

УДК 631.671:631.674:635.64

© 2015

*В.В. Васюта,**кандидат
сільсько-
господарських
наук**Інститут
водних проблем
і меліорації НААН*

СУМАРНЕ ВОДОСПОЖИВАННЯ ТА ВИПАРОВУВАННЯ ТОМАТА ЗА РІЗНИХ СПОСОБІВ ПОЛИВУ ТА ГЛИБИНИ РОЗРАХУНКОВОГО ШАРУ ҐРУНТУ В ПІВДЕННОМУ РЕГІОНІ УКРАЇНИ

Мета. Дослідити динаміку випаровування за фазами росту і розвитку томата, рівень сумарного водоспоживання, ефективність використання води на формування одиниці врожаю, залежність добових витрат ґрунтової вологи від середньодобової температури повітря. **Методи.** Польові, лабораторні, статистичні. **Результати.** Сумарне водоспоживання томата за краплинного зрошення за період досліджень є на 30,5% меншим, ніж за дощування і мікродощування. У фазі масового утворення плодів середньодобове випаровування за краплинного зрошення на 58,8 – 59,5% менше, ніж за дощування і мікродощування. За краплинного зрошення коефіцієнти водоспоживання на 65,5% нижчі, ніж за дощування, і на 56,8% – мікродощування. **Висновки.** Краплинне зрошення забезпечує ефективніше використання прибуткової частини водного балансу порівняно з дощуванням і мікродощуванням в окремі фази росту й розвитку і за весь вегетаційний період.

Ключові слова: томат, випаровування, водоспоживання, краплинне зрошення, дощування, мікродощування.

Витрати ґрунтової вологи впродовж вегетації залежать від природно-кліматичних умов, місця розташування та біологічних особливостей об'єкта досліджень. Залежно від періоду визначення витрати ґрунтової вологи на транспірацію і випаровування поділяються на сумарне водоспоживання — сумарні витрати вологи за весь період вегетації та сумарне випаровування — витрати вологи за окремі відрізки вегетаційного періоду. Їх визначають різними методами, проте найпоширеніший — водного балансу [8, 11].

У зоні недостатнього зволоження попри досить великі потреби більшості овочевих рослин у вологозабезпеченні дослідження сумарного випаровування і водоспоживання є досить важливим завданням. Вони дають можливість установити зв'язок водоспоживання рослин

з метеорологічними факторами, продукційними процесами та формалізувати його у вигляді математичних моделей для прогнозування процесу загалом або розрахунку елементів. Тому дослідження цього напрямку в овочевих зрошуваних агроценозах є актуальними.

Сумарне водоспоживання і випаровування — найважливіші сукупні характеристики зв'язку гідрометеорологічних умов з ростовими процесами за вегетацію і за окремі її періоди. Закономірності витрат ґрунтової вологи за різної продуктивності агроценозу є фундаментальними засадами для розробки і вдосконалення поливних режимів сільськогосподарських культур [4, 5]. Випаровуваність — результат комплексного впливу метеорологічних факторів, що

спричиняють обмін вологи в системі ґрунт — рослина — атмосфера, яку прирівнюють до оптимального водоспоживання рослин і визначають різними, зокрема й розрахунковими методами (С.М. Алпатьєва, Д.А. Штойко, М.М. Іванова, Г.К. Льгова, Пенмана-Монтейта) [1, 3, 10]. Власне, це математичні моделі регулювання водного режиму ґрунту і рослин за метеорологічними показниками, які для локального зрошення потребують уточнення за результатами досліджень.

Методика досліджень. Завдання досліджень полягало у визначенні за 3-х способів поливу — дощування, мікродощування, краплинного зрошення — і 2-х розрахункових шарів ґрунту рівня сумарного водоспоживання та випаровування, ефективності використання води на формування одиниці врожаю, середньодобових витрат ґрунтової вологи за різної середньодобової температури повітря та в розробленні спрощеної моделі визначення випаровування томата для управління режимом вологості ґрунту.

Дослідження проводили у 2-факторному польовому досліді згідно з методикою дослідної справи у зрошуваному землеробстві та овочівництві [2, 6]. Адаптацію моделі здійснювали у виробничих умовах ФГ «Чайка» Білозерського району Херсонської області. Контролювали витрати вологи за рекомендаціями [9]. В основі моделі — польові дослідження 1993–1995 рр., її розробка і польова перевірка — 2012–2013 рр.

Результати досліджень. Вивчення сумарного водоспоживання та випаровування за способами поливу і глибиною активного шару ґрунту дало змогу встановити особливості витрат ґрунтової вологи за фазами росту і розвитку томатів і загалом за вегетацію.

Сумарне водоспоживання може досить істотно коливатися, і амплітуда коливань зумовлена багатьма факторами, серед яких технології поливу належить чільне місце. Сумарне водоспоживання досліджували методом водного балансу. Водний баланс томата за різних способів поливу вивчали за умови підтримки вологості ґрунту в розрахункових шарах перед поливом на рівні не менше 70% найменшої вологості (НВ) у період сходи — плодоутворення, початок стиглості — збирання та 80% НВ — у фазі масового плодоутворення.

Аналіз структури сумарного водоспоживання за способами поливу свідчить про те, що формується воно переважно за рахунок 2-х складових — зрошуваної норми, частка

якої становить 54,5–72,3%, та опадів, на які припадає 26,4–45,1% сумарних витрат води. З ґрунту на сумарне водоспоживання витрачається 10–64 м³/га води, що в сукупності не перевищує 0,3–1,3% від загальних витрат води і є чинником неістотного впливу на сумарні витрати води у вегетаційний період.

За порівняння зрошуваної норми за способами поливу і глибиною розрахункового шару з'ясувалося, що її величина більшою мірою визначається способом поливу. Це підтверджується результатами статистичного аналізу. Так, на рівні часткових відмінностей величина, яка перевищує 1124 м³/га, є достовірною для порівняння. Це означає, що різниця сумарних витрат води на полив за дощування і мікродощування менша за поріг достовірності, тому величини зрошуваної норми майже одного рівня і на 43% більші, ніж за краплинного зрошення.

Варіювання величини зрошуваної норми за різних способів поливу свідчить про те, що збільшення глибини розрахункового шару з 0–30 до 0–50 см сприяє сталому її зростанню, і за глибини розрахункового шару 0–50 см сумарні витрати води на полив у середньому за головним фактором В — спосіб поливу — на 667 м³/га перевищують ті, які формуються за глибини розрахункового шару 0–30 см. При цьому величина зрошуваної норми істотно зростає, але непропорційно до збільшення глибини розрахункового шару (27,4 та 67% відповідно) (табл. 1).

За всіх способів поливу зі збільшенням глибини розрахункового шару до 0–50 см частка опадів у сумарному водоспоживанні зменшується на 4,5–6,4%. Заслугує на увагу й те, що за краплинного зрошення частка опадів у сумарному водоспоживанні на 12,3–18,2% вища, ніж за інших способів поливу, що підтверджує ефективніше використання природного ресурсу за цього способу поливу.

Зміни сумарного водоспоживання томата за досліджуваного набору факторів повною мірою відповідають тенденціям, виявленим у результаті аналізу його структури. Так, за дощування і мікродощування сумарні витрати води на формування врожаю сягають у середньому 4600 м³/га, що на 30,5% більше, ніж за краплинного зрошення, — 3200 м³/га. Порівняння рівня сумарного водоспоживання за глибиною розрахункового шару показує, що за глибини 0–50 см воно на 696 м³/га (15,5%) є більшим, ніж за глибини 0–30 см. Отже, зі збільшенням глибини розрахункового шару сумарні витрати вологи на формування врожаю томата достовірно зростають.

1. Сумарне водоспоживання, структура сумарного водоспоживання, коефіцієнти водоспоживання за різних способів поливу та глибини розрахункового шару (середнє за 1993 – 1995 рр.)

Спосіб поливу	Розрахунковий шару ґрунту, см	Структура сумарного водоспоживання						Сумарне водоспоживання, м ³ /га	Коефіцієнт водоспоживання, т/м ³
		опад		зрошувана норма		волога ґрунту			
		м ³ /га	%	м ³ /га	%	м ³ /га	%		
Дощування	0–30	1333	31,4	2900	68,3	14	0,3	4247	94,0
	0–50	1333	26,9	3570	72,1	51	1,0	4954	107,2
Мікродощування	0–30	1333	32,1	2800	67,3	26	0,6	4159	87,7
	0–50	1333	26,4	3650	72,3	64	1,3	5047	103,0
Краплинне зрошення	0–30	1333	45,1	1610	54,5	10	0,3	2954	55,4
	0–50	1333	38,7	2090	60,6	24	0,7	3447	66,2
НІР ₀₅ часткових відмінностей (фактор А)				1124		30		1149	28,8
НІР ₀₅ головних ефектів (фактор А)				795		21		812	13,6
НІР ₀₅ головних ефектів (фактор В)				649		17		663	11,1

Ефективність використання води в зрошуваних агроценозах оцінюють коефіцієнтом водоспоживання — кількістю води, витраченої на одиницю врожаю. За розрахунками коефіцієнтів водоспоживання томата за різних способів поливу і глибини розрахункового шару, для продукування 1 т плодів залежно від способу поливу витрачається 55,4–107,2 м³. Найбільше — за дощування та за глибини розрахункового шару 0–50 см — 107,2 м³, найменше — 55,4 м³ — за краплинного зрошення і за глибини розрахункового шару 0–30 см. Загалом на основі порівняння коефіцієнтів водоспоживання слід визнати, що в середньому за краплинного зрошення витрати води на формування врожаю на 65,5 та 56,8% відповідно менші, ніж за дощування і мікродощування, а за глибини розрахункового шару 0–30 см на 1 т урожаю томата витрачається на 16,6% води менше, ніж за глибини 0–50 см. Отже, коефіцієнти водоспоживання свідчать про те, що за глибини розрахункового шару 0–30 см вода на формування врожаю витрачається ефективніше, а краплинне зрошення — найефективніший з досліджуваних способів поливу.

Важливим елементом контролю та оперативного управління поливним режимом є середньодобове випаровування [8], яке визначають за календарними датами вегетаційного періоду або окремими фазами росту і розвитку рослин. Середньодобове випаровування залежить від біологічних особливостей рослин, погодних умов періоду вегетації, фізико-механічних властивостей ґрунту, інтенсивності

продукційних процесів, агротехнічних, меліоративних та низки інших факторів.

Спостереження за середньодобовим випаровуванням томата показує, що для досліджуваних факторів його абсолютна величина визначається фазою розвитку рослин. Аналіз витрат вологи свідчить, що на початку вегетації вони порівняно незначні. За добу залежно від способу поливу витрачається 11,9–18,8 м³/га ґрунтової вологи. Порівняння середньодобових витрат вологи на рівні головних ефектів показує, що за краплинного зрошення вони відповідно на 14,5 та 14,1% менші, ніж за дощування і мікродощування, а зі збільшенням глибини розрахункового шару з 0–30 до 0–50 см збільшуються середньодобові витрати вологи на 5,2 м³/га (41,1%).

У період плодоутворення, який є критичним за водоспоживанням, середньодобове випаровування набуває найбільшої величини за всіх способів поливу. Максимальні добові витрати ґрунтової вологи (76,5 м³/га) виникають за мікродощування і глибини розрахункового шару 0–50 см, найменші (42,8 м³/га) — за краплинного зрошення і глибини розрахункового шару 0–30 см. Аналіз середньодобових витрат вологи за головними ефектами при краплинному зрошенні свідчить про їх зменшення на 58,8% порівняно з дощуванням та на 59,5% — мікродощуванням. За збільшення глибини розрахункового шару з 0–30 до 0–50 см зростання середньодобових витрат не перевищує 8,6%.

Зазначені тенденції середньодобового випаровування спостерігаються і в завершальній

2. Середньодобове випаровування томата за різних способів поливу і глибини розрахункового шару ґрунту (середнє за 1993–1995 рр.), м³/га на добу

Спосіб поливу (фактор А)	Зона зволоження, см (фактор В)	Фаза росту і розвитку		
		масові сходи — плодоутворення	плодоутворення — стиглість	стиглість — збирання
Дощування	0–30 см	13,0	71,3	53,3
	0–50 см	18,6	74,2	65,1
Мікродощування	0–30 см	12,7	69,6	52,6
	0–50 см	18,8	76,5	65,5
Краплинне зрошення	0–30 см	11,9	42,8	38,7
	0–50 см	15,7	48,8	41,7
НІР ₀₅ часткових відмінностей (фактор А)		2,5	15,9	10,3
НІР ₀₅ головних ефектів (фактор А)		1,8	11,3	7,3
НІР ₀₅ головних ефектів (фактор В)		2,3	2,4	5,6

фазі вегетації томата. Так, за краплинного зрошення витрати вологи зменшуються приблизно на 47% порівняно з іншими способами поливу, а збільшення глибини активного шару ґрунту з 0–30 до 0–50 см зумовлює зростання витрат ґрунтової вологи за добу на 19,2%. Загалом за краплинного зрошення середньодобові витрати вологи за фазами розвитку на 14,1–59,5% менші, ніж за інших способів поливу, і на 8,6–41,2% менші за глибиною розрахункових шарів порівняно з дощуванням і мікродощуванням (табл. 2).

За отриманими даними, найбільша різниця середньодобового випаровування за глибиною розрахункового шару спостерігалася в період сходів — масового плодоутворення — 31,9–48%, найменша — 4,1–14% — під час плодоутворення. Тобто на початковому етапі вегетації, враховуючи біологічні особливості томата, з високим ступенем ймовірності можна стверджувати, що за розрахункового шару 0–50 см вода витрачається неефективно, тому до фази початку плодоутворення розрахунковий шар 0–30 см є достатнім для забезпечення водою рослин томата. В інші фази росту і розвитку доцільніше формувати режим вологості ґрунту на основі розрахункового шару 0–50 см.

Аналіз середньодобового випаровування томата за різних середніх температур повітря впродовж доби дав змогу встановити зв'язок між цими показниками та визначити форми кривих випаровування за досліджуваних факторів. Виявилось, що криві середньодобового випаровування за формою подібні до кривих росту.

Динаміка сумарних витрат вологи за різних способів поливу і глибини розрахункового шару свідчить про те, що за середньої добової

температури повітря 17,7°C середньодобове випаровування за дощування і мікродощування орієнтовно одного рівня і залежно від глибини розрахункового шару на 6,7–19,7% є більшим, ніж за краплинного зрошення. В інтервалі середньодобових температур 17,7–21,2°C середні добові витрати вологи стрімко зростають за всіх способів поливу. Так, за дощування і мікродощування за глибини розрахункового шару 0–50 см вологи витрачається в середньому 65,5 м³/га за добу, а за глибини розрахункового шару 0–30 см — лише 52,6 м³/га. За краплинного зрошення середньодобові витрати вологи у 1,6 і 1,4 раза менші, ніж за інших способів поливу (рис. 1).

За середньодобової температури 23,2°C найбільше середньодобове випаровування — 76,6 м³/га спостерігається на мікродощуванні за глибини розрахункового шару 0–50 см, найменше — 42,8 м³/га за краплинного зрошення і глибини розрахункового шару 0–30 см. За однакової глибини розрахункового шару різниця середньодобового випаровування за дощування і мікродощування не перевищує 3% і на 34,2 та 40% відповідно більша, ніж за краплинного зрошення.

За порівняння граничних величин середньодобового випаровування за способами поливу для першої і другої точок перегину (рис. 1) з'ясувалося, що в діапазоні температур 17,7–23,2°C питома інтенсивність випаровування стрімко зростає на 1°C, сягаючи за дощування — 13,3, за краплинного зрошення — 7,7 м³/га. Отже, за краплинного зрошення на 1°C витрачається вологи на 72,7% менше, ніж за дощування. У діапазоні температур 21,2–23,2°C попри загальне зростання

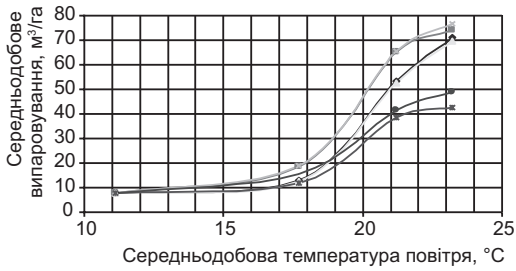


Рис. 1. Середньодобове випаровування томата за способами поливу і глибиною розрахункового шару залежно від середньодобової температури повітря: ● — 0–30 см, дощування; ▲ — 0–30 см, мікродощування; * — 0–30 см, краплинне зрошення; ■ — 0–50 см, дощування; □ — 0–50 см, мікродощування; ○ — 0–50 см, краплинне зрошення

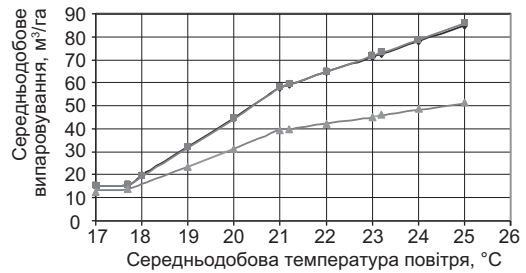


Рис. 2. Графік визначення середньодобового випаровування томата за різних способів поливу за середньодобової температури повітря: ● — дощування; ■ — мікродощування; ▲ — краплинне зрошення

сумарного випаровування питомі витрати зменшуються до 4,4 м³/га на 1°C за дощування та до 2,1 м³/га на 1°C — за краплинного зрошення. Інтенсивність випаровування в цьому температурному інтервалі відповідно в 3 та 3,7 раза менша, ніж у діапазоні 17,7–23,2°C. Це підтверджує наявність температурного порога, перевищення якого істотно зменшує питоме випаровування, ймовірно за рахунок зниження інтенсивності транспірації, що регулюється розмірами продохів листя, які залежать від температури і вологості повітря. Діапазон температур, за якого в наших умовах спостерігався найінтенсивніший вологообмін у рослинах томата, був у межах 17,7–23,2°C, тобто в інтервалі 18–25°C, що за результатами досліджень [7] є оптимальним для томата.

Спроба апроксимації середньодобового випаровування за функціями Б. Гомпертца і П. Ферхюльста не дала задовільних результатів у діапазоні 10,9–17,7°C. Тому апроксимація середньодобового випаровування за середньодобовою температурою повітря здійснена

лінійним сплайном у рамках кожного температурного режиму:

$$E(t) = \begin{cases} a_1 + b_1 t, & 10,9 < t < 17,7 \\ a_2 + b_2 t, & 17,7 < t < 21,2, \\ a_3 + b_3 t, & 21,2 < t < 23,2 \end{cases} \quad (1)$$

де $E(t)$ — середньодобове випаровування за відповідної середньодобової температури повітря, м³/га; a_i, b_i — коефіцієнти рівнянь, $i = 1, 2, 3$; t — середньодобова температура повітря, °C.

У межах досліджуваних факторів і температурних режимів визначено коефіцієнти рівнянь апроксимації середньодобового випаровування томата (табл. 3).

Апроксимація лінійними рівняннями є доволі спрощеною моделлю процесу випаровування, проте розрахунки свідчать, що обчислені за цією моделлю величини середньодобового випаровування є досить близькими до експериментальних. За розрахунками середньодобового випаровування томата за рівняннями (1) у діапазоні 17–25°C побудовано графік, за яким у межах оптимального діапазону середньодобових температур повітря можна

3. Коефіцієнти рівнянь лінійного сплайна для визначення середньодобового випаровування $E(t)$ томата

Спосіб поливу	Зона зволоження, см	Коефіцієнт пропорційності					
		a_1	b_1	a_2	b_2	a_3	b_3
Дощування	0–30	0,55	0,77	–191,00	11,53	–136,84	8,97
	0–50	9,57	1,59	–216,29	13,27	–31,39	4,55
Мікродощування	0–30	0,06	0,72	–188,80	11,39	–128,61	8,55
	0–50	9,85	1,62	–217,40	13,35	–51,37	5,51
Краплинне зрошення	0–30	1,26	0,60	–123,68	7,66	–4,53	2,04
	0–50	4,89	1,16	–115,43	7,41	–34,31	3,58

визначати рівень середньодобового випаровування, що дає можливість контролювати середньодобові витрати вологи за даними про середньодобову температуру повітря (рис. 2).

Визначені за цим графіком поливні норми у ФГ «Чайка» Білозерського р-ну Херсонської обл. у 2013 р. за краплинного зрошення томата були близькими до рекомендованих,

а зрошувальна норма в підсумку виявилася на 10% більшою [9].

Отже, за відсутності прямих інструментальних методів спостереження за вологістю ґрунту середньодобове випаровування і водний режим томата в південному регіоні України з достатнім ступенем надійності можна контролювати за середньодобовою температурою повітря.

Висновки

Краплинне зрошення забезпечує зменшення на 30,5% витрат води на сумарне водоспоживання томата порівняно з дощуванням і мікродощуванням за рахунок зменшення в балансі сумарних витрат води на полив та збільшення частки опадів. Коефіцієнт водоспоживання за краплинного зрошення на 58,3–61,9% менший, ніж за дощування та мікродощування, відповідно ефективність використання води на одиницю врожаю за краплинного зрошення є вищою в аналогічній пропорції. Зі збільшенням глибини розрахункового шару з 0–30 до 0–50 см ефективність використання води на одиницю продукції зменшується на 16,6%. За краплинного зрошення середньодобові витрати вологи за фазами росту і розвитку на 14,1–59,5% менші, ніж за дощування та мікродощування, що

є наслідком збільшення площі зволоження під час поливів.

Для забезпечення нормального водного режиму рослин томата за фазами розвитку до початку плодоутворення достатніми є поливи за нормою, розрахованою на зволоження шару ґрунту 0–30 см. У діапазоні середньодобових температур 17,7–21,2°C за краплинного зрошення витрати вологи на 1°C у 1,7 раза менші, ніж за інших способів поливу. Визначення середньодобових витрат вологи для рослин томата за графіком лінійного сплайна за середньодобовою температурою повітря дає змогу регулювати водний режим ґрунту з перевищенням витрат води в межах 10% порівняно з інструментальними методами спостереження.

Бібліографія

1. Водні ресурси України та меліорації земель: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. 12 березня 2013 р./Державне агентство водних ресурсів України, Інститут водних проблем і меліорації НААН. — К.: ТОВ «ДІА», 2013. — 185 с.
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) [5-е изд., доп. и перераб.]/Б.А. Доспехов. — М.: Агропромиздат, 1985. — 351 с.
3. Духовный В.А. Разработка простых алгоритмов для оценки контролируемых параметров и основанных на них показателей для климатического блока БД/В.А. Духовный, В.И. Соколов, М.Г. Хорст, И.В. Форкуца. — Ташкент, 2009. — 72 с.
4. Кравчук А.В. Совершенствование параметров увлажнения агроэкологически сбалансированных режимов орошения кормовых культур Сухостепного Заволжья: автореф. дис. на соиск. учен. степени д-ра. с.-х. наук: спец. 06.01.02 «Мелиорация, рекультивация и охрана земель»/А.В. Кравчук. — Волгоград, 2007. — 43 с.
5. Кузнецов Ю.В. Научно-экспериментальное обоснование водосберегающих технологий орошения томатов в Нижнем Поволжье: автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра. с.-х. наук: спец. 06.01.02 «Мелиорация, рекультивация и охрана земель»/Ю.В. Кузнецов. — Волгоград, 2011. — 46 с.
6. Методика дослідної справи в овочівництві і баштаництві; за ред. Г.Л. Бондаренка, К.І. Яковенка. — Х.: Основа, 2001. — 369 с.
7. Патрон П.И. Интенсивное овощеводство Молдавии/П.И. Патрон. — Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1985. — 448 с.
8. Писаренко В.А. Режимы орошения сельскохозяйственных культур/В.А. Писаренко, Е.М. Горбатенко, Д.Р. Йокич. — К.: Урожай, 1988. — 96 с.
9. Ромащенко М.І. Рекомендації з оперативного контролю та управління режимом зрошення сільськогосподарських культур із застосуванням тензометричного методу/М.І. Ромащенко, В.М. Корюненко, М.М. Муромцев. — К.: ТОВ «ДІА», 2012. — 71 с.
10. Скуртул А.Г. Применение математических методов в исследованиях по управлению соевым режимом пойменных почв при орошении/А.Г. Скуртул//Применение математических методов и ЭВМ в орошаемом земледелии (сб. статей). — Кишинев: Штинца, 1979. — С. 5–89.
11. Штойко Д.А. Водопотребление и режим орошения сельскохозяйственных культур/Д.А. Штойко, В.А. Писаренко//Мелиорация земель на Украине; под ред. Н.А. Гаркуши. — К.: Урожай, 1979. — С. 100–108.

Надійшла 30.05.2014.