

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202002-251>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/251>

УДК 631.672:631.587:633.18 (477)

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ РЕЖИМУ ҐРУНТОВИХ ВОД ДЛЯ РИСОВИХ СИСТЕМ, ЯК ОДНОГО З ГОЛОВНИХ ПОКАЗНИКІВ МЕЛІОРАТИВНОГО СТАНУ ТЕРИТОРІЇ

К.В. Дудченко¹, канд. с.-г. наук, Т.М. Петренко², м.н.с., О.І. Флінта³, м.н.с., М.М. Дацюк⁴, м.н.с.

¹ Інститут рису Національної академії аграрних наук, с. Антонівка, Херсонська область, Україна; <https://orcid.org/0000-0001-5567-7690>, e-mail: catherin.dudchenko@gmail.com;

² Інститут рису Національної академії аграрних наук, с. Антонівка, Херсонська область, Україна; <https://orcid.org/0000-0002-5096-5973>, e-mail: chemical777@gmail.com;

³ Інститут рису Національної академії аграрних наук, с. Антонівка, Херсонська область, Україна; <https://orcid.org/0000-0003-4181-3836>, e-mail: aflinta.83@gmail.com;

⁴ Інститут рису Національної академії аграрних наук, с. Антонівка, Херсонська область, Україна; <https://orcid.org/0000-0002-4128-3997>

Анотація. Метою дослідження є побудова прогностичних моделей основних показників гідрогеолого-меліоративного стану рисових зрошувальних систем, на прикладі рівня підґрунтових вод, для збереження їх родючості та підвищення ефективності. Моделі розроблено для дослідних – рисова зрошувальна система Інституту рису НААН України, площею 190 га та виробничих умов – Тарасівська рисова зрошувальна система, площею 350 га. Обидві рисові зрошувальні системи експлуатуються понад 50 років. Ґрунтовий покрив представлений темно-каштановим солонцюватим, лучно-каштановим солонцюватим та солонцем лучним. На рисових зрошувальних системах використовується сівозмінна з наповненістю рисом не більше 50 %. Прогностичні моделі побудовані за методом трипараметричного згладжування у програмі Statistica 10.0, із використання даних Гідрогеолого-меліоративної ділянки БУВР Нижнього Дніпра та власних досліджень, за період 28 років. Прогноз виконано на період 5 років, із визначенням досліджуваного параметра щомісячно. Прогноз, розроблений на основі побудованої моделі для дослідної рисової зрошувальної системи, показує, що рівень ґрунтових вод буде знижуватись за 2019–2024 рр. та варіюватиметься в межах 1,20–2,23 м. Прогнозна модель режиму ґрунтових вод, розроблена для виробничих умов, свідчить, що досліджуваний показник буде підвищуватись у період 2018–2023 рр. та змінюватиметься в межах 2,13–2,85 м. Аналіз результатів моделювання режиму ґрунтових вод рисових зрошувальних систем підтверджує, що, як на дослідній, так і на виробничій рисових зрошувальних системах, за прогнозований період, досліджуваний показник буде знижуватись у міжполивний період року, нижче 2,0 м. Моніторинг режиму ґрунтових вод на рисових зрошувальних системах є одним із найбільш ефективних методів формування якісних баз даних для створення прогнозів явища підтоплення та розробки ефективних заходів в боротьбі з його негативними наслідками.

Ключові слова: рис, рисова зрошувальна система, рівень підґрунтових вод, прогноз, модель.

Постановка проблеми. Серед геоекологічних загроз у Херсонській області найбільший розвиток має підтоплення. Треба зазначити, більшість заходів щодо запобігання підтопленню малоефективні і не дають очікуваних результатів. Основною причиною цього явища є відсутність комплексної оцінки причин підтоплення та наукового обґрунтування заходів, спрямованих на поліпшення ситуації. Відсутність просторового аналізу та моделювання процесів підтоплення призводить до погіршення ситуації і дедалі більших еколого-економічних збитків [1]. В умовах Херсонської області на землях із високим рівнем залягання ґрунтових вод спостерігаються процеси підтоплення, вторинного гідроморфізму, засолення, осолонцювання

ґрунтів та інше. При розробці заходів запобігання підтопленню земель слід виходити з реальних можливостей антропогенного впливу на фактори підтоплення: іригаційними і організаційно-господарськими можна повністю управляти, гідрогеологічні умови можна певною мірою поліпшити [2].

Важливим напрямком вирішення проблеми є моніторинг, він – складова частина програми і полягає в розробці принципів побудування системи спостережень за найбільш важливими характеристиками природного середовища [3].

Актуальність дослідження. Перевагою таких досліджень є те, що враховуються не лише статичні фактори захищеності, а й її динамічна складова – техногенне наван-

таження, гідродинамічні умови. Завдяки застосуванню ГІС-технологій можна оперативно оцінювати умови захищеності при зміні техногенних факторів, при цьому оновивши лише базу даних.

Рівень ґрунтових вод (РГВ) є одним з індикаторів технічного стану рисової зрошувальної системи. Багатьма вченими встановлена пряма корелятивна залежність врожайності рису від меліоративного стану земель. У зв'язку з тим, що на ділянках з близьким стоянням ґрунтових вод відбувається посилення відновлювальних процесів в верхніх горизонтах ґрунту, це призводить до накопичення не тільки шкідливих солей, а і закисних форм заліза, сірководню, рухомих форм марганцю і амонійного азоту, зростанню величини рН і зменшенню вмісту нітратного азоту. На час посіву рису ґрунт не встигає добре окислитися, до того ж деякі сполуки викликають сильну зрідженість сходів і зниження врожайності рису [4–5].

Важливим фактором формування сучасного стану ґрунтового покриву рисових зрошувальних систем (РЗС) є особливості водно-сольового, поживного режимів та режиму ґрунтових вод.

Вважається, що при заляганні ґрунтових вод на глибині більше 3–4 м режим останніх є нейтральним та не впливає на розвиток рослин [6]. При глибині ґрунтових вод 0,5–1 м від поверхні їх режим оцінюється як критичний. Коли РГВ складає від 0,5 (1,0) м до 3,0 (4,0) м, то режим ґрунтових вод оцінюється як оптимальний (нейтральний), за умови низької мінералізації води. У випадку підвищеної мінералізації, навіть за вище згаданих глибин залягання, залежно від сільськогосподарських культур, буде відмічатись негативний вплив [7].

Дослідження вітчизняних вчених свідчать про те, що в умовах підвищеної небезпеки заболочення і засолення ґрунтів, підтримання їх родючості на сталому рівні забезпечується підтриманням РГВ на глибині більше 1,5 м від поверхні землі у міжвегетаційний період [8–10].

Мета. Виконати прогнозування основних показників гідрогеолого-меліоративного стану РЗС, на прикладі рівня ґрунтових вод.

Матеріали і методи дослідження. Дослідження проводяться на дослідній рисовій зрошувальній системі Інституту рису НААН, площею 190 га та виробничій Тарасівській рисовій зрошувальній системі, площею 350 га, що експлуатуються понад 50 років в проектному режимі. На обох рисових зрошувальних системах використовується сівозміна з наповненістю основною культурою рису не більше

50%. Рис вирощувався за загальноприйнятими технологіями з врахуванням вимог охорони навколишнього середовища, супутні сільськогосподарські культури (соя, озима пшениця, ярий ячмінь, люцерна). Ґрунтовий покрив представлено темно-каштановим солонцюватим, лучно-каштановим солонцюватим та солонцем лучним. Джерело зрошення Олександрівський магістральний канал.

Прогностична модель режиму ґрунтових вод рисових зрошувальних систем розроблена за допомогою методу трипараметричного згладжування, що враховує сезонні коливання у програмі Statistica 10.0. Модель побудована на основі даних Гідрогеолого-меліоративної дільниці БУВР Нижнього Дніпра та власних досліджень за період 28 років, заміри виконували щомісяця.

Результати дослідження та їх обговорення. Аналіз ретроспективних даних підтверджує тісний лінійний зв'язок між урожайністю рису та рівнем ґрунтових вод в умовах півдня України (коефіцієнт коливається від 0,93 до 0,98). Дослідження свідчать, що РГВ до посіву рису нижче 1,6 м негативно не впливає на урожайність.

За вирощування рису режим зрошення є одним з факторів, що має найбільший вплив на режим РГВ впродовж року. Перепад рівнів ґрунтових вод за рік коливається від 0,5 м до 1,0 м.

Максимальне значення показника РГВ дослідної РЗС протягом досліджуваного періоду становило – 4,25 м, мінімальне – 0,15, що незначно відрізняється від значення моделі (табл. 1). Інтервал вибірки складає 4,19 м для фактичних даних та 3,88 м для моделі. Асиметричність ряду правостороння. Коефіцієнт варіації (0,59% – фактичні дані, 0,55% – модель) свідчить про низьку мінливість досліджуваного параметра і однорідність ряду даних. Коефіцієнт Ст'юдента (1,97) свідчить про достовірність як фактичних даних, так і моделі. Тісний зв'язок між моделлю режиму ґрунтових вод дослідної РЗС та фактичними даними підтверджується коефіцієнтом кореляції 0,96.

Значення параметрів згладжування визначається на основі статистичної оцінки моделей (табл. 2). Модель режиму ґрунтових вод дослідної РЗС побудовано з використанням коефіцієнтів $\alpha = 0,50$, $\beta = 0,10$, $\gamma = 0,10$ (рис. 1).

Модель режиму ґрунтових вод виробничої РЗС побудовано з використанням коефіцієнтів $\alpha = 0,50$, $\beta = 0,10$, $\gamma = 0,10$ (рис. 2). Прогноз становить 5 років (табл. 3).

На виробничій РЗС максимальне значення

1. Статистична оцінка прогностичної моделі рівня ґрунтових вод дослідної РЗС та фактичних даних

№ п/п	Назва статистичної характеристики	Фактичні дані	Модель
1	Середнє	1,25	1,34
2	Стандартна помилка	0,04	0,04
3	Медіана	1,15	1,25
4	Мода	0,62	-
5	Стандартне відхилення	0,74	0,73
6	Ексцес	1,40	0,45
7	Асиметричність	1,12	0,71
8	Інтервал	4,10	3,88
9	Мінімум	0,15	0,18
10	Максимум	4,25	4,06
11	Сума	447,00	560,00
12	Рахунок	357	420
13	Коефіцієнт варіації	0,59	0,55
14	Критерій Ст'юдента	1,97	1,97

2. Аналіз параметрів згладжування для прогностичної моделі рівня ґрунтових вод дослідної РЗС

Альфа	Бета	Гамма	Середня похибка	Середня абсолютна похибка	Сума квадратів	Середні квадрати	Середня похибка, %	Середня абсолютна похибка, %
0,50	0,10	0,10	0,00	0,15	17,68	0,05	-1,12	14,95
0,50	0,20	0,10	0,00	0,15	18,28	0,05	-1,22	15,12
0,50	0,10	0,20	0,00	0,16	18,53	0,05	-0,59	15,43
0,50	0,30	0,10	0,00	0,16	18,62	0,05	-1,27	15,32
0,50	0,40	0,10	0,00	0,16	18,89	0,05	-1,33	15,56
0,50	0,10	0,30	0,00	0,17	19,45	0,05	-0,40	16,14
0,50	0,50	0,10	0,00	0,16	19,48	0,05	-1,44	15,97
0,50	0,20	0,20	0,00	0,16	19,61	0,05	-0,69	15,71
0,50	0,10	0,70	0,00	0,17	20,09	0,06	0,19	16,47
0,50	0,30	0,20	0,00	0,16	20,10	0,06	-0,73	16,05

3. Аналіз параметрів згладжування для прогностичної моделі режиму ґрунтових вод виробничої РЗС

Альфа	Бета	Гамма	Середня похибка	Середня абсолютна похибка	Сума квадратів	Середні квадрати	Середня похибка, %	Середня абсолютна похибка, %
0,50	0,10	0,10	-0,02	0,13	11,87	0,04	-0,59	5,29
0,50	0,10	0,20	-0,02	0,13	12,20	0,04	-0,55	5,36
0,50	0,20	0,10	-0,02	0,13	12,28	0,04	-0,60	5,37
0,50	0,10	0,30	-0,02	0,13	12,51	0,04	-0,54	5,34
0,50	0,20	0,20	-0,02	0,14	12,64	0,04	-0,57	5,45
0,50	0,10	0,40	-0,02	0,13	12,71	0,04	-0,53	5,29
0,50	0,10	0,50	-0,02	0,13	12,78	0,04	-0,52	5,17
0,50	0,30	0,10	-0,02	0,14	12,85	0,04	-0,62	5,49
0,50	0,20	0,30	-0,02	0,14	12,91	0,04	-0,55	5,43
0,50	0,20	0,40	-0,02	0,13	13,02	0,04	-0,54	5,35

РГВ складає – 3,78 м, мінімальне – 1,39, що незначно відрізняється від значення моделі (табл. 4). Інтервал вибірки складає 2,39 м для фактичних даних та 2,65 м для

моделі. Асиметричність ряду лівостороння. Коефіцієнт варіації (0,27% – фактичні дані, 0,26% – модель) свідчить про низьку мінливість досліджуваного параметра і однорід-



Рис. 1 Прогнозна модель режиму ґрунтових вод дослідної РЗС (свердловина 3692)
(за даними Гідрогеолого-меліоративної ділянки БУВР Нижнього Дніпра)

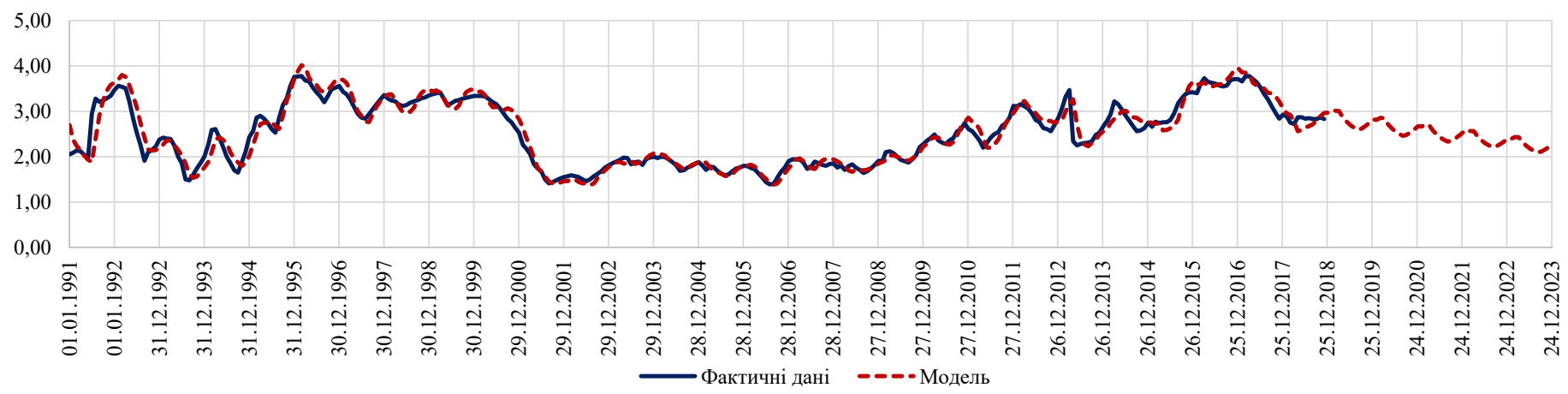


Рис. 2 Прогнозна модель режиму ґрунтових вод виробничої РЗС (свердловина 2945)
(за даними Гідрогеолого-меліоративної ділянки БУВР Нижнього Дніпра)

4. Статистична оцінка прогностичної моделі режиму ґрунтових вод виробничої РЗС та фактичних даних

№ п/п	Назва статистичної характеристики	Фактичні дані	Модель
1	Середнє	2,53	2,54
2	Стандартна помилка	0,04	0,03
3	Медіана	2,55	2,54
4	Мода	2,00	-
5	Стандартне відхилення	0,68	0,66
6	Ексцес	-1,30	-0,93
7	Асиметричність	0,10	0,18
8	Інтервал	2,39	2,65
9	Мінімум	1,39	1,37
10	Максимум	3,78	4,01
11	Сума	851,00	1007,00
12	Рахунок	336	396
13	Коефіцієнт варіації	0,27	0,26
14	Критерій Ст'юдента	1,97	1,97

ність низки даних. Коефіцієнт кореляції становить 0,96, що підтверджує достовірність побудованої моделі.

Висновки. Результати моделювання свідчать про те, що рівень ґрунтових вод як на дослідній, так і на виробничій РЗС за прогнозований період буде знижуватись у міжполивний період року нижче 2,0 м. На дослідній РЗС досліджуваний параметр буде знижуватись його негативними наслідками.

ватись за 2019–2024 рр. та варіюватиметься в межах 1,20–2,23 м. На виробничій РЗС рівень ґрунтових вод буде підвищуватись та за 2018–2023 рр. буде змінюватись у межах 2,13–2,85 м.

Продовження моніторингу за режимом ґрунтових вод дозволить підвищити якість застосування статистичних методів для прогнозу такого небезпечного процесу як підтоплення та ефективність заходів боротьби

Бібліографія

1. Малеев В.О., Безпальченко В.М. Технічні аспекти вирішення проблеми підтоплення територій Херсонської області // Вісник ХНТУ. 2017. №4(63). С. 235.
2. Малеев В.О. Особливості опустелювання агроландшафтів Херсонщини // Матеріали семінару стосовно затвердження Національної доповіді щодо впровадження в Україні Конвенції ООН про боротьбу з опустелюванням. Київ. Фітосоціоцентр, 2007. С. 62–69.
3. Педан Г.С., Ліходідова О.Г., Дячук О.А. Оцінка даних моніторингу режиму ґрунтових вод на території Одеської області // Вісник Одеського національного університету. Серія : Географічні та геологічні науки. 2018. Т. 23. Вип. 1. С. 147–158.
4. Титков А.А., Кольцов А.В. Эволюция рисовых ландшафтно-мелиоративных систем Украины. Симферополь: СОНАТ, 2007. 308 с.
5. Мендусь С.П. Причини зниження продуктивності зрошуваних земель рисових систем України // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія «Технічні науки». 2015. № 3(71). С. 395–400.
6. Плодородие почв и сельскохозяйственные растения: экологические аспекты / Вальков В.Ф. и др. Ростов-на-Дону.: ЮФУ, 2008. 416 с.
7. Вальков В.Ф., Елисеєва Н.В., Имгрунт И.И. Справочник по оценке почв. Майкоп: ГУР и ПП «Адыгея», 2004. 236 с.
8. Агроэкологическая обстановка и перспективы развития рисосеяния на юге Украины / Кольцов А.В. и др. Симферополь, 1994. 225 с.
9. Титков А.А., Кольцов А.В. Влияние орошения затоплением на мелиоративные условия и почвенный покров Присивашья. Симферополь, 1995. 196 с.
10. Морозов В.В., Грановська Л.М., Поляков М.Г. Еколого-меліоративні умови природокористування на зрошуваних ландшафтах України.: навчальний посібник. Київ-Херсон: Айлант, 2003. 208 с.

References

1. Malieiev, V.O., & Bezpachenko, V.M. (2017). Tekhnichni aspekty vyrishennia problemy pidtoplennia terytorii Khersonskoi oblasti [Technical aspects of the problem solution of flooding of Kherson region territory]. *Visnyk KhNTU*, 4(63), 235. [in Ukrainian]
2. Malieiev, V.O. (2007). Osoblyvosti opusteliuvannia ahrolandshaftiv Khersonshchyny. Materialy seminaru stosovno zatverdzhennia Natsionalnoi dopovidi shchodo vprovadzhennia v Ukraini Konventsii OON pro borotbu z opusteliuvanniam [Features of desertification of agricultural landscapes of Kherson region]. Kyiv: Fitosotsiotsentr, 62–69. [in Ukrainian]
3. Pedan, H.S., Likhodidova, O.H. & Diachuk, O.A. (2018). Otsinka danykh monitorynhu rezhyму gruntovykh vod na terytorii Odeskoi oblasti [Assessment of groundwater regime monitoring data in the Odessa region]. *Visnyk Odeskoho natsionalnoho universytetu. Serii: Heohrafichni ta heolohichni nauky*, 1, 147–158. [in Ukrainian]
4. Titkov, A.A., & Kol'cov, A.V. (2007). Evoljucyja rysovuh landshaftno-melyoratyvnuh system Ukrainy [The evolution of rice landscape-reclamation systems of Ukraine]. Simferopol: SONAT. [in Russian]
5. Mendus, S.P. (2015). Prychyny znyzhennia produktyvnosti i zroshuvanykh zemel rysovykh system Ukrainy [The reasons for the decline in productivity of irrigated lands of rice systems of Ukraine]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Serii «Tekhnichni nauky»*, 3(71), 395–400. [in Ukrainian]
6. Valkov, V.F., Denisova, T.V., Kazeev, K.Sh., Kolesnikov, S.I., & Kuznetsov, R.V. (2008). Plodorodie pochv i selskohozyaystvennyie rasteniya: ekologicheskie aspekty [Soil Fertility and Agricultural Plants: Environmental Aspects]. Rostov-on-Don: YuFU. [in Russian]
7. Valkov, V.F., Eliseeva, N.V., & Imgrunt, I.I. (2004). Spravochnik po otsenke pochv [Soil Assessment Handbook]. Maykop: PP Adyigeiya. [in Russian]
8. Kol'cov, A.V., Titkov, A.A., Sychevskiy M.E., Barilo V.N., & Makushin A.V. (1994). Agroekologicheskaya obstanovka i perspektivy razvitiya risoseyaniya na yuge Ukrainy [Agroecological situation and prospects of rice cultivation in the south of Ukraine]. Simferopol. [in Russian]
9. Titkov, A.A., & Kol'cov, A.V. (1995). Vliyanie orosheniya zatopleniem na meliorativnyie usloviya i pochvennyiy pokrov Prisivashya [The effect of irrigation by flooding on reclamation conditions and soil cover of the Sivash region]. Simferopol. [in Russian]
10. Morozov, V.V., Granovs'ka, L.M., & Poljakov, M.G. (2003). Ekologo-meliorativni umovy pryrodokorystuvannja na zroshuvanyh landshaftah Ukrai'ny [Text engl]. Kyiv-Kherson: Haylant. [in Ukrainian]

К.В. Дудченко, Т.М. Петренко, О.И. Флинта, Н.Н. Дацюк

Моделирование и прогнозирование режима грунтовых вод для рисовых систем, как одного из главных показателей мелиоративного состояния территории

***Аннотация.** Целью исследования является разработка прогнозных моделей основных показателей гидрогеолого-мелиоративного состояния рисовых оросительных систем, на примере уровня грунтовых вод, для сохранения их плодородия и повышения эффективности. Модели разработаны для опытных – рисовая оросительная система Института риса НААН Украины, площадью 190 га и производственных условий – Тарасовская рисовая оросительная система, площадью 350 га. Обе рисовые оросительные системы эксплуатируются более 50 лет. Почвенный покров представлен темно-каштановыми солонцеватыми, лугово-каштановыми солонцеватыми и солонцами луговыми. На рисовых оросительных системах используется севооборот с наполненностью рисом не более 50%. Прогнозные модели построены методом трёхпараметрического сглаживания в программе Statistica 10.0, при использовании данных Каховской гидрогеолого-мелиоративной партии БУВР Нижнего Днепра и собственных исследований, за период 28 лет. Прогноз выполнен на период 5 лет, с определением исследуемого параметра ежемесячно. Прогноз, разработанный на основе построенной модели для опытной рисовой оросительной системы, показывает, что уровень грунтовых вод будет снижаться за 2019–2024 гг. и будет варьироваться в пределах 1,20–2,23 м. Прогнозная модель режима грунтовых вод, разработанная для производственных условий показывает, что исследуемый показатель будет повышаться в период 2018–2023 гг. и будет изменяться в пределах 2,13–2,85 м. Анализ результатов моделирования режима грунтовых вод рисовых оросительных систем подтверждает, что как на опытной, так и на производственной рисовых*

оросительных системах, за прогнозируемый период, исследуемый показатель будет снижаться в межполивной период года, ниже 2,0 м. Мониторинг режима грунтовых вод на рисовых оросительных системах это один из самых эффективных методов формирования качественных баз данных для создания прогнозов явления подтопления и разработки эффективных мер в борьбе с его негативными последствиями.

Ключевые слова: рис, рисовая оросительная система, уровень грунтовых вод, прогноз, модель.

K.V. Dudchenko, T.M. Petrenko, O.I. Flinta, M.M. Datsuk
Modeling and forecasting of groundwater regime for rice systems
as one of the main indicators of meliorative state of the territory

Abstract The goal of research is to build forecast models of the main indicators of hydrogeological and reclamation status of rice irrigation systems, on the example of groundwater levels, to preserve their fertility and increase efficiency. The models were developed for experimental conditions – rice irrigation system of the Institute of Rice of NAAS of Ukraine, with an area of 190 hectares and production conditions – Tarasivka rice irrigation system, with an area of 350 hectares. Both rice irrigation systems have been under operation for over 50 years. The soil cover is represented by dark chestnut saline, meadow-chestnut saline and meadow saline soils. Rice irrigation systems use a crop rotation with the rice share of not more than 50%. The forecast models are based on the method of three-parameter smoothing in the program Statistica 10.0, using the data from the hydrogeological and reclamation section of the Lower Dnieper BWMA and own research for the period of 28 years. The forecast was made for the period of 5 years, with the definition of the studied parameter on a monthly basis. The forecast developed on the basis of the built model for the experimental rice irrigation system shows that the groundwater level will decrease in 2019–2024 and will vary between 1,20–2,23 m. The forecast model of the groundwater regime, developed for the production conditions, says that the studied indicator will increase in the period 2018–2023 and will change in the range of 2,13–2,85 m. Analysis of the results of modeling the groundwater regime of rice irrigation systems confirms that, both in the experimental and in the production conditions of rice irrigation systems, for the forecast period, the studied indicator will decrease in the inter-irrigation period of the year, below 2,0 m. Monitoring of groundwater regime in rice irrigation systems is one of the most effective methods of forming high-quality databases to make forecasts for flooding and to develop effective measures to combat its negative consequences.

Key words: rice, rice irrigation system, groundwater level, forecast, model.