

Н.М. Кізілова, Н.Л. Ричак, Ю.І. Руднев

Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харків

ПІДХІД СИСТЕМНОЇ ДИНАМІКИ ДО КОНТРОЛЮ ЗА ЯКІСТЮ ВОДИ НА УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ

Сучасні геоінформаційні системи дозволяють розробляти детальні кількісні прогнози об'ємів потреби та якості питної води на основі даних багаторічних спостережень та використання математичних моделей, що є особливо важливим на урбанізованих територіях в умовах мегаполісів з їх розвиненою інфраструктурою та антропогенний вплив на джерела питної води. В роботі представлена інформація про гідрогеологічні характеристики урболандшафтної басейнової геосистеми річки Харків на території міста Харків. Наведені дані вимірювань рівня та швидкості течії води, концентрацій речовин, що забруднюють. З використанням радарних даних SRTM побудована детальна тривимірна геометрична модель профілю місцевості та проведені обчислення гідрологічних параметрів та концентрацій забруднень. На основі моделі проведено детальні розрахунки в різні сезони 2014-2017 рр., які забрані в базі даних геоінформаційної системи для подальшої обробки. Отримана добра відповідність чисельних даних результатам вимірювань. Визначена особлива небезпечність для екології та найбільша розбіжність з даними про вміст Co , Si , сульфатів та нафтопродуктів. Нові результати дають можливість вивчати різні сценарії доступності та якості води на урбанізованих територіях.

Ключові слова: геоінформатика, математичне моделювання, гідрогеологія, річкові русла, екологія.

Вступ

Якість питної води та її доступність особливо на урбанізованих територіях в умовах мегаполісу є однією з найскладніших проблем у світі, для рішення якої використовуються, в тому числі, сучасні методи моделювання з оцінкою різних можливих сценаріїв [1–3]. В останні роки з'явилися ефективні підходи системної динаміки (system dynamics approach) [4], які базуються на всебічній обробці інформації щодо джерел постачання води до міста та її витрат, а також методи механіки рідини [5].

Споживання прісної води коливається від ~500 до >1100 м³/рік на душу населення [6], а статистичні дані дають як лінійну, так і експоненціальну залежність між чисельністю населення та потребою у воді [7], що складає проблеми для довгочасного прогнозування і потребує ретельної розробки геоінформаційної системи для конкретного мегаполісу, тривалого збирання даних, їх статистичного аналізу методами Big Data Analysis і прогнозування кількості та якості питної води [8].

Метою даної роботи є аналіз наявної інформації о джерелах, потребах та витратах води в умовах території міста Харків методами математичного моделювання, механіки рідини та системної динаміки.

Виклад основного матеріалу

Гідрологічна характеристика р. Харків на території м. Харків

Основними водними ресурсами урболандшафтної басейнової геосистеми на території м. Харків є річка Харків з притоками та штучними водоймами, а

також підземними водами (рис. 1). Гідрографічні об'єкти цієї території належать до басейну р. Харків, що відноситься до басейну р. Лопань, яка належить до басейну р. Уди, а остання – належить до басейну р. Сіверський Донець. Відповідно до класифікації, р. Уди і р. Лопань відносяться до середніх (площа водозбору відповідно 3840 і 2000 км²), р. Харків і р. Немишля – до малих (площа водозбору відповідно 1160 і 388 км²). Р. Харків маловодна, з незначною швидкістю течії, зазнає значного антропогенного впливу. Її довжина 74 км, середній ухил 0.77% [9–10]. Лучна тераса сильно видозмінена: зайнята набережними, вулицями, забудована, частково її використовують під городи, сіножаті, пасовища та інші угіддя. Влітку річка сильно міліє і місцями пересихає, береги зазвичай низькі. В межах міста русло річки штучно поглиблене, а береги обваловані. Основним джерелом живлення є талі снігові води, меншу роль відіграють підземні води і дощі. Штучні водойми, розташовані в межах басейна річки, значною мірою регулюють радіаційний і тепловий режим земної поверхні і атмосфери, створюють характерний вітровий режим і визначають мікроклімат східної частини міста. Їх вплив проявляється на метеорологічному режимі прилеглих територій. Детальна інформація щодо природного та антропогенного поверхневого стоку до р. Харків, яка потрібна для побудови та аналізу математичної моделі урболандшафтної басейнової геосистеми, наведена в [9–10].

Мережі зливової каналізації міста експлуатує Комунальне підприємство “Комплекс з експлуатації об'єктів водозниження і зливової каналізації” (КП

КВЛК). На його балансі знаходиться 502,7 км мереж зливової каналізації, близько 7000 дощоприймальних колодязів та більше 300 водозливів у водні об'єкти та понижені місця рельєфу місцевості, в тому числі у річки та водойми м. Харкова. Так, у р. Лопань скидаються стічні води з 78 водовипусків. Злизова мережа є одним із головних джерел забруднення поверхневих вод і донних відкладів р. Лопань [9].

Забори річкової води проводились протягом десятиріч на всій території м. Харків. Визначався вміст важких металів (Cu, Cr, Fe, Mn, Co, Zn), сульфатів, фенолів та нафтопродуктів. Виявлено підвищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) в 1.1–2 рази. Середньорічні концентрації речовин забруднення поверхневих вод, які вміщують азот, перевищують ГДК у 2–3 рази. Таким чином, екологічний стан водних об'єктів в межах м. Харків стабільно напружений. Кисневий режим в річках задовільний.

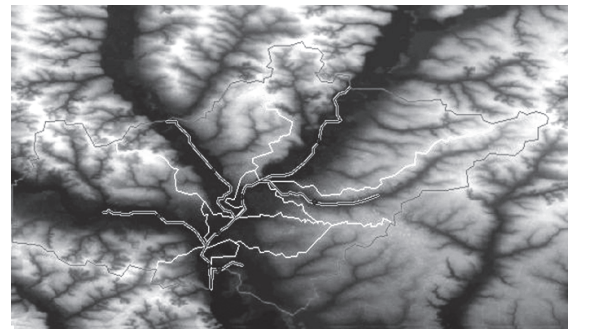


Рис. 1. Басейна система на території м. Харків: річки Харків (1), Лопань (2), Уди (3), Немишля (4); границі міста позначені подвійною лінією, а водорозділи – чорними лініями; стрілочка відповідає найнижчий локації вдовж басейну

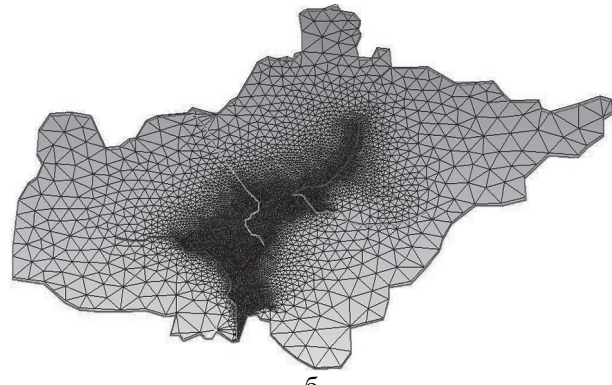
Математична модель динаміки річкових вод на території м. Харків

Переніс води в річкових системах визначається загальним рельєфом поверхні та ухилом, притоками та придонними джерелами, постачанням ґрунтових та поверхневих вод. Для визначення рельєфу використовуються дані радарного сканування поверхні Землі (Shuttle Radar Topography Mission, SRTM). На рис. 2, а наведена радарна карта території м. Харкова, на якій позначені річки 1–4 (рис. 1), на рис. 2, б – відповідна триангуляційна модель, а на рис. 2, в – результати рендерингу триангуляційної сітки та згладжування стандартними SRTM фільтрами. На рис. 2, в наведена частина рельєфу в діапазоні висот

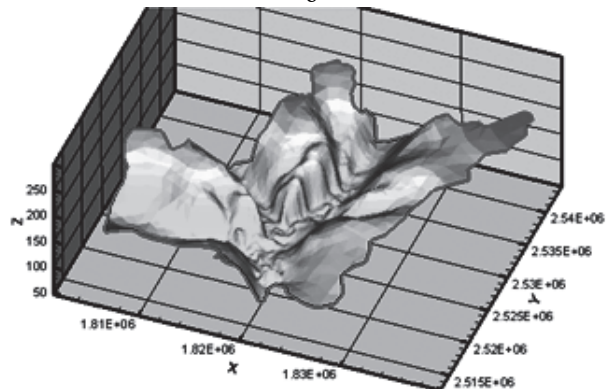
до 250 м, відраховуючи від найнижчої точки, яка вказана стрілочкою на рис. 1.



а



б



в

Рис. 2. SRTM карта території м. Харків з басейном р. Харків (а), її триангуляційна модель (б) та результати рендерингу (в)

Переніс річкових вод та забруднень описується системою рівнянь Нав'є-Стокса та балансу концентрації речовин, які забруднюють [8]:

$$\operatorname{div}(\vec{v}) = 0, \quad \rho \frac{d\vec{v}}{dt} = -\nabla p + \mu \Delta \vec{v} + \rho \vec{g}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial C_j}{\partial t} = D_j \Delta C_j + q_j^+ - q_j^-, \quad (2)$$

де ρ і μ – щільність та в'язкість рідини; p – гідростатичний тиск; \vec{v} – швидкість потоку рідини; g – прискорення вільного падіння; C_j і D_j – концентрація забруднюючої речовини j ($j=1, \dots, N$) та її коефіцієнт дифузії; q_j^+ – позитивні джерела забруд-

вень (притоки, водоскиди, поверхневі води, ерозія ґрунту); q_j^- – негативні джерела (поглинання бактеріями, живністю та придонними рослинами).

$$\bar{v}|_{\Gamma_1} = 0, \quad \bar{v}|_{1,2,3,4} = V_{1,2,3,4}, \quad p|_{\Gamma_2} = p_{atm}, \quad (3)$$

$$C_j|_{t=0} = C_{j0}, \quad (4)$$

де p_{atm} – атмосферний тиск; Γ_1 і Γ_2 – змочена і вільна поверхні річкової системи відповідно; $V_{1,2,3,4}$ – середні швидкості руху води в притоках 1–4 (рис. 1) на границях м. Харків.

Швидкості $V_{1,2,3,4}$ вимірювалися в кожній з річок системи на границі м. Харків (рис. 1). Концентрації забруднюючих речовин вимірювалися в різних частинах системи та апроксимувалися сплайнами вздовж кожної з річок.

Чисельні розрахунки системи (1–2) з граничними та початковими умовами (3–4) проводилися за допомогою відкритого коду OpenGeoSys.¹ Приклад візуалізації результатів розрахунків рівню води в системі та загальної концентрації важких елементів (в ГДК) наведені на рис. 3, а та рис. 3, б відповідно.

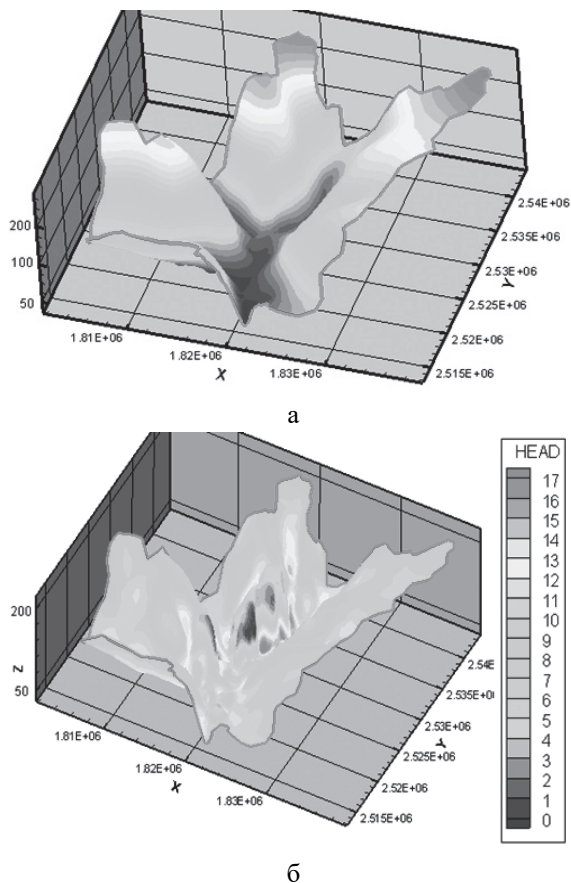


Рис. 3. Результати розрахунків рівню води (а) та розподілу концентрації заліза (б) за даними вимірювань 2016 р.

Валідація моделі проводилась шляхом порівняння з концентраціями в контрольних пробах води в різні роки в залежності від сезону, рівню опадів та швидкості течії. Оскільки в моделі (1–2) найбільш невизначеними параметрами є коефіцієнти q_j^+ і q_j^- , які розраховувалися відповідно до типу ґрунту, рівню атмосферних опадів, відомих джерел забруднень вздовж басейну, але їх реальні значення можуть суттєво відрізнятися у зв'язку з нествановленими джерелами забруднень, то після кожного циклу розрахунків робилась корекція цих коефіцієнтів для отримання різниці між вимірюваними та обчисленими концентраціями не більш ніж 0.01% та уточнення параметрів моделі. Уточнені значення за кожний рік заносилися до бази даних урболандшафтно-басейнової геоінформаційної системи на території м. Харків для подальшої статистичної обробки.

Результати та їх обговорення

Результати розрахунків рівню води в басейнової системі (рис. 3, а) протягом 2012–2018 рр. показали добру відповідність даним вимірювань вздовж рр. Харків, Лопань, Немиця і Уди.

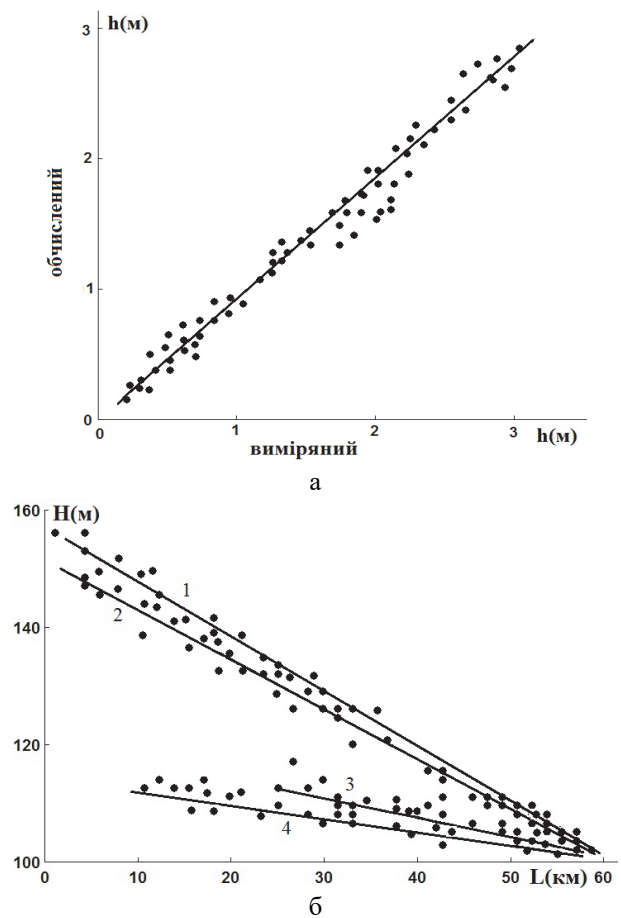


Рис. 4. Розподіл обчислених vs виміряних значень рівню води (h , в м від дна) – (а), та рівень води в чотирьох річках басейна (1–4, рис. 1) (H , в м над рівнем моря) вздовж їх басейнів

¹ Opengeosys.org

На рис. 4, а показана лінійна кореляція (коефіцієнт детермінації $R^2=0.918$) між розрахованими та вимірюваними значеннями рівню води $h(m)$ в тих самих перетинах річок з невеликою для гідрологічних даних дисперсією. На рис. 4, б наведено розрахований розподіл рівню води (в м над рівнем моря) в річках 1–4 (рис. 1) в різні роки (2014–2017).

Після уточнення коефіцієнтів моделі q_j^+ і q_j^- були проведені детальні розрахунки концентрацій речовин, які забруднюють, за рівняннями (2; 4) для кожної з речовин протягом кожного сезону року в залежності від погодних умов та запланованих заходів (водоскиди, чищення та поглиблення дна та ін.). Отримані дані занесені в базу даних для подальшої статистичної обробки.

В якості прикладу в табл. 1 наведені результати розрахунків концентрацій (в ГДК) речовин, які забруднюють, в водах р. Лопань вздовж її русла на території м. Харкова та відхилення значень обчислених та виміряних концентрацій (в %). Дані в першому стовбці ($x=L$) відповідають початковим даним, які були виміряні по транскордонному створу р. Лопань (кордон з РФ, с. Козача Лопань).

З табл. 1 витікає, що при використанні уточнених значень коефіцієнтів моделі (1–4) результати чисельних розрахунків мало відрізняються від даних вимірювань в той самий сезон року. Найбільші відмінності спостерігаються для значень важких елементів Cu та Co, джерелами яких є автотраси, з яких забруднення попадають до річок з поверхневими водами, а відповідні коефіцієнти q_{Cu}^+ і q_{Co}^+ залежать від локального автотрафіка та інших важливих для точної оцінки факторів. Крім того, високий вміст сульфатів, який обумовлений використанням мінеральних добрив на власних господарствах, а також продуктів переробки нафти, які потрапляють у поверхневі та річкові води внаслідок різних труднорозв'язуваних випадків.

Висновки

В результаті проведеного дослідження були вивчені гідрологічні параметри урболандшафтової басейнової геосистеми на території м. Харків, яка включає річки Харків, Лопань, Немишлю і Уди. За даними радарного сканування побудована точна

геометрична модель профілю місцевості геосистеми та проведені розрахунки рівню води, швидкості течії та концентрацій важких металів, сульфатів і нафтопродуктів в водах кожної з річок системи в середовищі Opengeosys.

Таблиця 1

Облічені значення концентрацій забруднюючих речовин вздовж р. Лопань на території м. Харків

Речовина	$x=L$	0.25L	0.5L	0.25L	$x=0$
Fe	1.9	1.72 0.02	1.35 0.025	3.28 0.01	0.92 0.03
Mn	3.1	2.34 0.02	2.65 0.02	1.38 0.03	1.12 0.02
Cu	2.6	2.52 0.02	3.15 0.03	3.43 0.04	2.28 0.02
Cr	3.0	2.44 0.01	2.16 0.01	2.23 0.02	1.15 0.03
Co	1.1	0.70 0.03	0.95 0.03	1.28 0.04	0.92 0.03
Сульфати	1.5	1.73 0.01	1.42 0.03	1.68 0.03	1.14 0.02
Нафто-продукти	1.2	1.45 0.03	1.38 0.04	1.32 0.02	1.25 0.04

Порівняння розрахованих та вимірюваних параметрів (концентрації, швидкості течії, рівень води) дозволило уточнити деякі з невизначених параметрів моделі та провести детальні розрахунки гідрологічних параметрів та рівню забрудненості річкових вод в кожному сезоні 2014–2017 рр.

Розраховані та виміряні дані розміщені в базі даних урболандшафтової басейнової геоінформаційної системи. Результати є новими і достовірними. Вони дають можливість систематично накопичувати як дані про рівень забруднень річкових вод на урбанізованій території м. Харків, так і показники, що характеризують динаміку накопичення кожного з забруднюючих елементів в придонному ґрунті, рослинах, спроможності екосистеми до самоочищення та інші важливі показники.

Напрямок подальших досліджень пов'язаний з обробкою отриманої інформації методами Big Data Analysis та розробці різних сценаріїв поведінки екосистеми при різних показниках динаміки чисельності населення на території міста, рівня споживання питної та технічної води, використання новітніх технологій очищення води та інших.

Список літератури

1. Wu P. Challenges for sustainable urbanization: a case study of water shortage and water environment changes in Shandong, China / P. Wu, M. Tan // Procedia Environ. Sci. – 2012. – Vol. 13, No. 3. – P. 919-927. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.085>.
2. House-Peters L.A. Urban water demand modeling: review of concepts, methods, and organizing principles / L.A. House-Peters, H. Chang // Water Resour. Res. – 2011. – Vol. 47, No. 5. – W05401. <https://doi.org/10.1029/2010WR009624>.
3. Application of system dynamics for developing financially self-sustaining management policies for water and wastewater systems / R. Rehan, M.A. Knight, C.T. Haas, A.J.A. Unger // Water Res. – 2011. – Vol. 45, No. 16. – P. 4737-4750. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.06.001>.

4. Yackinous W.S. Understanding Complex Ecosystem Dynamics / W.S. Yackinous. – Academic Press, 2015. – 228 p.
5. Rozos E. Source to tap urban water cycle modelling. / E. Rozos, C. Makropoulos // *Environ. Model. Softw.* – 2013. – Vol. 41, No. 3. – P.139-150. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.11.015>.
6. Determinants of residential water consumption: evidence and analysis from a 10-country household survey / R.Q. Grafton, M.B. Ward, H. To, T. Kompas // *Water Resour. Res.* – 2011. – Vol. 47, No. 1. – W08537. <https://doi.org/10.1029/2010WR009685>.
7. Global water resources: vulnerability from climate change and population growth / C.J. Vörösmarty, P. Green, J. Salisbury, R.B. Lammers // *Science.* – 2000. – Vol. 289, No. 5477. – P. 284-292. <https://doi.org/10.1126/science.289.5477.284>.
8. Thermo-Hydro-Mechanical-Chemical Processes in Porous Media: Benchmarks and Examples / Ed. by O. Kolditz, U.-J. Goerke, H. Shao, W. Wang. – Springer Science Business Media, 2012. – 399 p.
9. Ричак Н.Л. Оцінка навантаження поверхневого стоку на водний об'єкт в умовах урболандшафту / Н.Л. Ричак, О.М. Гричаний // *Людина і довкілля. Проблеми неоекології.* – 2019. – Вип. № 31. – С. 104-107.
10. Ричак Н.Л. Розрахунок екологічного збитку від поверхневих вод атмосферного походження (на прикладі житлової підсистеми) / Н.Л. Ричак, В.М. Московкін, В.В. Кузнецова // *Вісник Харківського університету ім. В.Н. Каразіна Серія “Геологія – Географія – Геологія – Екологія”:* Збірник наукових праць. – 2016. – Вип. № 44. – С. 177-184.
11. Кизилова Н.Н. Математическая модель переноса загрязнений в бассейне реки Лопань на территории г. Харькова / Н.Н. Кизилова, Н.Л. Рычак // *Зб. праць XVIII Міжнародного симпозиуму “Методи дискретних особливостей в задачах математичної фізики” (МДОЗМФ-2017).* –Харків. – 2017. – С. 123-127.

References

1. Wu, P. and Tan, M. (2012), Challenges for sustainable urbanization: a case study of water shortage and water environment changes in Shandong, China, *Procedia Environ. Sci.*, Vol. 13, No. 3, pp. 919-927. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.085>.
2. House-Peters, L.A. and Chang, H. (2011), Urban water demand modeling: review of concepts, methods, and organizing principles, *Water Resour. Res.*, Vol. 47, No. 5, W05401. <https://doi.org/10.1029/2010WR009624>.
3. Rehan, R., Knight, M.A., Haas, C.T. and Unger, A.J.A. (2011), Application of system dynamics for developing financially self-sustaining management policies for water and wastewater systems, *Water Res.*, Vol. 45, No. 16, pp. 4737-4750. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.06.001>.
4. Yackinous, W.S. (2015), *Understanding Complex Ecosystem Dynamics*, Academic Press, 228 p.
5. Rozos, E. and Makropoulos, C. (2013), Source to tap urban water cycle modeling, *Environ. Model. Softw.*, Vol. 41, No. 3, pp. 139-150. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.11.015>.
6. Grafton, R.Q., Ward, M.B., To, H. and Kompas, T. (2011), Determinants of residential water consumption: evidence and analysis from a 10-country household survey, *Water Resour. Res.*, Vol. 47, No. 1, W08537. <https://doi.org/10.1029/2010WR009685>.
7. Vörösmarty, C.J., Green, P., Salisbury, J. and Lammers, R.B. (2000), Global water resources: vulnerability from climate change and population growth, *Science*, Vol. 289, No. 5477, pp. 284-292. <https://doi.org/10.1126/science.289.5477.284>.
8. Kolditz, O., Goerke, U.-J., Shao, H. and Wang, W. (2012), *Thermo-Hydro-Mechanical-Chemical Processes in Porous Media: Benchmarks and Examples*, Springer Science Business Media, 399 p.
9. Rychak, N.L. and Hrychanyi, O.M. (2019), “Otsinka navantazhennia poverkhnevoho stoku na vodnyi ob'iekt v umovakh urbolandshaftu” [Estimation of surface runoff load on a water body in an urban landscape], *Liudyna i dovkillia. Problemy neoeekologii*, No. 31. pp. 104-107.
10. Rychak, N.L., Moskovkin, V.M. and Kuznetsova, V.V. (2016), “Rozrahunok ekologichnogo zbytku vid poverhnevyyh vod atmosfernogo pohodzh (na pryklai zhytlovoi systemy)” [Calculations of ecological damage of surface waters of atmospheric origin (on the example of a housing subsystem)], *Bull. V.N. Karazin Kharkov National University, ser. Geology. Geography. Ecology*, No. 44, pp. 177-184.
11. Kizilova, N.N. and Rychak, N.L. (2017), “Matematicheskaja model perenosa zagriaznenij v bassejne reki Lopan na territorii g. Kharkov” [Mathematical model of transfer of pollutions in the riverbed of Lopan river on the territory of Kharkov city], *Proceedings of XVIII Intern. Symp. “Methods of discrete singularities in problems of mathematical physics”*, Kharkiv, pp. 123-127.

Надійшла до редколегії 12.09.2019

Схвалена до друку 15.10.2019

Відомості про авторів:

Кізілова Наталія Миколаївна
доктор фізико-математичних наук
професор Харківського національного
університету ім. В.Н. Каразіна,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-9981-7616>

Information about the authors:

Natalya Kizilova
Doctor of Physics and Mathematics
Professor of V.N. Karazin
Kharkiv National University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-9981-7616>

Ричак Наталія Львівна

кандидат екологічних наук
доцент Харківського національного
університету ім. В.Н.Каразіна,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-1620-3059>

Natalia Rychak

Candidate of Ecological Sciences
Associate Professor of V.N. Karazin
Kharkiv National University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1620-3059>

Руднев Юрій Ілліч

кандидат фізико-математичних наук
старший викладач Харківського
національного університету ім. В.Н.Каразіна,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-6590-2641>

Yuri Rudnev

Candidate of Physics and Mathematics
Senior Instructor of V.N. Karazin
Kharkiv National University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6590-2641>

**ПОДХОД СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИ К КОНТРОЛЮ НАД КАЧЕСТВОМ ВОДЫ
НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ**

Н.Н. Кизилова, Н.Л. Рычак, Ю.И. Руднев

Современные геоинформационные системы позволяют получать детальные количественные прогнозы необходимых объемов и качества питьевой воды на основе данных многолетних наблюдений и использования математических моделей, что особенно важно в городских районах в условиях мегаполисов с их развитой инфраструктурой и антропогенным воздействием на источники питьевой воды. В работе представлена информация о гидрогеологических характеристиках урбанизированной бассейновой геосистемы реки Харьков на территории города Харькова.

Приведены данные измерений уровня и скорости течения воды, концентраций загрязнений. С использованием радарных данных SRTM построена подробная трехмерная геометрическая модель профиля местности и проведены вычисления гидрологических параметров и концентраций загрязнений. Путем сравнения рассчитанных и измеренных данных проведено уточнение ряда неопределенных параметров модели.

На основе модели проведены детальные расчеты в разные сезоны 2014–2017 гг., которые записаны в базу данных геоинформационной системы для дальнейшей обработки. Получено хорошее соответствие численных данных результатам измерений. Определена особая экологическая опасность и наибольшее расхождение с данными в содержании в речных водах Co, Cu, сульфатов и нефтепродуктов. Новые результаты дают возможность изучать различные сценарии доступных объемов и качества воды на урбанизированных территориях.

Ключевые слова: геоинформатика, математическое моделирование, гидрогеология, речные русла, экология.

**SYSTEM DYNAMICS APPROACH TO CONTROL OVER WATER QUALITY
ON THE URBANIZED TERRITORIES**

N. Kizilova, N. Rychak, Y. Rudnev

Modern geoinformation systems provide accurate quantitative forecasts of available and quality of drinking and technical water resources based on the results of long-term observations. Their statistical analysis and mathematical models, which are especially important in megacities with their extensive infrastructure and anthropogenic impacts on drinking water sources. The models are based on geographic information systems, direct measurement data and detailed mathematical models of the dynamics of water systems. The paper provides information on hydrogeological objects located in the urban basins of the geological system of the Kharkov River on the territory of the Kharkov city.

The measurement data on the water level and flow speed along the rivers in the geological system, pollution concentrations in the water samplings (heavy metals, sulfates, petroleum products, etc.) are presented. Using SRTM radar data, a detailed three-dimensional geometric model of the landscape profile was constructed, and hydrological parameters and pollution concentrations were calculated. By comparing the calculated and measured data, a number of uncertain model parameters were determined.

Based on the corrected model, detailed calculations in different seasons of 2014-2017 years have been computed. Both measured and calculated data has been stored in the database of the geographic information system for further processing. A good agreement between the measured data and the results of mathematical modeling has been obtained. A special environmental hazard and the largest discrepancy between both data have been found for the content of Co, Cu, sulfates and oil products in river waters. New results make it possible to study various scenarios of the available volumes and quality of water in urban areas.

Keywords: geoinformatics, mathematical modeling, hydrogeology, river beds, ecology.