

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СОДЕРЖАНИЕ НИТРАТНОГО АЗОТА В ПОЛИВНОЙ ВОДЕ

Белов А.А., Васильев А.Н., Степанычев Ю.А., Шарко А.А.

Реферат. Внесение минеральных удобрений оказывает негативное влияние на агробиоценоз. Повышение концентрации нитратного азота в поливной воде в целях использования ее в качестве азотного удобрения, не оказывающего отрицательного воздействия на окружающую среду, представляется актуальным. Изменение содержания нитратного азота определяли в поливной воде, в качестве которой использовали проточную воду городского водоснабжения (Москва); прудовую воду (Московская область); раствор калиевой селитры с концентрацией 50,9 мг/л. Поливная вода трех видов обрабатывалась при помощи высоковольтной установки. Экспериментальная электрогидравлическая установка состояла из трансформатора ТВИ-50/70 с выпрямительным блоком; системы накопления электрической энергии постоянного тока (импульсные высоковольтные конденсаторы); разрядников, предназначенных для формирования импульсных искровых разрядов с малой длительностью фронта; органов управления, позволяющих изменять технологические режимы при проведении экспериментов; рабочие органы. При проведении исследований использовали рН-метр/иономер ИТАН, согласно методике РД 52.24.367-2010. Технологический режим работы электрогидравлической установки предусматривает следующие характеристики: рабочее напряжение 42 кВ; емкость конденсаторов 0,05 мкФ; количество искровых разрядов $n=1...5$ тыс. шт.; формирующий промежуток между шаровыми разрядниками $\Phi П=14$ мм; рабочий промежуток между рабочими высоковольтными электродами 10 мм. Электрогидравлическая обработка воды увеличивает концентрацию соединений нитратного азота в проточной воде городского водоснабжения в 3,7 раза (с 2,9 до 10,9 мг/л), в прудовой воде – в 7 раз (с 1,2 до 8,4 мг/л), в растворе калиевой селитры – в 1,3 раза (с 50,9 до 68,4 мг/л). В обработанной электрогидравлическим способом воде повышается содержание нитратного азота, что расширяет возможности для ее использования при поливе растений.

Ключевые слова: высоковольтные конденсаторы, искровые разряды, нитрат-ионы, растениеводство, удобрения, эвтрофикация, электрогидравлическая установка.

Введение. Рост и развитие растений напрямую зависит от содержания питательных веществ в почве или почвенном субстрате. Поэтому для повышения урожайности необходимо применять удобрения.

Коэффициент полезного использования вносимых азотных удобрений овощами не превышает 50 %. Поэтому существует проблема вымывания его соединений в близлежащие водоемы из-за чего может происходить интенсивная эвтрофикация прудов, озер, рек, которая характеризуется чрезмерным ростом зеленой массы водорослей и фитопланктона. Это может иметь негативные последствия для источников питьевой воды, среды обитания рыб. Экономический урон от эвтрофикации в Соединенных Штатах составляет примерно 2,2 млрд долл. США в год [1].

Для повышения экологичности оптимизации условий минерального питания растений разработаны менее вредные для окружающей среды органические удобрения [2, 3].

Кроме того, большое количество отходов, хранение которых также наносит вред окружающей среде, образуется в результате работы предприятий по производству минеральных удобрений [4].

Электрогидравлическая обработка почвы положительным образом сказывается на выращиваемых растениях. В результате ее проведения возрастает способность почвы или почвенного субстрата удовлетворять потребности растений в необходимых питательных веществах в достаточном количестве [5]. В качестве объекта электрогидравлического воздей-

ствия может также использоваться поливная вода.

Цель исследований – изучение возможных способов повышения концентрации нитратного азота в поливной воде для потенциального использования в качестве азотного удобрения.

Условия, материалы и методы исследований. Работу проводили в 2020 г. в лаборатории Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (г. Москва) с использованием экспериментальной электрогидравлической установки, в состав которой входит трансформатор ТВИ-50/70 с выпрямительным блоком [6]; система накопления электрической энергии постоянного тока (импульсные высоковольтные конденсаторы) [7]; разрядники, предназначенные для формирования импульсных искровых разрядов с малой длительностью фронта [8]; органы управления, позволяющие изменять технологические режимы при проведении экспериментов; рабочие органы; высоковольтный электрод (стержень); низковольтный электрод (диск) [9, 10].

Изменение содержания нитратного азота определяли в поливной воде, в качестве которой использовали проточную воду городского водоснабжения (Москва); прудовую воду (Московская область); раствор калиевой селитры с концентрацией 50,9 мг/л.

Образцы подвергали электрогидравлическому воздействию высоковольтных искровых разрядов при следующих технологических режимах работы установки: рабочее напряжение $U = 42$ кВ; емкость конденсаторов $C = 0,05$ мкФ; количество искровых разрядов

Таблица – Результаты измерения концентрации нитрат-ионов после электрогидравлической обработки, моль/дм³

Наименование	K _{ср}	Количество искровых разрядов, шт.				
		1 тыс.	2 тыс.	3 тыс.	4 тыс.	5 тыс.
Проточная вода	3,67	3,51	3,39	3,32	3,20	3,11
Прудовая вода	4,01	3,62	3,45	3,34	3,27	3,22
Раствор калиевой селитры	2,44	2,41	2,38	2,35	2,31	2,28

K_{ср} – контрольный образец без обработки

n = 1...5 тыс. шт.; формирующий промежуток между шаровыми разрядниками ФП=14 мм; рабочий промежуток между высоковольтными электродами РП=10 мм.

Объем воды, помещаемый в рабочий орган установки – 2,5 л. Продолжительность электрогидравлического воздействия для количества искровых разрядов n=1 тыс. шт. составляла 9...10 мин, n=2 тыс. шт. – 16...17 мин, n=3 тыс. шт. – 25...26 мин, n=4 тыс. шт. – 3...34 мин, n=5 тыс. шт. – 45...50 мин.

Температуру объектов исследования измеряли термодатчиком иономером. У контрольных образцов воды и раствора калиевой селитры она составляла 15...16 °С, у экспериментальных по мере увеличения количества разрядов с 1 тыс. шт. до 5 тыс. шт. – возрастала до 18...24 °С соответственно. Процесс электрогидравлической обработки воды всегда сопровождается незначительным повышением температуры ее, что не оказывает влияния на достоверность исследования.

Концентрацию нитрат-ионов определяли непосредственно после электрогидравлической обработки рН-метром/иономером ИТАН в соответствии с методикой РД 52.24.367-2010 [11] в трехкратной повторности.

Измерения проводили в присутствии ин-

дифферентного электролита, который выступал в качестве буферного раствора, сохраняющего установленное значение ионной энергии в опытных пробах воды. Эта особенность допускает градуировку измерительного средства в единицах концентрации, а не активности нитрат-ионов. Содержание нитратного азота в образцах воды определяли вычислением градуировочной зависимости величины электродного потенциала от значения отрицательного логарифма активности нитрат-ионов [12].

Анализ и обсуждение результатов исследований. Обработка искровыми разрядами приводила к снижению концентрации нитрат-ионов. Наименьшей она была зафиксирована в растворе калиевой селитры, наибольшей – в проточной воде (см. табл.).

Для исключения неточностей и подтверждения достоверности результатов эксперименты по количественному измерению содержания нитратного азота повторяли при одинаковых технологических условиях и режимах в течение пяти дней. Погрешность измерений не превышала 5 %. Концентрация нитрат-ионов и нитратного азота в воде обратно пропорциональны, снижение содержания нитрат-ионов привело к повышению количества нитратного азота (см. рисунок). В результате при увеличе-

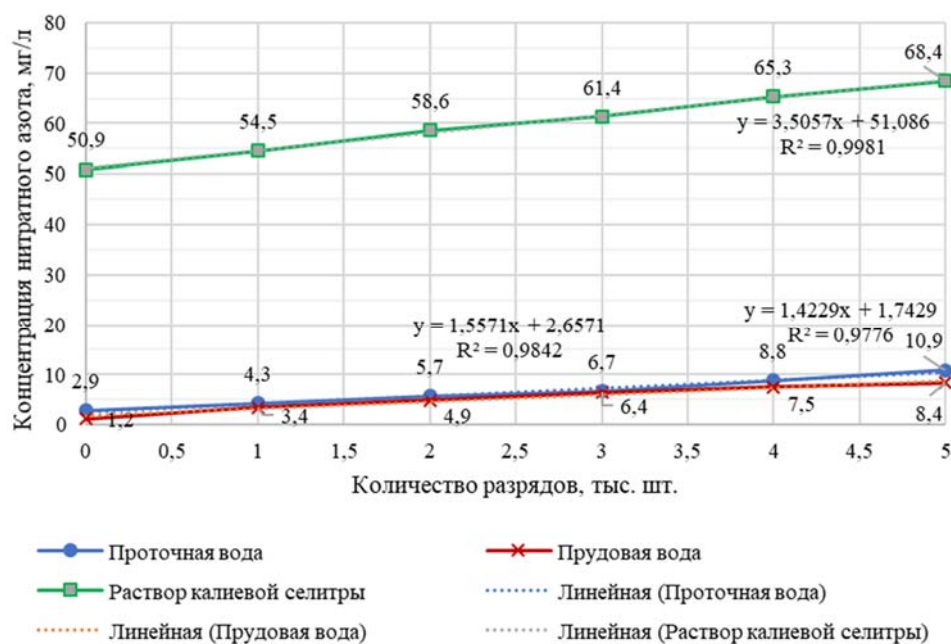


Рисунок – Зависимость концентрации нитратного азота от количества искровых разрядов

нии числа искровых высоковольтных разрядов, генерируемых в воде, концентрация нитратного азота в абсолютных единицах в проточной воде городского водоснабжения увеличивалась с 2,9 до 10,9 мг/л, в прудовой воде – с 1,2 до 8,4 мг/л, в растворе калиевой селитры – с 50,9 до 68,4 мг/л, или в 3,7, 7,0 и 1,3 раза.

Выводы. Обработку поливной воды электрогидравлическим методом можно считать одним из способов повышения концентрации нитратного азота. В проточной водопроводной воде она возрастала в 3,7 раз (с 2,9 до 10,9 мг/л), в прудовой – в 7 раз (с 1,2 до 8,4 мг/л), в растворе калиевой селитры – в 1,3 раза (с 50,9 до 68,4 мг/л).

Литература

1. Eutrophication of U.S. Freshwaters: Analysis of Potential Economic Damages / W. K. Dodds, W. W. Bouska, J. L. Eitzmann, et al. // *Environ. Sci. Technol.* 2009. 43 (1). P. 12-19. doi: 10.1021/es801217q.
2. Partial substitution of chemical fertilizer with organic amendments affects soil organic carbon composition and stability in a greenhouse vegetable production system / H. Luan, W. Gao, S. Huang, et al. // *Soil and Tillage Research*. 2019. Vol. 191. P. 185-196. doi: 10.1016/j.still.2019.04.009.
3. Organic and inorganic fertilizers respectively drive bacterial and fungal community compositions in a fluvo-aquic soil in northern China / H. Pan, M. Chen, H. Feng, et al. // *Soil and Tillage Research*. 2020. Vol. 198. 104540. doi: 10.1016/j.still.2019.104540.
4. Власян С.В., Шестозуб А.Б., Волошин Н.Д. Получение азотного удобрения на основе отхода производства кальциевой селитры // *Технические науки - от теории к практике*. 2013. № 17-2. С. 27-32.
5. Electrotechnology as one of the most advanced branches in the agricultural production development / V.I. Baev, I.V. Yudaev, V.A. Petrukhin, et al. // *Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development Ser. «Advances in Environmental Engineering and Green Technologies»* Hershey, Pennsylvania. 2018. С. 149-175.
6. Мусенко А.А., Степанычев Ю.А. Моделирование электрогидравлической установки для обработки воды // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019. № 3 (32). С. 313-318.
7. СВЧ-установка для обеззараживания зерна и продуктов его переработки / А.А. Белов, В.Ф. Сторчевой, М.В. Белова и др. // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2014. № 6. С. 101-107.
8. Energy-saving system development based on heat pump / A.N. Vasiliev, I.G. Ershova, A.A. Belov, et al. // *Amazonia Investiga*. 2018. Vol. 7. No. 17. P. 219-227.
9. Белопухов С.Л., Дмитриевская И.И., Сторчевой В.Ф. Портативный озонатор «Трифон» для предприятия АПК // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2016. № 1. С. 30-32.
10. Модульная установка для обработки зерна / А.Н. Васильев, Д.А. Будников, А.А. Васильев и др. // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2014. № 5. С. 27-30.
11. Optimization of microclimate parameters inside livestock buildings / G. N. Samarin, A. N. Vasilyev, A. A. Zhukov, et al. // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. Vol. 866. P. 337-345.
12. Innovations in technologies of agricultural raw materials processing / M.V. Belova, G.V. Novikova, O.V. Mikhailova, et al. // *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2016. Vol. 11. No. 6. P. 1269-1277.

Сведения об авторах:

Белов Александр Анатольевич – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории электрофизического воздействия на сельскохозяйственные объекты и материалы, e-mail: belalexan85@gmail.com
 Васильев Алексей Николаевич – доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории электрофизического воздействия на сельскохозяйственные объекты и материалы, e-mail: vasiliev-viesh@inbox.ru
 Степанычев Юрий Алексеевич – инженер лаборатории электрофизического воздействия на сельскохозяйственные объекты и материалы, e-mail: monista.qq@gmail.com
 Шарко Антон Александрович – инженер лаборатории электрофизического воздействия на сельскохозяйственные объекты и материалы, e-mail: asharlol212@gmail.com
 Федеральный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия

EFFECT OF ELECTROHYDRAULIC TREATMENT ON NITRATE NITROGEN CONTENT IN IRRIGATION WATER

Belov A.A., Vasiliev A.N., Stepanychev Yu. A., Sharko A.A.

Abstract. The introduction of mineral fertilizers has a negative impact on the agrobiocenosis. An increase the concentration of nitrate nitrogen in irrigation water in order to use it as a nitrogen fertilizer that does not have a negative impact on the environment seems relevant. The change in the content of nitrate nitrogen was determined in irrigation water, which was used as the flowing water of the city water supply (Moscow); pond water (Moscow region); potassium nitrate solution with a concentration of 50.9 mg/l. Three types of irrigation water were processed using a high-voltage installation. The experimental electrohydraulic installation consisted of a TVI-50/70 transformer with a rectifier unit; DC electric energy storage systems (high-voltage pulse capacitors); arresters designed to generate pulsed spark discharges with a short rise time; controls that allow changing technological modes during experiments; working units. During the research, an ITAN pH meter/ionometer was used according to the RD 52.24.367-2010 method. The technological mode of operation of the electro-hydraulic unit provides for the following characteristics: operating voltage 42 kV; capacitance of capacitors 0.05 µF; number of spark discharges n = 1 ... 5 thousand pieces; forming the gap between the ball arresters FP = 14 mm; working gap between working high-voltage electrodes 10 mm. Electrohydraulic treatment of water increases the concentration of nitrate nitrogen compounds in the running water of city water supply by 3.7 times (from 2.9 to 10.9 mg/l), in pond water - by 7 times (from 1.2 to 8.4 mg/l), in a solution of potassium nitrate - 1.3 times (from 50.9 to 68.4 mg/l). In water treated electrohydraulically, the content of nitrate nitrogen increases, which expands the possibilities for its use when watering plants.

Key words: high-voltage capacitors, spark discharges, nitrate ions, crop production, fertilizers, eutrophication, electrohydraulic installation.

References

1. Eutrophication of U.S. Freshwaters: Analysis of Potential Economic Damages / W. K. Dodds, W. W. Bouska, J. L. Eitzmann, et al. // *Environ. Sci. Technol.* 2009. 43 (1). P. 12-19. doi: 10.1021/es801217q.
2. Partial substitution of chemical fertilizer with organic amendments affects soil organic carbon composition and stability in a greenhouse vegetable production system / H. Luan, W. Gao, S. Huang, et al. // *Soil and Tillage Research.* 2019. Vol. 191. P. 185-196. doi: 10.1016/j.still.2019.04.009.
3. Organic and inorganic fertilizers respectively drive bacterial and fungal community compositions in a fluvo-aquic soil in northern China / H. Pan, M. Chen, H. Feng, et al. // *Soil and Tillage Research.* 2020. Vol. 198. 104540. doi: 10.1016/j.still.2019.104540.
4. Vlasyan S.V., Shestozub A.B., Voloshin N.D. Obtaining nitrogen fertilizer on the basis of calcium nitrate production waste. [Poluchenie azotnogo udobreniya na osnove otkhoda proizvodstva kaltsievoy selitry]. // *Tekhnicheskie nauki - ot teorii k praktike. - Technical sciences - from theory to practice.* 2013. № 17-2. P. 27-32.
5. Electrotechnology as one of the most advanced branches in the agricultural production development. / V.I. Baev, I.V. Yudaev, V.A. Petrukhin and others. // *Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development* Cep. "Advances in Environmental Engineering and Green Technologies". Hershey, Pennsylvania. 2018. P. 149-175.
6. Musenko A.A., Stepanychev Yu.A. Modeling an electro-hydraulic plant for water treatment. [Modelirovanie elektrogidravlicheskoj ustanovki dlya obrabotki vody]. // *Innovations in agriculture. - Innovatsii v selskom khozyaystve.* 2019. No. 3 (32). P. 313-318.
7. SVCh-ustanovka dlya obezrazhivaniya zerna i produktov ego pererabotki. [Microwave installation for disinfection of grain and products of its processing]. / A.A. Belov, V.F. Storcheva, M.V. Belova and others // *Izvestiya Timiryazevskoy selskokhozyaystvennoy akademii. - The Herald of Timiryazev Agricultural Academy.* 2014. No. 6. P. 101-107.
8. Energy-saving system development based on heat pump. / A.N. Vasilev, I.G. Ershova, A.A. Belov and others. // *Amazonia Investiga.* 2018. Vol. 7. No. 17. P. 219-227.
9. Belopukhov S.L., Dmitrevskaya I.I., Storchev V.F. Portable ozonator "Trifon" for agricultural enterprises. [Portativnyy ozonator "Trifon" dlya predpriyatij APK]. // *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva. - Mechanization and electrification of agriculture.* 2016. № 1. P. 30-32.
10. Modular installation for grain processing. [Modulnaya ustanovka dlya obrabotki zerna]. / A.N. Vasilev, D.A. Budnikov, A.A. Vasilev and others. // *Selskokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. - Agricultural machines and technologies.* 2014. № 5. P. 27-30.
11. Optimization of microclimate parameters inside livestock buildings. / G.N. Samarin, A.N. Vasilev, A.A. Zhukov and others. // *Advances in Intelligent Systems and Computing.* 2019. Vol. 866. P. 337-345.
12. Innovations in technologies of agricultural raw materials processing. / M.V. Belova, G.V. Novikova, O.V. Mikhailova and others. // *Journal of Engineering and Applied Sciences.* 2016. Vol. 11. No. 6. P. 1269-1277.

Authors:

Belov Aleksandr Anatolevich - Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher at the Laboratory of Electrophysical Impact on Agricultural Objects and Materials, e-mail: belalexan85@gmail.com
 Vasiliev Aleksey Nikolaevich - Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher of the Laboratory of Electrophysical Impact on Agricultural Objects and Materials, e-mail: vasilev-viesh@inbox.ru
 Stepanychev Yuri Alekseevich - engineer of the Laboratory of Electrophysical Impact on Agricultural Objects and Materials, e-mail: monista.qq@gmail.com
 Sharko Anton Aleksandrovich - engineer of the Laboratory of Electrophysical Impact on Agricultural Objects and Materials, e-mail: asharlol212@gmail.com
 Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Agroengineering Center VIM", Moscow, Russia