

УДК 631.434:631.67

Л. А. Воеводина

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

СТРУКТУРА ПОЧВЫ И ФАКТОРЫ, ИЗМЕНЯЮЩИЕ ЕЕ ПРИ ОРОШЕНИИ

В результате анализа литературных источников выявлены наиболее важные для орошения характеристики структуры почвы. Структура проявляется в почвах, более тяжелых по гранулометрическому составу, чем легкосуглинистые. Наиболее благоприятными для продуктивности растений являются агрегаты почвы размером 2–3 мм. Важно наличие в агрегатах пор размером от 0,1 до 30 мкм, в которых создаются условия для сохранения доступной влаги для роста корней и жизнедеятельности бактерий. Одним из показателей качества структуры является водоустойчивость агрегатов, обусловленная цементацией механических элементов свежесаженным органическим веществом. В настоящее время отсутствует теория механизма образования структуры. Одной из гипотез является гипотеза влияния амфифильности органического вещества на агрегатообразование. Водоустойчивость агрегатов особенно важна для орошаемых почв ввиду того, что любой способ орошения имеет определенное отрицательное влияние на структуру почвы, которое проявляется в химическом и физическом воздействии воды, поступающей в почву. Химическое воздействие в основном обусловлено катионо-анионным составом воды и может быть охарактеризовано через показатели натриево-адсорбционного отношения и удельной электропроводности. Почвы тяжелого гранулометрического состава, содержащие глинистые минералы с высокой долей смектита (монтмориллонита), должны поливаться водой с минимальным содержанием натрия. Физическое воздействие воды связано со скоростью ее распространения в почве: высокие скорости отрицательно влияют на структуру почвы и способствуют ее разрушению. В связи с этим для сохранения структуры предпочтительным является медленное поступление воды в почву, что проявляется в ограничении скорости потока в поливной борозде до 0,15 м/с, скорости падения капель до 4 м/с при их диаметре от 0,4 до 1,0 мм, интенсивности водоподачи до значения, сопоставимого со скоростью впитывания.

Ключевые слова: структура почвы, водоустойчивость, органическое вещество, амфифильность, орошение, качество воды, поверхностный полив, дождевание, капельное орошение.

L. A. Voyevodina

Russian Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

SOIL STRUCTURE AND THE FACTORS CHANGING IT AT IRRIGATION

Literature analysis revealed the most important characteristics of soil structure for irrigation. Soil structure is appeared in soils which have texture heavier than sandy loam. The aggregates by the size 2–3 mm are the most favorable for crop productivity. It is important that aggregates have pores which size is from 0.1 to 30 micrometers. In these pores the conditions for preserving available moisture for root growing and bacteria activity are created. One of the indices of soil structure quality is aggregate water stability due to cementation of tex-

ture fractions by recently precipitated organic matter. At the present time, there is no the theory of formation mechanism of soil structure. Among the existing hypotheses there is the hypothesis of the influence of amphiphilicity of organic matter on aggregate formation. Aggregate water stability is the most important for irrigated soils because any irrigation method has some negative effect on soil structure which appears in the chemical and physical impact of water entering soil. Chemical impact mainly caused by cation-anion composition of water and can be characterized through such indices as SAR (sodium absorption ratio) and EC (electrical conductivity). Fine texture soils which contain clay minerals with high ratio of smectite (montmorillonite) should be irrigated by water with minimal content of sodium. Physical impact of water is related to the rate of its distribution in soil. High rates have negative effect on soil structure and facilitate its destruction. Thereby, slow entering of water into soil is preferable for soil structure preserving which is manifested in speed limit of water flow in irrigation furrow to 0.15 m/sec, raindrop fall speed to 4 m/sec at mean diameter 0.4 to 1.0 mm, intensity of water discharge to a value comparable to the absorption rate of the soil.

Keywords: soil structure, water stability, organic matter, amphiphilicity, irrigation, water quality, surface irrigation, sprinkling, drip irrigation.

Согласно ГОСТ 27593–88¹ под структурой почвы понимается физическое строение ее твердой части и порового пространства, обусловленное размером, формой, количественным соотношением, характером взаимосвязи и расположением как механических элементов, так и состоящих из них агрегатов. Структура проявляется только в почвах, содержащих достаточное количество мелких частиц. Так, почвы с преобладанием песчаной фракции не являются структурными, их называют бесструктурными, или неагрегированными. Структура почвы начинает проявляться лишь в легкосуглинистых почвах, доходя до максимума в глинистых почвах [1]. В почвах встречаются следующие агрегаты, различные по форме и размеру: комки, глыбы – свойственны пашням, пахотному слою, порошистые, зернистые, ореховатые, крупноореховатые, призмовидные, столбчатые, плитчатые чешуйчатые и др. [2]. Кроме того, в почвах встречаются такие структурные элементы, как новообразования (ортштейны, карбонатные стяжения). В суглинистых и более тяжелых почвах преобладают микроагрегаты размером 0,25–0,10 мм [3].

Для сельскохозяйственного производства важно наличие агрономически ценной структуры почвы, которая характеризуется преоблада-

¹ ГОСТ 27593–88. Почвы. Термины и определения. – Введ. 1988-02-23. – М.: Стандартинформ, 2006. – 10 с.

нием в составе почвы мезоагрегатов, т. е. агрегатов размером от 0,25 до 7 (10) мм [1]. В начале 20-го в. было установлено, что наивысшие урожаи получали, если почва состояла из агрегатов размером 2–3 мм. Также слой агрегатов этого размера на поверхности способствовал уменьшению испарения по сравнению с распыленной почвой [4]. А. А. Роде и Д. В. Федоровский [5] считали, что для мощных черноземов Центрально-Черноземной полосы мелкокомковатая зернистая структура с зернами 1–5 мм наиболее благоприятна для водного, воздушного и пищевого режимов, роста корневых систем растений.

Почва, состоящая из агрегатов меньше 0,25 мм, обнаруживает свойства бесструктурной: она медленно пропускает воду и быстро высыхает, т. е. плохо запасает воду, неэффективно использует выпадающие осадки, подвержена водной и ветровой эрозии. Будучи увлажненной, она содержит мало воздуха. Температурные колебания в такой почве более резкие, чем в структурной [1, 3, 4, 6, 7].

Той или иной структурой почвы обуславливаются до известной степени ее водные, воздушные и тепловые свойства, особенно водопроницаемость, влагоемкость и водопроводимость [8]. Структурной почве присуще сбалансированное содержание воздуха и воды. Так, при влажности на уровне наименьшей влагоемкости соотношение воды и воздуха в процентах составляет 60 : 40, что соответствует оптимальным условиям для развития корневых систем растений, почвообитающих животных, аэробных микроорганизмов в межагрегатной среде и на поверхности агрегатов и анаэробных форм в массе самих агрегатов [1].

Содержание воздуха и воды и доступность их для растений и микроорганизмов во многом определяются наличием пор различного размера. В таблице 1 представлена информация о размере пор и их значении для сохранения влаги и жизнедеятельности организмов. Влага, доступная для растений, содержится в порах размером 0,1–30 мкм, в основном это

мезопоры, согласно таблице 1, составленной на основе данных Т. J. Marshall и J. W. Holmes [9, 10].

Таблица 1 – Размеры пор и их значение для сохранения влаги и жизнедеятельности организмов

Поры	Размер пор			Возможность роста корней	Отношение к влаге	Примечание	
	мм	мкм	молекул воды				
Макропоры	10	10000	30000000	+	Быстро освобождаются от воды		
	1	1000	3000000	+			
	0,1	100	300000	+			
Мезопоры	0,01	10	30000	+	Способны сохранять влагу	Наименьшие поры для бактерий	
	0,001	1	3000	+			
Микропоры	0,0001	0,1	300	+	Влага недоступна для растений	Заполнены водой постоянно	Стенки пор – катионно-обменные поверхности
	0,00001	0,01	30				
	0,000001	0,001	3				

При оценке структурного состояния важно, чтобы агрегаты были водопрочными, долговечно устойчивыми. П. В. Вершинин различал истинную и условную водопрочность. Так, истинная водопрочность измерялась при быстром погружении агрегатов в воду, а условная определялась при погружении в воду капиллярно-насыщенных агрегатов, при этом условная водопрочность всегда была выше [4]. На основе этого явления можно заключить, что при медленном насыщении влагой структура почвы сохраняется лучше.

В. Р. Вильямс выделял два свойства почвенных агрегатов: связность и прочность. Под связностью понимается способность агрегата противостоять механической силе воздействия, она зависит от количества иловатых и особенно коллоидных частиц. Прочность – способность агрегата длительно противостоять размывающему действию воды, она зависит только от качества перегноя и обусловлена цементацией механических элементов свежесажженным перегноем. Водопрочность почвенных агре-

готов обусловлена различной природой «клеящих» веществ, участвующих в структурообразовании, их связью с механическими элементами [6]. Почвенный агрегат может быть связным, но непрочным. Так, комочек глины трудно разрушить рукой, но в воде он быстро распадается на составляющие его механические элементы.

Агрономически ценной считается водопрочная с высокой порозностью структура. Однако если водопрочность обусловлена водонепроницаемостью агрегатов, связанной с наличием в основном тонких неактивных пор, она не может быть агрономически ценной.

Методы изучения структуры можно подразделить на группы: 1) морфологическое описание структуры; 2) изучение качества структуры: водопрочности и механической прочности; 3) выяснение природы водопрочности и механической прочности почвенного агрегата путем изучения его строения и причин, обуславливающих связь между отдельными первичными частицами [6].

Оценку структуры почвы в отношении ее водопрочности проводят по количеству агрегатов определенного размера, получающихся после «мокрого» просеивания. Для оценки структурного состояния используют также показатели определения общего количества агрегатов $> 0,25$ мм при «мокром» просеивании (классификация, предложенная И. В. Кузнецовой), критерий водопрочности агрегатов [критерий АФИ: отношение суммы агрегатов (1,00–0,25 мм) при «мокром» и «сухом» просеиваниях (%)]. По мнению А. Л. Золотарева и А. К. Шерстнева, наиболее информативным и важным показателем оструктуренности почв является коэффициент водопрочности почвенных агрегатов K (%), определяемый по методу Андрианова – Качинского [11].

За рубежом при оценке структуры почвы используют такие показатели, как распад (slaking) и дисперсия (dispersion) почвенных агрега-

тов¹ [12]. Если дисперсия в основном обусловлена химическими стрессами, то распад почвенных агрегатов происходит ввиду того, что их прочность не может противостоять возникающим при орошении воздействиям, таким как неравномерное набухание, защемленный воздух, расклинивающий стресс, теплота смачивания [13].

Водопрочная структура особенно важна в орошаемом земледелии, потому что после увлажнения поверхности почвы, которое может происходить значительно чаще, чем характерное для природных засушливых условий увлажнение атмосферными осадками, почва не должна покрываться непроницаемой для воздуха и воды коркой, а должна сохранять комковато-зернистую структуру после подсыхания.

При смачивании почвенных частиц на их поверхности образуется пленка, которая «расклинивает» или «раздвигает» частицу. Это действие воды называют расклинивающим давлением водных пленок. Кроме того, при увлажнении, особенно сухой почвы, внутрь агрегата поступает вода. Когда она поступает быстро, давление внутри агрегата повышается и буквально взрывает его. Если же внутри агрегата между частицами, составляющими его, имеются прочные связи, препятствующие вышеописанному действию воды, то он обладает водопрочностью или является водоустойчивым [3].

Все агрегаты состоят из элементарных почвенных частиц (рисунок 1). Теоретически элементарная почвенная частица – это минерал, обломок породы, их осколки, коллоиды, остатки растений. Именно элементарные почвенные частицы определяют гранулометрический состав почв. Механизмы образования агрегатов из этих частиц пока гипотетичны.

¹ Chap. D4. Slaking and dispersion [Electronic resource]. – Mode of access: http://www.dpi.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0008/127277/Slaking-and-dispersion.pdf, 2015.

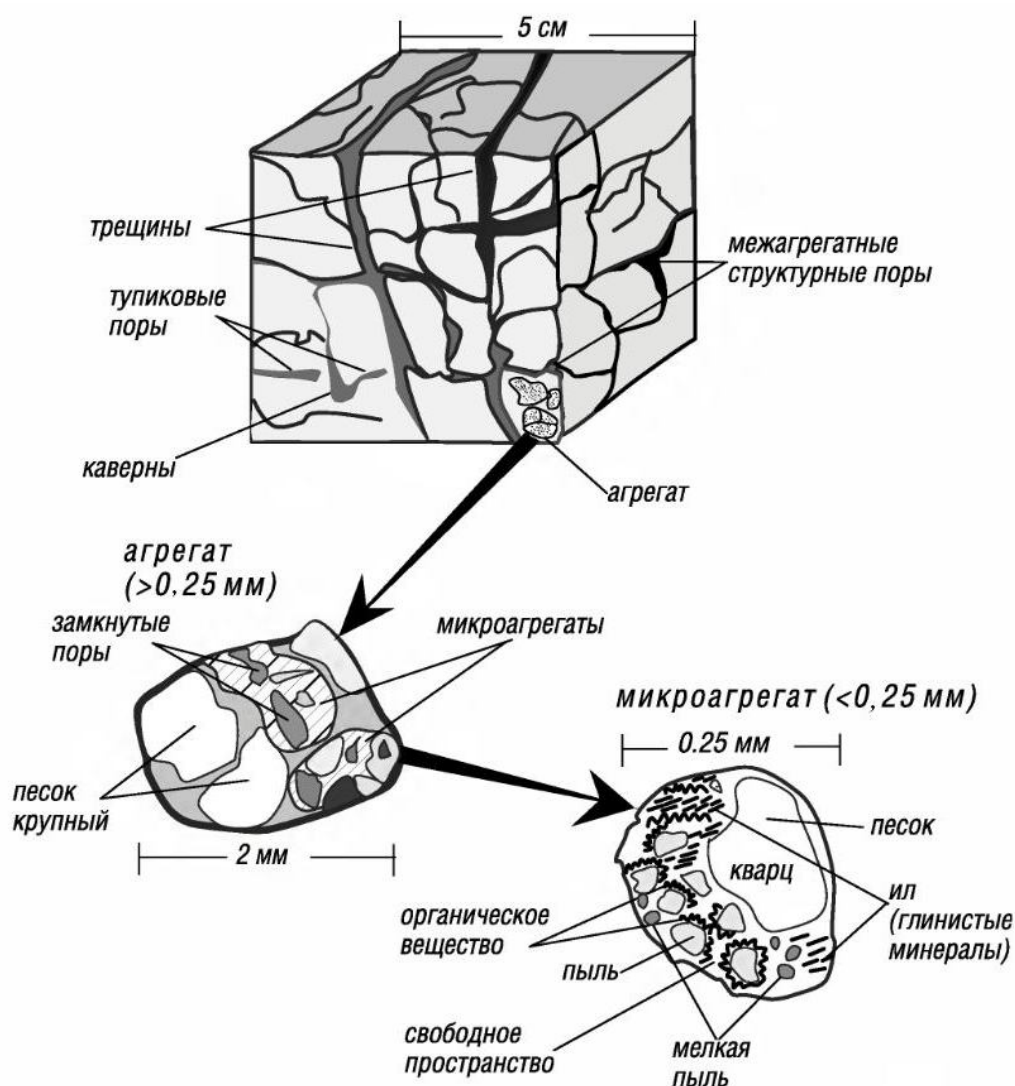


Рисунок 1 – Схема агрегатного строения почв [3]

Одной из гипотез образования структуры, представляющих возможные механизмы влияния органического вещества на агрегатообразование, является гипотеза влияния на него гидрофильных и гидрофобных компонентов (амфифильности) органического вещества [3, 14]. Амфифильность – это свойство природных органических веществ проявлять как гидрофобные (отталкивать воду), так и гидрофильные (притягивать молекулы воды, соединяться с ними) качества. Большинство биологических макромолекул являются амфифильными веществами. Амфифильность обусловлена наличием в их составе как гидрофильных (полярных) групп, так и гидрофобных (неполярных) зон. Если на поверхности гидрофильной минеральной частицы отсутствуют амфифильные органические вещества,

то частицы распадаются в воде под действием расклинивающего давления (рисунок 2, а). Если амфифильные органические вещества присоединяются своей гидрофильной частью к минеральной частице, а их гидрофобная часть взаимодействует с гидрофобными частями другой амфифильной органической частицы, то агрегат является более водоустойчивым (рисунок 2, б). Ограничение скорости поступления воды в агрегат за счет гидрофобных частей органических молекул обуславливает уменьшение расклинивающего давления и тем самым увеличивает водоустойчивость.

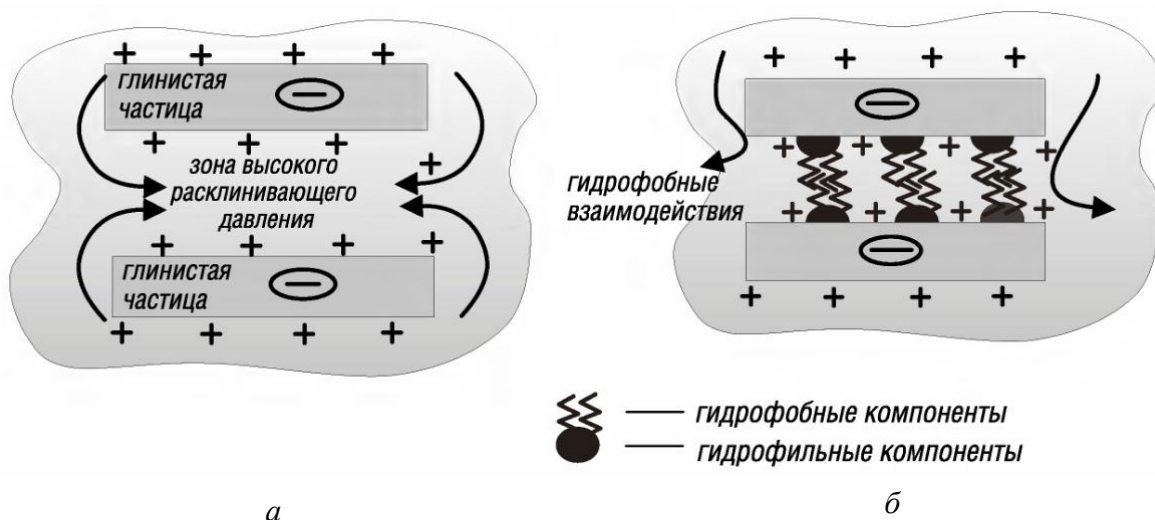


Рисунок 2 – Схема агрегата, распадающегося в воде под действием расклинивающего давления (а), и агрегата, водоустойчивого за счет формирования сил гидрофобного взаимодействия между частицами (б) [3]

Таким образом, структура почвы обеспечивает благоприятный водно-воздушный режим для корневой системы растения, способствует лучшему снабжению питательными элементами, что в конечном итоге сказывается на получении более высоких урожаев на структурных почвах.

Орошаемые земли призваны обеспечивать гарантированный урожай сельскохозяйственных культур при недостаточном количестве атмосферных осадков для ее выращивания, т. е. урожайность на этих землях должна быть стабильно высокой, чтобы окупать дополнительные затраты, связанные с эксплуатацией этих земель. Поэтому наличие и сохранение благо-

приятной почвенной структуры является одной из приоритетных задач орошаемого земледелия.

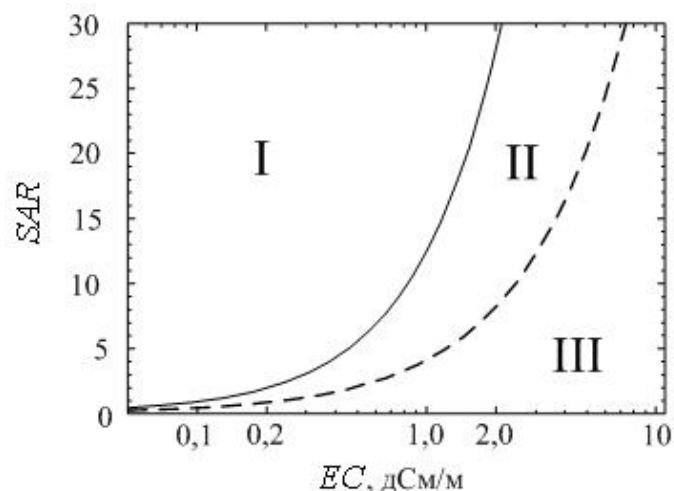
Орошаемые земли отличаются от богарных тем, что на орошаемые поля подается дополнительное количество воды, причем *качество* этой воды и *способ* ее *распределения* по полю отличаются от естественных природных условий. Рассмотрим влияние этих двух факторов на структуру почвы.

Качество воды во многом определяется ее катионно-анионным составом. Наибольшее влияние на ухудшение структуры почвы имеет содержание в оросительной воде катиона натрия и его соотношение с другими катионами. Критериями, по которым определяется угроза утраты почвой структуры, являются такие показатели воды, как *SAR* (*Sodium Adsorption Ratio* – натриево-адсорбционное отношение) и *EC* (*Electrical Conductivity* – удельная электропроводность). *EC* оросительной воды определяют с использованием кондуктометров, единицами измерения является дСм/м. *SAR* определяется по формуле:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}},$$

где Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} – содержание натрия, кальция и магния в оросительной воде, мг-экв./дм³.

На рисунке 3 представлен график, с помощью которого можно прогнозировать устойчивость почвенной структуры. Так, если значения соответствуют I зоне, то вероятность проблем, связанных с утратой почвой структуры, очень высока, если же значения соответствуют III зоне, то проблем со стабильностью почвенной структуры быть не должно, II зона является переходной, и возникновение проблем, связанных со стабильностью почвы, зависит от свойств почвы.



I – зона риска утраты водопрочности почвы; II – переходная зона, возникновение проблем зависит от свойств почвы; III – зона стабильной почвенной структуры

Рисунок 3 – Отношение между показателями SAR и EC в оросительной воде для прогноза устойчивости структуры почвы¹

Свойства почвы, которые могут в значительной степени повлиять на водопрочность, во многом определяются минералогическим составом. Однако данный анализ является сложным, поэтому на основе многочисленных данных, полученных в Австралии и США, был выведен показатель CCR, который является отношением емкости катионного обмена (мг-экв./100 г почвы) к содержанию глины в почве (%) [15, 16]. Значения этого показателя и соответствующие им преобладающие глинистые почвенные минералы представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Отношение между CCR и глинистыми минералами (на основе данных R. J. Shaw и др. [15, 16])

CCR	Преобладающий глинистый почвенный минерал
< 0,2	Каолинит
0,20–0,35	Иллит и каолинит
0,35–0,55	Смесь глинистых минералов
0,55–0,75	Смесь глинистых минералов с высокой долей смектита
> 0,75	Преобладает смектит

С учетом гранулометрического и минералогического состава почвы определяются допустимые пределы SAR для оросительной воды. Одним

¹ Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality (2000). Vol. 3, Chap. 9. Primary Industries. 9.2. Water quality for irrigation and general use [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.gfmwq-guidelines-vol3-9-2.pdf>, 2015.

из примеров может служить таблица 3¹.

Таблица 3 – Допустимые пределы SAR для почв различного гранулометрического и минералогического состава

Содержание глины, %	Гранулометрический состав	Допустимое значение SAR в оросительной воде				
		Минералогический состав почвенной глины CCR				
		< 0,35	0,35–0,55	0,55–0,75	0,75–0,95	> 0,95
< 15	Песок, супесь	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20
15–25	Суглинок, пылеватый суглинок	20	11	10	10	8
25–35	Иловатый суглинок	13	11	8	5	6
35–45	Легкая глина	11	8	5	5	5
45–55	Средняя глина	10	5	5	5	5
55–65	Среднетяжелая глина	5	5	5	4	4
65–75	Тяжелая глина	-	4	4	4	4
75–85	Тяжелая глина	-	-	4	5	5

Таким образом, сопоставив данные таблиц 2 и 3, можно заключить, что содержание натрия в оросительной воде должно быть тем меньше, чем тяжелее гранулометрический состав и выше содержание смектита. В то же время на легких почвах допустимо использование оросительной воды с более высоким содержанием натрия. Такие ограничения во многом диктуются тем, что при разрушении структуры тяжелых почв происходит образование поверхностной корки, уплотнение почвенного профиля мельчайшими глинистыми частицами, закупоривание почвенных пор, которые не могут запасать влагу, доступную для растений.

Сельскохозяйственные культуры по своей устойчивости к содержанию натрия в почве можно условно разделить на три группы (таблица 4): чувствительные, относительно устойчивые, устойчивые².

Как можно видеть из данных таблицы 4, даже самые чувствительные культуры способны произрастать при значительном содержании обменного натрия, а главным лимитирующим фактором является недостаток кислорода, который возникает при утрате почвенной структуры.

¹ Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality (2000). Vol. 3, Chap. 9. Primary Industries. 9.2. Water quality for irrigation and general use [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.gfmwq-guidelines-vol3-9-2.pdf>, 2015.

² Water quality for agriculture [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.fao.org/docrep/003/t0234e/t0234e05.htm>, 2015.

Таблица 4 – Относительная устойчивость некоторых культур к обменному натрию

Чувствительные, содержание обменного натрия менее 15 %	Относительно устойчивые, содержание обменного натрия 15–40 %	Устойчивые, содержание обменного натрия более 40 %
Авокадо (<i>Persea americana</i>) Плодовые культуры Орехи Фасоль (<i>Phaseolus vulgaris</i>) Хлопок (в период прорастания) (<i>Gossypium hirsutum</i>) Кукуруза (<i>Zea mays</i>) Горох (<i>Pisum sativum</i>) Грейпфрут (<i>Citrus paradisi</i>) Лимон (<i>Citrus sinensis</i>) Персик (<i>Prunus persica</i>) Мандарин (<i>Citrus reticulata</i>) Чечевица (<i>Lens culinaris</i>) Арахис (<i>Arachis hypogaea</i>) Нут (<i>Cicer arietinum</i>) Вигна (<i>Vigna sinensis</i>)	Морковь (<i>Daucus carota</i>) Клевер (<i>Trifolium repens</i>) Паспалум расширенный (<i>Paspalum dilatatum</i>) Овсяница (<i>Festuca arundinacea</i>) Салат (<i>Lactuca sativa</i>) Сахарный тростник Горчица сарептская (<i>Brassica juncea</i>) Овес (<i>Avena sativa</i>) Лук (<i>Allium cepa</i>) Редис (<i>Raphanus sativus</i>) Рис (<i>Oryza sativus</i>) Рожь (<i>Secale cereale</i>) Райграс (<i>Lolium multiflorum</i>) Шпинат (<i>Spinacia oleracea</i>) Томаты (<i>Lycopersicon esculentum</i>) Вика (<i>Vicia sativa</i>) Пшеница (<i>Triticum vulgare</i>)	Люцерна (<i>Medicago sativa</i>) Ячмень (<i>Hordeum vulgare</i>) Свекла столовая и сахарная (<i>Beta vulgaris</i>) Свиной пальчатый, бермудская трава (<i>Cynodon dactylon</i>) Хлопок (<i>Gossypium hirsutum</i>) Параграсс (<i>Brachiaria mutica</i>) Пырей (<i>Agropyron cristatum</i>)

Таким образом, для сохранения структуры почвы необходимо учитывать такие показатели качества оросительной воды, как *SAR* (единицы *SAR*), *EC* (дСм/м), и такие показатели почвы, как гранулометрический состав (% содержания глины), емкость катионного обмена (мг-экв./100 г почвы).

Что касается способа распределения воды по полю, то основными способами являются поверхностный полив, дождевание и капельное орошение.

При *поверхностном поливе*, когда увлажнение почвы происходит во время горизонтального перемещения воды по поверхности поля при вертикальном просачивании ее гравитационным путем и последующем насыщении почвы по капиллярам [17], наибольшее влияние воды (без учета

качества) проявляется через «расклинивающее» действие водных пленок, разрушающее действие заземленного воздуха внутри агрегатов, а также разрушающее действие потока воды, протекающего по борозде или полосе поля.

Основное внимание при поверхностном поливе для сохранения почвенной структуры должно быть уделено скорости потока и расходу воды в борозде. При больших скоростях и расходах возможна эрозия почвы. Для предупреждения эрозии скорость потока не должна превышать 0,15 м/с, величина расхода Q (л/мин) должна подчиняться зависимостям, учитывающим уклон борозды (%) (таблица 5). На практике верхний предел расхода потока составляет около 190 л/мин, при больших расходах необходимо увеличивать площадь сечения борозды.

Таблица 5 – Расход воды в борозде для почв разной эрозионности¹

Эрозионность почв	Зависимость
Эрозионно устойчивые	$Q=57/S$
Средняя	$Q=47/S$
Умеренная	$Q=38/S$
Высокая	$Q=19/S$
Примечание – Q – расход потока, л/мин; S – уклон борозды, %.	

При *дождевании* вода распространяется по полю наиболее естественным способом в виде дождя, а точнее, многочисленных капель дождя. Поэтому на структуру почвы воздействует не только качество воды, но и качество искусственного дождя, которое характеризуется такими величинами, как диаметр капель (мм), интенсивность дождя (мм/мин), скорость падения капель (м/с). В таблицах 6 и 7 представлены характеристики естественного природного дождя и искусственного дождя, создаваемого наиболее распространенными дождевальными машинами. Наиболее благоприятным для растений и почвы считается морозящий дождь, состоящий из капель диаметром 0,4–0,9 мм [18, 19].

¹ National irrigation guide. Pt. 652 [Electronic resource]. – 1997. – Mode of access: <http://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=17837.wba>, 2015.

Таблица 6 – Характеристика естественного дождя [17, 20]

Характеристика дождя	Интенсивность дождя		Диаметр капель, мм	Скорость падения капель, м/с
	мм/мин	мм/ч		
Моросящий	0,0064	0,4	0,2	0,75
Легкий	0,016	1,0	0,5	2,0
Умеренный	0,066	4,0	1,0	4,0
Сильный	0,25	15,0	1,5	5,0
Очень сильный	0,66	40,0	2,1	6,7
Ливень	1,67	100,0	5,0	8,0

Таблица 7 – Характеристика искусственного дождя [21–23]

Марка поливной техники	Интенсивность дождя		Диаметр капель, мм	Скорость падения капель, м/с
	мм/мин	мм/ч		
ДМ «Кубань-ЛШ»	0,50	30	1,0–1,8	4,5
ДМ «Кубань»	1,01	60	0,5–1,1	2,3
МДШ-30/275	0,50	30	1,0–1,7	4,5
ДМ «Фрегат»	0,17–0,29	11–18	1,0–1,6	4,5
ДМ «Ладога»	0,65	39	1,0–1,5	4,5
ДМ «Волжанка»	0,30	18	1,5–2,8	4,5
ДМ «Днепр»	0,67	40	1,2–1,9	4,6
ДКДФ-1	0,28	16,8	0,57–1,20	2,47–4,64

Данные таблиц 6 и 7 указывают на то, что скорости, с которыми любые капли (как естественного, так и искусственного дождя) падают на поверхность земли, превышают скорость потока (рассмотренную выше), которая вызывает эрозию. Дождь смачивает верхний слой почвы, и она становится такой же увлажненной, как и почва борозды, по которой протекает поток. Поэтому любой дождь разрушает почвенную структуру. Исследованиями А. М. Поспелова [19], А. М. Абрамова [24] и др. установлено, что под воздействием дождя почвенные агрегаты в поверхностном слое на глубину 2–3 см разрушаются, происходит заплывание почвы, в результате чего скорость поглощения воды снижается. Разрушение почвенных частиц происходит тем больше, чем выше интенсивность дождя и крупнее капли. Скорость капли диаметром 4 мм при ударе о землю составляет порядка 8 м/с и сопоставима с ударом трехметровой волны о скалу [25]. Согласно современным представлениям капли диаметром более 4 мм являются нестабильными и могут существовать короткое время, а затем распадаются на более мелкие. Наиболее устойчивой сферической формой облада-

ют капли диаметром около 1,0 мм. Однако некоторые капли диаметром менее 0,8 мм могут иметь скорость, во много раз (до 10 раз) превосходящую предельную скорость падения [26, 27]. Зафиксировать это явление помогли современные оптико-электронные приборы для измерения распределения частиц осадков по размерам и скоростям – оптические дисдрометры [28–30]. В наибольшей степени дождь воздействует на частицы пыли, не обладающие той связностью, которую имеют глинистые частицы, и вместе с тем легко перемещающиеся [31].

При *капельном орошении* кажущееся небольшое количество воды, поступающее на всю поверхность поля, непосредственно под капельницами поступает со значительной интенсивностью. Например, по данным D. R. Currie, проводившему опыты на супесчаной почве, при расходе капельницы 4 л/ч увлажняется почвенный круг около 30 см, что соответствует интенсивности дождя около 60 мм/ч, которая бывает при тропическом ливне [7, 13]. Поэтому почва под капельницей испытывает действие воды, превосходящее по интенсивности воздействие при дождевании.

Анализ современных способов полива показал, что все они негативно влияют на структуру почвы. В естественных условиях разрушающему действию воды противостоит растительность, которая покрывает почву. Она снижает скорость капель, обеспечивает поступление свежего органического вещества в почву, которое является важнейшим условием качественной структуры. В тех местах, где растительности нет, сформировались пустыни, почва которых лишена структуры, это либо пески, либо бесструктурные глины. Такое противоречие, при котором невозможно создать условия, не разрушающие структуру почв, вызывает поиск новых подходов к организации орошения. Примерами таких новых подходов являются циклическое орошение, внутрпочвенная импульсная континуально-дискретная парадигма ирригации и др. [32–34].

Выводы. В результате анализа литературных источников установле-

но, что структура проявляется в почвах, более тяжелых по гранулометрическому составу, чем легкосуглинистые.

Наиболее благоприятными для продуктивности растений являются агрегаты почвы размером 2–3 мм. Важно наличие в агрегатах пор размером от 0,1 до 30 мкм, в которых создаются условия для сохранения доступной влаги для роста корней и жизнедеятельности бактерий.

Одним из показателей качества структуры является водопрочность агрегатов, обусловленная цементацией механических элементов свежесаженым органическим веществом.

В настоящее время отсутствует теория механизма образования структуры. Одной из гипотез является гипотеза влияния амфифильности органического вещества на агрегатобразование.

Водопрочность агрегатов особенно важна в орошаемом земледелии ввиду того, что любой способ орошения имеет определенное отрицательное влияние на структуру почвы, которое проявляется в химическом и физическом воздействии воды, поступающей в почву. Химическое воздействие в основном обусловлено катионно-анионным составом воды и может быть охарактеризовано через показатели *SAR* и *EC*. Почвы тяжелого гранулометрического состава, содержащие глинистые минералы с высокой долей смектита (монтмориллонита), должны поливаться водой с минимальным содержанием натрия.

Физическое воздействие воды связано со скоростью ее распространения в почве: высокие скорости отрицательно влияют на структуру почвы и способствуют ее разрушению. Для сохранения структуры почвы предпочтительным является медленное поступление воды в почву, что проявляется в ограничении скорости потока в поливной борозде до 0,15 м/с, скорости падения капель до 4 м/с при их диаметре от 0,4 до 1,0 мм, интенсивности водоподачи до значения, сопоставимого со скоростью впитывания.

Список литературы

- 1 Плодородие почв и сельскохозяйственные растения: экологические аспекты / В. Ф. Вальков, Т. В. Денисова, К. Ш. Казеев, С. И. Колесников, Р. В. Кузнецов. – Ростов н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2008. – 416 с.
- 2 Захаров, С. А. Курс почвоведения / С. А. Захаров. – М. – Л.: Сельколхозгиз, 1931. – 550 с.
- 3 Теории и методы физики почв: коллектив. моногр. [Электронный ресурс] / под ред. Е. В. Шеина, Л. О. Карпачевского. – М.: «Гриф и К», 2007. – Режим доступа: <http://pochva.com>, 2014.
- 4 Вершинин, П. В. Почвенная структура и условия ее формирования / П. В. Вершинин. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1958. – 188 с.
- 5 Роде, А. А. Несколько данных о мощных черноземах Курской зональной опытно-мелиоративной станции и изменении их свойств при орошении / А. А. Роде, Д. В. Федоровский // Орошение сельскохозяйственных культур в Центрально-Черноземной полосе РСФСР: сборник. – М., 1956. – С. 85–98.
- 6 Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
- 7 Murray, R. S. The Impact of Irrigation on Soil Structure [Electronic resource] / R. S. Murray, C. D. Grant; University of Adelaide. – 2007. – 31 p. – Mode of access: <http://lwa.gov.au/products/pn20619>, 2015.
- 8 Захаров, С. А. Курс почвоведения / С. А. Захаров. – М. – Л.: Госиздат, 1927. – 455 с.
- 9 Marshall, T. J. Soil Physics / T. J. Marshall, J. W. Holmes. – 2nd ed. – Cambridge University Press, 1988. – 374 p.
- 10 Marshall, T. J. Soil Physics / T. J. Marshall, J. W. Holmes, C. W. Rose. – 3rd ed. – Cambridge University Press, 1996. – 247 p.
- 11 Золотарев, А. Л. Влияние смывости на структурное состояние чернозема обыкновенного карбонатного / А. Л. Золотарев, А. К. Шерстнев // Материалы V Всероссийского съезда почвоведов им. В. В. Докучаева, г. Ростов-на-Дону, 18–23 августа 2008 г. – Ростов н/Д.: Ростиздат, 2008. – С. 7.
- 12 Soil Quality Test Kit Guide / United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Natural Resources Conservation Service, Soil Quality Institute. – 1999. – 82 p.
- 13 Currie, D. R. Soil Physical Degradation due to Drip Irrigation in Vineyards: Evidence and Implications: Ph.D. thesis / Currie D. R. – The University of Adelaide, 2006. – 108 p.
- 14 Милановский, Е. Ю. Гумусовые вещества почв как природные гидрофобно-гидрофильные соединения / Е. Ю. Милановский. – М.: ГЭОС, 2009. – 186 с.
- 15 Shaw, R. J. Root zone sodicity / R. J. Shaw, K. J. Coughlan, L. C. Bell // Sodic soils: Distribution, properties, management, and environmental consequences. – N. Y.: Oxford University Press, 1998. – P. 95–106.
- 16 Eldridge, S. M. Sugar soils: A guide to characterising Australian sugarcane soils / S. M. Eldridge; A CRC Sugar Technical Publication September. – Townsville: CRC for Sustainable Sugar Production, 2003. – 169 p.
- 17 Лебедев, Б. М. Дождевальные машины / Б. М. Лебедев. – М.: Машиностроение, 1977. – 244 с.
- 18 Мелиорация и водное хозяйство. Т. 6. Орошение: справочник / под ред. Б. Б. Шумакова. – М.: Агропромиздат, 1990. – 415 с.
- 19 Поспелов, А. М. Дождевание / А. М. Поспелов – М.: Сельхозиздат, 1962. – 168 с.

20 Гемфрис, В. Физика воздуха / В. Гемфрис. – М.: ОНТИ НКГП СССР, 1936. – 515 с.

21 Губер, К. В. Требования к характеристикам дождя при создании дождевальной техники / К. В. Губер, Г. П. Лямперт, М. Ю. Храбров // Современные проблемы мелиораций и пути их решения. – М., 1999. – Т. 1(98). – С. 187–199.

22 Снопич, Ю. Ф. Применение основных законов дождевания при обосновании конструкции ДМ «ДКФ-1ПК-1» / Ю. Ф. Снопич, А. Е. Шепелев // Мелиорация и водное хозяйство. – 2006. – № 4. – С. 57–58.

23 Слабунов, В. В. Повышение эффективности полива путем совершенствования конструктивных параметров дождевателя консольного дальнеструйного фронтального: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / Слабунов Владимир Викторович. – Саратов, 2005. – 22 с.

24 Абрамов, А. М. Определение параметров впитывания воды в почву с учетом энергетических характеристик дождя / А. М. Абрамов // Почвоведение. – 1985. – № 6. – С. 137–143.

25 Egbert Giles Leigh Jr. Tropical Forest Ecology: A View from Barro Colorado Island / Egbert Giles Leigh Jr.; Smithsonian Tropical Research Institute. – Oxford University Press, 1999. – 245 p.

26 Mills, A. Falling Faster – Researchers Confirm Super-Terminal Raindrops [Electronic resource] / A. Mills // Michigan Tech News. – 2015, February. – Mode of access: <http://www.mtu.edu/news/stories/2015/february/falling-faster-researchers-confirm-super-terminal-raindrops.html>, 2015.

27 Do all raindrops fall at terminal speed? / G. Montero-Martinez, A. B. Kostinski, R. A. Shaw, F. Garcia-Garcia // Geophysical Research Letters. – 2009. – Vol. 36, Iss. 11. – P. 8–18. – DOI: 10.1029/2008GL037111.

28 Kruger, A. Two-dimensional video disdrometer: A description / A. Kruger, W. F. Krajewski // J. Atmos Oceanic Technol. – 2002. – 19. – P. 602–617.

29 A new optical instrument for simultaneous measurement of raindrop diameter and fallspeed distribution / D. Hauser, P. Amayenc, B. Nutten, P. Waldteufel // J. Atmos. Oceanic Technol. – 1984. – № 1. – P. 256–269.

30 Кобзев, А. А. Оптико-электронный двухканальный измеритель атмосферных осадков: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.11.07 / Кобзев Алексей Анатольевич. – Томск, 2013. – 22 с.

31 Маккавеев, Н. И. Русло реки и эрозия в ее бассейне / Н. И. Маккавеев. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 346 с.

32 Щедрин, В. Н. Теория и практика альтернативных видов орошения черноземов юга Европейской территории России / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев. – Новочеркасск: Лик, 2011. – 435 с.

33 Обоснование и пути реализации внутрипочвенной импульсной континуально-дискретной парадигмы ирригации [Электронный ресурс] / В. П. Калиниченко, Т. М. Минкина, А. Н. Сковпень, А. П. Ендовицкий, Л. П. Ильина, А. А. Болдырев, А. Э. Рыхлик, С. А. Яценко, С. А. Ермаков // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2012. – № 3(07). – 13 с. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec128-field6.pdf.

34 Неблагоприятное влияние орошения на почву и возможности и перспективы применения внутрипочвенной импульсной континуально-дискретной парадигмы ирригации [Электронный ресурс] / В. П. Калиниченко, О. С. Безуглова, Н. Г. Солнцева, А. Н. Сковпень, В. В. Черненко, Л. П. Ильина, А. А. Болдырев, Д. В. Шевченко, Д. А. Скворцов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Но-

вочеркасск: РосНИИПМ, 2012. – № 2(06). – 12 с. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec104-field6.pdf.

References

- 1 Valkov V.F., Denisova T.V., Kazeyev K.Sh., Kolesnikov S.I., Kuznetsov R.V., 2008. *Plodorodiye pochv i sel'skokhozyaystvennyye rasteniya: ekologicheskiye aspekty* [Soil Fertility and Crop Plants: Environmental Aspects]. Rostov n/D, South Federal University Publ., 416 p. (In Russian).
- 2 Zakharov S.A., 1931. *Kurs pochvovedeniya* [Soil Science Course]. Moscow, Selkolkhozgiz Publ., 550 p. (In Russian).
- 3 *Teorii i metody fiziki pochv* [Theories and Methods Soil Physics: Collective Monograph], 2007, edited by Karpachevskiy L.O., Shein Ye.V., Moscow, «Grif i K» Publ., available: <http://pochva.com>, [accessed 2014]. (In Russian).
- 4 Vershinin P.V., 1958. *Pochvennaya struktura i usloviya yeye formirovaniya* [Soil Structure and the Conditions of its Formation]. Moscow, Leningrad, Academy of Sciences of USSR Publ., 188 p. (In Russian).
- 5 Rode A.A., Fedorovskiy D.V., 1956. Neskolko dannykh o moshchnykh chernozemakh Kurskoy zonalnoy opytno-meliorativnoy stantsii i izmenenii ikh svoystv pri oroshenii [Some data on rich chernozems of Kursk zonal experimental-ameliorative station and change their properties under irrigation]. *Orosheniye sel'skokhozyaystvennykh kultur v Tsentralno-Chernozemnoy polose RSFSR: sbornik* [Irrigation of Crops in the Central Black Earth Belt of the RSFSR: a collection of articles]. Moscow, pp 85-98. (In Russian).
- 6 Vadyunina A.F., Korchagina Z.A., 1986. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv* [Methods of Study of the Physical Properties of Soils]. Moscow, Agropromizdat Publ., 416 p. (In Russian).
- 7 Murray R.S., Grant C.D., 2007. The Impact of Irrigation on Soil Structure. University of Adelaide, 31 p., available: <http://lwa.gov.au/products/pn20619> [accessed 2015].
- 8 Zakharov S.A., 1927. *Kurs pochvovedeniya* [Soil Science Course]. Moscow, Gosizdat Publ., 455 p. (In Russian).
- 9 Marshall T.J., Holmes J.W., 1988. *Soil Physics*. Cambridge University Press, 2nd ed., 374 p.
- 10 Marshall T.J., Holmes J.W., Rose C.W., 1996. *Soil Physics* Cambridge University Press, 3rd ed., 247 p.
- 11 Zolotarev A.L., Sherstnev A.K., 2008. Vliyaniye smytosti na strukturnoye sostoyaniye chernozema obyknovennogo karbonatnogo [The impact of erosion on the structural state of carbonate chernozem ordinary] *Materialy V Vserossiyskogo syezda pochvovedov im. V. V. Dokuchayeva, g. Rostov-na-Donu 18-23 avgusta 2008 g* [Proc. of the 5th All-Russian Congress of Soil Scientists named by Dokuchayev, Rostov n/Don, 18-23 August 2008]. Rostov n/D, Rostizdat Publ., p. 7. (In Russian).
- 12 Soil Quality Test Kit Guide. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Natural Resources Conservation Service, Soil Quality Institute. 1999. 82 p.
- 13 Currie D.R., 2006. *Soil Physical Degradation due to Drip Irrigation in Vineyards*. Evidence and Implications: Ph.D. thesis. The University of Adelaide, 108 p.
- 14 Milanovskiy Ye.Yu., 2009. *Gumusovyye veshchestva pochv kak prirodnyye gidrofobno-gidrofilnyye soyedineniya* [Humus Matters of Soils as Natural Hydrophobic-Hydrophilic Compounds]. Moscow, GEOS Publ., 186 p. (In Russian).
- 15 Shaw R.J., Coughlan K.J., Bell L.C., 1998. Root zone sodicity. *Sodic soils: Distribution, properties, management, and environmental consequences*. N. Y.: Oxford University Press, pp. 95-106.
- 16 Eldridge S.M., 2003. Sugar soils: A guide to characterising Australian sugarcane

soils *A CRC Sugar Technical Publication September*, Townsville: CRC for Sustainable Sugar Production, 169 p.

17 Lebedev B.M., 1977. *Dozhdevalnyye mashiny [Sprinkling Machines]*. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 244 p. (In Russian).

18 *Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo. T. 6. Orosheniye: spravochnik [Amelioration and Water Management. Vol. 6. Irrigation: Guide]*, edited by B.B. Shumakov, 1990. Moscow, Agropromizdat Publ., 415 p. (In Russian).

19 Pospelov A.M., 1962. *Dozhdevaniye [Sprinkling]*. Moscow, Selkhozizdat Publ., 168 p. (In Russian).

20 Gemfris V., 1936. *Fizika vozdukha [Air Physics]*. Moscow, ONTI NKGP USSR Publ., 515 p. (In Russian).

21 Guber K.V., Lyampert G.P., Khrabrov M.Yu., 1999. Trebovaniya k kharakteristikam dozhdya pri sozdani dozhdevalnoy tekhniki [The performance requirements for the rain to create sprinkling machinery]. *Sovremennyye problemy melioratsiy i puti ikh resheniya [Modern Reclamation Issues and their Solutions Vol. 1(98)]*. Moscow, pp. 187–199. (In Russian).

22 Snipich Yu.F., Shepelev A.Ye., 2006. Primeneniye osnovnykh zakonov dozhdvaniya pri obosnovanii konstruksii DM «DKF-1PK-1» [Application of the fundamental laws of sprinkling in justifying the construction of sprinkling machine «DKF-1PK-1»]. *Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo*, no 4, pp. 57–58. (In Russian).

23 Slabunov V.V., 2005. *Povysheniye effektivnosti poliva putem sovershenstvovaniya konstruktivnykh parametrov dozhdvatelya konsolnogo dalnestruynogo frontalnogo*. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk [Improving the efficiency of irrigation by development the structural parameters of console long-jet frontal sprinkler. Abstract of cand. teh. sci. diss.]. Saratov, 22 p. (In Russian).

24 Abramov A.M., 1985. Opredeleniye parametrov vpityvaniya vody v pochvu s uchetom energeticheskikh kharakteristik dozhdya [Defining the parameters of water infiltration into the soil taking into account the energy characteristics of rain]. *Pochvovedeniye*, no 6, p. 137–143. (In Russian).

25 Egbert Giles Leigh Jr., 1999. *Tropical Forest Ecology: A View from Barro Colorado Island*. Smithsonian Tropical Research Institute, Oxford University Press, 245 p.

26 Mills A., 2015. Falling Faster – Researchers Confirm Super-Terminal Raindrops. *Michigan Tech News*, February, available: <http://www.mtu.edu/news/stories/2015/february/falling-faster-researchers-confirm-super-terminal-raindrops.html> [accessed 2015].

27 G. Montero-Martinez, A. B. Kostinski, R. A. Shaw, F. Garcia-Garcia, 2009. Do all raindrops fall at terminal speed? *Geophysical Research Letters*, vol. 36, no. 11, pp. 8-18, <http://dx.doi.org/10.1029/2008GL037111>.

28 Kruger A., Krajewski W.F., 2002. Two-dimensional video disdrometer: A description *J. Atmos. Oceanic Technol*, no. 19, pp. 602-617.

29 Hauser D., Amayenc P., Nutten B., Waldteufel P., 1984. A new optical instrument for simultaneous measurement of raindrop diameter and fallspeed distribution. *J. Atmos. Oceanic Technol*, no. 1, pp. 256-269.

30 Kobzev A.A., 2013. *Optiko-elektronnyy dvukhkanalnyy izmeritel atmosferynykh osadkov*. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk [Optoelectronic dual-gauge of precipitation: Abstract of cand. teh. sci. diss.]. Tomsk, 22 p. (In Russian).

31 Makkaveyev N.I., 1955. *Ruslo reki i eroziya v yeye basseyne [The Riverbed and Erosion in its Basin]*. Moscow, Academy of Sciences of USSR Publ., 346 p. (In Russian).

32 Shchedrin V.N., Vasilyev S.M., 2011. [Theory and Practice for Alternative Chernozems Irrigation in the South of European Territory of Russia]. Novocherkassk, Lik Publ., 435 p. (In Russian).

33 Kalinichenko V.P., Minkina T.M., Skovpen A.N., Yendovitskiy A.P., Ilina L.P.,

Boldyrev A.A., Rykhlik A.E., Yashchenko S.A., Yermakov S. A., 2012. [Justification and implementation of intrasoil pulse continual-discrete irrigation paradigm]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 3(07), pp. 186-198. (In Russian).

34 Kalinichenko V.P., Bezuglova O.S., Solntseva N.G., Skovpen A.N., Chernenko V.V., Пина L.P., Boldyrev A.A., Shevchenko D.V., Skvortsov D.A., 2012. [Unfavorable effect on soil of existing ways of watering and opportunities for use of intrasoil pulse continually-discrete irrigation paradigm]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 2(06), pp. 38-49. (In Russian).

Воеводина Лидия Анатольевна

Ученая степень: кандидат сельскохозяйственных наук

Должность: старший научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Voyevodina Lidiya Anatolyevna

Degree: Candidate of Agricultural Sciences

Position: Senior Researcher

Affiliation: Russian Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovskiy ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru