

УДК 502/504:631.6

А. Н. НИКОЛАЕНКО

Государственное научное учреждение

Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ С ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДОЙ

*Приведено описание новой технологии применения микроэлементов с оросительной водой для сельскохозяйственных культур методом анодного растворения металлов. На основе экспериментальных данных полученная оценка энергии процесса анодного растворения металлов-микроэлементов сопоставлена с достигаемым эффектом продуктивности.*

*Микроэлементы, технология, анодное растворение, химическая энергия, продуктивность.*

*There is given a description of the new technology of microelements usage with irrigation water for agricultural crops by a method of anodic dissolution of metals. On the basis of the experimental data the received assessment of the process energy of the anodic dissolution of metals – microelements is compared with the reached effect of productivity.*

*Microelements, technology, anodic dissolution, chemical energy, productivity.*

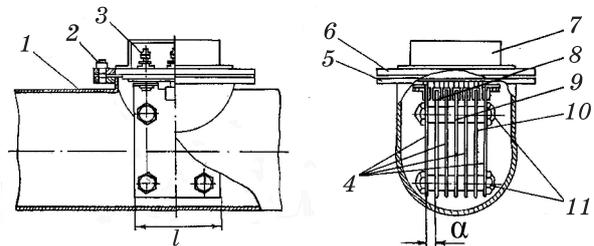
Микроэлементы – биологические катализаторы в растительных и живых организмах – необходимы для образования витаминов, ферментов, способствуют образованию сахаров, белков, нуклеиновых кислот, повышают качество продукции и урожайность сельскохозяйственных культур.

Наряду с существующими традиционными технологиями применения микроэлементов в сельском хозяйстве новой и перспективной является технология, основанная на методе анодного растворения металлов-микроэлементов цинка, меди, кобальта, молибдена и их дозирования в поток оросительной воды [1].

Предлагаемая технология предусматривает ввод комплекса микроэлементов в поток оросительной воды или питательный раствор из металлических электродов под действием электрического тока. Это позволяет упростить и максимально автоматизировать технологический процесс, управлять дозированием с высокой точностью, задавать любые составы и соотношения микроэлементов в зависимости от потребности растительных и живых культур.

На рисунке приведена конструкция устройства, реализующая данную технологию. Устройство работает следующим образом. Блок электродов монтируют на

основании 6 и крепят с помощью фланца 5 на трубопроводе 1 оросительной сети или дождевальную машины.



**Устройство для обогащения оросительной воды микроэлементами:** 1 – трубопровод; 2 – крепежный болт; 3 – наконечник-электроконтакт; 4 – катоды; 5 – фланец; 6 – основание для крепления электродов; 7 – предохранительная крышка; 8, 9, 10 – электрорастворимые аноды; 11 – шпильки крепления

На электроды, катоды 4 и аноды – 8, 9, 10 (8 – цинк, 9 – медь, 10 – кобальт и молибден) подается электрическое напряжение постоянной полярности от внешнего источника, и возникающий электрический ток между электродами приводит к анодному растворению металлов-микроэлементов и обогащению ими потока оросительной воды, протекающего в межэлектродном пространстве. Процесс анодного растворения контролируется

законом Фарадея и теоретически описывается следующей формулой:

$$\Delta m = \frac{I A t}{N e z}, \quad (1)$$

где  $\Delta m$  – масса металла, г, анода, растворенная за время  $t$ , с;  $I$  – ток, А, протекающий в цепи «анод – раствор – катод», А;  $A$  – атомная масса металла;  $N$  – число Авогадро;  $e$  – заряд электрона, К;  $z$  – валентность металла.

Однако параллельно процессу анодного растворения в растворе происходят процессы выделения анионов и катионов на электродах, что приводит к уменьшению эффективности анодного растворения металла. Этот эффект может быть учтен умножением правой части формулы (1) на коэффициент выхода по току  $K_{\text{вых}}$ , который определяется экспериментально и учитывает ту долю электрической энергии, которая идет только на анодное растворение металла.

Для определения физико-химических параметров анодного растворения металлов-микроэлементов были проведе-

ны опыты в различных солевых растворах, эмитирующих многообразный химический состав природных вод. Результаты этих опытов приведены в табл. 1. Полученные данные позволяют не только определить экспериментальные коэффициенты  $K_{\text{вых}}$  для различных металлов, но и оценить удельную энергию, необходимую для перевода микроэлементов из металлической формы в ионную. Порядок этой величины характеризует химическую энергию связи микроэлементов в конечном продукте растительного происхождения. Эту энергию можно рассчитать по формуле

$$E_y = I_{\text{cp}} U t, \quad (2)$$

где  $E_y$  – удельная энергия химической связи металла-микроэлемента в продукте, Дж/моль;  $I_{\text{cp}}$  – среднее значение тока за время процесса анодного растворения, А;  $U$  – напряжение на электродах, В;  $t$  – время, необходимое для анодного растворения 1 моля металла-микроэлемента, с.

Рассчитанные значения  $E_y$  для различных металлов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Экспериментальные параметры процесса и рассчитанная удельная энергия анодного растворения для металлов-микроэлементов

Металл	Заряд иона $z$	Напряжение $U$ , В	Среднее значение тока $I_{\text{cp}}$ , А	$\Delta m$ , г	$t$ , ч	$K_{\text{вых}}$	Удельная энергия $E_y$ , кДж/моль
Zn	+2	6	0,6	20,3	35,9	0,78	1498
Cu	+2	6	0,6	16,6	35,9	0,65	1780
Co	+2	10	0,35	9,7	29,5	0,87	2257
Mo	+6	10	0,53	8,52	29,5	0,93	6335

Для оценки достоверности полученных данных удельной энергии можно сравнить их, применяя альтернативный расчет удельной энергии, основанный на термодинамическом подходе, т. е. рассчитать удельную энергию, необходимую для перевода 1 моля микроэлемента из металлического состояния в ионное. Это можно осуществить доведением 1 моля металла от комнатной температуры (20 °С) до тем-

пературы кипения с добавлением энергии ионизации до соответствующего уровня валентности:

$$E_{\text{ут}} = E_{\text{кип}} + E_{\text{ион}} = 3/2 R \Delta T + E_{\text{ион}}, \quad (3)$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная, равная 8,316 Дж/г·моль·г;  $\Delta T = T_{\text{кип}} - 20$ .

Данные, необходимые для расчета удельной энергии  $E_{\text{ут}}$ , взяты из источника [2] и приведены в табл. 2 (1 эв = 1,602·10<sup>-19</sup> Дж).

Таблица 2

Рассчитанные значения удельной энергии  $E_{\text{ут}}$

Металл	Заряд иона	$T_{\text{кип}}$ , К	$E_{\text{кип}}$ , Дж	$E_{\text{ион}}$ , эв	$E_{\text{ион}}$ , Дж	$E_{\text{ут}}$ , кДж/моль
Zn	+2	1180	14469	17,964	1733606	1748
Cu	+2	2840	35177	20,292	1958269	1993
Co	+2	3233	40079	17,057	1646077	1686
Mo	+6	4912	61022	71,700	6919371	6980

Пересчитав эти величины в суммарную энергию, которая необходима для

их дозирования в поток оросительной воды методом анодного растворения, и

разделив на прибавку урожайности, получим энергетическую оценку продуктивности  $E_{пр}$ , Дж/кг. Суммарная энергия дозирования  $10 \text{ г} (5\text{Zn} + 3\text{Cu} + 1\text{Co} + 1\text{Mo}) = 114,5 + 84,1 + 38,3 + 66,1 = 303,0 \text{ кДж}$ . Таким образом, величина  $E_{пр}$  для кукурузы равна 302,5, для сои – 825,2 Дж/кг.

Этот пример демонстрирует возможность применения энергетического подхода для оценки продуктивности различных культур при применении различных технологий.

1. Николаенко А. Н. Тяжелые металлы и микроэлементы в природных и техногенных процессах. – Алматы: Алеем,

2002. – 109 с.

2. Химическая энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1990. – Т. 2, 3.

3. Методика энергетического анализа технологических процессов в сельскохозяйственном производстве / А. Н. Никифоров [и др.]. – М.: ВИМ, 1995. – 95 с.

4. Посыханов Г. С. Долгодворов В. Е. Энергетическая оценка технологии возделывания полевых культур. – М.: МСХА, 1995. – 89 с.

Материал поступил в редакцию 14.11.13.

*Николаенко Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник  
Тел. 8 (496) 6-170-226*

УДК 502/504:541.4:551.495:631.413.3

Ш. О. МУРАДОВ, Р. А. ЭШАНКУЛОВ, У. Р. ПАНЖИЕВ

Каршинский инженерно-экономический институт, Узбекистан

## ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТОВЫХ ВОД ПРИ ОРОШЕНИИ

*Изложены принципы изменения химического состава водных ресурсов юга Узбекистана. Доказано преобладание вод сульфатного типа, хлоридный и гидрокарбонатный типы являются продуктами их метаморфизации. Результаты позволяют регулировать направленность процессов изменения химического состава вод в желательном направлении.*

*Водные и земельные ресурсы, метаморфизация, осолонцевание.*

*There are stated the principles of chemical composition changing of water resources. There is demonstrated the prevalence of water sulfate type, chloride and hydrocarbonate types are the products of their metamorphization. The results allow regulating the direction of changing processes in the water chemical composition in the desired direction.*

*Water and land resources, metamorphization, alkalinization.*

Еще в 1956 году А. И. Бунеев отмечал, что под влиянием орошения происходит метаморфизация ионно-солевого комплекса пород, сопровождаемая изменением степени и типа засоления пород зоны аэрации и грунтовых вод [1].

Проблема метаморфизации химического состава природных вод далеко не нова. Однако в гидроэкологии методика анализа метаморфизации еще не нашла широкого применения. Химический состав природных вод не остается

постоянным. Природные воды, взаимодействуя с породами, водами иного состава, газами, минерализованным органическим веществом и живыми организмами, изменяют как свою минерализацию, так и содержание химических элементов. Эти изменения, обуславливающие переход от одного химического типа вод к другому, и составляют сущность процессов метаморфизации.

Для изучения особенностей метаморфизации подземных вод широко используют солевую диаграмму