

С. Я. Семененко, М. Н. Лытов, А. Н. Чушкин, Е. И. Чушкина

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Волгоград, Российская Федерация

К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ВЫБОРА МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО УЗЛА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ВОДОПОДГОТОВКИ В СИСТЕМЕ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ

Целью настоящего исследования является разработка методических подходов к решению задачи выбора местоположения комплекса электрохимической обработки оросительной воды и водных растворов минеральных удобрений в составе системы капельного орошения. Объектом исследований являются конструкции систем капельного орошения с функцией электрохимической водоподготовки. Предмет исследований – методические аспекты проектирования систем капельного орошения с функцией электрохимической водоподготовки в части обоснования места расположения узла врезки комплекса электрохимической обработки воды. Основное концептуальное положение исследований состоит в необходимости обеспечения возможности реализации технологического процесса орошения при совокупном использовании для полива сельскохозяйственных культур на обслуживаемых поливных модулях природной и электрохимически обработанной оросительной воды. Для решения поставленной задачи разработана специализированная система параметризации линейных координат, согласованная с известными практиками классификации и структурно-функциональными моделями современных систем капельного орошения. Предложенная система параметризации линейных координат позволяет идентифицировать местоположение узла врезки комплекса электрохимической водоподготовки, обеспечивает возможность преобразования координат с центрированием относительно текущего (расчетного для данного цикла итерации) местоположения узла электрохимической водоподготовки, позволяет верифицировать структуру той части системы капельного орошения, которая расположена после узла врезки комплекса электрохимической водоподготовки. Разработанный алгоритм использует предложенную систему параметризации координат для идентификации и составления перечня поливных модулей, обслуживаемых узлом электрохимической водоподготовки, позволяет составлять графики полива электрохимически обработанной и природной оросительной водой, оценивать вероятность перекрытия графиков, решать оптимизационную задачу. Предложены критерии для обоснования возможности установки узла электрохимической водоподготовки в рассматриваемом сегменте системы капельного орошения.

Ключевые слова: капельное орошение, система, модуль электрохимической водоподготовки, узел врезки, алгоритм.

S. Ya. Semenenko, M. N. Lytov, A. N. Chushkin, E. I. Chushkina

Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russian Federation

ON PROBLEM SOLVING OF LOCATION OF THE FUNCTIONAL UNIT OF ELECTROCHEMICAL WATER TREATMENT IN DRIP IRRIGATION SYSTEM

The aim of this research is the development of methodological approaches to solving the problem of choosing the location of electrochemical treatment complex of irrigation water and aqueous solutions of mineral fertilizers as a part of drip irrigation system. The object of the research is the design of drip irrigation systems with the electrochemical water treatment function. The subject of the research is the methodological aspects of drip irrigation systems design with the electrochemical water treatment function in regard to substantiation of the location of the tie-in section of electrochemical water treatment complex. The main conceptual statement of the research is the necessity to ensure the possibility of implementing the irrigation technological process with the cumulative use of natural and electrochemically treated irrigation water for irrigation crops on the irrigated modules. To solve this problem a specialized system for parametrizing linear coordinates coordinated with well-known classification practices and structural-functional models of modern drip irrigation systems has been developed. The proposed system of parametrization of linear coordinates allows identification of the location of the tie-in section of electrochemical water treatment complex, provides the ability to convert coordinates with centralization of relative to the current (calculated for a given iteration cycle) location of the electrochemical water treatment unit, allows to verify the structure of that part of the drip irrigation system located behind the unit tie-in electrochemical water treatment system. The developed algorithm uses the proposed coordinate parameterization system to identify and compile a list of irrigation modules served by an electrochemical water treatment unit, allows working out irrigation schedules with electrochemically treated and natural irrigation water, estimating the probability of overlapping schedules, solving an optimization problem. Criteria for substantiation the possibility of installing an electrochemical water treatment unit in the considered segment of the drip irrigation system are proposed.

Keywords: drip irrigation, system, module electrochemical water treatment module, tie-in section, algorithm.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Волгоградской области, проект «Теория и методы проектирования технических систем стационарного орошения с ЭХО-модулем на основе компьютерного моделирования параметров состояния слабых растворов с электрохимически инициированными редокс-процессами» № 18-48-340009.

Использование воды с электрохимически инициированными редокс-процессами при производстве растениеводческой продукции является новым, перспективным научным направлением, привлекающим самое активное внимание ученых в России и мире [1–5]. Вода, а также некоторые приготовленные на водной основе слабые растворы, прошедшие электрохимическую обработку, позволяют эффективно подавлять развитие патогенной микрофлоры растений, контролировать численность и распространение вредителей, регулировать обменные процессы на уровне клетки, создавать условия для управляемой инициации деления клетки и стимуляции роста растений [1, 6–8]. Сегодня разработаны и апробированы технологии санации посевного материала, зерновых, овощных культур и картофеля, обес-

печивающие получение обеззараженных семян без применения ядохимикатов [3, 4, 9, 10]. Разработаны и подтвердили эффективность технологии некорневых подкормок вегетирующих посевов, обеспечивающие почти двойную синергию по использованию питательных веществ и стимуляции физиологической активности растений [11, 12]. Сегодня приоритетным направлением развития технологий является освоение возможностей использования стационарных систем орошения и применения воды с электрохимически инициированными редокс-процессами для полива, фертигации или обработки вегетативной части растений.

Конструкции систем стационарного орошения уже прошли определенный этап развития, однако внимание в основном уделялось совершенствованию технических средств электрохимической обработки воды; разработаны энергоэффективные электролизеры проточного типа, позволяющие решать задачу на первом этапе [13–15]. Нами было впервые обращено внимание на необходимость системного решения проблемы, учета всего комплекса факторов и актуальных задач, объективно важных при проектировании стационарных систем орошения с функцией электрохимической водоподготовки [16]. Проблема многофакторная, требует системного учета динамики релаксационных процессов и изменения параметров электрохимически инициированного сдвига в процессе транспортировки обработанной воды к водовыпускам. Это связано с необходимостью разработки специальных методических подходов к проектированию поливных модулей системы, выбору технических параметров электролизера, настройке оптимальных режимов его работы, в т. ч. по производительности и величине электрохимически инициированного сдвига обработанной воды, выбору места расположения узла электрохимической водоподготовки. Целью настоящего исследования является разработка методических подходов к решению задачи выбора местоположения функционального узла электрохимической водоподготовки в системе капельного орошения.

Материалы и методы. В отличие от варианта с территориально объединенной схемой водоподготовки, в котором установка ступени электрохимической обработки воды выполняется централизованно, вариант с территориально разнесенной схемой водоподготовки предполагает возможность установки узла электрохимической водоподготовки в любом месте системы [17]. Однако следует учитывать ряд ограничений и факторов технологического плана, оказывающих непосредственное влияние на выбор места установки узла электрохимической водоподготовки. Кроме того, важно оценить допустимость установки узла электрохимической водоподготовки по централизованной схеме.

Укрупненная структура, включающая совокупность этих факторов, представлена следующими комплексными пунктами:

- возможность согласованной подачи электрохимически обработанной и не прошедшей электрохимическую подготовку воды дифференцированно и по совокупности поливных модулей в соответствии с агротехническими требованиями орошаемых сельскохозяйственных культур;

- возможность согласованного использования растворов минеральных удобрений, стимуляторов роста и других агрохимикатов, приготовленных на основе электрохимически обработанной воды и природной оросительной воды, не прошедшей электрохимическую подготовку, дифференцированно и по совокупности поливных модулей в соответствии с агротехническими требованиями орошаемых сельскохозяйственных культур;

- соблюдение агротехнических требований по величине электрохимически обусловленного сдвига окислительно-восстановительного потенциала электрохимически обработанной воды или приготовленных на ее основе растворов.

Совокупный учет этих требований положен в основу методологии исследований. Другими методологическими подходами исследований стали известные законы и соотношения линейного пространства, теории алго-

ритмов, методы системного анализа [18–21]. Материалами исследований являются современные конструктивно-компоновочные решения систем капельного орошения, систем капельного орошения с функцией электрохимической водоподготовки, основные практики и особенности организации технологического процесса орошения с разветвленной, в т. ч. иерархической, структурой организации поливных модулей системы капельного орошения, известные законы гидравлики в приложении к конструктивным элементам системы капельного орошения с расширенным модулем водоподготовки [15, 17, 22–24].

Результаты и обсуждение. Для решения поставленной задачи предлагается использовать следующий разработанный на основе известной классификации оросительной сети алгоритм. А. И. Голованов [25] делит оросительную сеть (транспортную сеть оросительной системы) на проводящую и регулирующую. Регулирующая оросительная сеть включает систему водоводов непосредственно на орошаемом участке, подводящих оросительную воду непосредственно к элементам техники полива. Это внутренняя сеть орошаемого (поливного) модуля. Проводящая оросительная сеть предназначена для транспортирования воды от источника орошения к орошаемым массивам и распределения ее в пределах орошаемых массивов между отдельными хозяйствами, угодьями, севооборотными участками и полями. В конструктивном плане проводящая часть закрытой оросительной сети состоит из магистрального и распределительных трубопроводов разного порядка.

Любая произвольная система напорных водоводов представляет собой протяженный линейный объект с установленными правилами ветвления. Для описания линейных объектов целесообразно использовать систему линейных координат как эффективный способ организации географически определенных данных на основе относительного позиционирования вдоль линейного объекта. С другой стороны, важно учитывать простран-

ственное ветвление напорных водоводов в системе капельного орошения. Учитывая вышесказанное, в качестве концептуального логического базиса для оценки возможности согласованной подачи электрохимически обработанной и не прошедшей электрохимическую подготовку воды (или приготовленных на ее основе растворов) и ее распределения по поливным модулям системы капельного орошения будет целесообразно использовать систему линейных координат с параметрами, определяемыми уровнем напорных водоводов проводящей оросительной сети.

Тогда любую линейную координату X можно будет определить параметрами M и $R^n - (X_{MR^1R^2 \dots R^n})$, где:

- параметр M определяет местоположение координаты на магистральном трубопроводе;

- параметр R определяет местоположение координаты на распределительном трубопроводе;

- параметр n характеризует порядок распределительного трубопровода, причем общее число параметров R в системе параметризации линейной координаты X равно наибольшему порядку распределительных трубопроводов n рассматриваемой системы капельного орошения.

Параметр M в рассматриваемой системе координат изменяется от 0 до некоего предельного числа M , являющегося характеристикой оросительной системы. Каждая из узловых точек параметра M , от 1 до M , конструктивно является узлом присоединения распределительного трубопровода первого порядка к магистральному водоводу. Параметр M , равный 0, характеризует централизованный узел водоподготовки системы капельного орошения. Каждая из узловых точек параметра R^1 , от 1 до R^1 , конструктивно является узлом присоединения распределительного трубопровода второго порядка к распределительному трубопроводу первого порядка. Каждая из узловых точек параметра R^2 , от 1 до R^2 , конструктивно является узлом присоединения распределительного трубопровода третьего

порядка к распределительному трубопроводу второго порядка и т. д. Натуральный числовой ряд параметра R^n , от 1 до R^n , соответствует узлам выхода распределительного трубопровода последнего порядка непосредственно на поливные модули системы капельного орошения.

Принимая предложенную систему параметризации линейной координаты X для системы напорных водоводов водопроводящей сети капельного орошения, получим общее число поливных модулей, обслуживаемых системой (рисунок 1):

$$F = M \cdot \prod_{n=1}^n R^n, \quad (1)$$

где F – общее число поливных модулей, обслуживаемых системой капельного орошения;

M – предельное значение параметра M для рассматриваемой системы;

$\prod_{n=1}^n R^n$ – произведение параметра R для n -мерной системы уровней

распределительных трубопроводов.

В случае если узел электрохимической обработки воды располагается не централизованно, а в произвольно выбранном месте системы капельного орошения, для определения числа поливных модулей, расположенных после электролизера, необходимо:

- определить местоположение узла электрохимической водоподготовки в принятой системе параметризации линейных координат. Местоположение выбирается по ближайшему слева узлу координатной сетки. Идентифицированные значения параметров координаты местоположения узла электрохимической водоподготовки используются для коррекции значений параметров расчетной формулы (1);

- выполнить коррекцию значений параметров указанной расчетной формулы. Для трубопровода, на котором осуществлена врезка модуля электрохимической водоподготовки, коррекция выполняется путем вычитания из предельного значения характеризующего параметра значения, со-

ответствующего параметру координаты узла врезки. Для всех уровней водоводов, расположенных до места врезки модуля электрохимической водоподготовки, характеризующему их параметру присваивается значение 1;

- определить число поливных модулей, расположенных после узла электрохимической водоподготовки, по формуле (1) с подстановкой скорректированных значений параметров.

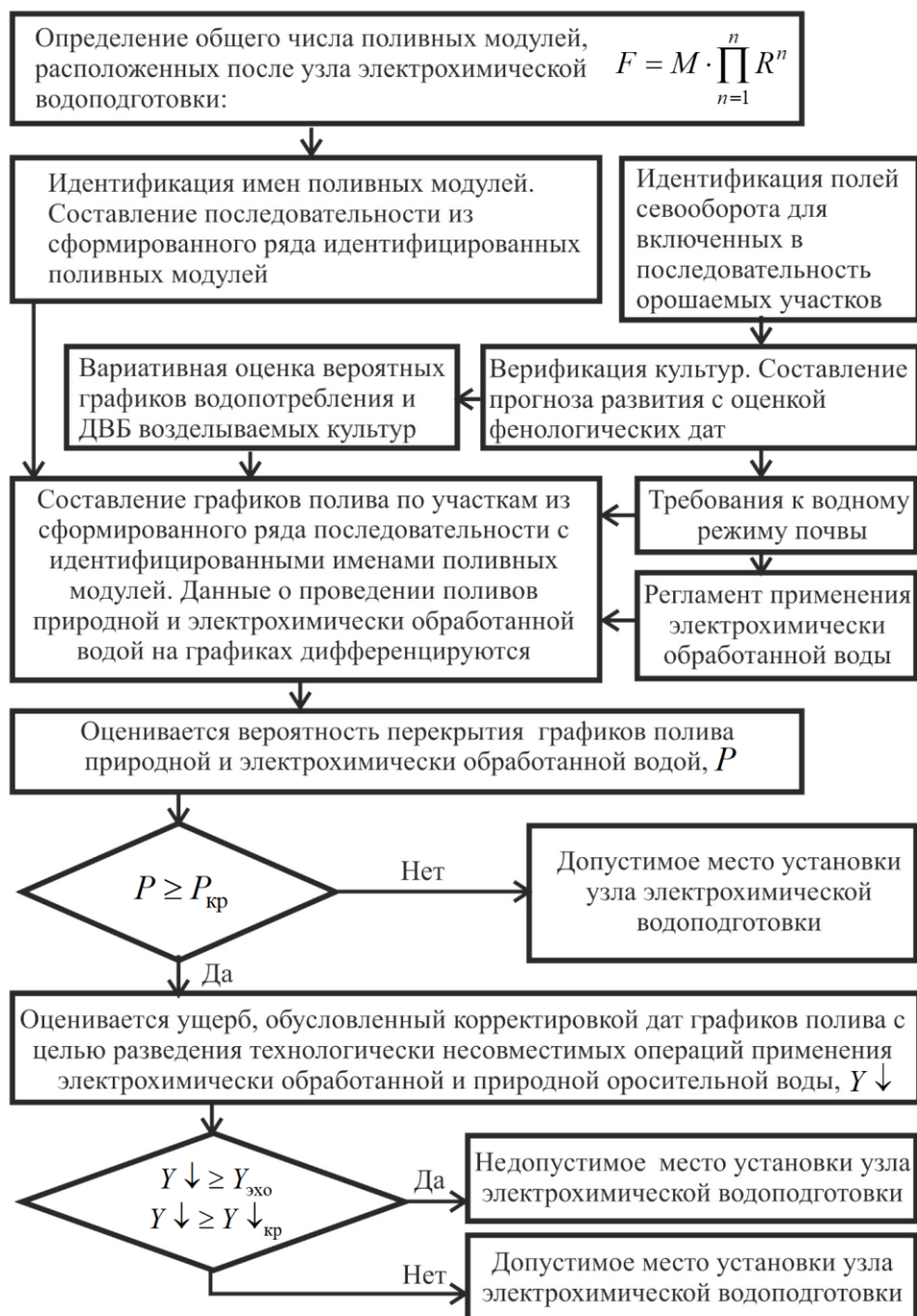


Рисунок 1 – Алгоритм выбора допустимого места расположения узла электрохимической водоподготовки в системе капельного орошения

Принятая система параметризации линейной координаты позволяет сформировать индивидуальное имя каждого поливного модуля, которое включает полный набор параметров координаты распределительного трубопровода n -го уровня. Структура имени поливного модуля включает:

- NAME – общий идентификатор принадлежности ряда данных;
- M – значение параметра M характеристики ветвления линейной координаты на магистральном трубопроводе;
- R^1, R^2, \dots, R^n – значение параметра R характеристики ветвления линейной координаты на распределительном трубопроводе соответственно 1-го, 2-го, ..., n -го уровня.

Пример сформированного по такой схеме имени поливного модуля для системы капельного орошения с магистральным и тремя распределительными трубопроводами водопроводящей сети может иметь вид: NAME:7:2:5:1. Расшифровка имени характеризует систему водопроводящих трубопроводов к поливному модулю капельного орошения с указанным именем: 7 – порядковый номер узла присоединения распределительного трубопровода первого порядка к магистральному по счету в линейном порядке, 2 – порядковый номер узла присоединения распределительного трубопровода второго порядка к распределительному трубопроводу первого порядка, 5 – порядковый номер узла присоединения распределительного трубопровода третьего порядка к распределительному трубопроводу второго порядка, 1 – порядковый номер узла присоединения водоводов поливного модуля к распределительному трубопроводу третьего порядка.

Идентифицированные имена поливных модулей составляют последовательность, которая в последующем используется для оценки возможности согласованной подачи электрохимически обработанной и не прошедшей электрохимическую подготовку воды (или приготовленных на ее основе растворов) по поливным модулям системы капельного орошения. Общее число имен в последовательности равно F – числу поливных мо-

дулей, расположенных после узла врезки комплекса электрохимической водоподготовки в систему капельного орошения.

Поливные участки с идентифицированными и включенными в последовательность поливными модулями отбираются для проведения оценки вероятности перекрытия графиков полива природной и электрохимически обработанной оросительной водой. Это условие определяется линейностью и последовательным характером ветвления водопроводящей оросительной сети. При подаче на один из включенных в последовательность орошаемых участков электрохимически подготовленной оросительной воды невозможно одновременно осуществлять полив другого орошаемого участка, включенного в последовательность, природной оросительной водой, не прошедшей электрохимическую обработку.

Для проведения данного анализа разрабатываются вариативные графики поливов сельскохозяйственных культур на участках, включенных в составленную ранее последовательность. Исходными данными для составления вариативных графиков полива служат идентифицированные поля севооборотов включенных в последовательность орошаемых участков, верифицированные культуры с выполненным прогнозом развития и оценкой фенологических дат, результаты вариативной оценки графиков водопотребления и дефицита водного баланса в посевах возделываемых культур.

На графиках поливов выделяются поливы природной оросительной водой и поливы водой, прошедшей электрохимическую обработку. В оценку включается исследование потребности в проведении удобрительных поливов, которые также разделяются на две группы:

- для приготовления питательных растворов используется природная оросительная вода;
- для приготовления питательных растворов используется оросительная вода, прошедшая электрохимическую обработку.

Следующей операцией является количественная оценка вероятно-

сти (P) перекрытия графиков полива природной и электрохимически обработанной водой. Оценивается вероятность временного совмещения следующих технологических операций:

- проведения вегетационных поливов электрохимически обработанной и природной оросительной водой;

- проведения вегетационных поливов электрохимически обработанной водой и удобрительных поливов с раствором питательных веществ на основе природной оросительной воды;

- проведения вегетационных поливов природной оросительной водой и удобрительных поливов с раствором питательных веществ на основе электрохимически обработанной воды;

- проведения удобрительных поливов с приготовлением растворов на основе электрохимически обработанной и природной оросительной воды.

Если вероятность P временного совмещения каких-либо из перечисленных операций не превышает некую величину $P_{кр}$, то принимается решение о допустимости установки узла электрохимической водоподготовки в рассматриваемом сегменте системы капельного орошения. Упомянутая здесь величина $P_{кр}$ заслуживает отдельного обсуждения и обоснования. Следует понимать, что при небольших вероятностях P , которые меньше принятого уровня $P_{кр}$, неправомерно говорить о возможности «иногда», «очень редко» совмещать проведение вышеперечисленных операций, их совмещение невозможно технологически. Но чем меньше величина P , тем, как правило, больше возможности скорректировать график поливов с целью временного разнесения поливов электрохимически обработанной и природной оросительной водой без ущерба в плане снижения продуктивности посевов и эффективности, собственно, самой технологии электрохимической водоподготовки. При достижении некоей величины $P_{кр}$ эти

возможности практически гарантируют возможность безболезненной корректировки графика поливов.

Если вероятность P временного совмещения каких-либо из вышеперечисленных операций превышает величину $P_{кр}$, то проводится еще одно исследование, целью которого является оценка возможности корректировки дат и графиков поливов, проводимых электрохимически обработанной и природной оросительной водой. По результатам этого исследования оценивается ущерб, обусловленный корректировкой дат и графиков полива с целью разнесения поливов природной и электрохимически обработанной водой.

Количественная оценка ущерба позволяет принять окончательное решение о допустимости врезки узла электрохимической обработки воды в рассматриваемый сегмент системы капельного орошения. Врезка узла электрохимической водоподготовки в рассматриваемый сегмент системы капельного орошения, безусловно, не допускается, если ущерб, обусловленный корректировкой дат и графиков полива, больше положительного эффекта от применения метода электрохимической водоподготовки. Другим сравнением, проводимым на данном этапе исследования, является оценка превышения ущерба $Y \downarrow$ некоторой величины $Y \downarrow_{кр}$. Собственно, сама величина $Y \downarrow_{кр}$ является максимально допустимым ущербом, который в значительной мере перекрывается положительным эффектом от применения электрохимически подготовленной воды для вегетационных или удобрительных поливов. Врезка узла электрохимической водоподготовки в рассматриваемый сегмент системы капельного орошения допускается, если ущерб, обусловленный корректировкой дат и графиков полива, меньше максимально допустимого ущерба $Y \downarrow_{кр}$.

Выводы. Выбор местоположения функционального узла электрохимической водоподготовки в составе системы капельного орошения отно-

сится к нестандартным, многофакторным задачам, не имеющим единого решения, но выполняемым в последовательности обобщенного алгоритма. Основой алгоритма решения поставленной задачи является специализированная система параметризации линейных координат, согласованная с известными практиками классификации и структурно-функциональными моделями современных гидромелиоративных систем. Предложенный алгоритм позволяет идентифицировать и составлять перечень поливных модулей, обслуживаемых узлом электрохимической водоподготовки, при выборе места врезки в систему капельного орошения, составлять графики полива электрохимически обработанной и природной оросительной водой, оценивать вероятность перекрытия графиков, решать оптимизационную задачу. В общем случае установка узла электрохимической водоподготовки в рассматриваемом сегменте системы капельного орошения допускается, если вероятность P временного совмещения необходимости проведения вегетационных либо удобрительных поливов с использованием электрохимически обработанной и природной оросительной воды не превышает величину $P_{кр}$ или если ущерб, обусловленный корректировкой дат и графиков полива, проводимой с целью временного разнесения вегетационных либо удобрительных поливов, которые осуществляются с использованием электрохимически обработанной и природной оросительной воды, меньше максимально допустимого ущерба $Y \downarrow_{кр}$.

Список использованных источников

1 The use of electrolyzed water as a disinfectant for minimally processed apples / A. Graca, M. Abadias, M. Salazar, C. Nunes // *Postharvest Biology and Technology*. – 2011. – Vol. 61, iss. 2–3. – P. 172–177.

2 Koike, Y. Effect of electrolyzed acidic water in combination with sucrose on the vase life of cut rose flowers / Y. Koike, H. Ohtsuki, R. Norikoshi // *International Conference on Quality Management in Supply Chains of Ornamentals*. – Bangkok: *Acta Horticulturae*, 2013. – Vol. 970. – P. 237–240.

3 Белицкая, М. Н. К вопросу о регулировании фитосанитарной ситуации в агроценозах / М. Н. Белицкая // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки*. – 2004. – № S8. – С. 8–12.

4 Харченко, О. В. Совершенствование технологии выращивания ячменя с ис-

пользованием электрохимически активированной воды / О. В. Харченко, В. Н. Чурзин, И. М. Осадченко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2007. – № 1(5). – С. 109–112.

5 Исследование влияния электрохимически активированной воды на ферментативную активность каталазы газометрическим методом / Е. В. Пашкова, Е. В. Волосова, А. Н. Шипуля, Ю. А. Безгина // Научно-технический вестник Поволжья. – 2016. – № 2. – С. 37–39.

6 Toxicity of mixed-oxidant electrolyzed oxidizing water to in vitro and leaf surface populations of vegetable bacterial pathogens and control of bacterial diseases in the greenhouse / K. Pernezny, R. N. Raid, N. Havranek, J. Sanchez // Crop Protection. – 2005. – Vol. 24, iss. 8. – P. 748–755.

7 Pinto, L. Recent advances to control spoilage microorganisms in washing water of fruits and vegetables: the use of electrolyzed water / L. Pinto, F. Baruzzi, A. Ippolito // III International Symposium on Postharvest Pathology: Using Science to Increase Food Availability. – Bari: Acta Horticulturae, 2015. – Vol. 1144. – P. 379–384.

8 Пасько, О. А. Метаболизм в семенах амаранта *Amaranthus L.* при воздействии электрохимически активированной воды / О. А. Пасько // Сельскохозяйственная биология. – 2013. – Т. 48, № 3. – С. 84–91.

9 Семененко, С. Я. Фитосанитарное оздоровление зерновых и овощных культур с помощью электрохимически активированной воды / С. Я. Семененко, М. Н. Белицкая, С. М. Лихолетов // Успехи современного естествознания. – 2013. – № 1. – С. 78–82.

10 Семененко, С. Я. Использование электрохимически активированной воды для повышения урожайности картофеля / С. Я. Семененко, М. Н. Белицкая, С. М. Лихолетов // Аграрная наука. – 2012. – № 5. – С. 21–23.

11 Влияние католита на росторегулирующую способность гумата калия при некорневой обработке озимой пшеницы / Э. А. Александрова, Г. А. Шрамко, Т. В. Князева, Я. С. Черных // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – Т. 1, № 38. – С. 113–117.

12 Шрамко, Г. А. Совершенствование технологии некорневой подкормки озимой пшеницы с применением электрохимически активированной воды / Г. А. Шрамко, Э. А. Александрова, Т. В. Князева // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 6(33). – С. 69–72.

13 Пат. 2277070 Российская Федерация, МПК С 02 F 1/46. Устройство для электрохимической активации воды и водных растворов / Абезин В. Г., Карпунин В. В., Карпунин В. В., Салдаев А. М.; заявитель и патентообладатель Поволж. науч.-исслед. ин-т эколого-мелиоратив. технологий. – № 2004111325/15; заявл. 13.04.04; опубл. 10.05.05, Бюл. № 13. – 5 с.

14 Пат. 2400436 Российская Федерация, МПК С 02 F 1/46. Модуль электрохимической активации воды / Конюшков А. Л., Карпунин В. В., Алимов А. Г., Карпунин В. В., Лагутин А. Н.; заявитель и патентообладатель Поволж. науч.-исслед. ин-т эколого-мелиоратив. технологий. – № 2008152615/07; заявл. 29.12.08; опубл. 27.09.10, Бюл. № 27. – 9 с.

15 Абезин, В. Г. Система капельного орошения с модулем электроактивации оросительной воды / В. Г. Абезин, В. В. Карпунин // Достижения науки и техники АПК. – 2007. – № 6. – С. 23–25.

16 Алгоритм расчета систем капельного орошения с модулем электрохимической активации оросительной воды / С. Я. Семененко, М. Н. Лытов, А. Н. Чушкин, Е. И. Чушкина // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2017. – № 4(28). – С. 20–36. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec508-field6.pdf.

17 Конструктивные особенности и расчет систем капельного орошения с моду-

лем электрохимической обработки воды / С. Я. Семененко, М. Н. Лытов, А. Н. Чушкин, Е. И. Чушкина // Мелиорация и водное хозяйство. – 2018. – № 5. – С. 16–21.

18 Телеганов, Н. А. Метод и системы координат в геодезии / Н. А. Телеганов, Г. Н. Тетерин. – Новосибирск: СГГА, 2008. – 143 с.

19 Ершов, А. В. Линейные и аффинные пространства и отображения / А. В. Ершов. – Долгопрудный: МФТИ, 2016. – 70 с.

20 Волосевич, А. А. Основы теории алгоритмов / А. А. Волосевич. – Минск: БГУИР, 2007. – 54 с.

21 Бобронников, В. Т. Системный анализ в инженерных исследованиях / В. Т. Бобронников. – М.: Изд-во МАИ, 2018. – 144 с.

22 Семерджян, А. К. Опыт проектирования и строительства систем капельного орошения в Краснодарском крае / А. К. Семерджян, А. В. Бень // Природообустройство. – 2018. – № 4. – С. 85–88.

23 Васильев, С. М. Технические средства капельного орошения / С. М. Васильев, Т. В. Коржова, В. Н. Шкура. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2017. – 200 с.

24 Швабауэр, В. В. Расчет гидравлических потерь давления в трубопроводе из пластмасс / В. В. Швабауэр, И. В. Гвоздев, М. И. Горилковский // Полимерные трубы. – 2005. – № 1(6). – С. 36–40.

25 Мелиорация земель / А. И. Голованов [и др.]. – М.: Колос, 2011. – 825 с.

References

1 Graca A., Abadias M., Salazar M., Nunes C., 2011. The use of electrolyzed water as a disinfectant for minimally processed apples. *Postharvest Biology and Technology*, vol. 61, iss. 2-3, pp. 172-177. (In English).

2 Koike Y., Ohtsuki H., Norikoshi R., 2013. Effect of electrolyzed acidic water in combination with rose flowers. *International Chains of Ornamentals*. Bangkok, *Acta Horticulturae*, vol. 970, pp. 237-240. (In English).

3 Belitskaya M.N., 2004. *K voprosu o regulirovanii fitosanitarной situatsii v agrotsenozakh* [On the issue of regulation of the phytosanitary stste in agrocenoses]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Estestvennye nauki* [Bull. of Higher Educational Institutions. Northern Caucasus region. Series: Natural Sciences], no. S8, pp. 8-12. (In Russian).

4 Kharchenko O.V., Churzin V.N., Osadchenko I.M., 2007. *Sovershenstvovanie tekhnologii vyrashchvaniya yachmenya s ispol'zovaniem elektrokhimicheski aktivirovannoy vody* [Improvement of barley cultivation technology using electrochemically activated water]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bull. of Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education], no. 1(5), pp. 109-112. (In Russian).

5 Pashkova E.V., Volosova E.V., Shipulya A.N., Bezgina Yu.A., 2016. *Issledovanie vliyaniya elektrokhimicheski aktivirovannoy vody na fermentativnuyu aktivnost' katalazy gazometricheskim metodom* [Study of the effect of electrochemically activated water on the enzymatic activity of catalase by the gasometric method]. *Nauchno-technicheskiy vestnik Povolzh'ya* [Scientific and Technical Bull. of the Volga Region], no. 2, pp. 37-39. (In Russian).

6 Pernezny K., Raid R.N., Havranek N., Sanchez J., 2005. Toxicity of mixed-oxidant electrolyzed oxidizing water in vitro. *Crop Protection*, vol. 24, iss. 8, pp. 748-755. (In English).

7 Pinto L., Baruzzi F., Ippolito A., 2015. Microorganisms in water: III International Symposium on Postharvest Pathology: Increase Food Availability. Bari, *Acta Horticulturae*, vol. 1144, pp. 379-384. (In English).

8 Pas'ko O.A., 2013. *Metabolizm v semenakh amaranta *Amaranthus L.* pri vozdeystvii elektrokhimicheski aktivirovannoy vody* [Metabolism in *Amaranthus L.* amaranth seeds when exposed to electrochemically activated water]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* [Agricultural Biology], vol. 48, no. 3, pp. 84-91. (In Russian).

9 Semenenko S.Ya., Belitskaya M.N., Likholetov S.M., 2013. *Fitosanitarnoe ozdorovlenie zernovykh i ovoshchnykh kul'tur s pomoshch'yu elektrokhimicheski aktivirovannoy vody* [Phytosanitary rehabilitation of grain and vegetable crops with electrochemically activated water]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Success of Modern Natural Science], no. 1, pp. 78-82. (In Russian).

10 Semenenko S.Ya., Belitskaya M.N., Likholetov S.M., 2012. *Ispol'zovanie elektrokhimicheski aktivirovannoy vody dlya povysheniya urozhaynosti kartofelya* [The use of electrochemically activated water to increase the yield of potatoes]. *Agrarnaya nauka* [Agrarian Science], no. 5, pp. 21-23. (In Russian).

11 Alexandrova E.A., Shramko G.A., Knyazeva T.V., Chernykh Ya.S., 2012. *Vliyanie katolita na rostoreguliruyushchuyu sposobnost' gumata kaliya pri nekornevoy obrabotke ozimoy pshenitsy* [The influence of catholyte on the growth regulating ability of potassium humate for non-root treatment of winter wheat]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceed. of Kuban State Agrarian University], vol. 1, no. 38, pp. 113-117. (In Russian).

12 Shramko G.A., Aleksandrova E.A., Knyazeva T.V., 2011. *Sovershenstvovanie tekhnologii nekornevoy podkormki ozimoy pshenitsy s primeneniem elektrokhimicheski aktivirovannoy vody* [Improvement of foliar feeding of wheat using electrochemically activated water]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceed. of Kuban State Agrarian University], no. 6(33), pp. 69-72. (In Russian).

13 Abezin V.G., Karpunin V.V., Karpunin V.V., Saldaev A.M., 2005. *Ustroystvo dlya elektrokhimicheskoy aktivatsii vody i vodnykh rastvorov* [A device for the electrochemical activation of water and aqueous solutions], Patent RF, no. 2277070. (In Russian).

14 Konyushkov A.L., Karpunin V.V., Alimov A.G., Karpunin V.V., Lagutin A.N., 2010. *Modul' elektrokhimicheskoy aktivatsii vody* [A module for the electrochemical activation of water], Patent RF no. 2400436. (In Russian).

15 Abezin V.G., Karpunin V.V., 2007. *Sistema kapel'nogo orosheniya s modulem elektroaktivatsii orositel'noy vody* [Drip irrigation system with a module for electro-activation of irrigation water]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology of Agrarian and Industrial Complex], no. 6, pp. 23-25. (In Russian).

16 Semenenko Y.A., Lytov M.N., Chushkin A.N., Chushkina E.I., 2017. *Algoritm rascheta sistem kapel'nogo orosheniya s modulem elektrokhimicheskoy aktivatsii orositel'noy vody* [Algorithm for calculating drip irrigation systems with a module of electrochemical activation of irrigation water]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii* [Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 4(28), pp. 20-36, available: http://rosniipm-sm.ru/dl_fi-les/udb_files/udb13-rec508-field6.pdf. (In Russian).

17 Semenenko S.Ya., Lytov M.N., Chushkin A.N., Chushkina E.I., 2018. *Konstruktivnye osobennosti i raschet sistem kapel'nogo orosheniya s modulem elektrokhimicheskoy obrabotki vody* [Design features and calculation of drip irrigation systems with a module for electrochemical water treatment]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 5, pp. 16-21. (In Russian).

18 Teleganov G.N., Teterin N.A., 2008. *Metod i sistemy koordinat v geodezii* [Method and Coordinate Systems in Geodesy]. Novosibirsk, SGGGA Publ., 143 p. (In Russian).

19 Ershov A.V., 2016. *Lineynye i affinnye prostranstva i otobrazheniya* [Linear and Affine Spaces and Maps]. Dolgoprudnyy, MFTI Publ., 70 p. (In Russian).

20 Volosevich A.A., 2007. *Osnovy teorii algoritmov* [Fundamentals of the Theory of Algorithms]. Minsk, BGUIR Publ., 54 p. (In Russian).

21 Bobronnikov V.T., 2018. *Sistemnyy analiz v inzhenernykh issledovaniyakh* [Systems Analysis in Engineering Studies]. Moscow, MAI Publ., 144 p. (In Russian).

22 Semerdzhyan A.K., Ben' A.V., 2018. *Opyt proektirovaniya i stroitel'stva sistem*

kapel'nogo orosheniya v Krasnodarskom krae [Experience in the design and construction of drip irrigation systems in Krasnodar Territory]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 4, pp. 85-88. (In Russian).

23 Vasil'yev S.M., Korzhova T.V., Shkura V.N., 2017. *Tekhnicheskie sredstva kapel'nogo orosheniya* [Technical Means of Drip Irrigation]. Novocherkassk, RosNIIPM Publ., 200 p. (In Russian).

24 Shvabauer V.V., Gvozdev I.V., Gorilovskiy M.I., 2005. *Raschet gidravlicheskih poter' davleniya v truboprovode iz plastmass* [Calculation of hydraulic pressure loss in a plastic pipeline]. *Polimernye truby* [Polymer Pipes], no. 1(6), pp. 36-40. (In Russian).

25 Golovanov A.I. [et al.], 2011. *Melioratsiya zemel'* [Land Reclamation]. Moscow, Kolos Publ., 825 p. (In Russian).

Семенов Сергей Яковлевич

Ученая степень: доктор сельскохозяйственных наук

Ученое звание: профессор

Должность: директор филиала

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»

Адрес организации: Университетский пр-т, д. 97, г. Волгоград, Российская Федерация, 400062

E-mail: pniiemt@yandex.ru

Semenenko Sergey Yakovlevich

Degree: Doctor of Agricultural Sciences

Title: Professor

Position: Branch Manager

Affiliation: Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russian Federation

Affiliation address: Universitetsky ave., 97, Volgograd, Russian Federation, 400062

E-mail: pniiemt@yandex.ru

Лытов Михаил Николаевич

Ученая степень: кандидат сельскохозяйственных наук

Ученое звание: доцент

Должность: старший научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»

Адрес организации: Университетский пр-т, д. 97, г. Волгоград, Российская Федерация, 400062

E-mail: LytovMN@yandex.ru

Lytov Mikhail Nikolayevich

Degree: Candidate of Agricultural Sciences

Title: Associate Professor

Position: Senior Researcher

Affiliation: Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russian Federation

Affiliation address: Universitetsky ave., 97, Volgograd, Russian Federation, 400062

E-mail: LytovMN@yandex.ru

Чушкин Алексей Николаевич

Ученая степень: кандидат технических наук

Должность: старший научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»

Адрес организации: Университетский пр-т, д. 97, г. Волгоград, Российская Федерация, 400062

E-mail: pniiemt@yandex.ru

Chushkin Aleksey Nikolayevich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Position: Senior Researcher

Affiliation: Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russian Federation

Affiliation address: Universitetsky ave., 97, Volgograd, Russian Federation, 400062

E-mail: pniiemt@yandex.ru

Чушкина Елена Ивановна

Ученая степень: кандидат сельскохозяйственных наук

Должность: старший научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»

Адрес организации: Университетский пр-т, д. 97, г. Волгоград, Российская Федерация, 400062

E-mail: pniiemt@yandex.ru

Chushkina Yelena Ivanovna

Degree: Candidate of Agricultural Sciences

Position: Senior Researcher

Affiliation: Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russian Federation

Affiliation address: Universitetsky ave., 97, Volgograd, Russian Federation, 400062

E-mail: pniiemt@yandex.ru