

Формирование уровней грунтовых вод осушаемых земель в природно-климатических условиях Новгородской области

© 2023. О. В. Балун , Е. П. Шкодина, В. А. Яковлева, С. Ю. Жукова
ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр
Российской академии наук», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Исследования по формированию уровней грунтовых вод (УГВ) проведены на системах открытого и закрытого дренажа в природно-климатических условиях Новгородской области в течение 30 лет на двух опытно-производственных участках. На первом участке расположены четыре конструкции закрытого дренажа: мелкий (глубина заложения дрен 70 см); среднеглубокий (глубина заложения дрен 110 см) с различными вариантами засыпки дренажной траншеи – древесной щепой и песчано-гравийной смесью; двухъярусный (глубина заложения дрен 110 и 60 см). На втором участке расположены четыре конструкции открытого дренажа: каналы; ложбины – без гидромелиоративных сооружений; с дренажем по дну – трубчатым и бесполостным. Получены среднесезонные данные по режимам грунтовых вод на опытных конструкциях и сделаны выводы, что среднесезонный УГВ, формируемый системами закрытого дренажа, на 18 см ниже по сравнению с системами открытого; наиболее благоприятный режим грунтовых вод формируют осушительные системы двухъярусного дренажа. Проанализированы зависимости уровней грунтовых вод, формируемых в наиболее напряженные периоды работы осушительных систем (май – 1-я декада июня), от количества осадков за предыдущие периоды. Выявлено, что теснота связи между уровнями грунтовых вод и количеством выпавших осадков в вариантах открытого дренажа менее тесная ($r^2 = 0,01-0,30$) по сравнению с вариантами закрытого ($r^2 = 0,02-0,54$). Наиболее тесную связь на системах закрытого дренажа наблюдали между УГВ третьей декады мая и осадками за май: в этот период при увеличении осадков на 1 мм грунтовые воды поднимались на 0,3 см в варианте с засыпкой древесной щепой и на 0,6 см – в вариантах мелкого и двухъярусного дренажа.

Ключевые слова: закрытый дренаж, открытый дренаж, ложбины стока, режимы грунтовых вод, осадки

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (тема № FFZF-2022-0010).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Балун О. В., Шкодина Е. П., Яковлева В. А., Жукова С. Ю. Формирование уровней грунтовых вод осушаемых земель в природно-климатических условиях Новгородской области. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023;24(2):257-266. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.257-266>

Поступила: 06.02.2023

Принята к публикации: 27.03.2023

Опубликована онлайн: 25.04.2023

Formation of groundwater levels of drained lands in the natural and climatic conditions of the Novgorod region

© 2023. Olga V. Balun , Elena P. Shkodina, Valentina A. Yakovleva, Svetlana Yu. Zhukova

St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,
Saint Petersburg, Russian Federation

Studies on the formation of groundwater levels have been carried out on open and closed drainage systems in the natural and climatic conditions of the Novgorod region for more than 30 years at 2 pilot production sites. On the first site there are 4 structures of closed drainage: shallow with a depth of 70 cm; medium-deep drainage (drainage depth 110 cm) with various options for filling the drainage trench-wood chips and sand-gravel mixture; two-tier drainage (drainage depth 110 and 60 cm). On the second site there are four open drainage structures: channels; hollows – without hydro-reclamation structures; with drainage along the bottom-tubular and strip-free. The average long-term data on groundwater regimes on experimental structures were obtained and conclusions were drawn that the average seasonal groundwater level formed by closed drainage systems is 18 cm lower compared to open drainage systems; the most favorable groundwater regime is formed by drainage systems of two-tier drainage. The dependences of groundwater levels formed during the most intense periods of operation of drainage systems (May – 1st decade of June) on the amount of precipitation for previous periods are analyzed. It was revealed that the closeness of the relationship between groundwater levels and the amount of precipitation in the open drainage variants is less close ($r^2 = 0.01-0.30$) compared with the closed drainage variants ($r^2 = 0.02-0.54$). The closest relationship on closed drainage systems is observed between the groundwater level of the third decade of May and precipitation for May: during this period, with an increase in precipitation by 1 mm, groundwater rises by 0.3 cm – in the variant with chip filling and by 0.6 cm – in the variants of shallow and two-tier drainage.

Keywords: closed drainage, open drainage, runoff hollows, groundwater regimes, precipitation

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (theme No. FFZF-2022-0010).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Balun O. V. Shkodina E. P., Yakovleva V. A., Zhukova S. Yu. Formation of groundwater levels of drained lands in the natural and climatic conditions of the Novgorod region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(2):257-266. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.257-266>

Received: 06.02.2023

Accepted for publication: 27.03.2023

Published online: 25.04.2023

Новгородская область расположена в зоне избыточного увлажнения, где более половины сельскохозяйственных угодий расположены на почвах тяжелого гранулометрического состава с плоским рельефом. В таких условиях они периодически находятся в переувлажненном состоянии и не могут обеспечить стабильное получение планируемой сельскохозяйственной продукции. Радикальным методом решения данной проблемы уже многие тысячелетия является осушение сельскохозяйственных угодий [1, 2].

Современные осушительные системы направлены на повышение продуктивности мелиорированных земель [3, 4]. Исследования, проведенные в Тверской области, показали, что продуктивность осушаемых земель на 17-19 % выше по сравнению с неосушаемыми как на фоне применения удобрений, так и без удобрений [5, 6, 7].

Основная задача мелиоративной осушительной системы – снижение уровня грунтовых вод (УГВ) до значений, обеспечивающих в корнеобитаемом слое почвы благоприятную для выращиваемых культур влажность, что трактуется как норма осушения [8]. Использование критической глубины уровня грунтовых вод в качестве критерия оценки эколого-мелиоративного состояния почв подтвердили проводимые в Новосибирской области исследования, в которых выявилась её зональность и зависимость от амплитуд колебаний УГВ [9].

Уровни грунтовых вод оказывают большое влияние как в гумидной, так и аридной зонах на экологические и гидрологические процессы, приводящие к изменению наземной растительности. В результате многолетних (1980-2018 гг.) полевых и лизиметрических исследований на осушаемых сезонно-мерзлотных почвах Западной Сибири установлена оптимальная глубина УГВ для юга Тюменской области для однолетних трав (0,9-1,1 м) и многолетних трав (0,7-0,8 м) [10]. Вопросами взаимосвязи между растительностью и глубиной

залегания грунтовых вод занимались китайские ученые в засушливых и полувлажных районах, для которых были определены классы растительности, чувствительной и нечувствительной к изменению УГВ [11]. В Нечерноземной зоне РФ при выращивании картофеля на осушаемых дерново-подзолистых почвах не всегда можно использовать капиллярную влагу, поступающую из грунтовых вод, поэтому для повышения урожайности часто требуется проведение поливов [12]. Изучение мелиоративного состояния осушаемых земель на польдерах в Славском районе Калининградской области позволило выявить оптимальные уровни откачки насосной станцией, зависимости уровней грунтовых вод от абсолютной отметки земной поверхности, и на их основе рекомендовать диапазон абсолютных отметок земли для выращивания на польдере сельскохозяйственной продукции [13]. Режим уровней грунтовых вод осушаемых земель, по исследованиям в Брестской области Республики Беларусь, зависит от климатических условий и состояния осушительной сети. Отмечено, что неудовлетворительное функционирование осушительной сети оказывает негативное влияние на эколого-мелиоративные свойства осушаемых земель и почвообразовательные процессы, что может вызвать как вторичное заболачивание земель, так и переосушение торфяников и их возгорание. Также было отмечено запаздывание реакции осушительной системы на осадки, независимо от их количества и интенсивности, особенно после длительных засушливых периодов [14].

Цель исследований – получение новых данных о формировании уровней грунтовых вод на системах открытого и закрытого дренажа в природно-климатических условиях Новгородской области.

Новизна исследований – впервые определены зависимости уровней грунтовых вод от метеорологических условий на различных конструкциях осушительных систем.

Материал и методы. Исследования проводили на двух опытно-производственных участках, расположенных в Новгородском районе Новгородской области, со дня ввода их в эксплуатацию и до 2021 года.

Участок закрытого дренажа «Кшентицы», построенный в 1989 году, расположен на юго-западе в 30 км от Великого Новгорода на типичных дерново-подзолистых глееватых суглинистых почвах, по гранулометрическому составу – тяжелосуглинистых с плотностью пахотного горизонта $1,3 \text{ г/см}^3$, подпахотного $1,6 \text{ г/см}^3$, коэффициентом пористости 0,5 и 0,4 соответственно. Тип водного питания – атмосферный, переувлажнение участка происходит за счет сезонных почвенных вод. На участке расположены четыре конструкции закрытого дренажа в 3-кратной повторности: мелкий (глубина заложения дрен 70 см); среднезаглубленный (глубина заложения дрен 110 см) с двумя вариантами засыпки дренажной траншеи – древесной щепой и песчано-гравийной смесью (ПГС); двухъярусный дренаж, состоящий из нижнего яруса дрен на глубине 110 см и перпендикулярного ему верхнего яруса бесполостных дрен с глубиной заложения 60 см.

Участок открытого дренажа «Ляпино», построенный в 1992 году, расположен в 5 км западнее Великого Новгорода на дерново-подзолистых глинистых почвах. По гранулометрическому составу – легкая глина, плотность пахотного горизонта $1,4 \text{ г/см}^3$, подпахотного – $1,5 \text{ г/см}^3$, коэффициент пористости 0,50 и 0,45 соответственно. Причина переувлажнения – сезонные почвенные воды, формирование которых происходит в микропонижениях рельефа за счет инфильтрации атмосферных осадков и талых вод в рыхлом почвенном слое. На участке расположено четыре варианта конструкций открытого дренажа в 3-кратной повторности: каналы; ложбины – без дополнительных гидромелиоративных сооружений; с дренажем по дну – трубчатым и бесполостным.

Для измерения УГВ на каждую опытную систему в середине междренной полосы были установлены по две наблюдательные скважины. Наблюдения проводили весной – ежедневно, летом – 1 раз в пентаду. Режим грунтовых вод

определяли по методике СевНИИГиМ¹. Статистическую обработку данных проводили с использованием корреляционного и регрессионного анализов².

Результаты и их обсуждение. Наблюдения за уровнями грунтовых вод проводили на опытных вариантах закрытого дренажа с 1989 года, на вариантах открытого дренажа – с 1992 года. Климатические условия периода наблюдений (до 2021 года) показали, что май является по степени увлажнения относительно влажным с гидротермическим коэффициентом (ГТК) 1,33 единицы, в июне количество осадков увеличивается в 1,5 раза и даже на фоне роста температуры влажность возрастает (ГТК = 1,46). В июле продолжается рост температуры на фоне незначительного снижения количества осадков, что приводит к снижению влажности (ГТК = 1,18). В августе количество осадков увеличивается, температура снижается, что сказывается на степени увлажнения – ГТК = 1,56. Самой влажной отмечена третья декада июня, в течение которой выпало наибольшее количество осадков – ГТК = 1,64 единицы; самой сухой – первая декада июля с суммой осадков 19 мм и ГТК = 1,04 единицы (табл. 1).

Тридцатилетний период наблюдений позволил получить среднемноголетние данные по режимам грунтовых вод на опытных конструкциях.

На системах закрытого дренажа в течение вегетационного периода самый высокий уровень грунтовых вод наблюдался в первой декаде мая, который снижался до минимального значения в июле, в августе отмечен его подъем до июньского уровня в основном из-за повышения количества осадков на фоне снижения испаряемости (рис. 1).

Самый высокий среднемноголетний уровень грунтовых вод за вегетацию на системах закрытого дренажа наблюдали в варианте мелкого дренажа (71 см), самый низкий (89 см) – в варианте двухъярусного дренажа. Режим грунтовых вод в вариантах с засыпкой дренажной траншеи ПГС и щепой был примерно одинаковым: среднемноголетний УГВ за вегетацию составил 78 и 79 см соответственно, что на 8 см ниже по сравнению с мелким дренажем и на 10 см выше по сравнению с двухъярусным.

¹Методические указания по постановке и проведению опытов на осушительных системах. Л., 1983. С. 54-69, 84-103.

²Методические указания по статистической обработке экспериментальных данных в мелиорации и почвоведении. Л., 1977. С. 166-222.

Таблица 1 – Климатические условия за период исследований (в среднем за 1989-2021 гг.) / Table 1 – Climatic conditions for the observation period (average for 1989-2021)

Месяц / Month	Декада / Decade	Осадки, мм / Precipitation, mm	Температура, °C / Temperature, °C	ГТК / Hydrothermal coefficient
Май / May	I	14	10,6	1,32
	II	16	12,0	1,33
	III	19	13,3	1,43
	Среднее / Average	16	12,0	1,33
Июнь / June	I	20	15,4	1,30
	II	23	16,3	1,41
	III	28	17,1	1,64
	Среднее / Average	24	16,4	1,46
Июль / July	I	19	18,2	1,04
	II	22	18,8	1,17
	III	25	19,1	1,31
	Среднее / Average	22	18,6	1,18
Август / August	I	27	18,2	1,48
	II	26	17,0	1,53
	III	25	15,4	1,62
	Среднее / Average	26	16,7	1,56

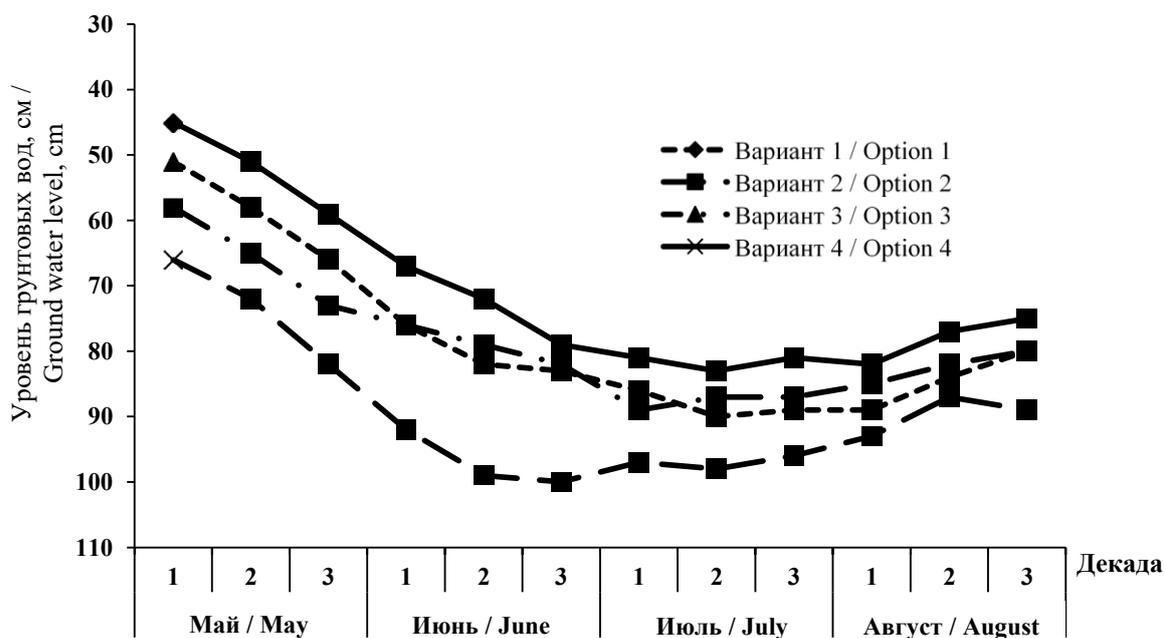


Рис. 1. Среднедолгосрочная (1989-2021 гг.) динамика уровня грунтовых вод за вегетационный период на опытных системах закрытого дренажа. Варианты: 1 – мелкий дренаж (контроль); 2 – среднезаглубленный дренаж с засыпкой траншеи древесной щепой; 3 – среднезаглубленный дренаж с засыпкой траншеи ПГС; 4 – двухъярусный дренаж /

Fig. 1. Average long-term (1989-2021) dynamics of the groundwater level during the growing season on experimental closed drainage systems. Options: 1 – shallow drainage (control); 2 – medium-deep drainage with filling the trench with chips; 3 – medium-deep drainage with filling the trench with sand-gravel mixture; 4 – two-tier drainage

Максимальная скорость сработки грунтовых вод (0,52 см/сут) наблюдалась на двухъярусном дренаже (вариант 4), минимальная (0,45 см/сут) – на мелком (вариант 1). Средняя

скорость подъема грунтовых вод в конце июля-августе составила 0,17 см/сут, максимальная (0,21 см/сут) – в 3 варианте, минимальная (0,14 см/сут) – в 1 варианте.

Анализ всех вышеприведенных факторов показал, что наиболее благоприятный режим грунтовых вод, характеризующийся высокой скоростью сработки УГВ и невысокой скоростью подъема в период выпадения обильных осадков за счет более интенсивного отвода внутрипочвенных вод, формируют осушительные системы двухъярусного дренажа.

Динамика грунтовых вод на системах открытого дренажа аналогична системам закрытого (рис. 2). Отличие состоит в величине среднесезонного УГВ, который составляет 61 см, что на 18 см выше, чем в вариантах закрытого дренажа при достаточно близкой амплитуде колебаний среднесезонного УГВ (37 и 35 см).

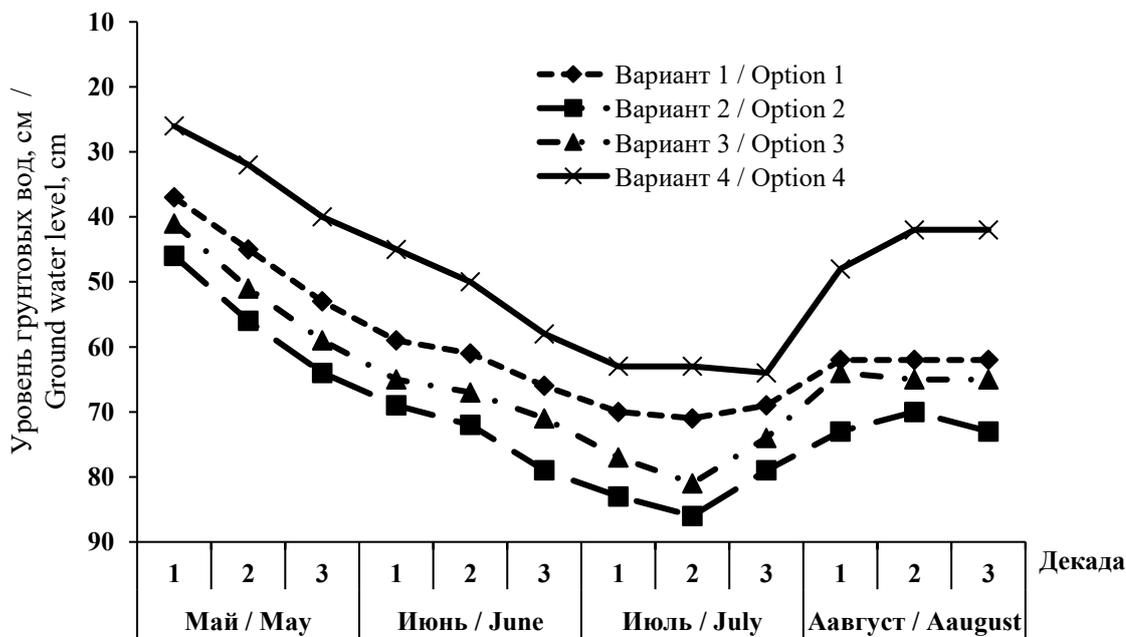


Рис. 2. Среднегодовная (1992-2021 гг.) динамика уровня грунтовых вод за вегетационный период на опытных системах открытого дренажа. Варианты: 1 – каналы через 70 м (контроль); 2 – ложбины без гидромелиоративных сооружений; 3 – ложбины с трубчатым дренажем; 4 – ложбины с бесполостным дренажем /

Fig. 2. Average long-term (1992-2021) dynamics of the groundwater level during the growing season on experimental open drainage systems. Options: 1 – channels through 70 m (control); 2 – hollows without hydro-reclamation facilities; 3 – hollows with tubular drainage; 4 – hollows with strip-free drainage

Самый высокий среднесезонный уровень грунтовых вод за сезон (48 см) наблюдали в контроле, самый низкий (71 см) – на системах ложбин с трубчатым дренажем. На системах ложбин с бесполостным дренажем он был в среднем на 6 см выше по сравнению с системами ложбин с трубчатым дренажем. Ложбины без дренажа (вариант 2) обеспечили уровень грунтовых вод в среднем на 12 см ниже по сравнению с контролем.

Средняя скорость сработки УГВ на системах открытого дренажа составила 0,53 см/сут, что на 10 % выше по сравнению с вариантами закрытого дренажа, максимальная (0,58 см/сут) – в вариантах 3 и 4, минимальная (0,45 см/сут) – в контроле. С третьей декады июля начинался подъем грунтовых вод со средней скоростью 0,26 см/сут, наибольшая скорость подъема (0,52 см/сут) отмечена в контроле, наименьшая (0,14 см/сут) – в 3 варианте.

Следовательно, режим формирования уровня грунтовых вод в варианте сочетания ложбин стока с трубчатым дренажем выделился среди опытных систем открытого дренажа как наиболее оптимальный.

Формирование уровней грунтовых вод происходит под действием климатических факторов и работы осушительных систем. Исследования по влиянию климатических факторов на уровень грунтовых вод, проведенные американскими учеными с использованием гидрологической модели, позволили выявить большее влияние осадков на УГВ по сравнению с температурой [15].

Для выявления подобных зависимостей в опытных вариантах проанализированы данные по уровню грунтовых вод и количеству осадков за наиболее напряженный период работы осушительных систем (май – 1-я декада июня) (табл. 2).

Таблица 2 – Зависимость УГВ на опытных конструкциях закрытого дренажа от суммы осадков / Table 2 – Dependence of groundwater levels on experimental designs of closed drainage on the amount of precipitation

Вариант закрытого дренажа / Variant closed drainage	УГВ / Groundwater level for the period										1 декада июня / 1 decade of June		
	май / May	1 декада мая / 1 decade of May	1 декада мая / апрель + 1 декада мая / April + 1 decade of May	1 декада мая / 1 decade of May	3 декада мая / апрель + 1 декада мая / 3 decade of May / April + 1 decade of May	1 декада мая / 1 decade of May	2 декада мая / 2 decade of May	1+2 декада мая / 1+2 decade of May	май / May	2 декада мая / 2 decade of May		1+2 декада мая / 1+2 decade of May	3 декада мая / 3 decade of May
	Сумма осадков / Precipitation for the period												
Мелкий / Shallow	$y = -0,40x + 72,2 / r^2 = 0,29$	$y = -0,56x + 53,0 / r^2 = 0,15$	$y = -0,44x + 66,8 / r^2 = 0,22$	$y = -0,88x + 64,4 / r^2 = 0,27$	$y = -0,78x + 70,6 / r^2 = 0,33$	$y = -0,37x + 57,6 / r^2 = 0,09$	$y = -0,41x + 64,5 / r^2 = 0,22$	$y = -0,57x + 89,5 / r^2 = 0,41$	$y = -0,48x + 74,8 / r^2 = 0,27$	$y = -0,44x + 68,4 / r^2 = 0,07$	$y = -0,66x + 84,3 / r^2 = 0,31$	$y = -0,63x + 100,8 / r^2 = 0,40$	
Среднезаглубленный. Засыпка дренажной траншеи щепой / Medium-deep. Filling of the drainage trench with wood chips	$y = -0,25x + 78,4 / r^2 = 0,20$	$y = -0,62x + 67,1 / r^2 = 0,18$	$y = -0,35x + 75,8 / r^2 = 0,15$	$y = -0,69x + 75,3 / r^2 = 0,27$	$y = -0,05x + 67,1 / r^2 = 0,01$	$y = -0,19x + 67,9 / r^2 = 0,05$	$y = -0,25x + 72,6 / r^2 = 0,16$	$y = -0,33x + 90,7 / r^2 = 0,28$	$y = -0,26x + 81,4 / r^2 = 0,15$	$y = -0,35x + 80,9 / r^2 = 0,10$	$y = -0,33x + 85,5 / r^2 = 0,17$	$y = -0,41x + 97,7 / r^2 = 0,26$	
Среднезаглубленный. Засыпка дренажной траншеи ПГС / Medium-deep. Filling of the drainage trench of the PGS	$y = -0,35x + 76,9 / r^2 = 0,19$	$y = -0,47x + 58,9 / r^2 = 0,07$	$y = -0,67x + 85,7 / r^2 = 0,36$	$y = -0,82x + 70,5 / r^2 = 0,17$	$y = -0,38x + 82,2 / r^2 = 0,20$	$y = -0,29x + 63,3 / r^2 = 0,05$	$y = -0,33x + 68,9 / r^2 = 0,13$	$y = -0,54x + 94,6 / r^2 = 0,34$	$y = -0,53x + 83,5 / r^2 = 0,29$	$y = -0,26x + 71,9 / r^2 = 0,02$	$y = -0,60x + 89,0 / r^2 = 0,24$	$y = -0,32x + 92,7 / r^2 = 0,13$	
Двухъярусный / Two-tier	$y = -0,32x + 90,4 / r^2 = 0,30$	$y = -0,28x + 70,1 / r^2 = 0,04$	$y = -0,59x + 99,5 / r^2 = 0,54$	$y = -0,21x + 84,2 / r^2 = 0,05$	$y = -0,23x + 87,9 / r^2 = 0,19$	$y = -0,17x + 75,3 / r^2 = 0,05$	$y = -0,22x + 79,9 / r^2 = 0,16$	$y = -0,58x + 114,1 / r^2 = 0,48$	$y = -0,52x + 101,0 / r^2 = 0,39$	$y = -0,25x + 87,0 / r^2 = 0,02$	$y = -0,70x + 108,5 / r^2 = 0,34$	$y = -0,61x + 119,5 / r^2 = 0,41$	

Примечания: у – УГВ; х – сумма осадков; r² – коэффициент детерминации / Notes: y – the groundwater level; x – the amount of precipitation; r² – the coefficient of determination

Таблица 3 – Зависимость УГВ на опытных конструкциях открытого дренажа от суммы осадков / Table 3 – Dependence of the UGV on experimental designs of open drainage on the amount of precipitation

Вариант / Variant	УГВ / Groundwater level for the period												
	Сумма осадков / Precipitation for the period												
	май / may	1 декада мая / 1 decade of may	апрель + 1 декада мая / april + 1 decade of may	1 декада мая / 1 decade of may	2 декада мая / 2 decade of may	3 декада мая / 3 decade of may	1 декада мая / 1 decade of may	2 декада мая / 2 decade of may	3 декада мая / 3 decade of may	1 декада июня / 1 decade of june			
Каналы (контроль) / Channels (control)	y = -0,1x + 37,8 / r ² = 0,04	y = -0,31x + 31,7 / r ² = 0,15	y = -0,26x + 38,9 / r ² = 0,20	y = -0,08x + 33,3 / r ² = 0,01	y = -0,10x + 36,3 / r ² = 0,03	y = -0,08x + 33,3 / r ² = 0,01	y = -0,13x + 36,5 / r ² = 0,08	y = -0,27x + 55,2 / r ² = 0,18	y = -0,30x + 45,2 / r ² = 0,11	y = -0,32x + 50,9 / r ² = 0,24	y = 0,16x + 36,4 / r ² = 0,02	y = -0,21x + 47,8 / r ² = 0,05	y = -0,28x + 60,5 / r ² = 0,15
Ложбины / Hollows	y = -0,20x + 60,2 / r ² = 0,09	y = -0,41x + 50,0 / r ² = 0,16	y = -0,38x + 62,8 / r ² = 0,30	y = -0,78x + 64,8 / r ² = 0,27	y = -0,18x + 61,3 / r ² = 0,05	y = -0,12x + 55,0 / r ² = 0,01	y = -0,25x + 60,9 / r ² = 0,11	y = -0,39x + 81,2 / r ² = 0,21	y = -0,35x + 67,3 / r ² = 0,07	y = -0,43x + 75,1 / r ² = 0,23	y = 0,02x + 61,0 / r ² = 0,01	y = -0,43x + 75,1 / r ² = 0,23	y = -0,38x + 86,9 / r ² = 0,16
Ложбины с трубчатым дренажем / Hollows with tubular drainage	y = -0,18x + 63,5 / r ² = 0,05	y = -0,29x + 50,5 / r ² = 0,04	y = -0,38x + 65,3 / r ² = 0,16	y = -0,69x + 65,6 / r ² = 0,15	y = -0,21x + 65,7 / r ² = 0,06	y = 0,05x + 55,2 / r ² = 0,01	y = -0,17x + 60,8 / r ² = 0,03	y = -0,39x + 82,9 / r ² = 0,15	y = -0,25x + 67,7 / r ² = 0,03	y = -0,40x + 75,7 / r ² = 0,14	y = -0,15x + 66,7 / r ² = 0,01	y = -0,28x + 73,7 / r ² = 0,04	y = -0,40x + 88,9 / r ² = 0,13
Ложбины с бесполостным дренажем / Hollows with hollow drainage	y = -0,14x + 56,2 / r ² = 0,05	y = -0,21x + 44,2 / r ² = 0,04	y = -0,33x + 56,7 / r ² = 0,22	y = -0,47x + 56,6 / r ² = 0,11	y = -0,24x + 60,8 / r ² = 0,11	y = -0,06x + 51,2 / r ² = 0,01	y = -0,15x + 54,6 / r ² = 0,04	y = -0,27x + 72,0 / r ² = 0,10	y = -0,20x + 61,7 / r ² = 0,02	y = -0,30x + 67,7 / r ² = 0,11	y = -0,02x + 58,8 / r ² = 0,01	y = -0,17x + 64,5 / r ² = 0,02	y = -0,34x + 81,0 / r ² = 0,11

Тесная зависимость между параметрами получена только в варианте двухъярусного дренажа между УГВ в первой декаде мая и суммой осадков за апрель и первую декаду мая ($r^2 = 0,54$). В этот же период наиболее тесную связь ($r^2 = 0,36$) наблюдали в варианте стандартного дренажа с засыпкой дренажной траншеи ПГС. В вариантах мелкоглубинного дренажа и среднезаглубленного с засыпкой древесной щепой наиболее тесная связь средней значимости ($r^2 = 0,41$ и $0,28$ соответственно) отмечена между УГВ третьей декады мая и осадками за май. Во всех вариантах закрытых дренажных систем отсутствовала связь между УГВ во второй и третьей декадах мая с осадками за эти же периоды. То же наблюдали с УГВ в вариантах со среднезаглубленным дренажом в первой декаде мая, что вероятно связано с запаздыванием подъема УГВ после выпадения осадков.

Анализ данных таблицы 2 показал, что уровни грунтовых вод, формирующиеся на опытных конструкциях закрытого дренажа, имеют тренд на снижение в зависимости от уменьшения количества осадков в мае. Наиболее тесная зависимость во всех вариантах выявлена между УГВ третьей декады мая и осадками за май ($r^2 = 0,28...0,48$). При увеличении майских осадков на 1 мм УГВ в третьей декаде мая поднимается на 0,3 см в варианте с засыпкой щепой и на 0,6 см – в вариантах мелкоглубинного и двухъярусного дренажа. Таким образом, можно утверждать, что конструкция закрытого дренажа с засыпкой дренажной траншеи древесной щепой более эффективно отводит избыточную влагу, т. к. грунтовые воды при выпадении осадков поднимаются медленнее в два раза по сравнению с другими вариантами конструкций.

На всех вариантах ложбин стока выявилась наиболее тесная зависимость УГВ первой декады мая с суммой осадков за апрель и

первую декаду мая ($r^2 = 0,16...0,30$), в контроле – между УГВ третьей декады мая и осадками за предыдущие 2 декады ($r^2 = 0,24$) (табл. 3). Теснота связи между уровнями грунтовых вод и количеством выпавших осадков в вариантах открытого дренажа менее тесная по сравнению с вариантами закрытого. В среднем в первой декаде мая в вариантах с открытым дренажом при выпадении 1 мм осадков УГВ поднимается на 0,3-0,4 см, на системах закрытого дренажа – мелкоглубинного и стандартного с засыпкой древесной щепой – на 0,4 мм, в вариантах с засыпкой ПГС и двухъярусном – на 0,6-0,7 см.

Заключение. Результаты 30-летних наблюдений за уровнями грунтовых вод на осушительных системах открытого и закрытого дренажа в погодноклиматических условиях Новгородской области показали:

- среднесезонный УГВ, формируемый системами закрытого дренажа, на 18 см ниже по сравнению с системами открытого дренажа;
- наиболее благоприятный режим грунтовых вод формируют осушительные системы двухъярусного дренажа.

Выявлены следующие зависимости УГВ от количества выпавших осадков:

- теснота связи между уровнями грунтовых вод и количеством выпавших осадков в вариантах открытого дренажа менее тесная по сравнению с вариантами закрытого дренажа;
- на системах закрытого дренажа более тесную связь наблюдали между УГВ третьей декады мая и осадками за май: при увеличении осадков на 1 мм УГВ поднимается на 0,3 см в варианте с засыпкой щепой и на 0,6 см – в вариантах мелкоглубинного и двухъярусного дренажа;
- на системах открытого дренажа более тесная связь отмечена между УГВ первой декады мая и суммой осадков за апрель и первую декаду мая: при выпадении 1 мм осадков УГВ поднимается на 0,3-0,4 см.

Список литературы

1. Balun O. V. Effectiveness of drainage of agricultural land by closed drainage in climatic conditions of the Novgorod region. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Scientific and Practical Conference Biotechnology in the Agro-Industrial Complex and Sustainable Environmental Management. 2020;613:012011. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/613/1/012011>
2. Valipour M., Krasilnikof J., Yannopoulos S., Kumar R., Deng J., Roccaro P., Mays L., Grismer M. E., Angelakis A. N. The Evolution of Agricultural Drainage from the Earliest Times to the Present. Sustainability. 2020;12(1):416. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12010416>
3. Иванов А. И., Гулюк Г. Г., Янко Ю. Г. Актуальные вопросы развития мелиорации в Нечерноземье. Мелиорация и водное хозяйство. 2020;(3):5-12.
4. Котова З. П., Дубина-Чехович Л. С. Состояние и использование мелиорируемых земель сельскохозяйственного назначения в республике Карелия. Агрофизика. 2013;2(10):34-37.
5. Петрова Л. И., Митрофанов Ю. И., Анциферова О. Н., Первушина Н. К. Влияние осушения, удобренных и погодных условий на урожай яровой пшеницы. Международный сельскохозяйственный журнал. 2020;(6):63-67. DOI: <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2020-16116> EDN: FKMJEP

6. Петрова Л. И., Митрофанов Ю. И., Первушина Н. К., Лапушкина В. Н. Воздействие осушения и удобрений на урожайность озимой тритикале. *Земледелие*. 2019;(4):22-24.
DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10405> EDN: BRJRSJ
7. 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;(3):70-74.
DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.64.3.70-74> EDN: USMKLX
8. Balun O. V. Drainage system construction influence on the groundwater level of reclaimed soils. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Innovative Technologies in Agroindustrial, Forestry and Chemical Complexes and Environmental Management, ITAFCCSEM 2021. 2021;852:012010.
DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/852/1/012011>
9. Устинов М. Т., Глистин М. В. Критический уровень грунтовых вод как критерий эколого-мелиоративного состояния почв. *Мелиорация и водное хозяйство*. 2018;(3):14-16.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35357556> EDN: XUZOPZ
10. Моторин А. С. Особенности режима осушения длительно сезонно-мерзлотных торфяных почв Западной Сибири. *Мелиорация и водное хозяйство*. 2019;(1):32-36.
11. Zhi Yang, Wenping Li, Xiaoqin Li, Jianghui He. Quantitative analysis of the relationship between vegetation and groundwater buried depth: A case study of a coal mine district in Western China. *Ecological Indicators*. 2019;102:770-782. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.03.027>
12. Зинковская Т. С., Ковалёв Н. Г., Зинковский В. И. Оптимизация водного режима почвы при возделывании картофеля на осушаемых землях. *Мелиорация и водное хозяйство*. 2016;(1):40-44.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26460455> EDN: WHAWWB
13. Спирин Ю. А. Улучшение мелиоративного состояния осушаемых сельскохозяйственных земель польдерного массива в Славском районе Калининградской области. *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. 2019;(1(33)):39-54. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37057156> EDN: VVQTYR
14. Дятел А. А. Эколого-мелиоративное состояние осушаемых земель в районе воздействия карьера «Хотиславский». *Мелиорация*. 2017;(1):31-38.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29450099> EDN: YULWJD
15. Hein 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*. 2019;23(4):1931-1950.
DOI: <https://doi.org/10.5194/HESS-23-1931-2019>

References

1. Balun O. V. Effectiveness of drainage of agricultural land by closed drainage in climatic conditions of the Novgorod region. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Scientific and Practical Conference Biotechnology in the Agro-Industrial Complex and Sustainable Environmental Management. 2020;613:012011. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/613/1/012011>
2. Valipour M., Krasilnikof J., Yannopoulos S., Kumar R., Deng J., Roccaro P., Mays L., Grismer M. E., Angelakis A. N. The Evolution of Agricultural Drainage from the Earliest Times to the Present. *Sustainability*. 2020;12(1):416. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12010416>
3. Ivanov A. I., Gulyuk G. G., Yanko Yu. G. Relevant issues of land reclamation development in Non-black earth area. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* = Melioration and Water Management. 2020;(3):5-12. (In Russ.).
4. Kotova Z. P., Dubina-Chekhovich L. S. Condition and exploitation of agricultural reclaimed land in the republic of Karelia. *Agrofizika* = Agrophysica. 2013;2(10):34-37. (In Russ.).
5. Petrova L. I., Mitrofanov Yu. I., Antsiferova O. N., Pervushina N. K. Influence of drainage, fertilization and weather conditions on the harvest of spring wheat. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* = International Agricultural Journal. 2020;(6):63-67. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2020-16116>
6. Petrova L. I., Mitrofanov Yu. I., Pervushina N. K., Lapushkina V. N. Influence of drainage and fertilizers on yield of winter triticale. *Zemledelie*. 2019;(4):22-24. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10405>
7. Petrova L. I., Mitrofanov Yu. I., Pervushina N. K. Effect of drainage and application of mineral fertilizers on the yield of spring wheat. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2018;(3):70-74. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.64.3.70-74>
8. Balun O. V. Drainage system construction influence on the groundwater level of reclaimed soils. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Innovative Technologies in Agroindustrial, Forestry and Chemical Complexes and Environmental Management, ITAFCCSEM 2021. 2021;852:012010.
DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/852/1/012011>
9. Ustinov M. T., Glistin M. V. Critical level of groundwater as a criterion critical level of groundwater as a criterion ecological-meliorative state of soils. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* = Melioration and Water Management. 2018;(3):14-16. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35357556>

10. Motorin A. S. Features of the regime of drainage of longterm seasonally permafrost peat soils of Western Siberia. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* = Melioration and Water Management. 2019;(1):32-36.

11. Zhi Yang, Wenping Li, Xiaoqin Li, Jianghui He. Quantitative analysis of the relationship between vegetation and groundwater buried depth: A case study of a coal mine district in Western China. *Ecological Indicators*. 2019;102:770-782. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.03.027>

12. Zinkovskaya T. S., Kovalev N. G., Zinkovskiy V. I. Optimization of soil water regime in potato growing on drained lands. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* = Melioration and Water Management. 2016;(1):40-44. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26460455>

13. Spirin Yu. A. Improvement of the reclamation condition of drained agricultural lands of the polder massif in Slavskiy district Kaliningrad region. *Nauchnyy zhurnal Rossyskogo NII problem melioratsii* = Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems. 2019;(1(33)):39-54. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37057156>

14. Dyatel A. A. Ecological reclamation state of drain areas on territory of the mine «Khotislavsky». *Melioratsiya* = Land reclamation. 2017;(1):31-38. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29450099>

15. Hein 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*. 2019;23(4):1931-1950. DOI: <https://doi.org/10.5194/HESS-23-1931-2019>

Сведения об авторах

✉ **Балун Ольга Васильевна**, кандидат техн. наук, доцент, старший научный сотрудник, Новгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (Новгородский НИИСХ – филиал СПб ФИЦ РАН), д. 2, ул. Парковая, п/о Борки, Новгородский район, Новгородской обл., Российская Федерация, 173516, e-mail: info@spcras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8476-0792>, e-mail: bov0001@mail.ru

Шкодина Елена Петровна, старший научный сотрудник, Новгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (Новгородский НИИСХ – филиал СПб ФИЦ РАН), д. 2, ул. Парковая, п/о Борки, Новгородский район, Новгородской обл., Российская Федерация, 173516, e-mail: info@spcras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4057-9910>

Яковлева Валентина Александровна, старший научный сотрудник, Новгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (Новгородский НИИСХ – филиал СПб ФИЦ РАН), д. 2, ул. Парковая, п/о Борки, Новгородский район, Новгородской обл., Российская Федерация, 173516, e-mail: info@spcras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0349-8185>

Жукова Светлана Юрьевна, старший научный сотрудник, Новгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (Новгородский НИИСХ – филиал СПб ФИЦ РАН), д. 2, ул. Парковая, п/о Борки, Новгородский район, Новгородской обл., Российская Федерация, 173516, e-mail: info@spcras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8034-2489>

Information about the authors

✉ **Olga V. Balun, PhD in Engineering**, associate professor, senior researcher, Novgorod Research Agriculture Institute – Branch of St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2, str. Parkovaya, etc. Borkey, Novgorod district, Novgorod region, Russian Federation, 173516, e-mail: info@spcras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8476-0792>, e-mail: bov0001@mail.ru

Elena P. Shkodina, senior researcher, Novgorod Research Agriculture Institute – Branch of St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2, str. Parkovaya, etc. Borkey, Novgorod district, Novgorod region, Russian Federation, 173516, e-mail: info@spcras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4057-9910>

Valentina A. Yakovleva, senior researcher, Novgorod Research Agriculture Institute – Branch of St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2, str. Parkovaya, etc. Borkey, Novgorod district, Novgorod region, Russian Federation, 173516, e-mail: info@spcras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0349-8185>

Svetlana Yu. Zhukova, senior researcher, Novgorod Research Agriculture Institute – Branch of St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2, str. Park, etc. Borkey, Novgorod district, Novgorod region, Russian Federation, 173516, e-mail: info@spcras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8034-2489>

✉ – Для контактов / Corresponding author