

УДК 631.6

DOI: 10.31774/2222-1816-2019-1-12-25

**В. А. Шадских, В. Е. Кизжаева, В. О. Пешкова, И. А. Шушпанов,
З. Ф. Иванищева, Е. С. Смирнов**

Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации, Энгельс,
Российская Федерация

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЛАГОМЕРА ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ

Цель исследований – использовать в полевых условиях разработанный в Волжском научно-исследовательском институте гидротехники и мелиорации экспериментальный электронный прибор для определения влажности почвы (влагомер) и дать сравнительный анализ полученных данных по слоям от 0 до 100 см с данными, полученными при использовании термостатно-весового метода, а также определить перспективы использования влагомера для оперативного определения влажности почвы на больших производственных площадях. В процессе решения поставленной задачи был разработан прибор для оперативного определения влажности почвы. Прибор фиксирует изменение полного сопротивления почвы между двумя электродами на переменном токе, которое пропорционально влажности почвы, и преобразует эту величину в цифровое значение. В полевых условиях в опытно-производственном хозяйстве Волжского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации проведены испытания экспериментального прибора для определения влажности почвы. Влажность почвы определялась двумя методами: традиционным термостатно-весовым и с использованием разработанного прибора. В результате испытаний установлено, что при определении влажности почвы в трехкратной повторности сходимость результатов составляет по слоям от 0,1 до 0,7 м 99,7 %, для слоя 0,8–1,0 м – 97,5 %. Применение прибора дает возможность проводить экспресс-измерения с точностью $\pm 0,3$ – $2,5$ % в диапазоне измерений влажности почвы 10–30 %, что позволят рекомендовать применение прибора на больших производственных площадях, и будет способствовать экономному расходованию водных ресурсов.

Ключевые слова: орошение, режим орошения, термостатно-весовой метод определения влажности почвы, прибор для определения влажности почвы, ресурсосбережение.

**V. A. Shadskikh, V. E. Kizhaeva, V. O. Peshkova, I. A. Shushpanov,
Z. F. Ivanishcheva, E. S. Smirnov**

Volga Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Engels,
Russian Federation

THE APPLICATION POTENTIAL OF USING A TENSIO METER (SOIL MOISTURE METER) FOR SOIL MOISTURE OPERATIONAL DETERMINING

The purpose of the research is to use an experimental electronic device for determining soil moisture (moisture meter sensor) developed at Volga Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation and to give a comparative analysis of the data obtained from 0 to 100 cm layers with data obtained by using the thermostatic weight method, as well as to determine the prospects for tensiometer application for soil moisture operational deter-

mination over large production areas. In the process of solving the task, a device for soil moisture operational determining was developed. The device records the change in total resistance of soil between two electrodes on alternating current, which is proportional to the soil moisture and converts this value into a digital value. The tests of the experimental device for soil moisture determination were carried out in the field in the experimental production farm of Volga Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation. Soil moisture was determined by two methods: the traditional thermostatic weight method and by using the developed device. As a result of the tests it was found that in determining the soil moisture content in triplicate, the convergence of the results in 0.1 to 0.7 m layers is 99.7 %, for 0.8–1.0 m layers – 97.5 %. The use of this instrument makes it possible to carry out express measurements with an accuracy of ± 0.3 –2.5 % in soil moisture measurement range 10–30 %, which allows us to recommend the device application in large production areas and will contribute to the water resources conservation.

Keywords: irrigation, irrigation mode, thermostatic weight method for soil moisture determination, a device for soil moisture determination (tensiometer), resource saving.

Введение. Широкий круг задач мелиорации и освоения земель Поволжья требует тесной связи и концентрации усилий мелиоративной науки и производства, поиска инновационных технологий и технических решений.

В опытах по изучению режима орошения сельскохозяйственных культур при существующих способах полива необходимо очень часто и в больших масштабах проводить определение запасов влаги в почве, которые в дальнейшем используются для расчета поливных норм, назначения сроков поливов, определения глубины промачивания толщи почвогрунтов и других параметров.

Рост и развитие растения находится в тесной связи с влажностью почвы. В зависимости от целей и задач влажность почвы определяют по отдельным частям пахотного слоя, на глубину расположения корневой системы, на глубину 1–2 м, а иногда 3 м [1, 2].

Основным методом определения влажности почвы является термостатно-весовой, основанный на отборе почвенных образцов в полевых условиях и длительной их сушке при постоянной, высокой температуре в термостатах. Вес испарившейся влаги, отнесенный к весу абсолютно сухой почвы, выраженный в процентах, и является при этом методом основным показателем запасов влаги в почве.

Термостатно-весовой метод определения влажности почвы довольно

точен и является пока эталоном при сравнении его с другими методами. Однако, наряду с определенными преимуществами, он обладает рядом недостатков, главными из которых являются: трудоемкость, нарушение естественного сложения почвы при отборе образцов, невозможность наблюдать влажность в одних и тех же объемах почвогрунта, большая повторяемость и др.

В современном сельском хозяйстве при выращивании сельскохозяйственных культур с использованием автоматизированных систем полива применяются датчики влажности почвы, которые дают наиболее полную информацию о количестве влаги у корневой системы растений. Это позволяет принимать обоснованные решения, чтобы обеспечить орошение в нужном количестве и в нужное время [3–5].

В странах с промышленно развитым сельским хозяйством используют различные приборы и системы для контроля влажности почвы в корнеобитаемом слое сельскохозяйственных растений и передачи этих данных по каналам мобильной связи фермерам [6]. Например, фирма Valley для этой цели использует систему контроля влажности почвы Base Station 2-5M, которая включает в себя данные, считываемые с датчиков влажности почвы Watermark компании Irrometr (каталог продукции Valley, RUS 10098 9/11). Фирма Zimmatic предлагает стационарно устанавливаемые зонды на отдельных участках орошения [7–9].

В Японии для создания почвенных карт в технологиях точного земледелия применяются почвенные оптоволоконные датчики для определения влажности и содержания азота в почве в режиме реального времени, однако они имеют высокую стоимость [10].

В России автоматизированные системы определения влажности почвы и приборы для оперативного определения влажности почвы до сих пор не производятся, а зарубежные приборы дороги, поэтому необходима разработка отечественного измерителя влажности почвы, доступного каждо-

му фермеру. Приборы для определения влажности почвы (тензиометры), выпускавшиеся раньше в России, оказались невостребованными из-за их погрешностей [11–14].

Ученые ВолжНИИГиМ много лет посвятили разработке экспериментальной системы автоматизированного управления процессом полива ДМ «Фрегат» с помощью усовершенствованного тензиометра ТП-1^{1,2} [15, 16].

Однако единственным практическим способом определения влажности почвы оставался термостатно-весовой метод. Он достаточно точный, широко применяется на практике, но очень трудоемкий и требует много времени для получения результатов. Особенно это проявляется при больших площадях орошения. Отсюда видна актуальность разработки и внедрения в производство отечественных приборов для оперативного, точного определения влажности корнеобитаемого слоя почвы [17, 18].

Цель исследований – использовать в полевых условиях разработанный в Волжском научно-исследовательском институте гидротехники и мелиорации экспериментальный электронный прибор для определения влажности почвы (влажномер) и лабораторные мини-лизиметры, дать сравнительный анализ полученных данных по слоям от 0 до 100 см с данными, полученными при применении термостатно-весового метода, а также определить перспективы использования влагомера для оперативного определения влажности почвы на больших производственных площадях.

Материалы и методы исследования. В наших исследованиях на полях опытно-производственного хозяйства для определения влажности почвы применялся термостатно-весовой метод, сущность которого заключается в определении потери влаги при высушивании почвы. Показания занесли в таблицу для дальнейшего расчета и анализа полученных резуль-

¹ Изготовление опытного образца датчика влажности (тензиометра) конструкции ВолжНИИГиМ и его полевые испытания: отчет о НИР. – Энгельс, 1990. – 28 с.

² Методика определения влажности почвы с помощью усовершенствованного тензиометра ТП-1 по теме «Разработать экспериментальную систему автоматизированного управления процессом полива ДМ «Фрегат»: отчет о НИР. – Энгельс, 1995. – 14 с.

татов. Определение влажности почвы термостатно-весовым методом проводили в 3-кратной повторности, периодичность наблюдения – 10 дней в зависимости от изменяющихся метеоусловий, глубина определения от 0,1 до 1,0 м [19, 20].

Задачей проводимых исследований в этом направлении является разработка отечественного прибора для оперативного определения влажности почвы в корнеобитаемом слое растений, доступного по цене любому фермеру.

Это условие достигается тем, что электронная схема прибора измеряет полное сопротивление слоя почвы между двумя обкладками датчика (которое зависит от наличия воды в порах почвы) на переменном токе. Полученное значение влажности преобразуется в цифровую форму и высвечивается на индикаторе прибора.

Результаты и их обсуждение. Новое устройство конструкции ФГБНУ «ВолжНИИГиМ» содержит датчик влажности и блок управления, соединенные между собой кабелем через штепсельные разъемы.

Конструкция блока управления содержит регистрирующий блок в водонепроницаемом кожухе с открывающейся крышкой для наблюдения показаний, включения и выключения прибора посредством тумблера, две печатные платы (управляемого мультивибратора и частотомера) и источники питания.

Устройство работает следующим образом. Датчик влажности можно представить как емкость (конденсатор), где в качестве обкладок используются кольцевые электроды, а окружающая почва является межэлектродной средой с определенной диэлектрической проницаемостью. Емкость конденсатора определяется по формуле:

$$C = \varepsilon_a \frac{S}{d},$$

где C – емкость, Ф;

ε_a – абсолютная диэлектрическая проницаемость ($\varepsilon_a = \varepsilon_{\text{почвы}} \cdot \varepsilon_{\text{воды}}$),
Ф/м;

S – площадь одного электрода, м²;

d – расстояние между электродами, м;

S и d – конструктивные параметры датчика.

Поскольку диэлектрическая проницаемость почвы $\varepsilon_a \leq 4$ и остается постоянной, то суммарная диэлектрическая проницаемость почвы ε_a будет определяться количеством воды в почве ($\varepsilon_{\text{воды}} = 81$), а емкостное сопротивление переменному току определяется соотношением:

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC},$$

где X_c – емкостное сопротивление, Ом;

f – частота переменного тока, Гц;

C – емкость, Ф.

При включении в цепь обратной связи мультивибратора такого конденсатора на его выходе получают колебания переменного тока с частотой:

$$f = \frac{1}{2,2RC},$$

где f – частота переменного тока, Гц;

R – активное сопротивление среды, Ом;

C – емкость, Ф.

Принимая во внимание, что величина R цепи обратной связи постоянна ($R = \text{const}$), получим частоту мультивибратора $f \sim C$, т. е. частота мультивибратора будет определяться ε_a почвы, или ее влажностью. Изменяя эту частоту частотомером, получим искомую величину влажности в любой момент времени. Информация с частотомера представляется в виде величины постоянного тока, пропорциональной частоте мультивибратора, которая измеряется цифровым стандартным мультиметром, програ-

дуированным в единицах влажности почвы. Градуировка устройства произведена при помощи термостатно-весового метода определения влажности почвы.

Общий вид разработанного устройства показан на рисунке 1.



Рисунок 1 – Инновационная разработка института – экспериментальный образец для определения влажности почвы (фото В. Е. Кижяевой)

Прибор прошел полевые испытания. В полевых условиях были отобраны образцы почвы для определения влажности термостатно-весовым способом (таблица 1).

Таблица 1 – Влажность почвы послойно (05.06.2018)

Глубина, см	Влажная почва, г	Сухая почва, г	Вес стакана, г	Вес воды, г	Вес почвы, г	Влажность, %	Средняя влажность, %	Влажность, % НВ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	43,52	39,97	22,33	3,55	17,64	20,1	20,5	72,4
	53,56	47,94	21,18	5,62	26,76	21,0		
	51,53	46,36	20,93	5,17	25,43	20,3		
20	45,44	41,75	22,33	3,69	19,42	19,0	21,8	98,0
	48,57	43,66	21,24	4,91	22,42	21,9		
	40,62	37,14	21,21	3,48	15,93	21,8		
30	46,67	43,02	22,49	3,65	20,53	17,8	19,2	87,5
	46,52	42,46	21,12	4,06	21,34	19,0		
	49,39	44,68	21,94	4,71	22,74	20,7		
40	42,68	39,72	22,24	2,96	17,48	16,9	19,1	92,9
	53,32	48,02	21,98	5,30	26,04	20,4		
	48,87	44,24	21,23	4,63	23,01	20,1		

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	43,43	40,44	21,80	2,99	18,64	16,0	17,9	91,8
	43,69	40,12	21,52	3,57	18,60	19,2		
	38,00	35,37	21,14	2,63	14,23	18,5		
60	48,39	44,92	22,27	3,47	22,65	15,3	17,1	90,0
	46,13	42,37	21,87	3,76	20,50	18,3		
	43,56	40,25	21,51	3,31	18,74	17,7		
70	39,02	36,71	22,06	2,31	14,65	15,8	17,1	89,6
	45,40	41,72	22,27	3,68	19,45	18,9		
	35,50	33,48	21,36	2,02	12,12	16,7		
80	57,24	52,59	21,23	4,65	31,36	14,8	16,8	88,4
	38,05	35,41	21,36	2,64	14,05	18,8		
	38,82	36,30	21,29	2,52	15,01	16,8		
90	39,56	37,28	21,32	2,28	15,96	14,3	16,3	84,7
	45,80	42,16	22,46	3,64	19,70	18,5		
	45,59	42,17	21,17	3,42	21,00	16,3		
100	36,57	34,84	20,91	1,73	13,93	12,4	15,7	79,4
	47,43	43,39	21,28	4,04	22,11	18,3		
	40,04	37,37	21,16	2,67	16,21	16,5		

Параллельно на этой же глубине определена влажность почвы с помощью экспериментального влагомера. Полученные результаты опыта сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Сравнительные характеристики влажности почвы

Глубина, см	Плотность сложения почвы, т/м ³	Влажность почвы по скважинам, %			Средняя влажность почвы, %		
		№ 1	№ 2	№ 3	по термостатно-весовому методу	по влагомеру	отклонение
10	1,27	20,1	20,3	20,3	20,2	20,3	0,1
20	1,34	19,0	21,8	19,0	19,9	20,1	0,2
30	1,32	17,8	20,7	21,9	20,1	20,0	0,1
40	1,34	16,9	20,1	21,8	19,6	19,9	0,3
50	1,36	16,0	18,5	19,8	18,1	18,5	0,4
60	1,39	15,3	17,7	19,0	17,3	17,4	0,1
70	1,43	15,8	16,7	20,7	16,9	17,1	0,2
80	1,44	14,8	16,8	16,9	16,2	16,6	0,4
90	1,49	14,3	16,3	20,4	17,0	16,6	0,4
100	1,57	12,4	16,5	20,1	16,3	16,7	0,4

В результате проведения полевых испытаний влагомера и определения сходимости результатов с данными, полученными термостатно-весовым способом, установлено, что при определении влажности почвы в трехкратной повторности сходимость результатов составляет по слоям

от 0,1 до 0,7 м 99,7 %, для слоя 0,8–1,0 м – 97,5 %. Результаты градуирования экспериментального прибора для определения влажности почвы с использованием термостатно-весового метода приведены по данным за вегетационный период на глубине 10 см при плотности сложения 1,27 т/м³ (таблица 3).

Таблица 3 – Показания прибора в зависимости от влажности почвы

Показание прибора, ед.	Содержание влаги в почве, %	Влажность почвы, % от НВ
900	30	100
800	25	90
700	20	80
600	15	70
500	10	60

Для удобства оперативного определения размера поливной нормы в производственных условиях по показаниям прибора данные таблицы 3 нанесены на обратную сторону крышки прибора.

Выводы. Прибор для определения влажности почвы показал свою работоспособность и преимущество перед традиционным термостатно-весовым методом. С помощью этого прибора можно производить экспресс-измерения с точностью $\pm 0,3\text{--}2,5$ % в диапазоне измерений влажности почвы 10–30 %, а его применение на больших производственных площадях обеспечит существенную экономию материальных и финансовых ресурсов. Следует отметить проявленную заинтересованность фермеров, присутствующих на полевых испытаниях, экспериментальным образцом прибора для определения влажности почвы с целью назначения сроков и норм полива, его преимуществом перед более трудоемким и затратным термостатно-весовым методом.

Список использованных источников

1 Шадских, В. А. Ресурсосбережение в орошаемом земледелии Поволжья / В. А. Шадских, В. Е. Кижаева, О. Л. Рассказова // Вестник мелиоративной науки. – 2018. – № 1. – С. 66–74.

2 Костин, Б. И. Некоторые особенности формирования мелиоративного состояния орошаемых земель при дождевании / Б. И. Костин, М. Я. Фишман, З. Ф. Иванищева // Актуальные вопросы мелиорации и водного хозяйства: материалы респ. науч.-техн. конф. ученых и специалистов. – Баку: АзНИИГиМ, 1985. – С. 44–45.

3 Волокитин, М. П. Режим влажности серых лесных почв под различными фитоценозами / М. П. Волокитин, В. Е. Остроумов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2018. – № 2. – С. 7–12.

4 Шадских, В. А. Выращивание сельскохозяйственных культур по заданной программе / В. А. Шадских, В. Е. Кижаяева // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2008. – № 8. – С. 46–49.

5 Панкова, Т. А. Определение влажности почвы для регулирования режима орошения сельскохозяйственных культур в условиях Саратовского Заволжья / Т. А. Панкова, А. Н. Руковичникова // Научная жизнь. – 2013. – № 4. – С. 17–23.

6 Fischbach, P. Scheduling key to efficient irrigation / P. Fischbach, G. Buttermore // Ranch and Home Quarterly. – 1984. – Vol. 30, № 3а. – P. 26–27.

7 Каталог продукции Valley [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.valleyirrigation.com, 2018.

8 Каталог ирригационной продукции Zimmatic by Sindsay. Li Zimm Prodiguide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.lindsayrussia.com, 2018.

9 Soil Moisture Equipment Corp [Electronic resource]. – Mode of access: www.soilmoisture.com, 2018.

10 Study of the precision farming with soil maps describing environmental load using a real-time soil sensor / Н. Umeda, S. Shibusawa, Т. Okayama, D. Y. Sakuma, Т. Kaho, К. Ninomiya // J. Japan. Soc. Agr. Mach. – 2011. – Vol. 73, № 1. – P. 37–44.

11 Шишков, К. Н. Почвенный влагомер (тензиометр) и его применение при изучении водного почвенного режима / К. Н. Шишков // Почвоведение. – 1962. – № 8. – С. 100–105.

12 Муромцев, Н. Н. Использование тензиометров в гидрофизике почв / Н. Н. Муромцев. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 121 с.

13 Универсальный дистанционный тензиометр с механотронным преобразователем / Ю. Г. Головченко, С. А. Гаврилов, Г. И. Голуб, В. Н. Лесничий // Экспресс-информация ЦБНТИ Минводхоза СССР. – М., 1978. – Сер. 9, вып. 4. – С. 8–11.

14 А. с. 1408258 СССР, G 01 L 7/00, G 01 N 7/10. Тензиометр / С. А. Гаврилов, Н. Е. Дзекунов, В. В. Скопецкий, Б. А. Файбишенко (СССР). – № 4076459/31-10; заявл. 13.06.86; опубл. 07.07.88, Бюл. № 25. – 3 с.

15 А. с. 1223141 СССР, G 01 N 33/24. Устройство для изучения водного режима почвогрунтов / М. Я. Фишман, Н. П. Скороходов (СССР). – № 3803291/30-15; заявл. 18.10.84; опубл. 07.04.86, Бюл. № 13. – 2 с.

16 Фишман, М. Я. Некоторые особенности формирования инфильтрации на орошаемых землях долины Волги при дождевании / М. Я. Фишман, З. Ф. Иванищева // Пути улучшения использования орошаемых земель и дождевальной техники. – М.: ВНИИГиМ, 1985. – С. 45–51.

17 Ключев, Е. П. О перспективных типах водомерных приборов на оросительных системах Поволжья в условиях рыночной экономики / Е. П. Ключев, И. А. Шушпанов // Водосберегающие технологии как основа эффективного использования орошаемых земель: сб. науч. тр. – Саратов, 2003. – С. 16–24.

18 Панкова, Т. А. Применение современных методов определения влажности почвы / Т. А. Панкова // Научная жизнь. – 2016. – № 4. – С. 130–137.

19 ГОСТ 28268-89. Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://znaytovar.ru/gost/2/GOST_2826889_Pochvy_Metody_opr.html, 2018.

20 Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

References

- 1 Shadskikh V.A., Kizhaeva V.E., Rasskazova O.L., 2018. *Resursosberezhenie v oroshaemom zemledelii Povolzh'ya* [Resource conservation of irrigated agriculture in the Volga region]. *Vestnik meliorativnoy nauki* [Bullet. of Reclamation Science], no. 1, pp. 66-74. (In Russian).
- 2 Kostin B.I., Fishman M.Ya., Ivanischeva Z.F., 1985. *Nekotorye osobennosti formirovaniya meliorativnogo sostoyaniya oroshaemykh zemel' pri dozhdevanii* [Some features of the reclamation state formation of irrigated lands during sprinkling]. *Aktual'nye voprosy melioratsii i vodnogo khozyaystva: materialy respublikanskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii uchenykh i spetsialistov* [Urgent Issues of Land Reclamation and Water Management: Proceed. of Republican Scientific and Technical Conference of Scientists and Specialists]. Baku, AzNIIGiM Publ., pp. 44-45. (In Russian).
- 3 Volokitin M.P., Ostroumov V.E., 2018. *Rezhim vlazhnosti serykh lesnykh pochv pod razlichnymi fitotsenozami* [The moisture regime of gray forest soils under various phytocenoses]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 2, pp. 7-12. (In Russian).
- 4 Shadskikh V.A., Kizhaeva V.E., 2008. *Vyrashchivanie sel'skokhozyaystvennykh kul'tur po zadannoy programme* [The cultivation of agricultural crops according to a given program]. *Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N. I. Vavilova* [Bullet. of Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov], no. 8, pp. 46-49. (In Russian).
- 5 Pankova T.A., Rukovichnikova A.N., 2013. *Opredelenie vlazhnosti pochvy dlya regulirovaniya rezhima orosheniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v usloviyakh Saratovskogo Zavolzh'ya* [Determining soil moisture for regulating the regime of agricultural crops irrigation under Saratov TransVolga area conditions]. *Nauchnaya zhizn'* [Scientific Life], no. 4, pp. 17-23. (In Russian).
- 6 Fischbach P., Buttermore G., 1984. Scheduling key to efficient irrigation. *Ranch and Home Quarterly*, vol. 30, no. 3a, pp. 26-27. (In English).
- 7 *Katalog produktsii Valley* [Valley Product Catalogue], available: www.valleyirrigation.com, 2018. (In Russian).
- 8 *Katalog irrigatsionnoy produktsii Zimmatic by Sindsay. Li Zimm Prodguide* [Zimmatic by Sindsay Irrigation Product Catalogue. Li Zimm Prodguide], available: www.lindsayrussia.com, 2018. (In Russian).
- 9 Soil Moisture Equipment Corp, available: www.soilmoisture.com, 2018. (In English).
- 10 Umeda H., Shibusawa S., Okayama T., Sakuma D.Y., Kaho T., Ninomiya K., 2011. Study of the precision farming with soil maps describing environmental load using a real-time soil sensor. *J. Japan. Soc. Agr. Mach.*, vol. 73, no. 1, pp. 37-44. (In English).
- 11 Shishkov K.N., 1962. *Pochvennyy vlagomer (tenziometr) i yego primenenie pri izuchenii vodnogo pochvennogo rezhima* [Soil moisture meter (tensiometer) and its application in the study of water soil regime]. *Pochvovedenie* [Soil Science], no. 8, pp. 100-105. (In Russian).
- 12 Muromtsev N.N., 1979. *Ispol'zovanie tenziometrov v gidrofizike pochv* [The Use of Tensiometers in Soil Hydrophysics]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 121 p. (In Russian).
- 13 Golovchenko Yu.G., Gavrilov S.A., Golub G.I., Lesnichiy V.N., 1978. *Universal'nyy distantsionnyy tenziometr s mekhanotronnym preobrazovatelem* [Universal remote tensiometer with mechatronic converter]. *Ekspress-informatsiya TSBNTI Minvodkhoza SSSR* [Express-information TsBNTI Minvhokhoz USSR]. Moscow, ser. 9, issue 4, pp. 8-11. (In Russian).
- 14 Gavrilov S.A., Dzekunov N.E., Skopetskiy V.V., Faybishenko B.A., 1988. *Tenziometr* [A Tensiometer], A. s., no. 1408258. (In Russian).
- 15 Fishman M.Ya., Skorokhodov N.P., 1986. *Ustroystvo dlya izucheniya vodnogo rezhima pochvogruntov* [A device for studying the soil water regime]. A. s., no. 1223141. (In Russian).

16 Fishman M.Ya., Ivanischeva Z.F., 1985. *Nekotorye osobennosti formirovaniya infil'tratsii na oroshaemykh zemlyakh doliny Volgi pri dozhdevanii* [Some features of infiltration formation on the irrigated lands of Volga Valley during sprinkling]. *Puti uluchsheniya ispol'zovaniya oroshayemykh zemel' i dozhdeval'noy tekhniki* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Lands and Sprinkling Machines]. Moscow, VNIIGiM Publ., pp. 45-51. (In Russian).

17 Klyuev E.P., Shushpanov I.A., 2003. *O perspektivnykh tipakh vodomernykh priborov na orositel'nykh sistemakh Povolzh'ya v usloviyakh rynochnoy ekonomiki* [On perspective types of water-measuring devices on Volga irrigation systems in a market economy]. *Vodosberegayushchie tekhnologii kak osnova effektivnogo ispol'zovaniya oroshaemykh zemel': sb. nauch. tr.* [Water-saving technologies as a basis for the effective use of irrigated lands: Proceed.]. Saratov, pp. 16-24. (In Russian).

18 Pankova T.A., 2016. *Primenenie sovremennykh metodov opredeleniya vlazhnosti pochvy* [The use of modern methods for determining soil moisture]. *Nauchnaya zhizn'* [Scientific Life], no. 4, pp. 130-137. (In Russian).

19 GOST 28268-89. *Pochvy. Metody opredeleniya vlazhnosti, maksimal'noy gigroskopicheskoy vlazhnosti i vlazhnosti ustoychivogo zavyadaniya rasteniy* [The soil. Methods for determining humidity, maximum hygroscopic humidity and humidity of permanent plants wilting], available: https://znaytovar.ru/gost/2/GOST_2826889_Pochvy_Metody_opr.html, 2018. (In Russian).

20 Dospekhov B.A., 1985. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methodology of Field Experiment (with the basics of statistical processing of research results)]. 5th ed., rev. and add., Moscow, Agropromizdat Publ., 351 p. (In Russian).

Шадских Владимир Александрович

Ученая степень: доктор сельскохозяйственных наук

Ученое звание: профессор

Должность: главный научный сотрудник, заместитель директора по науке

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации»

Адрес организации: ул. Гагарина, 1, г. Энгельс, Саратовская область, Российская Федерация, 413123

E-mail: volzniigim@bk.ru

Shadskikh Vladimir Aleksandrovich

Degree: Doctor of Agricultural Sciences

Title: Professor

Position: Chief Researcher, Deputy Director for Science

Affiliation: Volga Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation

Affiliation address: st. Gagarina, 1, Engels, Saratov region, Russian Federation, 413123

E-mail: volzniigim@bk.ru

Кижяева Вера Евгеньевна

Ученая степень: кандидат сельскохозяйственных наук

Должность: ведущий научный сотрудник отдела комплексной мелиорации и экологии

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации»

Адрес организации: ул. Гагарина, 1, г. Энгельс, Саратовская область, Российская Федерация, 413123

E-mail: volzniigim@bk.ru

Kizhaeva Vera Evgenyevna

Degree: Candidate of Agricultural Sciences

Position: Leading Researcher of Department of Complex Melioration and Ecology

Affiliation: Volga Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation
Affiliation address: st. Gagarina, 1, Engels, Saratov region, Russian Federation, 413123
E-mail: volzniigim@bk.ru

Пешкова Виктория Олеговна

Ученая степень: кандидат биологических наук
Ученое звание: старший научный сотрудник
Должность: ведущий научный сотрудник отдела комплексной мелиорации и экологии
Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации»
Адрес организации: ул. Гагарина, 1, г. Энгельс, Саратовская область, Российская Федерация, 413123
E-mail: volzniigim@bk.ru

Peshkova Victoria Olegovna

Degree: Candidate of Biological Sciences
Title: Senior Researcher
Position: Leading Researcher of Department of Complex Melioration and Ecology
Affiliation: Volga Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation
Affiliation address: st. Gagarina, 1, Engels, Saratov region, Russian Federation, 413123
E-mail: volzniigim@bk.ru

Шушпанов Иван Анатольевич

Ученая степень: кандидат технических наук
Ученое звание: старший научный сотрудник
Должность: старший научный сотрудник отдела модернизации технических средств и технологии полива
Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации»
Адрес организации: ул. Гагарина, 1, г. Энгельс, Саратовская область, Российская Федерация, 413123
E-mail: volzniigim@bk.ru

Shushpanov Ivan Anatolyevich

Degree: Candidate of Technical Sciences
Title: Senior Researcher
Position: Senior Researcher of Department of Modernization of Technical Means and Technology of Watering
Affiliation: Volga Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation
Affiliation address: st. Gagarina, 1, Engels, Saratov region, Russian Federation, 413123
E-mail: volzniigim@bk.ru

Иванищева Зинаида Фоминична

Должность: научный сотрудник отдела оросительных систем и гидротехнических сооружений
Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации»
Адрес организации: ул. Гагарина, 1, г. Энгельс, Саратовская область, Российская Федерация, 413123
E-mail: volzniigim@bk.ru

Ivanishcheva Zinaida Fominichna

Position: Researcher of Department of Irrigating Systems and Hydraulic Engineering Constructions

Affiliation: Volga Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation
Affiliation address: st. Gagarina, 1, Engels, Saratov region, Russian Federation, 413123
E-mail: volzniigim@bk.ru

Смирнов Евгений Станиславович

Должность: младший научный сотрудник отдела модернизации технических средств и технологии полива

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации»

Адрес организации: ул. Гагарина, 1, г. Энгельс, Саратовская область, Российская Федерация, 413123

E-mail: volzniigim@bk.ru

Smirnov Evgeny Stanislavovich

Position: Junior Researcher of Department of Modernization of Technical Means and Technology of Watering

Affiliation: Volga Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation

Affiliation address: st. Gagarina, 1, Engels, Saratov region, Russian Federation, 413123

E-mail: volzniigim@bk.ru