобальт [11], молибден [12]. При этом исследований, направленных на изучение влияния процесса озонирования на сплавы, применяемые в агропромышленном комплексе, практически отсутствуют [13]. Стоит отметить, что имеются разрозненные публикации по влиянию озоновоздушной смеси на железо [11], различные стали [14, 15] и их сварные соединения [16], а также другие конструкционные материалы [17, 18] или органические соединения [19] в других отраслях.

Анализ разрозненных исследований по влиянию процесса озонирования на различные материалы показал, что в большинстве случаев озон пагубно сказывается на их состоянии. Однако имеются определённые случаи, при которых газ делает пассивной агрессивную среду. Так установлено [8], что введение озона в раствор серной кислоты снижает коррозию хрома, причём практически на порядок с 0,0813 до 0,0076 г/(м²·ч) в 10% концентрации H₂SO₄ и с 0,0058 до 0,0007 г/(м²·ч) в 70% концентрации H₂SO₄ [17]. Это объясняется тем, что практически все атомы металла блокируются окислителем, поэтому электрохимическое растворение металла в кислоте ослабевает и становится пассивным. Следовательно, введение озона в раствор серной кислоты снижает скорость коррозии хрома. Примерно такой же эффект достигнут на некоторых нержавеющей сталях [7, 14]. В них озон, введённый в растворы серной кислоты (до 20%) и являющийся деполяризатором катодных процессов, переводит исследуемые образцы в пассивное состояние. Например, газ пассивировал сталь 08X17T в 5% растворе уксусной кислоты при температуре 20°C [17]. Также зафиксировано снижение скорости коррозии у стали 12X18H10T при введении озона в 20% серную кислоту с 4,3 г/(м²·ч) до 0,03 г/(м²·ч), причём в данном случае отмечено, что влияние газа положительно сказалось на снижении межкристаллитной коррозии [17]. Снижение коррозионной активности происходило при помещении титана марки BT1-1 в озонируемую 10% соляную кислоту [9]. При температуре 40°C и концентрации озона 0,00028 моль/л скорость коррозии у данного металла в заданных условиях снижалась с 0,56 до 0,028 г/(м²·ч), причём дальнейшее увеличение температуры до 60°C способствовало уже увеличению коррозии [17]. Это можно объяснить ускоренным разложением газа при нагреве кислоты и ускорению анодных процессов в большей степени, чем катодных при восстановлении озона [15].

Совсем другой результат получен при помещении никеля в озонируемую серную кислоту с концентрацией 2, 5, 10, 20, 40, 70% [7]. Во всех случаях озон с концентрацией в газовой среде 0,1 моль/м³ интенсифицировал скорость коррозии никеля в 2,5...22,3 раза. Причём максимум 1,56 г/(м²·ч) достигнут в 2% концентрации H₂SO₄, а минимум 0,1 г/(м²·ч) – в 20% концентрации H₂SO₄. При этом скорость коррозии получена по потере массы образцов за время эксперимента 100 часов. Снижение скорости коррозии никеля с увеличением концентрации серной кислоты до 20% в данных условиях объясняется достаточным количеством ионов водорода, что позволяет одновременно обеспечить их необходимое количество и при восстановлении озона, и при насыщении поверхности металла. Следовательно, введение озона в раствор серной кислоты способствовало нейтрализации ионов водорода при электронном слое, что в свою очередь увеличило скорость коррозии никеля [7]. Примерно такой же эффект получен при озонировании стали 10X17H13M2T в серной кислоте концентрацией 70%. При этом скорость коррозии при температуре 25°C составляла 0,8 г/(м²·ч), а при введении озона она увеличилась до 0,86 г/(м²·ч), что говорит о негативном влиянии газа в данных условиях [17]. Также плохо себя проявил коррозионно-стойкий сплав 06XH28MDT. Озонирование 70% серной кислоты при температуре

60°C способствовало увеличению скорости коррозии с 0,07 г/(м²·ч) до 0,49 г/(м²·ч) [17]. Негативно озон сказался на нахождении стали 09Г2С в 70% серной кислоте при температуре 20°C [17], хотя в целом данный металл достаточно устойчив к агрессивной кислой среде. Алюминий марки АД0 в 20% растворе азотной кислоты коррозировал сильнее в присутствии озона, что было объяснено формированием пористых плёнок при подачи агрессивного газа [17].

Стоит заметить, что газ особенно негативно влияет на сварные швы [16]. Поэтому желательно их дополнительно защищать и в первую очередь контролировать их состояние. Особенно плохо показали себя сварные швы нержавеющей стали типа «18-10», содержащие около 67% железа, 18% хрома и 10% никеля, а также сварные соединения ферритных нержавеющей сталей типа 08Х17Т, содержащих около 80% железа и 16% хрома. В присутствии озона у данных сплавов наблюдается склонность к межкристаллитной коррозии, что особенно опасно. Сварные швы стали 06ХН28НДТ, состоящей из 36...47% железа, 26...29% никеля, 22...25% хрома, 2,5...3,5% меди, 2,5...3,0% молибдена, 0,5...0,9% титана, показали наилучшую эффективность в агрессивных средах в присутствии озона и не уступали основному материалу. Однако цена данного сплава не позволяет его использовать в сельском хозяйстве и может применяться только в ядерной промышленности, например при изготовлении реакторов [16].

Обобщая представленные результаты, можно прийти к выводу, что влияние озона на коррозионно-электрохимические свойства различных металлов неоднозначно. Активизируя катодные процессы, газ способствует образованию пассивного слоя на поверхности сплавов, однако иногда это позволяет ослабить коррозионные процессы, а иногда их усилить. Причём озон способен защищать некоторые металлы не только от общей, но и от межкристаллитной коррозии [17].

Исследуемые стали, проявляющие достаточную устойчивость к озону слишком дорогостоящие, чтобы применяться в сельском хозяйстве. Наибольшее распространение при производстве сельскохозяйственных машин и оборудования получили стали марок:

- Сталь 08кп, содержащая около 98% железа и до 0,1% хрома;
- Сталь 45, содержащая около 97% железа и до 0,25% хрома;
- 45Х содержащая около 97% железа и 0,8...1,1% хрома;
- Сталь 60С2, содержащая около 96% железа, 1,5...2,0% кремния, 0,6...0,9% марганца и до 0,3% хрома.

Как показал анализ озоно-стойкости металлов, хром является наиболее доступным легирующим элементом, но его содержание в сталях, применяемых в сельском хозяйстве, слишком мало.

Задача экспериментальных исследований состояла в определении убыли массы металлов на единицу их площади, при их нахождении в 70% растворе уксусной кислоты. При этом данная агрессивная среда выбрана потому, что именно она может образовываться в процессе хранения сельхозпродукции при брожении сахаров в отсутствие кислорода, например в плохо проветриваемых помещениях или при сильно утрамбованной массе растительного происхождения.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели в работе использовались следующие методы: анализ – для получения априорной информации о влиянии озono-воздушной смеси на различные металлы и сплавы; экспериментальные исследования – для получения новых данных о коррозии металлов присутствии озона и агрессивной среде, наиболее характерной для сельского хозяйства.

Для озонирования использовали озонатор ООО "ОЗОН ПРОМ-ТЕХ" (г. Коломна).

Методика проведения эксперимента была следующая. Всего было заготовлено по три образца каждой из марок стали Сталь 08кп, Сталь 45, 45Х, Сталь 60С2. Первый вариант – являлся контрольным и хранился в комнатных условиях. Второй и третий образцы помещали в ёмкость с раствором уксусной кислоты CH₃COOH с концентрацией 70%. Всего было три контакта сплавов с агрессивной средой, каждый из которых составлял 4 часа с перерывами между ними 168 часов. Причём только третий вариант подвергался озонированию при нахождении в растворе уксусной кислоты. Средняя концентрация озона в озono-воздушной смеси подаваемой в раствор уксусной

кислоты составляла 4,88 мг/м³. За 12 часов озонирования доза озонной обработки достигла значения 3515 мг /м³.

Согласно ГОСТ 9.908-85 «Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости» образцы по окончании эксперимента обрабатывались механически. При этом удалялась часть металла, подверженная коррозии. До и после эксперимента образцы взвешивались на электронных весах с точностью 0,01 г. Это позволило определить потерю массы на единицу площади.

Потерю массы на единицу площади металлов рассчитывали по формуле

$$\Delta m = \frac{m_0 - m_1}{S}, \text{ г/см}^2,$$

где m_0 – масса образца до эксперимента, г; m_1 – масса образца после эксперимента и удаления продуктов коррозии, г; S – площадь поверхности образца, см².

Масса образцов до проведения эксперимента представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Масса образцов до проведения эксперимента

Марка стали	Масса, г		
	контрольных образцов при комнатных условиях	образцов до погружения в 70% раствор уксусной кислоты	образцов до озонирования в 70% растворе уксусной кислоты
Сталь 08КП	118,97	67,31	57,21
Сталь 45	39,56	20,20	23,48
45X	72,70	39,47	74,76
Сталь 60С2	132,09	91,01	90,46

Площадь определялась расчетным путем по фактическим размерам образца (табл. 2). Абсолютная погрешность оценивалась в $2,5 \cdot 10^{-3}$ мм².

Таблица 2 – Площади образцов

Марка стали	Площадь, см ²		
	контрольных образцов при комнатных условиях	образцов погруженных в 70% раствор уксусной кислоты	образцов озонируемых в 70% растворе уксусной кислоты
Сталь 08КП	21,36	10,21	12,52
Сталь 45	19,23	10,27	11,73
45X	10,24	6,67	10,24
Сталь 60С2	24,30	16,38	16,90

Площади образцов в ходе экспериментов существенных изменений не имели.

Результаты и их обсуждение. В работе использованы аналитический и сравнительный методы, а также материалы лабораторных экспериментов.

После проведения эксперимента масса образцов снизилась (табл. 3).

Таблица 3 – Масса образцов после проведения эксперимента

Марка стали	Масса, г		
	контрольных образцов при комнатных условиях	образцов погруженных в 70% раствор уксусной кислоты	образцов озонируемых в 70% растворе уксусной кислоты
Сталь 08кп	118,96	66,06	56,91
Сталь 45	39,56	19,11	23,31
45X	72,70	38,97	74,40
Сталь 60С2	132,08	87,13	88,46

У контрольных образцов Сталь 45 и 45X изменения массы были незначительные, поэтому их взвешивали дополнительно с точностью 0,001 г.

Результаты исследований по потерям массы на единицу площади представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Потеря массы на единицу площади

Марка стали	Контрольные образцы при комнатных условиях, г/см ²	Образцы, погруженные в 70% раствор уксусной кислоты, г/см ²	Образцы, озонируемые в 70% растворе уксусной кислоты, г/см ²
Сталь 08кп	0,00047	0,12243	0,02396
Сталь 45	0,00001	0,10613	0,01449
45X	0,00001	0,07496	0,03516
Сталь 60С2	0,00041	0,23687	0,11834

Графическое отображение результатов исследований по потерям массы на единицу площади представлены на рисунке.

Анализ таблицы 4 и рисунка 1 показывает, что при нахождении образцов данных сплавов даже в закрытом помещении при комнатной температуре в течение месяца способствовало протеканию в них коррозионных процессов. Агрессивная среда в виде уксусной кислоты многократно увеличивала коррозию всех исследуемых марок сталей. Наибольшую устойчивость к агрессивной среде показала сталь марки 45X, а наименьшую – Сталь 60С2, которая имеет наименьшее количество железа, что говорит о том, что её прочие составляющие плохо переносят агрессивную среду. Сталь 45 содержит больше углерода и других легирующих элементов, таких как хром и марганец, по сравнению с образцом марки Сталь 08кп, поэтому она меньше подвержена воздействию уксусной кислоты. Однако введение озono-воздушной смеси в 70% растворе уксусной кислоты снижает потерю массы на единицу площади исследуемых сталей в 2...7 раз. Следовательно, атомы металлов, входящих в состав данных сплавов, блокируются озоном, поэтому их электрохимическое растворение в агрессивной среде ослабевает.

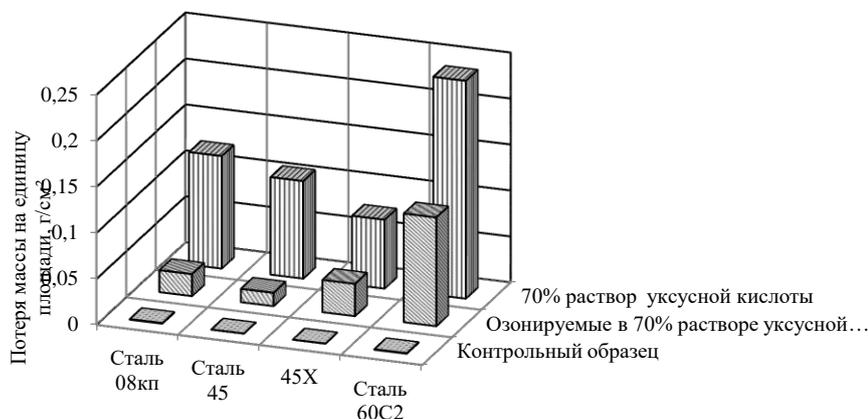


Рисунок 1 – Результаты исследований по потерям массы образцов сталей на единицу площади

Заключение. В большинстве случаев озono-воздушная смесь оказывает пагубное воздействие на металлы и их сварные соединения. Практически у всех сплавов, за исключением дорогостоящих, увеличивается скорость коррозии. В результате эксперимента установлено, что введение озона в уксусной кислоты снижает потерю массы на единицу площади сталей марок Сталь 08кп, Сталь 45, 45X, Сталь 60С2 в 2...7 раз. Это говорит о том, что озон блокирует атомы металлов и предотвращает воздействие агрессивной среды. Для получения данного эффекта необходимо осуществлять тщательный подбор металлов, работающих в присутствии озона, и проводить соответствующие научные исследования.

Список источников

1. Влияние предпосевного озонирования семян на урожайность сельскохозяйственных культур / И.В. Баскаков, В.И. Оробинский, А.М. Гиевский, А.В. Чернышов, А.П. Тарасенко // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т.12, № 4 (63). С. 13-20. (DOI:10.17238/issn2071-2243.2019.4.13)
2. Modes of treating pre-sowing grain seeds with ozone / I.V. Baskakov, V.I. Orobinsky, A.M. Gievsky, A.V. Chernyshov, V.A. Gulevsky // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on World Technological Trends in Agribusiness (Russia, Omsk, 29-30 March, 2021). IOP Publishing Ltd, 2022. Vol. 954. №012009. 5 p. (DOI: 10.1088/1755-1315/954/1/012009)
3. Влияние процесса озонирования на эффективность сушки зерна кукурузы / И.В. Баскаков, В.И. Оробинский, А.М. Гиевский, А.В. Чернышов, Т.Н. Тертычная // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2018. Т.11, №4 (59). С. 127-133. (DOI: 10.17238/issn2071-2243.2018.4.127)
4. Studies of the ozonation process when drying grain / I.V. Baskakov, V.I. Orobinsky, V.A. Gulevsky, A.M. Gievsky, A.V. Chernyshov // IOP Conference Series. 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming (Russia, Voronezh, October 17-18, 2019). IOP Publishing Ltd, 2020. Vol. 422. №. 012009. 9 p. (DOI: 10.1088/1755-1315/422/1/012009)
5. Grain disinfection with ozone-air mixture / I.V. Baskakov, V.I. Orobinsky, A.M. Gievsky, V.A. Gulevsky, A.V. Chernyshov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Environmental Problems of Food Security: International Scientific and Practical Conference (Russia, Voronezh, 21-22 February, 2022). IOP Publishing Ltd, 2022. Vol. 1043. №012037. 5p. (DOI: 10.1088/1755-1315/1043/1/012037)
6. Influence of ozonation in seed storage on corn grain yield and its quality / I.V. Baskakov, V.I. Orobinsky, V.A. Gulevsky, A.M. Gievsky, A.V. Chernyshov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Russian Conference on Technological Solutions and Instrumentation for Agribusiness (TSIA-2019) (Russia, Stavropol, October 21-22, 2019). IOP Publishing Ltd, 2020. Vol. 488. №. 012007. 6 p. (DOI: 10.1088/1755-1315/488/1/012007)
7. Татарченко Г.О., Черкас К.В., Кузюков А.Н. Коррозионно-электрохимическое поведение никеля в озонируемых растворах серной кислоты // Физико-химическая механика материалов. 2002. Т.38, Вып. 1. С. 98-100.
8. Татарченко Г.О., Черкас К.В., Павлова М.В. О пассивации хрома в озонируемых растворах серной кислоты // Физико-химическая механика материалов. 2001. Вып. 2. С. 97-102.
9. Макарова Ж.Г. Влияние процессов озонирования на коррозионно-электрохимическое поведение титана в кислых средах // Вісник Східноукраїнського державного університету. 1999. № 4(20). С. 96-98.
10. Самойлова Ж.Г. Влияние озона на коррозионно-электрохимическое поведение титана и его сплавов с алюминием в кислых средах: дис... канд. техн. наук: 05.17.14. Северодонецк, 2004. 146 с.
11. Черкас К.В., Татарченко Г.О. Влияние озона на катодное и анодное поведение железа и кобальта в сернокислых растворах. – Текст: электронный // PANDIA: Интернет-портал. – URL: <https://pandia.ru/text/80/565/424.php?ysclid=l8sz0jqu8i548476200> (Дата обращения: 30.09.2023).
12. Черкас К.В. Поведение молибдена в озонируемых растворах серной кислоты // Физико-химическая механика материалов. 2002. Вып. №3. С.148-153.
13. Жуков И.А., Баскаков И.В., Оробинский В.И. Исследование влияния процесса озонирования на коррозию металлов // Актуальные направления научных исследований для эффективного развития АПК: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Россия, Воронеж, 17 марта 2023 г.). Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2023. С. 28-37.
14. Влияние озона на коррозионное поведение сталей 12X18H10T, 08X22H10T, 06XH28MДТ в процессах синтеза азодикарбоновых кислот / Н.Ф. Тюпало, Г.О. Татарченко, Б.А. Гру, В.С. Кузуб // Журнал прикладной химии. 1991. №5. С.1085-1087.
15. Татарченко Г.О. Влияние озона на коррозионно-электрохимическое поведение сталей в процессах органического синтеза: дис... канд. техн. наук: 05.17.14. М., 1993. 157 с.
16. Татарченко Г.О. Коррозионное поведение сварных соединений в озонируемых кислых средах // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. Т.1. № 5. С. 45-48.

17. Татарченко Г.О., Кузюков А.Н. Влияние озона на электрохимическое и коррозионное поведение металлов в кислых средах // Защита металлов. 2004. Т.40, №1. С. 106-108.

18. Татарченко Г.О., Шаповалова И.Н., Тюпало Н.Ф. Подбор коррозионностойких конструкционных материалов в озонируемых растворах уксусной кислоты // Физико-химическая механика материалов. 2002. Вып. 3. С. 143-147.

19. Татарченко Г.О., Шаповалова И.Н. Влияние озона на коррозию сталей в процессах окисления пиридинол // Защита металлов. 2005. №5. С. 515-519.

References

1. The influence of pre-sowing ozonation of seeds on the yield of agricultural crops / I.V. Baskakov, V.I. Orobinsky, A.M. Gievsky, A.V. Chernyshov, A.P. Tarasenko // Vestnik of the Voronezh State Agrarian University. 2019. T.12, No. 4 (63). pp. 13-20. (DOI:10.17238/issn2071-2243.2019.4.13)

2. Modes of treating pre-sowing grain seeds with ozone / I.V. Baskakov, V.I. Orobinsky, A.M. Gievsky, A.V. Chernyshov, V.A. Gulevsky // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on World Technological Trends in Agribusiness (Russia, Omsk, 29-30 March, 2021). IOP Publishing Ltd, 2022. Vol. 954. №012009. 5 p. (DOI: 10.1088/1755-1315/954/1/012009)

3. The influence of the ozonation process on the efficiency of drying corn grain / I.V. Baskakov, V.I. Orobinsky, A.M. Gievsky, A.V. Chernyshov, T.N. Tertychnaya // Vestnik of the Voronezh State Agrarian University. 2018. T.11, No. 4 (59). pp. 127-133. (DOI: 10.17238/issn2071-2243.2018.4.127)

4. Studies of the ozonation process when drying grain / I.V. Baskakov, V.I. Orobinsky, V.A. Gulevsky, A.M. Gievsky, A.V. Chernyshov // IOP Conference Series. 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming (Russia, Voronezh, October 17-18, 2019). IOP Publishing Ltd, 2020. Vol. 422. № 012009. 9 p. (DOI: 10.1088/1755-1315/422/1/012009)

5. Grain disinfection with ozone-air mixture / I.V. Baskakov, V.I. Orobinsky, A.M. Gievsky, V.A. Gulevsky, A.V. Chernyshov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Environmental Problems of Food Security: International Scientific and Practical Conference (Russia, Voronezh, 21-22 February, 2022). IOP Publishing Ltd, 2022. Vol. 1043. №012037. 5p. (DOI: 10.1088/1755-1315/1043/1/012037)

6. Influence of ozonation in seed storage on corn grain yield and its quality / I.V. Baskakov, V.I. Orobinsky, V.A. Gulevsky, A.M. Gievsky, A.V. Chernyshov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Russian Conference on Technological Solutions and Instrumentation for Agribusiness (TSIA-2019) (Russia, Stavropol, October 21-22, 2019). IOP Publishing Ltd, 2020. Vol. 488. №. 012007. 6 p. (DOI: 10.1088/1755-1315/488/1/012007)

7. Tatarchenko G.O., Cherkass K.V., Kuzyukov A.N. Corrosion-electrochemical behavior of nickel in ozonized solutions of sulfuric acid // Physico-chemical mechanics of materials. 2002. T.38, Issue. 1. pp. 98-100.

8. Tatarchenko G.O., Cherkass K.V., Pavlova M.V. On the passivation of chromium in ozonized sulfuric acid solutions // Physico-chemical mechanics of materials. 2001. Issue. 2. pp. 97-102.

9. Makarova Zh.G. The influence of ozonation processes on the corrosion-electrochemical behavior of titanium in acidic environments // News of the Ukrainian State University. 1999. No. 4(20). pp. 96-98.

10. Samoilova Zh.G. The influence of ozone on the corrosion-electrochemical behavior of titanium and its alloys with aluminum in acidic environments: dis... cand. tech. Sciences: 05.17.14. Severodonetsk, 2004. 146 p.

11. Cherkas K.V., Tatarchenko G.O. The influence of ozone on the cathodic and anodic behavior of iron and cobalt in sulfuric acid solutions. – Text: electronic // PANDIA: Internet portal. – URL: <https://pandia.ru/text/80/565/424.php?ysclid=l8sz0jqu8i548476200> (Date of access: 09/30/2023).

12. Cherkas K.V. Behavior of molybdenum in ozonized solutions of sulfuric acid // Physico-chemical mechanics of materials. 2002. Issue. No. 3. P.148-153.

13. Zhukov I.A., Baskakov I.V., Orobinsky V.I. Study of the influence of the ozonation process on the corrosion of metals // Current directions of scientific research for the effective development of the agro-industrial complex: materials of the international. scientific-practical conf. (Russia, Voronezh, March 17, 2023). Voronezh: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Voronezh State Agrarian University, 2023. pp. 28-37.

14. The influence of ozone on the corrosion behavior of steels 12X18H10T, 08X22H10T, 06XH28MДТ in the processes of synthesis of azole dicarboxylic acids / N.F. Tyupalo, G.O. Tatarchenko, B.A. Gru, V.S. Kuzub // Journal of Applied Chemistry. 1991. No. 5. P.1085-1087.

15. Tatarchenko G.O. The influence of ozone on the corrosion-electrochemical behavior of steels in organic synthesis processes: dis... cand. tech. Sciences: 05.17.14. M., 1993. 157 p.

16. Татарченко Г.О. Коррозионное поведение сварных соединений в озонируемых кислых средах // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. Т.1. № 5. С. 45-48.

17. Tatarchenko G.O., Kuzyukov A.N. The influence of ozone on the electrochemical and corrosion behavior of metals in acidic environments // Protection of metals. 2004. T40, No. 1. pp. 106-108.

18. Tatarchenko G.O., Shapovalova I.N., Tyupalo N.F. Selection of corrosion-resistant structural materials in ozonized solutions of acetic acid // Physico-chemical mechanics of materials. 2002. Issue. 3. pp. 143-147.

19. Tatarchenko G.O., Shapovalova I.N. The influence of ozone on the corrosion of steels in the oxidation of pyridines // Protection of Metals. 2005. No. 5. pp. 515-519.

Информация об авторах

И. В. Баскаков – доктор сельскохозяйственных наук, доцент; В.И. Оробинский – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; А.В. Химченко – кандидат технических наук, доцент; А.В. Чернышов – кандидат технических наук, доцент, О.В. Чернова – соискатель.

Information about the authors

I. Baskakov – Full Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor; V. Orobinsky – Full Doctor of Agricultural Sciences, Professor; A. Himchenko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; A. Chernyshov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, O.V. Chernova – the applicant.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 09.03.2024 Принята к публикации (Accepted): 14.04.2024