

Эффективность осушения в условиях изменения климата в Новгородской области

Ольга Васильевна Балун, Елена Петровна Шкодина

Новгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук», Новгородская область, Новгородский р-н, дер. Борки, Россия
e-mail: bov0001@mail.ru

Аннотация. Сельскохозяйственное производство тесно связано с природно-климатическими факторами, из которых метеорологические являются наиболее изменчивыми и активными. Проведенный анализ климатических норм осадков и температур по данным 4 метеостанций Новгородской области за 1891–2020 гг. показал их уверенное увеличение, кроме метеостанции Новгородская, где годовая норма осадков к 2020 г. уменьшилась на фоне роста температуры. Анализ результатов метеорологических наблюдений за последние 60 лет показал, что в Новгородской области наблюдается тренд на повышение степени увлажнения: ГТК увеличился с 1,36 до 1,46. Это произошло за счет превышения роста количества осадков над ростом температуры, поэтому сельскохозяйственное производство растениеводческой продукции невозможно без проведения мелиоративных мероприятий. Целью исследований было получение новых знаний по формированию режимов влажности почв под влиянием осушительных мелиораций в условиях изменения климата. В Нечерноземной зоне основными способами осушения являются открытые каналы и закрытый дренаж. Исследования по формированию режимов влажности почвы проводили в течение 2019–2021 гг. на опытно-производственных участках закрытого и открытого дренажа на 8 вариантах конструкций. Проведенные исследования эффективности работы осушительных систем закрытого и открытого дренажа позволили сделать выводы, что системы закрытого дренажа лучше обеспечивают водно-воздушный режим почвы по сравнению с открытым дренажем: период нахождения почвы в переувлажненном состоянии короче в 2 раза (50 суток на конструкциях открытого дренажа и 25 суток – на конструкциях закрытого дренажа). Наиболее оптимальный водно-воздушный режим почвы среди вариантов закрытого дренажа обеспечила система с засыпкой дренажной траншеи древесной щепой, режим влажности корнеобитаемого слоя почвы в течение 3 лет наблюдений был наиболее близок к оптимальному, с диапазоном изменений 210–114 мм. Среди вариантов открытого дренажа – системы ложбин стока в сочетании с полосами возделывания.

Ключевые слова: климатическая норма; закрытый дренаж; открытый дренаж; ложбина стока; запас влаги.

Для цитирования: Балун О. В., Шкодина Е. П. Эффективность осушения в условиях изменения климата в Новгородской области // Аграрный научный журнал. 2023. № 11. С. 4–11. [http: 10.28983/asj.y2023i11pp4-11](http://10.28983/asj.y2023i11pp4-11).

AGRONOMY

Original article

Dehumidification efficiency in the conditions of climate change in the Novgorod region

Olga V. Balun, Elena P. Shkodina

Novgorod Research Institute of Agriculture – Branch of the Federal State Budgetary Institution of Science "St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences", Novgorod region, Novgorod district, Borki, Russia
e-mail: bov0001@mail.ru

Abstract. Agricultural production is closely related to natural and climatic factors, of which meteorological factors are the most variable and active. The analysis of climatic precipitation and temperature norms according





to the data of 4 meteorological stations of the Novgorod region for the period 1891–2020 showed their steady increase, except for the Novgorod meteorological station, where the annual precipitation rate by 2020 decreased against the background of temperature growth. Analysis of the results of meteorological observations over the past 60 years has shown that there is a steady trend in the Novgorod region to increase the degree of humidification: the hydrothermal coefficient has increased from 1.36 to 1.46. This happened due to the excess of the increase in precipitation over the increase in temperature, so agricultural production of crop production is impossible without reclamation measures. The aim of the research was to gain new knowledge in the formation of soil moisture regimes under the influence of drainage reclamation in the conditions of climate change. In the Non-Chernozem zone, two main methods of drainage are common - a network of open channels and closed drains. Studies on the formation of soil moisture regimes were carried out during 2019–2021 on experimental production sites of closed and open drainage on 8 variants of structures. The conducted studies of the efficiency of the drainage systems of closed and open drainage allowed us to conclude that closed drainage systems better provide the water-air regime of the soil compared to open drainage: the period of soil being in a waterlogged state is 2 times shorter (50 days on open drainage structures and 25 days on closed drainage structures). The most optimal water-air regime of the soil among the options with closed drainage was provided by drainage systems with filling the drainage trench with wood chips, on which the range of moisture changes in the root-inhabited soil layer during 3 years of observation was closest to optimal and amounted to 210–114 mm. Among the options for open drainage are systems of runoff hollows in combination with cultivation strips.

Keywords: climatic norm; closed drainage; open drainage; runoff hollow; moisture reserve.

For citation: Balun O. V., Shkodina E. P. Dehumidification efficiency in the conditions of climate change in the Novgorod region. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(11):4–11. (In Russ.). <http://10.28983/asj.y2023i11pp4-11>.

Введение. Сельское хозяйство тесно связано со многими природными факторами, из них метеорологические являются наиболее изменчивыми и активными. Несмотря на то, что культура земледелия повышается (химизация, агротехника, мелиорация), зависимость урожая от погодных условий достаточно велика, что и определяет колебание урожаев от года к году [13]. Научное прогнозирование закономерностей формирования урожая культурных растений невозможно без количественной оценки метеорологических факторов, главными из которых являются тепло и влага [5]. В последние годы мировая научная общественность бьет тревогу из-за резкого изменения климата, которое происходит как в сторону потепления, так и в сторону похолодания и сопровождается изменением условий увлажнения [12].

Первые сведения об инструментальных метеорологических наблюдениях на территории Новгородской области относятся к 1852 г. В канцелярии Новгородского губернатора хранится таблица метеорологических наблюдений за 1852–1853 гг., которая была предоставлена губернской гимназией [4]. В Новгородской области регулярные наблюдения за погодными условиями начались в XIX веке на 4 метеостанциях [1, 2]. В табл. 1 представлены месячные и годовые нормы осадков за период наблюдений с 1891 по 2020 г.

Эти данные показывают, что в течение XX века годовое количество осадков на всех метеостанциях увеличилось: в Боровичском районе на 30 мм, в Новгородском – на 33 мм, в Старорусском – на 53 мм, в Валдайском – на 36 мм. Основная доля увеличения осадков пришлась на теплый период года с положительными температурами. В этот же период увеличилась климатическая норма осадков: от 16 мм в Новгороде до 66 мм в Валдае. Количество твердых осадков за холодный период (с отрицательными температурами) в течение XX столетия уменьшилось на 31 мм в Валдайском районе, увеличилось на 17 мм в Новгородском районе, а в Старорусском и Боровичском районах оставалось без изменения. В XXI веке тенденция роста осадков продолжилась в Старорусском и Валдайском районах, а в Новгородском районе годовое количество осадков резко сократилось на 56 мм.

Среднегодовая температура воздуха в течение XX столетия во всех районах, кроме Валдайского района, осталась без изменения. Сумма положительных температур выросла от 2 °C в Боровичах до 24 °C на Валдае. Также произошло увеличение активных температур вегетационного периода, превышающих 10 °C: в Старорусском районе на 3 °C, Боровичском районе на 8 °C, в Новгородском районе на 12 °C и в Валдайском районе на 21 °C (табл. 2).

Значительное увеличение жидких осадков, наблюдаемое во второй половине прошлого столетия, не было компенсировано увеличением активных температур, что привело

Таблица 1

Нормы осадков по метеостанциям Новгородской области, мм

Метео- станция	Период	Месяц												Теплый период (Σt>0°С) Холодный период (Σt<0°С)		Σ P _{t>10°С}	
		январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь				
Новгород	1892–1935	19	24	27	32	46	67	83	81	63	49	46	36	573	421	152	340
	1971–2000	29	29	26	37	45	70	79	82	69	55	49	36	606	437	169	345
	1991–2020	29	22	29	33	37	62	71	71	60	51	49	36	550	385	165	301
Старая Русса	1892–1935	25	27	29	30	44	65	70	76	53	41	42	34	536	379	157	308
	1971–2000	26	26	28	34	46	67	82	75	64	64	44	33	589	432	157	334
	1991–2020	32	26	34	35	43	67	78	76	61	52	51	44	599	412	187	325
Валдай	1891–1935	40	33	40	38	45	46	87	86	78	60	67	51	671	440	231	264
	1971–2000	32	32	36	44	56	83	90	87	82	65	56	44	707	507	200	316
	1991–2020	45	35	38	44	57	81	90	86	75	71	60	51	736	504	232	389
Боровичи	1891–1916	28	25	27	32	46	64	75	75	66	52	42	34	566	410	156	260
	1971–2000	28	28	28	40	50	72	85	74	63	56	40	32	596	440	156	281

Норма температуры воздуха, °С

Метео- станция	Период	Год	Месяц												Годовая сумма	Σ t > 0	Σ t < 10	ГТК
			январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь				
Новгород	1892–1935	1935	–8,3	–8,3	–4,3	–3,4	10,5	14,8	17,2	15,0	10,1	4,2	–1,2	–6,1	3,9	2302	2070	1,64
	1971–2000	1999	–8,4	–8,4	–4,5	3,3	10,4	15,0	17,3	15,2	10,1	4,2	–1,1	–5,9	3,9	2311	2082	1,66
	1991–2020	2020	–9,2	–8,2	–3,3	3,8	11,6	15,7	17,3	15,2	10,3	5,0	–0,8	–5,5	4,4	2425	2156	1,40
Старая Русса	1892–1935	1950	–8,0	–8,0	–4,0	4,0	11,1	15,3	17,7	15,5	10,6	4,6	–0,9	–5,9	4,3	2411	2149	1,43
	1971–2000	1999	–8,2	–8,2	–4,2	4,0	11,0	15,4	17,7	15,7	10,5	4,6	–0,8	–5,7	4,3	2414	2152	1,55
	1991–2020	2020	–8,7	–7,4	–2,4	4,8	12,1	15,9	17,3	15,7	10,6	5,4	–0,4	–5,4	4,9	2505	2193	1,48
Валдай	1891–1935	1950	–9,4	–9,2	–5,0	2,7	10,1	13,9	16,5	14,4	9,5	3,4	–2,3	–7,4	3,1	2158	1687	1,56
	1971–2000	1999	–9,4	–9,4	–5,0	2,8	9,9	14,2	16,6	14,8	9,6	3,4	–2,2	–7,2	3,2	2182	1705	1,85
	1991–2020	2018	–9,3	–8,8	–4,0	3,3	10,4	14,7	16,8	15,2	9,8	4,0	–1,8	–6,7	3,6	2272	2049	1,90
Боровичи	1891–1916	1950	–9,3	–9,0	–4,6	3,6	11,0	14,8	17,4	15,0	9,8	3,8	–1,9	–7,1	3,6	2308	1789	1,45
	1971–2000	1999	–9,3	–9,3	–4,7	3,4	10,5	15,1	17,4	15,5	9,9	3,7	–2,0	–7,1	3,6	2310	1797	1,56



к повсеместному росту степени увлажнения территории Новгородской области: гидротермический коэффициент (ГТК) вырос на 0,02–0,29. Таким образом, если в первой половине прошлого века только Новгородский район располагался в зоне избыточного увлажнения, то к концу столетия и Валдайский район оказался в этой же зоне, а Старорусский и Боровичский районы вплотную приблизились к границе «хорошее – избыточное увлажнение».

В настоящее время Новгородский и Старорусский район находятся в зоне достаточного увлажнения, а Валдайский – в зоне избыточного увлажнения.

Анализ метеорологических данных по метеостанции Новгород за последние 60 лет, осредненных по десятилетиям, показывает, что годовое количество осадков имеет устойчивую тенденцию к увеличению в среднем на 2,9 мм/год (рис. 1).

По сравнению с 60-ми годами XX столетия годовая сумма осадков увеличилась на 150 мм и к концу 10-х годов XXI столетия составила 676 мм. С увеличением количества осадков среднегодовая температура также повышается на 0,5 °С каждые десять лет (рис. 2).

Кроме того, по мере увеличения среднегодовой температуры наблюдается увеличение суммы активных температур. За последние 60 лет она увеличилась на 295 °С (с 2091 до 2386 °С). По мере повышения температуры количество осадков в течение вегетационного периода с активными температурами увеличилось на 374 мм (с 525 до 899 мм) за тот же период, что привело к увеличению влажности (ГТК) с 1,36 до 1,46.

Поэтому развитие сельскохозяйственного производства, повышение продуктивности и устойчивости земледелия в природно-климатических условиях области невозможно без проведения мелиоративных мероприятий [9, 10, 6, 14].

В Нечерноземной зоне основными способами осушения являются открытые каналы и закрытый дренаж [7]. Второй способ до сих пор имеет меньшее распространение, несмотря на значительные его достоинства [11]. Это связано с тем, что капитальные затраты на строительство открытой сети в 2–3 раза ниже по сравнению с закрытым дренажем.

Цель исследования – получение новых знаний по формированию режимов влажности почв под влиянием осушительных мелиораций в условиях изменения климата.

Методика исследований. Метеорологическая информация для анализа изменения климата получена из агроклиматических справочников и бюллетеней [1, 2], а также государственного архива Новгородской области [4] и монографии [3].

Исследования по формированию режимов влажности почвы проводили в 2019–2021 гг. на опытно-производственных участках (ОПУ) закрытого и открытого дренажа. На ОПУ закрытого дренажа расположено 4 варианта конструкций: мелкий дренаж; дренаж с засыпкой дренажной траншеи древесной щепой; дренаж с засыпкой дренажной траншеи песчано-гравийной смесью (ПГС); двухъярусный дренаж.

Глубина заложения дрен на варианте мелкого дренажа 70 см, на остальных вариантах – 110 см. Почвы – дерново-подзолистые оглеенные, по гранулометрическому составу тяжелосуглинистые.

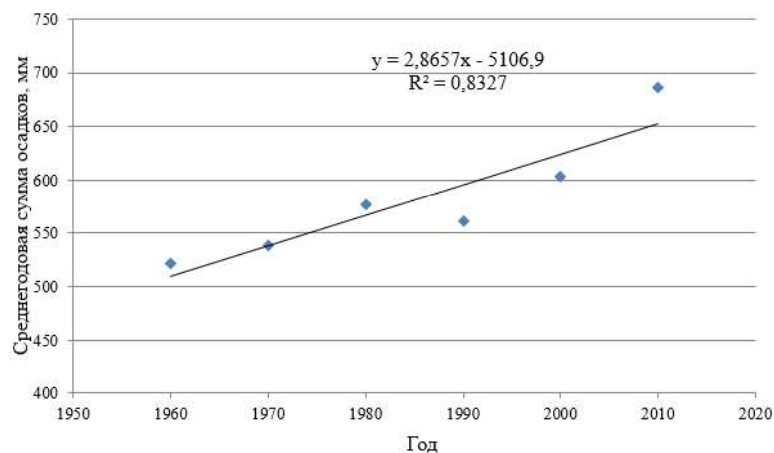


Рис. 1. Изменение годовой суммы осадков

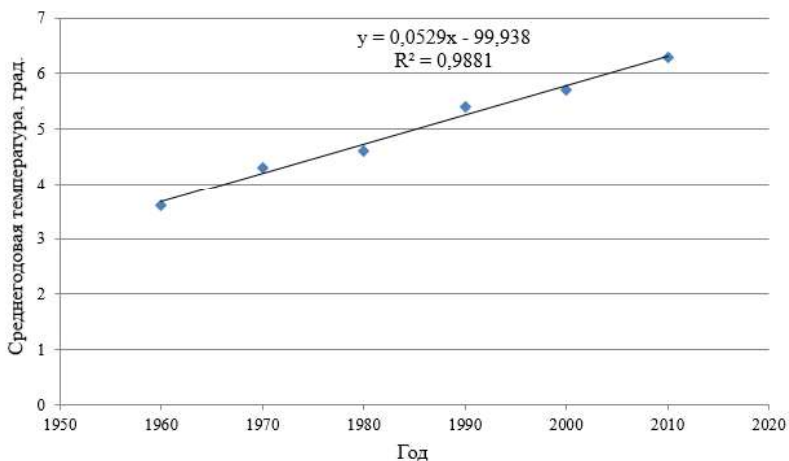


Рис. 2. Изменение среднегодовой температуры, °С



На ОПУ открытого дренажа расположено 4 варианта конструкций: каналы через 70 м; ложбины в сочетании с полосой рекультивации через 25 м; ложбины в сочетании с полосой возделывания через 50 м; ложбины с дренажем в сочетании с полосой рекультивации через 25 м.

Полоса рекультивации представляет собой двускатный профиль с удаленным наполовину плодородным слоем, который был перемещен на полосу возделывания, которой также имеет двускатный профиль с увеличенным плодородным слоем.

Почвы дерново-подзолистые оглеенные, по гранулометрическому составу глина легкая.

Наблюдения за влажностью почвы проводили 1 раз в декаду термостатно-весовым методом по методике СевНИИГиМ [8].

Результаты исследований. Метеорологические условия периода исследования отличались большим разнообразием. Теплообеспеченность вегетационного периода во все годы была выше среднегодовой. Самым теплым был 2021 г., когда сумма активных температур за май – август составила 2092 °С, что превысило норму на 244 °С. Одновременно этот год был и самым влажным, с суммой осадков 404 мм за этот же период, что превысило климатическую норму на 103 мм, а ГТК составил 1,93 единицы. Влажным также был 2019 г. с ГТК = 1,76 единицы. Наиболее близким по степени увлажнения к среднегодовому году был 2020 г. с ГТК = 1,26 (норма ГТК = 1,3).

Осушительная система направлена на ускорение поверхностного и внутрипочвенного стока с целью снижения грунтовых вод до уровня, обеспечивающего благоприятный для растений водно-воздушный режим. Поэтому режим влажности почвы является важнейшим показателем эффективности мелиоративной системы.

Наблюдения за влажностью почвы проводили в течение 2019–2021 гг. На вариантах закрытого дренажа запас влаги в слое 0–60 см за период наблюдений изменялся в довольно широких пределах: от 280 до 90 мм при оптимальных значениях 210–140 мм, соответствующих 0,6–0,8 полной влагоемкости (рис. 3).

Избыточное увлажнение корнеобитаемого слоя почвы наблюдалось в начале вегетационного периода, после таяния снега и пополнения запасов влаги в почве. Периоды переувлажнения (от 10 до 25 суток) были отмечены на варианте 1 (мелкий дренаж) в начале вегетации. В 2021 г. в третьей декаде мая, после выпадения в течение декады месячной нормы осадков, запасы влаги превысили верхний предел оптимума на 16 мм на вариантах 1 (мелкий дренаж) и 4 (двухъярусный дренаж). На остальных опытных дренажных системах в течение вегетационного периода не было отмечено превышение влажности выше оптимального значения. Даже в 2021 г., когда в августе выпало 253 мм осадков (3,6 нормы), влажность корнеобитаемого слоя почвы не превысила верхнего предела оптимума.

В течение 3 лет наблюдений во все годы имелись отдельные периоды с недостатком влаги. Самые низкие запасы влаги отмечали на варианте 3 (собиратели с засыпкой дренажной траншеи ПГС). Наиболее оптимальный водно-воздушный режим почвы обеспечили системы дренажа с засыпкой дренажной траншеи древесной щепой (вариант 2), на которых диапазон изменения влажности корнеобитаемого слоя почвы в течение 3 лет наблюдений был наиболее близок к оптимальному – 210–114 мм. На опытных вариантах открытого дренажа диапазон изменения запаса влаги за трехлетний период составил от 170 до 380 мм при оптимальных значениях 210–300 мм (рис. 4).

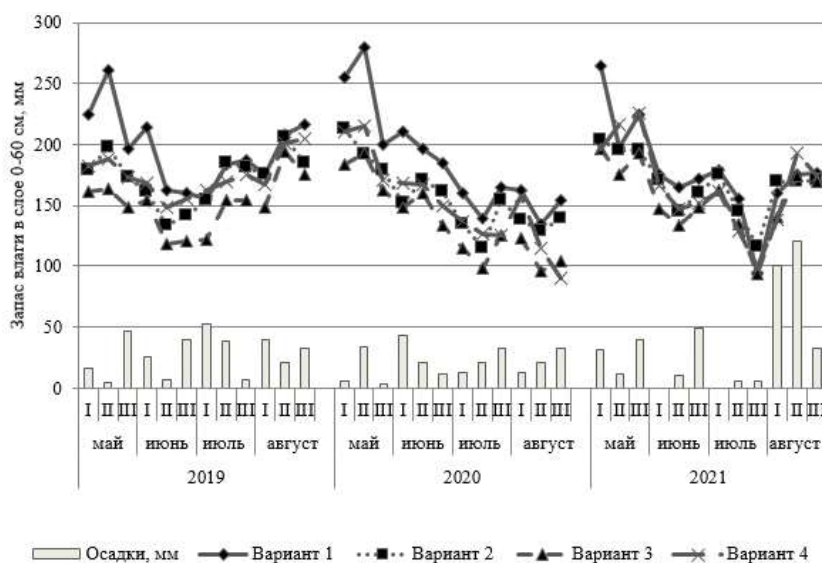


Рис. 3. Запас влаги на опытных системах закрытого дренажа



В избыточно влажный 2019 г. все исследуемые конструкции открытого дренажа обеспечили оптимальные условия влажности корнеобитаемого слоя почвы. Незначительное увеличение влажности выше верхнего предела оптимума было отмечено на контроле в первой декаде июня, после выпадения в третьей декаде мая 1,3 месячной нормы осадков. Начало вегетационного периода 2020 г. характеризовалось избыточной влажностью на вариантах 2 и 4. После выпадения во второй декаде мая почти месячной нормы осадков (34 мм) на всех вариантах, кроме варианта 3, в третьей декаде мая было отмечено избыточное увлажнение. Наиболее длительный период избыточного увлажнения (50 суток) наблюдался на варианте осушения ложбинами стока в сочетании с полосой рекультивации, самый короткий (5 суток) – на варианте осушения ложбинами стока в сочетании с полосой возделывания. Применение дренажа в качестве дополнительного элемента в конструкции ложбин стока (вариант 4) привело к сокращению периода переувлажнения до 10 суток. Май 2021 г. был очень влажным, ГТК = 2,7. Самый длительный период переувлажнения наблюдался на варианте 2 (20 суток), на вариантах 1 и 4 – по 5 суток. В течение всего вегетационного периода на варианте 3 не было отмечено переувлажнение корнеобитаемого слоя почвы.

Заключение. Анализ климатических норм по 4 метеостанциям Новгородской области за более чем столетний период показал тенденцию роста степени увлажнения (ГТК вырос на 0,2–0,29 единицы) за счет превышения роста осадков над ростом температуры. Метеорологические наблюдения за последние 60 лет подтвердили устойчивый тренд на повышение степени увлажнения: ГТК увеличилась с 1,36 до 1,46. Поэтому сельскохозяйственное производство растениеводческой продукции невозможно без проведения мелиоративных мероприятий.

Исследования эффективности работы осушительных систем показали, что системы закрытого дренажа обеспечили более благоприятный водно-воздушный режим почвы по сравнению с открытым дренажем за счет уменьшения в 2 раза периода нахождения почвы в переувлажненном состоянии с 50 до 25 суток. Наиболее оптимальный водно-воздушный режим почвы среди конструкций закрытого дренажа был обеспечен системой с засыпкой дренажной траншеи древесной щепой, а среди конструкций открытого дренажа – ложбинами стока в сочетании с полосами возделывания.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и образования, государственное задание ФГБНУ «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук», тема FFZF-2022-0010, рег. № НИОКР 122041100104-6.

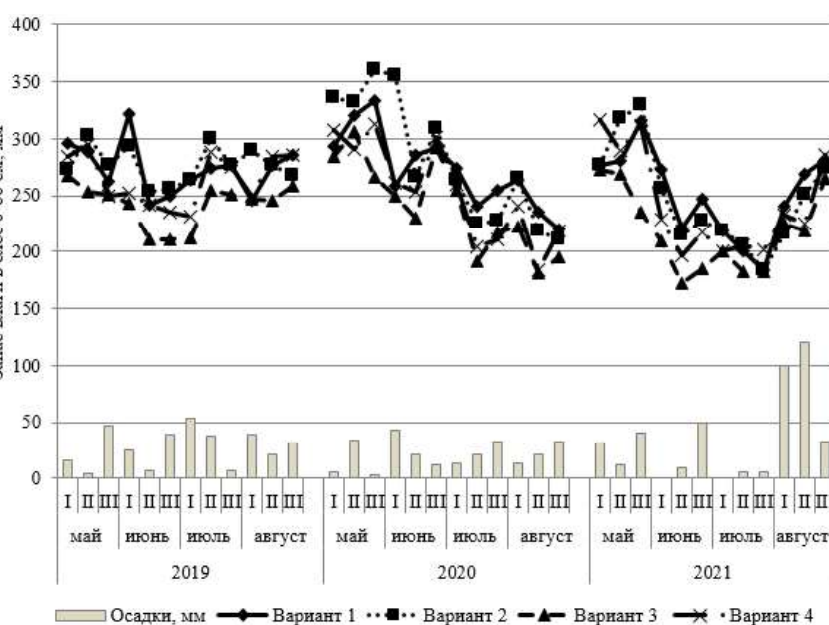


Рис. 4. Запас влаги на опытных системах открытого дренажа

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроклиматический справочник по Новгородской области. Л.: Гидрометеиздат, 1960. 151 с.
2. Агрометеорологический бюллетень по Новгородской области / Новгородское гидрометеорологическое бюро. Новгород, 1975–2000 гг.
3. Валдайские озёра (Обзор результатов наблюдений за 1946–2018 гг.) / под ред. И.В. Недогарко. СПб.: РИАН, 2021. 242 с.
4. ГАНО. Ф.138, оп. 1.ед.хр.913/ Канцелярия Новгородского губернатора. Дело № 1744.
5. Гулянов Ю. А. Влияние климатических изменений на динамику производства зерна озимой пшеницы в Оренбургской области // Пермский аграрный вестник. 2022. № 3(39). С. 20–31. DOI: 10.47737/2307-2873_2022_39_20.



6. Иванов А. И., Янко Ю. Г. Мелиорация как необходимое средство развития сельского хозяйства Нечерноземной зоны России // *Агрофизика*. 2019. № 1. С. 67–78.
7. Иванов А. И., Гулюк Г. Г., Янко Ю. Г. Актуальные вопросы развития мелиорации в Нечерноземье // *Мелиорация и водное хозяйство*. 2020. № 3. С. 5–12.
8. Методические указания по постановке и проведению опытов на осушительных системах. Л., 1983. С. 54–69, 84–103.
9. Петрова Л. И., Митрофанов Ю. И., Первушина Н. К. Влияние осушения и применения минеральных удобрений на урожайность яровой пшеницы // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2018. № 64(3). С. 70–74.
10. Петрова Л. И., Митрофанов Ю. И., Анциферова О. Н., Первушина Н. К. Влияние осушения, удобрений и погодных условий на урожай яровой пшеницы // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2020. № 6(378). С. 63–67.
11. Balun O. V. Effectiveness of drainage of agricultural land by closed drainage in climatic conditions of the Novgorod region. *Earth and Environmental Science*. *Cep. International Scientific and Practical Conference Biotechnology in the Agro-Industrial Complex and Sustainable Environmental Management*. 2020. P. 012011.
12. Zandalinas S. I., Fritsch F. B., Mittler R. Global Warming, Climate Change, and Environmental Pollution: Recipe for a Multifactorial Stress Combination Disaster // *Trends in Plant Science*. 2021. No. 26(6). P. 588–599.
13. Hei A., Condon L., Maxwell R. Evaluating the relative importance of precipitation, temperature and land-cover change in the hydrologic response to extreme meteorological drought conditions over the North American High Plains. *Environmental Science. Hydrology and Earth System Sciences*. Published 10 April 2019, P. 1931–1950.
14. Valipour M., Krasilnikof J., Yannopoulos S. The Evolution of Agricultural Drainage from the Earliest Times to the Present. *SUSTAINABILITY*. 2020. T. 12. Vol. 1. No. 416.

REFERENCES

1. Agro-climatic directory of the Novgorod region. L: Hydrometeoizdat; 1960. 151p. (In Russ.).
2. Agrometeorological bulletin for the Novgorod region / Novgorod Hydrometeorological Bureau. Novgorod; 1975–2000. (In Russ.).
3. Valdai Lakes (Review of the results of observations for 1946–2018) / Edited by I.V. Nedogarko. St. Petersburg: REAL; 2021. 242p. (In Russ.).
4. The State Archive of the Novgorod region. Fond 138 inventory 1. unit. Storage 913. Office of the Novgorod Governor. Case No. 1744. (In Russ.).
5. Gulyanov Yu. A. Influence of climatic changes on the dynamics of winter wheat grain production in the Orenburg region. *Perm Agrarian Bulletin*. 2022; 3(39): 20–31. DOI: 10.47737/2307-2873_2022_39_20. (In Russ.).
6. Ivanov A. I., Yanko Yu. G. Land reclamation as a necessary means of developing agriculture in the Non-Chernozem zone of Russia. *Agrophysics*. 2019(1): 67–78. (In Russ.).
7. Ivanov A. I., Gulyuk G. G., Yanko Yu. G. Actual issues of land reclamation development in the Non-Chernozem region. *Land reclamation and water management*. 2020; (3): 5–12. (In Russ.).
8. Methodological guidelines for setting up and conducting experiments on drainage systems. L.; 1983. P. 54–69, 84–103. (In Russ.).
9. Petrova L. I., Mitrofanov Yu. I., Pervushina N. K. The effect of drainage and the use of mineral fertilizers on the yield of spring wheat. *Agrarian science of the Euro-North-East*. 2018; 64(3): 70–74. (In Russ.).
10. Petrova L. I., Mitrofanov Yu. I., Antsiferova O. N., Pervushina N. K. The effect of drainage, fertilizers and weather conditions on the yield of spring wheat. *International Agricultural Journal*. 2020; 6(378): 63–67. (In Russ.).
11. Balun O. V. Effectiveness of drainage of agricultural land by closed drainage in climatic conditions of the Novgorod region. *Earth and Environmental Science*. *Cep. International Scientific and Practical Conference Biotechnology in the Agro-Industrial Complex and Sustainable Environmental Management*. 2020. P. 012011.
12. Zandalinas S. I., Fritsch F. B., Mittler R. Global Warming, Climate Change, and Environmental Pollution: Recipe for a Multifactorial Stress Combination Disaster. *Trends in Plant Science*. 2021; 26(6): 588–599.
13. Hei A., Condon L., Maxwell R. Evaluating the relative importance of precipitation, temperature and land-cover change in the hydrologic response to extreme meteorological drought conditions over the North American High Plains. *Environmental Science. Hydrology and Earth System Sciences*. Published 10 April 2019, P. 1931–1950.
14. Valipour M., Krasilnikof J., Yannopoulos S. The Evolution of Agricultural Drainage from the Earliest Times to the Present. *SUSTAINABILITY*. 2020; 12; 1(416).

*Статья поступила в редакцию 05.03.2023; одобрена после рецензирования 10.03.2023; принята к публикации 31.03.2023.
The article was 05.03.2023; approved after 10.03.2023; accepted for publication 31.03.2023.*