

Л. А. Воеводина (ФГБНУ «РосНИИПМ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОДУКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

В статье рассмотрены классификации сельскохозяйственных культур по солеустойчивости и оросительных вод по минерализации, которые выражены в единицах электропроводности. Представлены величины снижения урожайности при повышении электропроводности выше определенного порогового значения, а также возможность использования данного показателя для подбора культур и оценки снижения урожайности, обусловленного засоленностью почвы или повышенной минерализацией оросительной воды.

Ключевые слова: электропроводность, солеустойчивость, оросительная вода, засоленность почв, капельное орошение.

L. A. Voyevodina (FSBSE “RSRILIP”)

USE OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY FOR EVALUATING AGRICULTURAL CROPS PRODUCTIVITY

The paper considers the salt tolerance classification of agricultural crops and salinity rating for irrigation waters which were expressed by units of electrical conductivity. The magnitude of yield decrease with increasing of electrical conductivity higher then defined threshold was presented, as well as the opportunity of using this parameter for crop choice and yield decrease assessment caused by soil and irrigation water salinity.

Keywords: electrical conductivity, salt tolerance, irrigation water, soil salinity, drip irrigation.

В связи с дефицитом водных ресурсов все чаще используются водные источники, характеризующиеся повышенной минерализацией воды. Для оперативной оценки пригодности использования данной поливной воды на участках, планируемых под орошение, возможно применение показателя электропроводности воды или почвы.

Повышенная минерализация поливной воды влияет на концентрацию почвенного раствора. При концентрации почвенного раствора выше определенного порога происходит снижение урожайности. Содержание солей может быть выражено через единицы электропроводности, которыми являются дециСименс на метр (дСм/м), милиСименс на сантиметр (мСм/см), миллимо и т.д. (1 дСм/м = 1 миллимо = 1 мСм/см = 0,001 обратного Ома).

Электропроводность растворов обычно определяется кондуктометрами.

В таблице 1 отражены критерии солеустойчивости растений в соответствии с соленостью почвы и воды [1]. В третьем столбце таблицы приведены диапазоны максимальных значений электропроводности водонасыщенной почвы (EC_{min}), при которых не происходит снижения урожайности.

Таблица 1 – Критерии солеустойчивости растений в соответствии с соленостью почвы и воды

Группировка культур по солеустойчивости	Градации засоленности почвы или воды	Средняя засоленность в корневой зоне, EC_{min} , дСм/м
Чувствительные	Очень низкая	< 0,95
Среднечувствительные	Низкая	0,95-1,90
Среднеустойчивые	Средняя	1,90-4,50
Устойчивые	Высокая	4,50-7,70
Очень устойчивые	Очень высокая	7,70-12,20
Растения не выживают	Экстремально высокая	> 12,2

Солеустойчивость зависит от множества сочетаний факторов, таких как вид растения, особенности почвы и климата и др. В таблице 2 приведены обобщенные зависимости для солеустойчивости основных сельскохозяйственных культур [1-4]. Чтобы корректно воспользоваться этой таблицей, необходимо знать электропроводность водонасыщенной почвы. Порядок проведения анализа по определению электропроводности водонасыщенной почвы широко описан в литературе [5]. Для его проведения не требуется сложной аппаратуры, основным недостатком данного анализа является его трудоемкость.

Получив данные по электропроводности водонасыщенной почвы, сравнивают их со значениями для интересующей культуры, представленными в таблице 2 в столбце 3. Если полученное значение меньше представленного в таблице, то снижение урожайности из-за повышенной концентрации почвенного раствора не ожидается. В противном случае можно оценить возможное снижение урожайности для данной культуры с помощью значений представленных в столбце 4.

Таблица 2 – Влияние электропроводности почвы и воды на урожайность сельскохозяйственных культур

Культура		Электропроводность водонасыщенной почвы			Характеристика культуры по солеустойчивости	Пороговые значения электропроводности оросительной воды для почв различного гранулометрического состава, EC_w , дСм/м		
Общепринятое название	Ботаническое название	Пороговое значение, EC_{min} , дСм/м	$СУ_{табл}$ при увеличении засоленности на одну единицу, %	EC_{max} , дСм/м		Легкие (песчаные)	Средние (суглинистые)	Тяжелые (глинистые)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Полевые культуры								
Ячмень	<i>Hordeum vulgare</i>	8,0	5,0	28	Устойчивая	12,6	7,2	4,2
Хлопок	<i>Gossypium hirsutum</i>	7,7	5,2	27	Устойчивая	12,1	6,9	4,0
Сахарная свекла	<i>Beta vulgaris</i>	7,0	5,9	24	Устойчивая	11,0	6,3	3,7
Пшеница	<i>Triticum aestivum</i>	6,0	7,1	20	Среднеустойчивая	9,4	5,3	3,1
Пшеница безостая	<i>Triticum aestivum</i>	8,6	3,0		Устойчивая			
Пшеница твердая	<i>Triticum turgidum</i>	5,9(5,7)	3,8		Устойчивая	9,6	5,5	3,2
Сорго	<i>Sorghum bicolor</i>	4,0(6,8)	16	18	Среднеустойчивая	9,4	5,3	3,1
Кукуруза	<i>Zea Mays</i>	1,7	12	10	Среднечувствительная	3,2	1,8	1,1
Лен	<i>Linum usitatissimum</i>	1,7	12	10	Среднечувствительная	3,2	1,8	1,1
Бобы кормовые	<i>Vigna unguiculata</i>	1,6		12	Среднечувствительная	3,4	2,0	1,1
Овес	<i>Avena sativa</i>	5,0			Среднеустойчивая	7,0	4,0	2,3
Просо	<i>Panicum miliaceum</i>				Среднечувствительная			
Арахис	<i>Arachis hypogaea</i>	3,2	29		Среднечувствительная	4,4	2,5	1,5

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Рис	<i>Oryza sativa</i>	3,0	12		Чувствительная	4,8	2,7	1,6
Рожь	<i>Secale cereale</i>	11,4	10,8		Устойчивая			
Сафлор кра- сильный	<i>Carthamus tinctorius</i>	6,5			Среднеустойчивая	8,2	4,7	2,7
Кунжут	<i>Sesamum indicum</i>				Чувствительная			
Подсолнечник	<i>Helianthus annuus</i>	5,5			Среднечувствительная	7,5	4,3	2,5
Тритикале	<i>x Triticosecale</i>	6,1	2,5		Устойчивая			
Соя	<i>Glycine max</i>	5,0	20		Среднеустойчивая	7,0	4,0	2,3
Кормовые культуры и травы								
Люцерна	<i>Medicago sativa</i>	2,0	7,3		Среднечувствительная	4,3	2,5	1,4
Бермудская трава	<i>Cynodon dactylon</i>	6,9	6,4		Устойчивая	10,8	6,1	3,6
Костер киле- ватый	<i>Bromus carinatus</i>				Среднеустойчивая			
Канареечник	<i>Phalaris arundinacea</i>	4,2			Среднеустойчивая	5,3	3,0	1,8
Клевер алек- сандрийский	<i>Trifolium alexandrinum</i>	1,5(2,0)	5,7		Среднечувствительная	3,8	2,2	1,3
Клевер крас- ный	<i>Trifolium pratense</i>	1,5	12		Среднечувствительная	2,9	1,7	1,0
Кукуруза на силос	<i>Zea mays</i>	1,8	7,4		Среднечувствительная	4,0	2,3	1,3
Овсяница	<i>Festuca elatior</i>	3,9	5,3		Среднеустойчивая	7,3	4,2	2,4
Лисохвост	<i>Alopecurus pratensis</i>	1,5	9,6		Среднечувствительная	3,2	1,8	1,1
Грамова трава	<i>Bouteloua gracilis</i>				Среднечувствительная			
Овес кормовой	<i>Avena sativa</i>	5,0			Среднеустойчивая	7,0	4,0	2,3
Рапс	<i>Brassica napus</i>				Среднеустойчивая			

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Лядвенец ро- гатый	<i>Lotus corniculatus</i>	5,0	10		Среднеустойчивая	7,6	4,3	2,5
Вика	<i>Vicia angustifolia</i>	3,0	11		Среднечувствительная			
Житняк си- бирский	<i>Agropyron sibiricum</i>	3,5	4,0		Среднеустойчивая			
Житняк гре- бенчатый	<i>Agropyron elongatum</i>	7,5	6,9		Устойчивая	12,5	7,2	4,2
Плодовые								
Финиковая пальма	<i>Phoenix dactylifera</i>	4,0		32	Среднеустойчивая	8,7	5,0	2,9
Олива	<i>Olea europaea</i>	2,7(4,0)		14	Среднеустойчивая	5,1	2,9	1,7
Гранатовое дерево	<i>Punica granatum</i>	2,7(4,0)		14	Среднеустойчивая	5,1	2,9	1,7
Апельсиновое дерево	<i>Citrus sinensis</i>	1,7	16	8	Чувствительная	2,9	1,7	1,0
Грейпфрут	<i>Citrus paradisi</i>	1,8	16	8	Устойчивая	3,0	1,7	1,0
Лимон	<i>Citrus limon</i>	1,7(1,0)		8	Чувствительная	1,3	0,7	0,4
Лайм	<i>Citrus aurantiifolia</i>				Чувствительная			
Яблоня, груша	<i>Malus sylvestris</i>	1,7(1,0)	21	8	Чувствительная	2,0	1,2	0,7
Грецкий орех	<i>Juglans regia</i>	1,7		6,5	Чувствительная	2,2	1,2	0,7
Персиковое дерево	<i>Prunus persica</i>	1,6(3,2)	24	6	Чувствительная	4,7	2,7	1,6
Абрикос	<i>Prunus armeniaca</i>	1,5(1,6)	9,6	12	Среднечувствительная	2,5	1,4	0,8
Виноград	<i>Vitis sp.</i>	1,5			Чувствительная	3,3	1,9	1,1
Вишня	<i>Prunus avium</i>	1,5	19	7	Чувствительная			
Миндаль	<i>Prunus dulcis</i>	1,5			Чувствительная	2,5	1,4	0,8
Мушмула японская	<i>Eriobotrya japonica</i>	1,5	18	7	Чувствительная			
Слива	<i>Prunus domestica</i>	1,5			Чувствительная	2,5	1,4	0,8

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Смородина	<i>Ribes sp.</i>				Чувствительная			
Ежевика	<i>Rubus sp.</i>	1,5	22	6	Чувствительная	2,5	1,4	0,8
Бойзенова ягода	<i>Rubus ursinus</i>	1,5	22	6	Чувствительная	2,5	1,4	0,8
Авокадо	<i>Persea americana</i>	1,3			Чувствительная	2,3	1,3	0,8
Крыжовник	<i>Ribes sp.</i>	1,0		5,5	Чувствительная			
Малина	<i>Rubus idaeus</i>	1,0	33	4	Чувствительная	1,3	0,7	0,4
Садовая земляника	<i>Fragaria sp.</i>	1,0				1,6	0,9	0,5
Овощные								
Артишок	<i>Helianthus tuberosus</i>	–	–	–	Среднеустойчивая			
Спаржа	<i>Asparagus officinalis</i>	4,1	2,0		Устойчивая	5,2	3,0	1,7
Капуста брокколи	<i>Brassica oleracea botrytis</i>	2,8	9,2	13,5	Среднечувствительная	4,9	2,8	1,6
Фасоль	<i>Phaseolus vulgaris</i>	1,0	19	6,5	Чувствительная			
Брюссельская капуста	<i>Brassica oleracea gemmifera</i>	–	–		Среднечувствительная			
Капуста белокачанная	<i>Brassica oleracea capitata</i>	1,8	9,7	12	Среднечувствительная	3,5	2,0	1,2
Цветная капуста	<i>Brassica oleracea botrytis</i>	2,5	–	–	Среднечувствительная	3,2	1,8	1,1
Сельдерей	<i>Apium graveolens</i>	1,8	6,2		Среднечувствительная	4,3	2,5	1,4
Сладкая кукуруза	<i>Zea mays</i>	1,7	12	10	Среднечувствительная	2,2	1,2	0,7
Баклажан	<i>Solanum melongena esculentum</i>	1,1	6,9		Среднечувствительная	3,2	1,8	1,1
Горчица	<i>Brassica oleracea acephala</i>	–	–		Среднечувствительная			

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кольраби	<i>Brassica oleracea gongylodes</i>	–	–		Среднечувствительная			
Салат латук	<i>Lactuca sativa</i>	1,3	13	9	Среднечувствительная			
Дыня	<i>Cucumis melo</i>	2,2	–	16	Среднечувствительная	4,6	2,6	1,5
Пастернак	<i>Pastinaca sativa</i>	–	–		Чувствительная			
Горох	<i>Pisum sativum</i>	2,5	–		Чувствительная	3,2	1,8	1,1
Перец	<i>Capsicum annuum</i>	1,5	14	8,5	Среднечувствительная	2,8	1,6	0,9
Тыква	<i>Cucurbita pepo pepo</i>	2,5	–		Среднечувствительная	3,2	1,8	1,1
Редис	<i>Raphanus sativus</i>	1,2	13	9	Среднечувствительная	1,5	0,9	0,5
Шпинат	<i>Spinacia oleracea</i>	2,0	7,6	15	Среднечувствительная			
Патиссон	<i>Cucurbita pepo melopepo</i>	3,2	16		Среднечувствительная	4,8	2,7	1,6
Цуккини	<i>Cucurbita pepo melopepo</i>	4,7	9,4		Среднеустойчивая	7,3	4,2	2,4
Батат	<i>Ipomoea batatas</i>	1,5	11	10,5	Среднечувствительная	3,0	1,7	1,0
Столовая свекла	<i>Beta vulgaris</i>	4,0	9,0	15	Среднеустойчивая	6,5	3,7	2,1
Морковь	<i>Daucus carota</i>	1,0	14,0	8	Чувствительная	2,2	1,2	0,7
Картофель	<i>Solanum tuberosum</i>	1,7	12,0	10	Среднечувствительная	3,2	1,8	1,1
Томат	<i>Lycopersicon lycopersicum</i>	2,5(2,3)	9,9	12,5	Среднечувствительная	3,5	2,0	1,2
Лук репчатый	<i>Allium cepa</i>	1,2	16,0	7,5	Чувствительная	2,3	1,3	0,8
Огурец	<i>Cucumis sativus</i>	2,5	13,0	10	Среднечувствительная	4,2	2,4	1,4
Репка	<i>Brassica rapa</i>	0,9	9,0		Среднечувствительная	2,5	1,4	0,8
Арбуз	<i>Citrullus lanatus</i>	–	–		Среднечувствительная			

Примечание: в скобках в столбце 3 указаны значения из [1], отличающиеся от значений указанных в [2- 4]

Расчет возможного снижения урожайности можно вести по следующей формуле [2]:

$$CY_{\text{факт}} = (EC_{\text{факт}} - EC_{\text{min}}) \cdot CY_{\text{табл}},$$

где $CY_{\text{факт}}$ – фактическое снижение урожайности, %;

$EC_{\text{факт}}$ – электропроводность проверяемой водонасыщенной почвы, дСм/м;

EC_{min} – пороговое значение электропроводности водонасыщенной почвы (столбец 3 из таблицы 2), дСм/м;

$CY_{\text{табл}}$ – снижение урожайности при повышении электропроводности на 1 дСм/м, %.

Для капельного орошения, когда поливы проводятся достаточно часто, можно принять, что почвенный раствор и оросительная вода идентичны. Для культур R. S. Ayers и D. W. Westcot установили теоретические максимальные значения электропроводности [2], при которых растения не могут расти (столбец 5 в таблице 2). Чтобы определить теоретическое снижение урожайности от использования конкретной поливной воды определяют электропроводность воды, что сделать намного проще, чем определять электропроводность водонасыщенной почвы. Далее сравнивают электропроводность воды с пороговыми значениями электропроводности водонасыщенной почвы (столбец 3 из таблицы 2). В случае если электропроводность воды меньше, то делают вывод о том, что снижения урожайности, обусловленной засоленностью, не ожидается. В противном случае снижение урожайности определяют по формуле [2]:

$$CY_{\text{факт}} = \frac{EC_w - EC_{\text{min}}}{EC_{\text{max}} - EC_{\text{min}}} \times 100,$$

где EC_w – электропроводность оросительной воды, дСм/м;

EC_{max} – максимальное теоретическое значение электропроводности водонасыщенной почвы, при которой урожайность уменьшилась бы до 0 (столбец 5 из таблицы 2), дСм/м.

Оценку пригодности воды для орошения различных культур с учетом гранулометрического состава почвы по ее электропроводности можно осуществить с использованием таблицы 2. В столбцах 7, 8 и 9 указаны пороговые значения электропроводности оросительной воды, применяющейся соответственно на легких, средних и тяжелых почвах. После определения фактического снижения урожайности от использования проверяемой оросительной воды делают заключение о целесообразности выращивания данной культуры или выбирают другую культуру, которая может произрастать в данных условиях без снижения урожайности.

В общем случае для оценки оросительной воды по электропроводности установлены следующие уровни, представленные в таблице 3 [1].

Таблица 3 – Классификация оросительной воды по электропроводности

Электропроводность воды, дСм/м	Классификация оросительной воды по минерализации (уровни содержания растворимых солей)
< 0,65	Низкий
0,65-1,3	Средний
1,3-2,9	Высокий
2,9-5,2	Очень высокий
> 5,2	Экстремально высокий

Таким образом, с помощью показателя электропроводности можно оперативно определить пригодность оросительной воды для орошения запланированной культуры при известном гранулометрическом составе почвы, оценить возможное снижение урожайности культуры или подобрать другую культуру.

Список использованных источников

1 Irrigation water quality – salinity and soil structure stability [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.derm.gld.gov.au/factsheets/pdf/water/w55.pdf/>.

2 National Engineering Handbook. Part 623. Chapter 7. Trickle Irrigation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://viewer.zoho.com/api/urlview.do?url=http://www.wsi.nrcs.usda.gov/products/W2Q/downloads/Irrigation/ChapterSeven.pdf>.

3 National Engineering Handbook. Part 623. Chapter 2. Irrigation Water Requirements [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://irrigationtoolbox.com/NEH/Part623_Irrigation/H_210_623_02.pdf.

4 Maas, E. V. Testing Crops for Salinity Tolerance [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/5310-2000/pdf_pubs/P1287.pdf.

5 Soil Survey Laboratory Methods Manual [Электронный ресурс]. – Режим доступа: ftp://ftpfc.sc.egov.usda.gov/NSSC/Lab_Methods_Manual/SSIR42_2004_view.pdf.

Воеводина Лидия Анатольевна – кандидат сельскохозяйственных наук, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации», старший научный сотрудник.
Контактный телефон: 8 (8635) 266500. E-mail: vovteh@rambler.ru

Voyevodina Lidiya Anatolyevna – Candidate of Agricultural Sciences, Federal State Budget Scientific-Research Establishment “Russian Scientific-Research Institute of Land Improvement Problems”, Senior Researcher.
Contact telephone number: 8 (8635) 266500. E-mail: vovteh@rambler.ru