

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.67:626.80

doi: 10.31774/2712-9357-2023-13-4-26-39

Роль и динамика инфильтрации в структуре влагообмена зоны аэрации орошаемого поля

**Владимир Иванович Ольгаренко¹, Игорь Владимирович Ольгаренко²,
Сергей Яковлевич Семененко³, Владимир Игоревич Ольгаренко⁴**

^{1,2}Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация

³Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал Федерального научного центра гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, Волгоград, Российская Федерация

⁴Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

¹rekngma@magnet.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4399-997X>

²rekngma@magnet.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4865-5642>

³sergeysemenenko@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5992-8127>

⁴olgarenko_vi@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9609-5571>

Аннотация. Цель: научно-техническое обоснование составляющих водного баланса орошаемого поля при частном случае соединения водоносного горизонта и зоны аэрации через капиллярную кайму. **Материалы и методы.** Исследования проводились в ООО «Победа», Багаевский район, хутор Елкин, в 2018 и 2019 гг. При организации исследований применялся комплексный подход: использовались стационарные и опытные участки. Климатические условия объектов исследований соответствуют полузасушливой степной зоне, почвы – южные черноземы. **Результаты.** В результате обработки данных полевого опыта установлено, что при инфильтрации, изменяющейся от 0,183 до 1,915 мм: среднесуточная водоподача составила от 0,8 до 7,33 мм/сут; относительные влагозапасы – от 0,61 до 1,20; среднесуточная температура воздуха – от 8,0 до 23,0 °С; среднесуточный дефицит влажности воздуха – от 2,1 до 12,0 мбар; среднесуточная испаряемость – от 1,3 до 7,34 мм/сут. Проведенным корреляционным анализом установлено, что по коэффициенту корреляции величина инфильтрации имеет наибольшую связь – 0,86 и 0,63 с водоподачей ($M + P$) и относительными влагозапасами (W_0) соответственно; наименьшую – 0,28; 0,38 и 0,37 с температурой (t), дефицитом влажности воздуха (d_ϕ) и испаряемостью (E_ω) соответственно. В свою очередь многофакторный корреляционный анализ установил, что формирование объема инфильтрационного стока в системе вертикального влагообмена орошаемого поля имеет наибольшую связь с парным изменением величин водоподачи и относительных влагозапасов. **Выводы:** инфильтрация оросительных вод и атмосферных осадков за пределы корнеобитаемого слоя почвы определяется по полученной эмпирической зависимости, наблюдается при превышении влагозапасов этого слоя над влагозапасами, соответствующими наименьшей влагоемкости и водоподаче, и имеет наибольшую тесноту связи по коэффициенту множественной детерминации (R^2) 81 % (коэффициент множественной корреляции $R = 0,899$) с изменением этих двух факторов.

Ключевые слова: зона аэрации, орошаемое поле, водный баланс, инфильтрация, испаряемость, корреляционный анализ, юг России

Для цитирования: Роль и динамика инфильтрации в структуре влагообмена зоны аэрации орошаемого поля / В. Ив. Ольгаренко, И. В. Ольгаренко, С. Я. Семеновко, В. Иг. Ольгаренко // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 4. С. 26–39. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-4-26-39>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

The role and dynamics of infiltration in the moisture exchange structure of the aeration zone of an irrigated field

Vladimir Iv. Olgarenko¹, Igor V. Olgarenko², Sergey Ya. Semenenko³,
Vladimir Ig. Olgarenko⁴

^{1,2}Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

³All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – branch of the Federal Scientific Center of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Volgograd, Russian Federation

⁴Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

¹reknigma@magnet.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4399-997X>

²reknigma@magnet.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4865-5642>

³sergeysemnenko@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5992-8127>

⁴olgarenko_vi@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9609-5571>

Abstract. Purpose: scientific and technical substantiation of the water balance components of an irrigated field in the particular case of connecting an aquifer and an aeration zone through a capillary fringe. **Materials and methods.** The research was carried out at Pobeda LLC, Bagaevsky district, Elkin farmstead, in 2018 and 2019. When organizing the research, an integrated approach was used: stationary and experimental sites were used. The climatic conditions of the research objects correspond to the semi-arid steppe zone, the soils are southern chernozems. **Results.** As a result of processing data from field experience, it was determined that with infiltration varying from 0.183 to 1.915 mm: the average daily water supply ranged from 0.8 to 7.33 mm/day; relative moisture reserves – from 0.61 to 1.20; average daily air temperature – from 8.0 to 23.0 °C; average daily air humidity deficit – from 2.1 to 12.0 mbar; average daily evaporation – from 1.3 to 7.34 mm/day. The correlation analysis determined that, according to the correlation coefficient, the infiltration value has the greatest correlation – 0.86 and 0.63 with water supply ($M + P$) and relative moisture reserves (W_0), respectively; the smallest – 0.28; 0.38 and 0.37 with temperature (t), air humidity deficit (d_ϕ) and evaporation (E_ω), respectively. In turn, the multifactor correlation analysis determined that the formation of the infiltration runoff volume in the system of vertical moisture exchange of an irrigated field has the greatest connection with a paired change in the values of water supply and relative moisture reserves. **Conclusions:** infiltration of irrigation water and atmospheric precipitation beyond the root layer is determined by the obtained empirical dependence, is observed when the moisture reserves of this layer exceed the moisture reserves corresponding to the minimum moisture capacity and water supply, and has the greatest close

relationship according to the coefficient of multiple determination (R^2) 81 % (multiple correlation coefficient $R = 0.899$) with changes in these two factors.

Keywords: aeration zone, irrigated field, water balance, infiltration, evaporation, correlation analysis, southern Russia

For citation: Olgarenko V. Iv., Olgarenko I. V., Semenenko S. Ya., Olgarenko V. Ig. The role and dynamics of infiltration in the moisture exchange structure of the aeration zone of an irrigated field. Land Reclamation and Hydraulic Engineering. 2023;13(4):26–39. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-4-26-39>.

Введение. Работа является продолжением [1] анализа результатов исследований, касающихся формирования структуры влагообмена зоны аэрации орошаемого поля в условиях присутствия капиллярной каймы в толще грунта. В рамках проведения цикла работ обоснован научный интерес [2–10] и предложено решение на основании методологического подхода к разработке моделей влагообмена в зоне аэрации, с учетом как эколого-ландшафтного подхода, так и динамики залегания уровня грунтовых вод, фаз развития растений во временном разрезе, а также закономерностей инфильтрационных потерь воды за пределы корнеобитаемого слоя почвы для условий оперативного управления поливами сельскохозяйственных культур, в результате чего обеспечивается значительное повышение точности определения соответствующих параметров уравнения водного баланса орошаемого поля, рациональное использование водных и энергетических ресурсов и экологически безопасное состояние мелиорированных агроландшафтов, это говорит о высокой актуальности темы исследований, особенно при условии многолетнего функционирования мелиоративных систем и наличии дефицита естественного увлажнения.

Материалы и методы. Исследования проводились в ООО «Победа» Багаевского района, хутор Елкин в 2018 и 2019 гг. При организации исследований применялся комплексный подход: использовались стационарные и опытные участки. Почвенно-климатические условия объектов исследований, как свидетельствуют результаты агрохимических анализов почвы и гидрометеорологических наблюдений, соответствуют почвенно-климати-

ческим условиям полузасушливой степной зоны, почвы характеризуются как черноземы южные, что обосновывает их репрезентативность для почвенно-климатических и гидрометеорологических условий соответствующих степных зон юга России.

В исследовании рассматривается вариант формирования почвенных процессов, когда водоносный горизонт и находящаяся над ним капиллярная кайма частично присутствуют в толще грунта, а ее верхняя граница проникает в почвенную толщу.

Изучение элементов водного баланса зоны аэрации проводилось на стационарном участке площадью 4,0 га лизиметрическим методом на примере возделывания люцерны для лет наблюдений с различной обеспеченностью дефицита естественного увлажнения с использованием лизиметров ГР-80 и датчиков влажности почвы с фиксированной глубиной залегания уровня грунтовых вод по вариантам соответственно 1,0; 1,5; 2,0 м; на площадке размещались также три контрольных лизиметра с глубиной залегания уровня грунтовых вод 1,0; 1,5; 2,5 м.

Организация и проведение исследований осуществлялись с использованием современных стандартных методик, действующих в агротехнической и гидромелиоративной науках.

Так, измерялись расход и интенсивность пополнения грунтовых вод через процессы инфильтрации атмосферных осадков и поливной воды, образующиеся под воздействием капиллярных сил, влажности почвы и температуры. Данный метод дает надежные результаты при отсутствии водупорных прослоек в грунтах и позволяет в полной мере оценить режим влагообмена почвы.

Результаты и обсуждение. Установлены закономерности динамики инфильтрации зоны аэрации орошаемого поля люцерны по фазам развития в зависимости от глубины залегания уровня грунтовых вод, которая увели-

чивается от фазы «отрастание» к фазе «цветение», а после укуса происходит резкое снижение. Например, в фазу отрастания при глубине залегания грунтовых вод 1,0; 1,5 и 2,0 м величина инфильтрации составила 1,10; 0,92 и 0,332 мм соответственно (таблица 1).

Таблица 1 – Максимальные и минимальные показатели гидрометеорологических факторов и расхода грунтовых вод в зону аэрации в различные фазы развития люцерны 2-го года жизни

Table 1 – Maximum and minimum indicators of hydrometeorological factors and groundwater discharge into the aeration zone in various phases of alfalfa development in the 2nd year of life

| Фаза развития | | Гидрометеорологический фактор (среднесуточное показание) | | | Инфильтрация (V_{ϕ}), мм | | |
|------------------|-----|---|-------------|----------------------|---|------|-------|
| | | | | | Глубина залегания уровня грунтовых вод H (м) | | |
| | | E_{ω} (мм/сут) | t (°C) | d_{ϕ} (мбар) | 1,0 | 1,5 | 2,0 |
| Всходы | max | 6,30 | 23,0 | 12,0 | 1,20 | 1,00 | 0,70 |
| | min | 1,3 | 8,0 | 2,0 | 0,81 | 0,69 | 0,16 |
| Отрастание | max | 6,50 | 23,0 | 18,0 | 1,40 | 1,27 | 0,92 |
| | min | 1,85 | 10,0 | 4,1 | 1,10 | 0,92 | 0,332 |
| Бутониза- ция | max | 6,60 | 24,0 | 21,0 | 1,70 | 1,54 | 1,10 |
| | min | 3,20 | 11,5 | 6,6 | 2,21 | 1,60 | 0,932 |
| Цветение | max | 7,34 | 23,0 | 23,0 | 2,02 | 1,93 | 1,40 |
| | min | 3,74 | 15,0 | 8,0 | 1,33 | 1,23 | 0,82 |

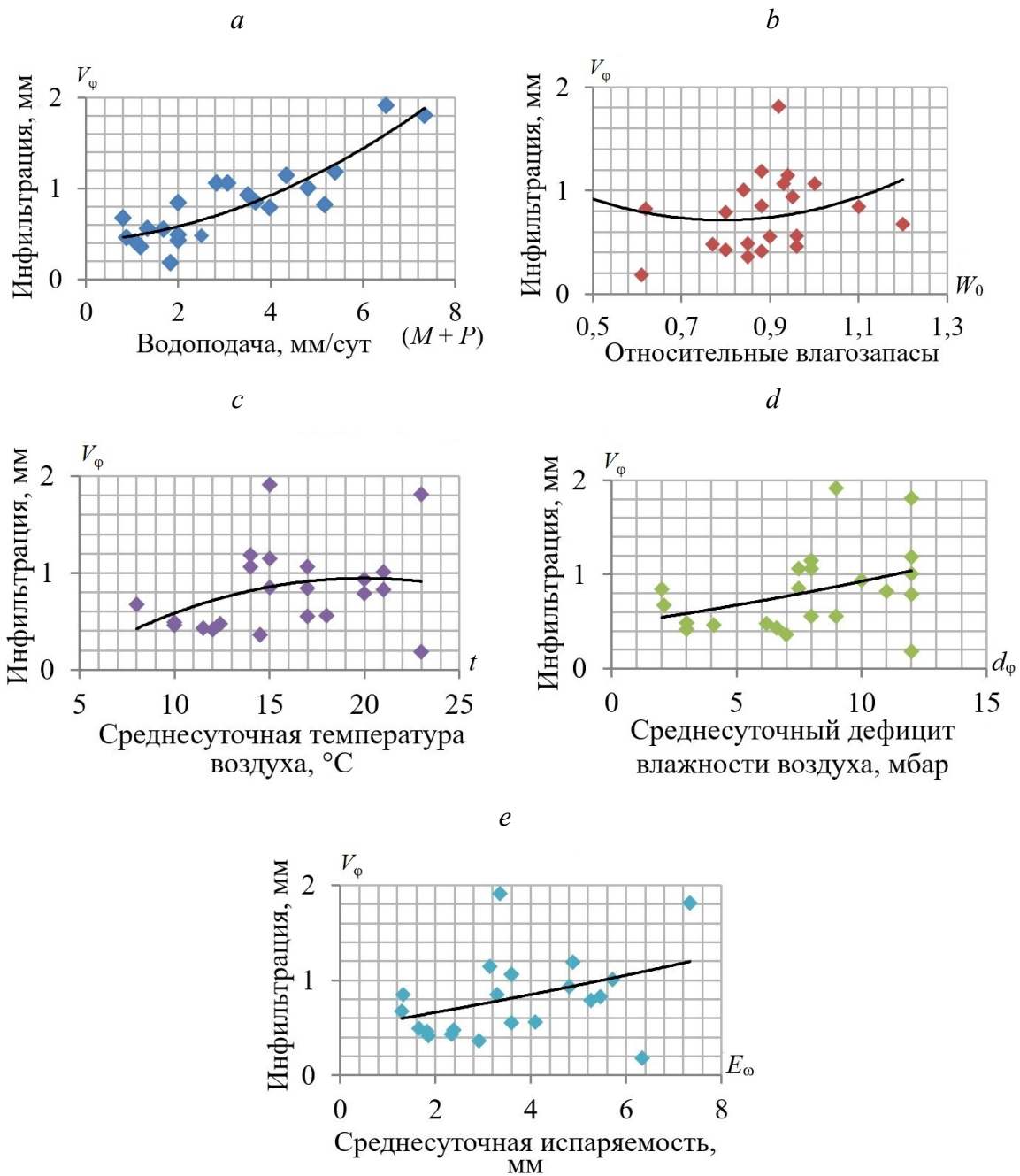
Результаты исследований, посвященных изучению величины инфильтрации оросительных вод и атмосферных осадков за пределы корнеобитаемого слоя почвы в зависимости от величины оросительных норм и атмосферных осадков, поступивших на поля орошения, приведены в таблице 2.

Анализ данных показал, что при инфильтрации, изменяющейся от 0,183 до 1,915 мм: среднесуточная водоподача составила от 0,8 до 7,33 мм/сут; относительные запасы – от 0,61 до 1,20; среднесуточная температура воздуха – от 8,0 до 23,0 °C; среднесуточный дефицит влажности воздуха – от 2,1 до 12,0 мбар; среднесуточная испаряемость – от 1,3 до 7,34 мм/сут. На рисунке 1 и в таблице 3 представлены графики и эмпирические формулы с соответствующими коэффициентами аппроксимации функций определения величины инфильтрации.

Таблица 2 – Величины инфильтрации и основные гидрометеорологические характеристики орошаемого поля

Table 2 – Infiltration values and main hydrometeorological characteristics of the irrigated field

| Инфильтрация (V_{ϕ}) | | Среднесуточная водоподача ($M + P$), мм/сут | Относительные влагозапасы (W_0) | Среднесуточная температура воздуха (t), °C | Среднесуточный дефицит влажности воздуха (d_{ϕ}), мбар | Среднесуточная испаряемость (E_{ω}), мм/сут |
|-----------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------------|--|---|--|
| в мм | в долях от водоподачи на поле | | | | | |
| 0,675 | 0,844 | 0,80 | 1,20 | 8,0 | 2,1 | 1,3 |
| 0,461 | 0,530 | 0,87 | 0,96 | 10,0 | 4,1 | 1,82 |
| 0,478 | 0,191 | 2,50 | 0,77 | 12,4 | 6,2 | 2,39 |
| 0,429 | 0,215 | 2,00 | 0,80 | 11,5 | 6,6 | 2,34 |
| 0,362 | 0,309 | 1,17 | 0,85 | 14,5 | 7,0 | 2,92 |
| 0,183 | 0,100 | 1,83 | 0,61 | 23,0 | 12,0 | 6,34 |
| 0,792 | 0,199 | 3,97 | 0,80 | 20,0 | 12,0 | 5,27 |
| 0,846 | 0,423 | 2,00 | 1,10 | 17,0 | 2,0 | 1,32 |
| 0,824 | 0,159 | 5,17 | 0,62 | 21,0 | 11,0 | 5,46 |
| 1,812 | 0,247 | 7,33 | 0,92 | 23,0 | 12,0 | 7,34 |
| 0,935 | 0,267 | 3,50 | 0,95 | 20,0 | 10,0 | 4,81 |
| 0,559 | 0,420 | 1,33 | 0,96 | 18,0 | 9,0 | 4,09 |
| 0,413 | 0,386 | 1,07 | 0,88 | 12,0 | 3,0 | 1,85 |
| 0,489 | 0,245 | 2,00 | 0,85 | 10,0 | 3,0 | 1,66 |
| 0,851 | 0,232 | 3,67 | 0,88 | 15,0 | 7,5 | 3,3 |
| 1,008 | 0,210 | 4,81 | 0,84 | 21,0 | 12,0 | 5,72 |
| 1,188 | 0,220 | 5,40 | 0,88 | 14,0 | 12,0 | 4,88 |
| 1,065 | 0,376 | 2,83 | 1,00 | 17,0 | 8,0 | 3,59 |
| 0,556 | 0,333 | 1,67 | 0,90 | 17,0 | 8,0 | 3,59 |
| 1,915 | 0,295 | 6,50 | 0,73 | 15,0 | 9,0 | 3,35 |
| 1,065 | 0,347 | 3,07 | 0,93 | 14,0 | 7,5 | 3,59 |
| 1,145 | 0,264 | 4,33 | 0,94 | 15,0 | 8,0 | 3,14 |



Примечание – Зависимости инфильтрации: *a* – от водоподачи; *b* – относительных влагозапасов; *c* – среднесуточной температуры воздуха; *d* – среднесуточного дефицита влажности воздуха; *e* – среднесуточной испаряемости.

Note – Infiltration dependences: *a* – on water supply; *b* – relative moisture reserves; *c* – average daily air temperature; *d* – average daily air humidity deficit; *e* – average daily evaporation.

Рисунок 1 – Эмпирические зависимости величины инфильтрации от соответствующих гидрометеорологических характеристик
Figure 1 – Empirical dependences of the infiltration value on the corresponding hydrometeorological characteristics

Таблица 3 – Модели и соответствующие коэффициенты аппроксимации функций определения величины инфильтрации по соответствующим гидрометеорологическим характеристикам

Table 3 – Models and corresponding coefficients of approximation of functions for determining the infiltration value according to the corresponding hydrometeorological characteristics

| Функция инфильтрации от | Модели по определению величины инфильтрации | Коэффициент аппроксимации |
|--|--|---------------------------|
| Водоподачи $V_{\varphi} = f(M + P)$ | $V_{\varphi} = 0,0218 \cdot (M + P)^2 + 0,0405 \cdot (M + P) + 0,4157$ | $R^2 = 0,72$ |
| Относительных влагозапасов $V_{\varphi} = f(W_0)$ | $V_{\varphi} = 2,3676 \cdot W_0^2 - 3,7546 \cdot W_0 + 2,2029$ | $R^2 = 0,27$ |
| Температуры $V_{\varphi} = f(t)$ | $V_{\varphi} = -0,0036 \cdot t^2 + 0,1452 \cdot t - 0,5036$ | $R^2 = 0,10$ |
| Дефицита влажности воздуха $V_{\varphi} = f(d_{\varphi})$ | $V_{\varphi} = 0,0009 \cdot d_{\varphi}^2 + 0,0369 \cdot d_{\varphi} + 0,4667$ | $R^2 = 0,15$ |
| Испаряемости $V_{\varphi} = f(E_{\omega})$ | $V_{\varphi} = 0,0019 \cdot E_{\omega}^2 + 0,0828 \cdot E_{\omega} + 0,4892$ | $R^2 = 0,14$ |

Анализ данных показывает, что величины коэффициентов аппроксимации рассматриваемых характеристик имеют недостаточно надежный характер для использования их в качестве основы для модели определения инфильтрации. С целью повышения точности и достоверности ее определения установлены парные коэффициенты корреляции рассматриваемых параметров (таблица 4).

Таблица 4 – Парные коэффициенты корреляции рассматриваемых параметров

Table 4 – Paired correlation coefficients of the parameters under consideration

| Показатель | V_{φ} | $(M + P)$ | W_0 | t | d_{φ} | E_{ω} |
|---------------|---------------|-----------|-------|------|---------------|--------------|
| V_{φ} | – | 0,86 | 0,63 | 0,28 | 0,38 | 0,37 |
| $(M + P)$ | 0,86 | – | 0,46 | 0,50 | 0,67 | 0,65 |
| W_0 | 0,63 | 0,46 | – | 0,22 | 0,40 | 0,27 |
| t | 0,28 | 0,50 | 0,22 | – | 0,79 | 0,87 |
| d_{φ} | 0,38 | 0,67 | 0,40 | 0,79 | – | 0,84 |
| E_{ω} | 0,37 | 0,65 | 0,27 | 0,87 | 0,84 | – |

Анализ данных показал, что по коэффициенту корреляции величина инфильтрации имеет наибольшую связь – 0,86 и 0,63 с водоподачей ($M + P$) и относительными влагозапасами (W_0) соответственно; наименьшую – 0,28; 0,38 и 0,37 с температурой (t), дефицитом влажности воздуха (d_ϕ) и испаряемостью (E_ω) соответственно.

Для установления большей тесноты связи инфильтрации с рассматриваемыми параметрами проведен многофакторный корреляционный анализ (таблица 5).

Таблица 5 – Многофакторный корреляционный анализ инфильтрации с соответствующими гидрометеорологическими параметрами

Table 5 – Multivariate correlation analysis of infiltration with corresponding hydrometeorological parameters

| Показатель | | ($M + P$) и t | ($M + P$) и W_0 | ($M + P$) и d_ϕ | ($M + P$) и E_ω | t и d_ϕ | t и E_ω | t и W_0 |
|------------|-------|----------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------|---------------------|----------------|
| V_ϕ | R | 0,877 | 0,899 | 0,861 | 0,868 | 0,381 | 0,379 | 0,365 |
| | R^2 | 0,769 | 0,808 | 0,741 | 0,753 | 0,145 | 0,144 | 0,133 |

Примечание – R – коэффициент множественной корреляции трех переменных; R^2 – коэффициент множественной детерминации.

Многофакторный корреляционный анализ, характеризующий степень парного воздействия исследуемых параметров на изучаемый фактор (инфильтрацию), установил, что формирование объема инфильтрационного стока в системе вертикального влагообмена орошаемого поля зависит на 81 % (коэффициент множественной детерминации $R^2 = 0,899^2 = 0,808201 \approx 0,81$) от парного изменения величин водоподачи и относительных влагозапасов.

Далее рассмотрим следующую функцию: $V_\phi = f((M + P); W_0)$.

Для решения функции используем модель поверхности, характеризующуюся квадратным уравнением двух неизвестных (рисунок 2):

$$V_\phi = 0,09 \cdot (M + P) + 1,3 \cdot W_0 + 0,015 \cdot (M + P)^2 + 0,006 \cdot W_0 \cdot (M + P) + 0,03 \cdot W_0^2 - 0,89.$$

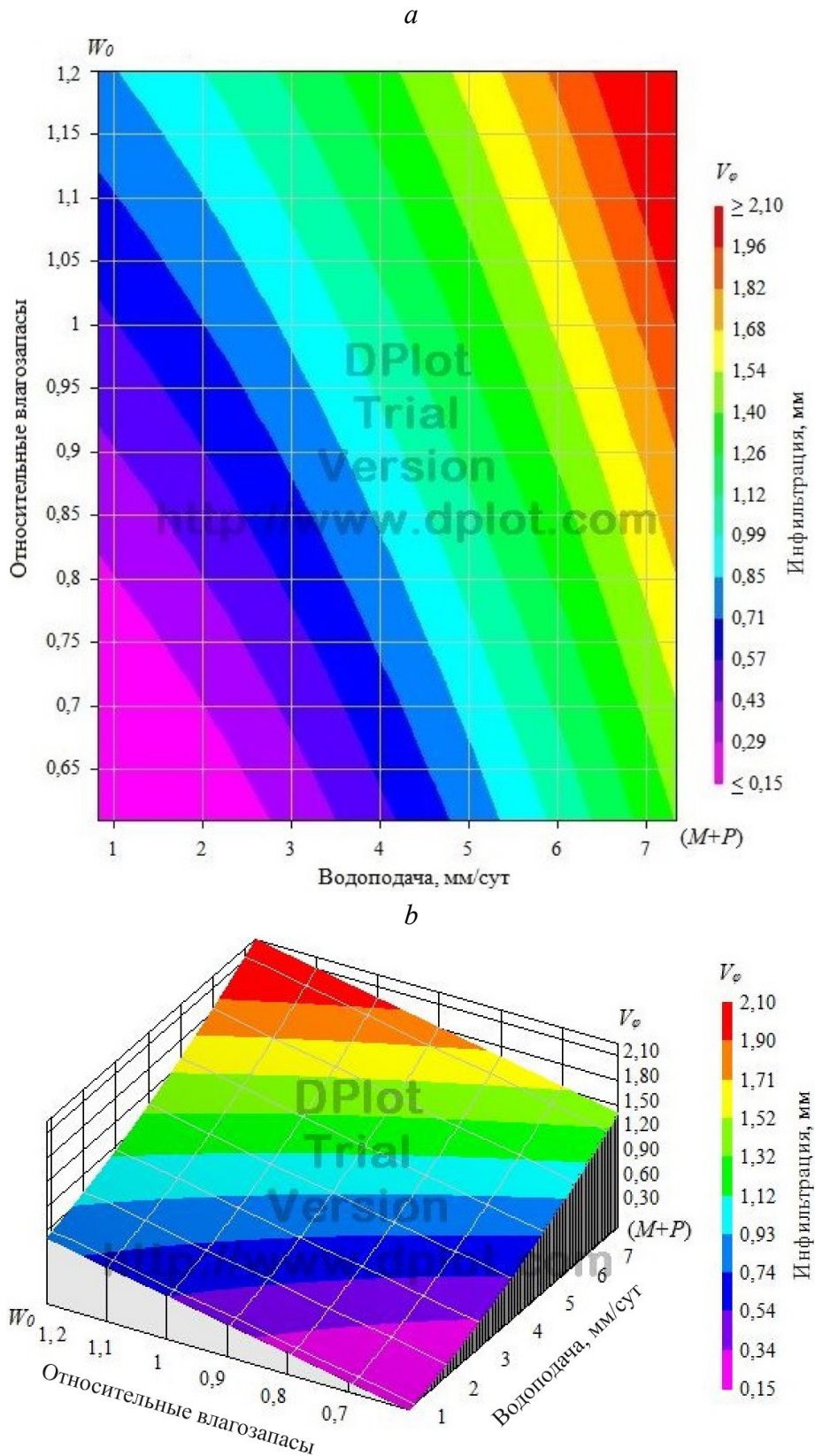


Рисунок 2 – Динамика инфильтрации в зависимости от водоподачи и относительных влаготпасов: *a* – 2D-модель; *b* – 3D-модель

Figure 2 – Dynamics of infiltration depending on water supply and relative moisture reserves: *a* – 2D model; *b* – 3D model

Выводы. Инфильтрация оросительных вод и атмосферных осадков за пределы корнеобитаемого слоя почвы определяется по полученной эмпирической зависимости, наблюдается при превышении влагозапасов этого слоя над влагозапасами, соответствующими наименьшей влагоемкости и водоподаче, и имеет наибольшую тесноту связи по коэффициенту множественной детерминации (R^2) 81 % (коэффициент множественной корреляции $R = 0,899$) с изменением этих двух факторов.

В результате опубликованного цикла работ научно обоснован и разработан методологический подход к расчету величин подпитки грунтовыми водами и инфильтрации в структуре влагообмена зоны аэрации орошаемого поля, определяемых методами водного и теплового баланса в системе «почва – растение – атмосфера», в зависимости от широкого комплекса фактических природных факторов. Вышеуказанный подход обеспечивает значительное повышение точности определения соответствующих параметров структуры влагообмена зоны аэрации орошаемого поля в условиях присутствия капиллярной каймы в толще грунта, рациональное использование водных и энергетических ресурсов и экологически безопасное состояние мелиорированных агроландшафтов.

Список источников

1. Формирование структуры влагообмена зоны аэрации орошаемого поля в условиях присутствия капиллярной каймы в толще грунта / В. Ив. Ольгаренко, И. В. Ольгаренко, С. Я. Семененко, В. Иг. Ольгаренко // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2023. Т. 13, № 3. С. 1–16. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1374> (дата обращения: 01.09.2023). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-3-1-16>.
2. Бородычев В. В., Лытов М. Н. Техничко-технологические основы регулирования гидротермического режима агрофитоценоза в условиях орошения // Научная жизнь. 2019. Т. 14, № 10(98). С. 1484–1495. DOI: 10.35679/1991-9476-2019-14-10-1484-1495.
3. Лихацевич А. П. Использование обобщенной математической модели для анализа результатов многофакторных агрономических опытов // Мелиорация и водное хозяйство. 2018. № 1. С. 19–23.
4. Бубер А. Л., Бубер А. А., Бубер В. Б. Водоресурсное обеспечение мелиоративных систем // Основные результаты научных трудов института за 2017 год: сб. науч. тр. М.: ВНИИГиМ, 2018. С. 89–94.
5. Солодунов А. А., Бандурин М. А. Вопросы безопасной эксплуатации внутренней хозяйственной сети рисовых оросительных систем // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сб. тез. по материалам всерос. (нац.) конф. 2019. С. 492–493.

6. Ольгаренко В. И., Ольгаренко Г. В., Ольгаренко И. В. Оптимизация процессов водопользования на основе методологии ландшафтно-экологического подхода. Новочеркасск: Лик, 2019. 623 с.

7. Canal delivery and irrigation scheduling optimization based on crop water demand / F. Zhang, C. He, F. Yaqiong, X. Hao, Sh. Kang // *Agricultural Water Management*. 2022. Vol. 260. 107245. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107245>.

8. Projection of 21st century irrigation water requirements for sensitive agricultural crop commodities across the Czech Republic / V. Potopová, M. Trnka, A. Vizina, D. Semerádová, J. Balek, M. R. A. Chawdhery, M. Musiolková, P. Pavlík, M. Možný, P. Štěpánek, B. Clothier // *Agricultural Water Management*. 2022. Vol. 262. 107337. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107337>.

9. Exploring the potential of temperature-based methods for regionalization of daily reference evapotranspiration in two Spanish regions / A. Senatore, C. Parrello, J. Almorox, G. Mendicino // *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 2020. Vol. 146(3). 05020001. DOI: 10.1061/(asce)ir.1943-4774.0001447.

10. Роде А. А. Водный режим почв и его регулирование. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 119 с.

References

1. Olgarenko V.Iv., Olgarenko I.V., Semenenko S.Ya., Olgarenko V.Ig., 2023. [Structure formation of moisture exchange in the aeration zone of an irrigated field in presence of a capillary fringe in soil thickness]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 13, no. 3, pp. 1-16, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1374> [accessed 01.09.2023], <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-3-1-16>. (In Russian).

2. Borodychev V.V., Lytov M.N., 2019. *Tekhniko-tekhnologicheskie osnovy regulirovaniya gidrotermicheskogo rezhima agrofytotsenoza v usloviyakh orosheniya* [Technical and technological foundations for regulating the hydrothermal regime of agrophytocenosis under irrigation]. *Nauchnaya zhizn'* [Scientific Life], vol. 14, no. 10(98), pp. 1484-1495, DOI: 10.35679/1991-9476-2019-14-10-1484-1495. (In Russian).

3. Likhatshevich A.P., 2018. *Ispol'zovanie obobshchennoy matematicheskoy modeli dlya analiza rezul'tatov mnogofaktornykh agronomicheskikh opytov* [Generalized mathematical model for analyzing obtained results of agronomic multifactor experiments]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 1, pp. 19-23. (In Russian).

4. Buber A.L., Buber A.A., Buber V.B., 2018. *Vodoresursnoe obespechenie meliorativnykh sistem* [Water resource supply for reclamation systems]. *Osnovnye rezul'taty nauchnykh trudov instituta za 2017 god: sb. nauch. trudov* [Main Results of Scientific Works of the Institute for 2017: Collection of Scientific Papers]. Moscow, VNIIGiM, pp. 89-94. (In Russian).

5. Solodunov A.A., Bandurin M.A., 2019. *Voprosy bezopasnoy ekspluatatsii vnutrikhozyaystvennoy seti risovykh orositel'nykh sistem* [Issues of safe operation of the on-farm network of rice irrigation systems]. *Nauchnoe obespechenye agropromyshlennogo kompleksa: sbornik tezisov po materialam vserossiyskoy (nats.) konferentsii* [Scientific Support of the Agro-Industrial Complex: Collection of Abstracts of Proc. of the All-Russian National Conference], pp. 492-493. (In Russian).

6. Olgarenko V.I., Olgarenko G.V., Olgarenko I.V., 2019. *Optimizatsiya protsessov vodopol'zovaniya na osnove metodologii landshaftno-ekologicheskogo podkhoda* [Optimization of Water Use Process Based on the Landscape-Ecological Approach Methodology]. Novocherkassk, Lik Publ., 623 p. (In Russian).

7. Zhang F., He C., Yaqiong F., Hao X., Kang Sh., 2022. Canal delivery and irrigation scheduling optimization based on crop water demand. *Agricultural Water Management*, vol. 260, 107245, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107245>.

8. Potopová V., Trnka M., Vizina A., Semerádová D., Balek J., Chawdhery M.R.A.,

Musiolková M., Pavlík P., Možný M., Štěpánek P., Clothier B., 2022. Projection of 21st century irrigation water requirements for sensitive agricultural crop commodities across the Czech Republic. *Agricultural Water Management*, vol. 262, 107337, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107337>.

9. Senatore A., Parrello C., Almorox J., Mendicino G., 2020. Exploring the potential of temperature-based methods for regionalization of daily reference evapotranspiration in two Spanish regions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, vol. 146(3), 05020001, DOI: 10.1061/(asce)ir.1943-4774.0001447.

10. Rode A.A., 1963. *Vodnyy rezhim pochv i ego regulirovanie* [Soil Water Regime and Its Regulation]. Moscow, USSR Academy of Sciences Publ., 119 p. (In Russian).

Информация об авторах

В. Ив. Ольгаренко – профессор кафедры, доктор технических наук, Заслуженный деятель науки РФ, профессор, член-корреспондент РАН, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация, rekngma@magnet.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4399-997X>, AuthorID: 580234;

И. В. Ольгаренко – заместитель директора по науке и инновациям, доктор технических наук, доцент, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация, rekngma@magnet.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4865-5642>, AuthorID: 400173;

С. Я. Семененко – главный научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал Федерального научного центра гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, Волгоград, Российская Федерация, sergeysemenenko@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5992-8127>, AuthorID: 568460;

В. Иг. Ольгаренко – старший научный сотрудник, кандидат технических наук, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, olgarenko_vi@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9609-5571>, AuthorID: 653085.

Information about the authors

V. Iv. Olgarenko – Professor of the Department, Doctor of Technical Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation, Professor, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Novochoerkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novochoerkassk, Russian Federation, rekngma@magnet.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4399-997X>, AuthorID: 580234;

I. V. Olgarenko – Deputy Director for Science and Innovation, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Novochoerkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novochoerkassk, Russian Federation, rekngma@magnet.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4865-5642>, AuthorID: 400173;

S. Ya. Semenenko – Chief Researcher, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – branch of the Federal Scientific Center of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Volgograd, Russian Federation, sergeysemenenko@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5992-8127>, AuthorID: 568460;

V. Ig. Olgarenko – Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novochoerkassk, Russian Federation, olgarenko_vi@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9609-5571>, AuthorID: 653085.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.

*Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 16.08.2023; одобрена после рецензирования 10.10.2023;
принята к публикации 17.10.2023.
The article was submitted 16.08.2023; approved after reviewing 10.10.2023; accepted for
publication 17.10.2023.*