

тием путем построения структурной модели локально нестационарных контролируемых процессов.

2. Предложено использовать сравнительное оценивание вероятностей одиночных выбросов (раздельно по компонентам загрязнения) на основе анализа дисперсий вейвлет-коэффициентов гармонических составляющих контролируемых во времени компонент загрязнения. Нормировка этих вероятностей и оценка нижних границ для их значений может быть осуществлена в длительном эксперименте ( $T_H \rightarrow \infty$ ).

3. Использование такого вида анализа, во-первых, позволяет выявить регулярные частотные и фазовые особенности конечных (суточных, недельных и т.п.) рядов наблюдений, во-вторых, дает возможность оценивания по дисперсии вейвлет-коэффициентов амплитудные скачкообразные изменения регулярных локальных трендов разных частот.

**Список литературы:** 1. Володарський, С. Т. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю: навчальний посібник [Текст] / С. Т. Володарський, В. В. Кухарчук, В. О. Поджаренко, Г. Б. Сердюк. – Вінниця: Велес, 2001. – 219 с. 2. Фомин, Я. А. Теория выбросов случайных процессов [Текст] / Я. А. Фомин, / М.: Связь, 1980. – 216 с. 3. Левин, Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники: в 3-х кн. Кн. вторая [Текст] / Б. Р. Левин – М.: Сов. радио, 1975. – 392 с. 4. Малайчук, В. П. Інформаційно-вимірювальні технології неруйнівного контролю [Текст]: В. П. Малайчук, О. В. Мозговой, О. М. Петренко – Дніпропетровськ: РВВ ДНУ, 2001. – 240 с. 5. Богданович, И. Автоматизированные системы контроля и учета выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферу [Текст] / И. Богданович // Энергетика и ТЭК. – №2. – 2010. – С. 14 – 18. 6. Гейко, О. Н. Автоматизированный многокомпонентный контроль выбросов промышленных объектов в атмосферу [Текст] / О. Н. Гейко, И. Ш. Акмедзянов, Ю. М. Цвельх // Технология и конструирование электронной аппаратуры. – №5. – 2003. –

С.18 – 22. 7. Справочник по теории вероятностей и математической статистике [Текст] / под ред. В. С. Королюка – К.: Наукова думка, 1978. – 584 с. 8. Новиков, Л. В. Основы вейвлет-анализа сигналов. Учебное пособие. [Текст] / Л. В. Новиков // 1999. – 152 с. 9. Ososkov, G. Gaussian Wavelet Features and their Application for Analysis of Discretized Signals [Текст] / G. Ososkov, A. Shitov – Computer Physics Communication. – 2000. – Vol. 126. – pp. 149 – 157. 10. Шитов, А. Б. Разработка численных методов и программ, связанных с применением вейвлет-анализа для моделирования и обработки экспериментальных данных; дисс. докт. тех. наук; 05.13.18 / Андрей Борисович Шитов – Иваново., 2001. – 125 с. 11. Любимова, Н. А. Планирование контроля загрязняющих выбросов энергетических предприятий [Текст] / Н. А. Любимова // Системні дослідження та інформаційні технології. – №3. – 2014. – С. 35 – 41.

**Bibliography (transliterated):** 1. Volodarsky T., Kuharchuk N, (2001). Metrological support of measurement and control: Vinnitsa: Velez, 219. 2. Fomin, Y. A. (1980). Theory of random processes, 216. 3. Levin, B. (1975). Theoretical basis of statistical radio engineering: 3 kN. KN. second. Moscow: Owls. radio, 392. 4. Malajczuk, V., Brain, A., Petrenko, A. (2001). Information-measuring technologies of nondestructive testing: [proc.] Dnepropetrovsk: DNU RF, 240. 5. Bogdanovich, I. (2010). Automated system of control and accounting of emissions of pollutants and greenhouse gases into the atmosphere. Power and energy, № 2, 14–18. 6. Geyko, O, Akmedzyanov, I, Tcvelych, U. (2003). Automated multicomponent monitoring of industrial emissions into the atmosphere. Technology and electronic hardware design, № 5, 18–22. 7. Handbook on probability theory and mathematical statistics. (1978). Ed. by V. S. Korolyuk. Kiev: Naukova Dumka, 584. 8. Novikov, L. (1999). Foundations of wavelet signal analysis. A tutorial. Moscow: 152. 9. Ososkov, G., Shitov, A. (2000). Gaussian Wavelet Features and their Application for Analysis of Discretized Signals. Computer Physics Communication, Vol. 126, 149–157. 10. Shitov, A. (2001). Development of numerical methods and programs associated with the use of wavelet analysis for the modeling and processing of experimental data; Diss. doctor. technical Sciences; 05.13.18 / Andrey Shitov – Ivanovo, 125. 11. Lyubimova, N. (2014). Planning control pollution emissions of power plants. Systemn dozen informatin technology, № 3, 35–41.

Поступила (received) 22.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Любимова Ніна Олександрівна** – доктор технічних наук, Харківський національний аграрний університет ім. В.В.Докучаєва, професор кафедри "Механізації та електрифікації сільськогосподарського виробництва"; Харків, 62483, п/в «Докучаєво», навчальне містечко ХНАУ ім.В.В.Докучаєва, e-mail: [n.lioubimova@mail.ru](mailto:n.lioubimova@mail.ru).

**Lyubymova Nina** – doctor of technical sciences, professor, Kharkov National Agriculture University named after V.V. Dokuchaev; Professor of the Department "Mechanization and electrification of agricultural production Kharkov, 62483, Town of KHAU by V.V. Dokuchaev; e-mail: [n.lioubimova@mail.ru](mailto:n.lioubimova@mail.ru)

УДК 537.6+57.04+616-006

**Т. Ю. НІКОЛАЄНКО, Д. В. ШЕЛЕСТ, А. А. БІЛЮК, В. М. РУДЕНКО, Ю. А. СТУПАК, Є. В. ПИЛИПЧУК**

**РУХ І НАКОПИЧЕННЯ МАГНІТНИХ НАНОЧАСТОК В ЗОНІ ПУХЛИНИ ОРГАНІЗМУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ТВАРИН ПІД ВПЛИВОМ ПОСТІЙНОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ**

Запропоновано методику дослідження транспортування препарату на основі наночастинок магнетиту, кровотоком тварини та наведено перші результати її використання для вивчення характеру руху і процесів накопичення магнітних наночастинок в зоні пухлини у тварин з перешепленою карциномою легень Льюїса під впливом постійного магнітного поля з урахуванням параметрів кровообігу. Показано, що питома масова магнітна проникність органів може слугувати мірою накопичення наночастинок магнетиту у них. Зафіксовано більш виражене накопичення препарату в зоні пухлини при внутрішньочеревному способі введення.

**Ключові слова:** спрямований транспорт ліків, нанорідини, магнітна сприйнятливність.

©Т. Ю. Ніколаєнко, Д. В. Шелест, А. А. Білюк, В. М. Руденко, Ю. А. Ступак, Є. В. Пилипчук. 2015

**Вступ.** Експериментальне вивчення впливу зовнішнього магнітного поля на рух і перерозподіл магнітних наночастинок-носіїв лікарських засобів в багатоклітинному організмі є важливим при розробці магнітокерованих методів доставки молекул лікарських засобів, з'єднаних з магнітними наночастинами, у задану область організму [1, 2]. Для проведення таких досліджень необхідно у той чи інший спосіб вирішити задачу визначення концентрації магнітних наночастинок у зразках біологічного походження. Серед широкого арсеналу методів [3–7], що можуть бути використані для вирішення цієї задачі, найбільш простим та оперативним є метод, заснований на вимірюванні магнітних властивостей зразків [8]. Його реалізація не вимагає ні занадто складного і високовартісного експериментального обладнання, ані хімічної або ізотопної модифікації наночастинок. Вимірювальну систему [8] для реалізації такого способу вимірювання було нещодавно запропоновано авторами.

**Ціль та задачі дослідження.** Метою даної роботи є розробка методики для оцінки шляхів транспортування і накопичення магнітних наночастинок в організмі тварини та попередня її апробація з використанням наночастинок, кон'югованих із молекулою лікарського препарату доксорубіцину, під час пухлинного росту та впливу постійного магнітного поля.

1. Оцінити питому масову магнітну сприйнятливості органів дослідних тварин за умови внутрішньочеревного та внутрішньочеревного введення комплексного препарату.

2. Визначити найбільш оптимальний метод введення препарату (внутрішньо-венний чи -черевний).

**Матеріали і методи.** В основу запропонованої методики дослідження характеру руху і процесів накопичення магнітних наночастинок в зоні пухлини під впливом постійного магнітного поля з урахуванням параметрів кровообігу покладено взаємозв'язок між масовою концентрацією наночастинок магнетиту у рідинних системах або сухих сумішах із величиною магнітної проникності таких систем, а також – відповідну вимірювальну систему [8] для вимірювання магнітної проникності рідинних наносистем, розроблені авторами. Зазначена вимірювальна система дає змогу визначати ефективну магнітну проникність середовищ із точністю близько  $1 \cdot 10^{-5}$ , а вміст наночастинок магнетиту в одиниці об'єму зразка – не менше 20% у діапазоні концентрацій від 0,1 до 500 мг/мл. Завдяки цьому така система може бути застосована у медичній біофізиці для здійснення контролю кількості магнітних наночастинок у зразках біологічного походження.

Для відпрацювання методики визначення магнітних наночастинок у різних органах в пілотному дослідженні було використано 11 лабораторних мишей лінії C57Black, 9 із яких не мали пухлини і приймалися за контрольні, а двом іншим було прищеплено пухлину карциноми легень Льюїс. Час від пересадження пухлини двом останнім тваринам до виконання експериментів становив 30 і 20 днів.

На початку експерименту зазначеним двом тваринам вводили препарат, який являв собою рідинну наносистему, приготовану на основі дистильованої води, відфільтрованої через стерильний фільтр з діаметром пор 0,22 мкм, що містила також наночастки

магнетиту (середній діаметр 7,5 нм), вкриті шаром олеату натрію та кон'юговані з лікарським препаратом доксорубіцином (вир. ТЕВА (Ізраїль)). Масова концентрація магнетиту у препаратах становила 5,56 мг/мл, а доксорубіцину – 0,22 мг/мл. Одній з тварин препарати вводили внутрішньобрюшинно (0,2 мл, в область кишечника), а іншій – ретробульбарно (0,1 мл, в судину за оком). Одразу після введення препарату тварин фіксували у комірці квадрульної магнітної системи [9], індукція магнітного поля на внутрішній поверхні якої становила 1,2 Тл. Завдяки цьому зона організму тварини, в якій знаходилася пухлина, була вміщена у неоднорідне магнітне поле, яке сприяло локалізації магнітних наночастинок в зазначеній області. Час утримання тварин у магнітному полі складав 1,5 год, після чого тварин декапітували дислокацією шийних хребців з дотриманням правил гуманного поводження з експериментальними тваринами [10], та забирали внутрішні органи для дослідження.

Вимірювання магнітної проникності виконували окремо для кожного із досліджуваних внутрішніх органів тварин. Виміри проводили у три етапи. На першому етапі кожен з органів зважували та проводили калібрування системи вимірювання магнітної проникності для порожньої мікро пробірки типу епендорф та заповненої фізіологічним розчином. Систематична похибка вимірювання маси органів не перевищувала 0,005 г. На другому етапі кожен з органів вміщували в мікропробірку і вимірювали його магнітну проникність, після чого кожен з органів гомогенізували з фізіологічним розчином (0,9 % NaCl) у такий спосіб, щоб об'єм отриманого гомогенату складав 1,5 мл (для повного заповнення пробірки). На третьому етапі одержаними гомогенатами заповнювали мікропробірки та вимірювали їхню магнітну проникність.

При встановленні зв'язку між виміряним значенням магнітної проникності проб та вмістом наночастинок у них виходили з наступних міркувань. Одержуване за методикою [8] значення магнітної проникності розраховується виходячи з величини індуктивності вимірювальної котушки, а фактично – величини сумарного потоку  $\Phi$  вектора індукції магнітного поля через площу усіх витків котушки, яка дорівнює сумі добутків величини індукції магнітного поля  $B$  в площині витка та площі витків. Якщо припустити, що досліджуваний зразок має форму циліндра (повністю перебиває поперечний переріз комірки), площа  $S$  якого дорівнює площі витків котушки, а висота складає  $h$ , то за умови, що котушка вимірювальної системи намотана рівномірно й має постійну величину кількості витків на одиницю довжини (що дійсно має місце у використовуваній вимірювальної системи), кількість витків, магнітний потік через площу яких буде залежати від магнітної проникності зразка, дорівнюватиме:

$$N_{act} = N_0 \cdot h/l, \quad (1)$$

де  $N_0$  – загальна кількість витків котушки, а  $l$  – її довжина (у використовуваній вимірювальної системи  $l = 30$  мм). Це означає, що амплітудне значення магнітного потоку  $\Phi$  через усі витки котушки можна подати як:

$$\Phi = S \cdot (\mu_x \cdot N_{act} + \mu_a \cdot (N_0 - N_{act})) \cdot \mu_0 \cdot H, \quad (2)$$

де  $\mu_x$  – магнітна проникність зразка,  $\mu_a$  – магнітна проникність повітря (її можна прийняти рівною одиниці), а  $H$  є амплітудним значенням напруженості магнітного поля всередині котушки і не змінюється від внесення зразка у котушку. Величина  $H$  прямо пропорційна амплітудному значенню струму  $I$ , що протікає через котушку:  $H = c \cdot I$ , де  $c$  є сталою приладу. Таким чином, доходимо висновку, що виміряне значення індуктивності  $L$  буде:

$$L = ((\mu_x - 1) \cdot S \cdot h + S \cdot l) \cdot N_0 \cdot \mu_0 \cdot c / l, \quad (3)$$

причому добуток  $S \cdot h$  в цьому виразі є об'ємом  $V$  зразка, а добуток  $S \cdot l$  – об'ємом  $V_0$  вимірювальної комірки. Якщо увести тепер ефективну магнітну проникність вимірювальної комірки як  $\mu_{ef} = L/L_0$  (використовувана вимірювальна система дозволяє вимірювати саме таку величину), де  $L_0 = S \cdot N_0 \cdot \mu_0 \cdot c$  – індуктивність котушки вимірювальної системи, у яку не вміщено зразок, то для  $\mu_{ef}$  отримаємо вираз:

$$\mu_{ef} = 1 + (\mu_x - 1) \cdot V / V_0, \quad (4)$$

або

$$V_0 \cdot (\mu_{ef} - 1) = \chi_x \cdot V, \quad (5)$$

де  $\chi_x = \mu_x - 1$  – магнітна сприйнятливості зразка, яку можна, як показали тестові вимірювання, виконані у [8], можна вважати прямо пропорційною масовій концентрації магнітних наночастинок у зразку. Таким чином, зважаючи на те, що  $V_0$  є константою вимірювальної системи, можна зробити висновок, що між величинами  $\mu_{ef} - 1$  та масовою концентрацією  $C$  магнітних наночастинок у зразку існує зв'язок виду:

$$(\mu_{ef} - 1) / V = a \cdot C + b, \quad (6)$$

де  $a$  і  $b$  – константи, що залежать від властивостей конкретних наночастинок та матриці, у якій вони знаходяться. Так, для рідинних системи «магнетит+вода» (об'єм зразка становив 1,0 мл) у [8] було отримано співвідношення  $\mu_{ef} = 2,3 \cdot 10^{-5} + 3,8 \cdot 10^{-4} \cdot c$  [мг/мл].

Хоча зразки, що вивчаються в даній роботі, не є рідинними системами, адже роль «розчинника» для наночастинок відіграють тканини того чи іншого органу піддослідної тварини, викладені вище міркування, що привели до лінійного зв'язку між  $(\mu_{ef} - 1) / V$  та  $C$ , можна вважати справедливими і в цьому випадку. Щоправда, значення констант  $a$  і  $b$  тепер можуть бути різними для різних органів. Тому встановлене лінійне співвідношення даватиме змогу порівнювати вміст

наночастинок лише у однакових органах. Зважаючи на це, замість об'єму  $V$  органів можна використати їхні маси  $m$  (які можна виміряти більш точно, ніж об'єми органів), адже густину однакових органів можна вважати однаковою. Таким чином, саме величину  $(\mu_{ef} - 1) / m$ , – так звану питому масову магнітну сприйнятливості, – використовували в даній роботі як характеристики вмісту наночастинок у органах піддослідних тварин.

**Результати та обговорення.** У табл. 1 наведено маси органів піддослідних тварин: усереднені по усім мишам контрольної групи («контроль») та однієї з особин цієї групи («тварина №1»), а також – тварина «№2» (що мала пухлину і якій препарат вводили внутрішньочеревно) та «№3» (що мала пухлину і якій препарат вводили внутрішньовенно). Тварину «№1» було виокремлено як таку, у якій маси та магнітні властивості органів (див. нижче) є близькими до середніх по тваринах контрольної групи, і саме для органів тварини №1 вимірювання магнітних властивостей органів проводили як без додаткової обробки (цілих), так і у вигляді гомогенатів; щоправда, у цієї особини нирки були пошкоджені при заборі матеріалу, з цієї причини подальші вимірювання для них не проводили. Для тварин контрольної групи у таблиці 1 наведено як середні значення маси органів, так і середньоквадратичні відхилення від них (після знаку «±»).

Після проведення вимірювань ефективної магнітної проникності зразків із органів піддослідних тварин або гомогенатів цих органів від одержаних значень магнітної сприйнятливості віднімали внесок, зумовлений наявністю у вимірювальній комірці мікропобірки (який виконував роль контейнера) або заповненого фізрозчином (при обробці результатів вимірювання для гомогенатів) відповідно.

Вимірювання магнітних властивостей гомогенізованих органів виконували лише для тварин №1, №2 і №3, тоді як магнітні властивості цілих (негомогенізованих) органів проводили для органів усіх піддослідних тварин.

У табл. 2 та 3 наведено питому масову магнітну сприйнятливості органів піддослідних тварин (табл. 2) та одержаних із них гомогенатів (табл. 3).

Таблиця 1 – Маси органів піддослідних тварин (грам)

Орган	Контроль	Тварина №1	Тварина №2	Тварина №3
печінка	0,82 ± 0,08	0,89	0,89	1,00
нирка	0,19 ± 0,04	–	0,32	0,10
пухлина	–	–	1,78	2,99
легені	0,14 ± 0,03	0,17	0,33	0,60
селезінка	0,15 ± 0,05	0,22	0,23	0,20
серце	0,09 ± 0,03	0,13	0,17	0,12

Таблиця 2 – Питому масову магнітну сприйнятливості ( $10^{-5}$  1/г) органів піддослідних тварин, одержана для зразків цілих органів

Орган	Контроль	Тварина №1	Тварина №2	Тварина №3
печінка	4,4 ± 0,4	4,2	6,6*	15*
нирка	3,2 ± 1,1	–	2,4	23*
легені	9,8 ± 4,1	10	11	5,5*
пухлина	–	–	2,8	1,4
селезінка	12,1 ± 3,7	13	4,3*	6,1*
серце	3,6 ± 1,9	5,9	7,8*	6,1*

Таблиця 3 – Питома масова магнітна сприйнятливність ( $10^{-5}$  1/г) органів піддослідних тварин, одержана для зразків гомогенізованих зразків

Орган	Тварина №1	Тварина №2	Тварина №3
печінка	2,9	3,1	8,6*
нирка	–	1,8	3,3
легені	8,2	6,9	10
пухлина	–	1,6	0,9
селезінка	4,5	3,8	14*
серце	8,0	3,9*	12*

Із наведених даних випливає, що при внутрішньовенному способі введення питома магнітна проникність органів (а отже, і вміст наночасток магнетиту в них) виявилася загалом більшою, аніж при внутрішньочеревному введенні. Значний розкид значень магнітної проникності легень можна пояснити тим, що в процесі декапітації тварини об'єм крові, що міг потрапити у дихальні шляхи і далі – у легені, не контролювався.

На відміну від цього, питомих масовий вміст наночасток магнетиту в самій пухлині виявився більшим при внутрішньочеревному способі введення препарату, що дозволяє перейти до скринінгу даної речовини на біологічні властивості в лікуванні різних форм раку з допомогою таргетного впливу на мішень саме з цим способом введення.

Окрім дослідження магнітної проникності органів, було виконано вимірювання магнітної проникності крові тварини №3. Для цього було зібрано 0,55 мл крові тварини та змішано її з фізрозчином так, щоб загальний об'єм зразка становив 1,5 мл. Виміряне значення магнітної проникності такого зразка склало  $\mu = 1,0000460$ , а після виключення внеску мікропробірки з аналогічним об'ємом фізрозчину для питомої масової магнітної проникності крові (вважаючи її густину рівною  $1,0 \text{ г/см}^3$ ) отримано ( $\mu - \mu_{\text{комірк.}}/m = 3,8 \cdot 10^{-5}$  (1/г), що відповідає концентрації наночасток магнетиту 0,04 мг/мл за умови, що зв'язок масової концентрації наночасток та магнітної проникності зразку можна прийняти у вигляді, встановленому в [8]. Слід зазначити, щоправда, що така величина лежить на нижній границі чутливості використовуваного приладу, тож може слугувати лише як оцінка порядку величини. Разом з тим, загальна маса уведеного із препаратом магнетиту складала 0,6 мг, тож можна зробити висновок, що навіть за умови внутрішньовенного введення препарату його вміст у крові наприкінці експерименту є нехтовно малим. Це, вочевидь, означає, що уведені наночастинки накопичилися або у пухлині, або у внутрішніх органах тварини.

Це твердження повністю підтверджується даними табл. 2 і 3, згідно з якими питома масова магнітна проникність печінки і нирок №3, які препарат вводили внутрішньовенно, є у 3–7 разів вищою, аніж у цих органів тварин контрольної групи, хоча у тварини №2 такого ефекту не спостерігається. Той факт, що доволі істотна кількість наночасток накопичилася у печінці, нирках та селезінці (щодо останньої – див. дані табл. 3 для гомогенізованих органів) тварини може свідчити про хорошу фільтрувальну здатність цих органів, а у випадку селезінки – про активацію захисних механізмів.

Якщо припустити, що коефіцієнт пропорційності між концентрацією наночастинок і питомою масовою (на один міліграм) магнітною сприйнятливістю органів є близьким до такого у рідинній системі «магнетит+вода» ( $3,8 \cdot 10^{-4}$ ) або суміші «магнетит+оксид кремнію» ( $3,3 \cdot 10^{-4}$ ), то масовий вміст магнетиту у нирках тварини №3 можна оцінити у  $\sim 0,1$  мг, а у печінці –  $\sim 0,2$  мг. Отже, загалом ці органи накопичили близько половини наночастинок із введеного у кров тварини препарату.

Слід відмітити також, що у випадку внутрішньочеревного введення препарату концентрація наночастинок магнетиту в органах тварини №2 виявилася загалом нижчою, а у пухлині – вищою, ніж у тварини №3. З врахуванням наведених вище фактів цей ефект видається очікуваним, оскільки при внутрішньочеревному введенні препарат не «вимивався» кровотоком і більш ефективно утримувався в області пухлини, вміщеної в зовнішнє магнітне поле.

**Висновки.** Запропоновано методику дослідження транспорту магнітних наночасток в організмі тварини на основі вивчення магнітних властивостей органів декапітованої тварини. Показано, що питома масова магнітна проникність органів може слугувати мірою накопичення наночастинок магнетиту у них. Запропоновану методику застосовано до вивчення перерозподілу наночасток магнетиту, кон'югованих із молекулою лікарського препарату доксорубіцину, в зоні пухлини організму лабораторної тварини під впливом постійного магнітного поля при двох різних способах введення препарату в організм тварини. Зафіксовано, що при внутрішньовенному способі введення значна частина введеного препарату (близько половини) накопичується в печінці, нирках та селезінці. В подальшому видається доцільним поширити розпочаті дослідження на більшу кількість піддослідних тварин задля з'ясування величини статистичного розкиду вимірюваних значень і одержання не лише якісних, але і кількісних відомостей про перерозподіл уведеного препарату на основі магнітних наночастинок в організмі лабораторної тварини.

*Роботу виконано в рамках теми молодих вчених Київського національного університету імені Тараса Шевченка №15БФ051-01*

**Список літератури:** 1. Горбик, П. П. Синтез и свойства магнитных жидкостей на основе наноразмерного  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  [Текст] / П. П. Горбик, Н. В. Абрамов, А. Л. Петрановская [и др.] // Поверхность. – 2011. – №. 3(18) – С. 245 – 257. 2. Пилипчук, Е. В. Синтез и свойства нанокompозитов на основе магнетита, модифицированного диэтилен-триазинпентауксусной кислотой [Текст] / Е. В. Пилипчук, А. Л. Петрановская, П. П. Горбик // Наноструктурное материаловедение. – 2012. – № 3. – С. 47. 3. Sarid, D. Scanning force microscopy: with

applications to electric, magnetic, and atomic forces [Текст] / D. Sarid. – New York: Oxford University Press, 1994. – 263 p. **4. Неведов, В. И.** Рентгеноэлектронная спектроскопия химических соединений [Текст] / В. И. Неведов. – Москва: Химия. – 1984. – 256 с. **5. Sahoo, Y.** Aqueous ferrofluid of magnetite nanoparticles: fluorescence labeling and magnetophoretic control [Текст] / Y. Sahoo, A. Goodarzi, M. T. Swihart, [et al] // J. Phys. Chem. B. – 2005. – № 109(9). – P. 3879–3885. **6. Kempe, S.** Application of electron paramagnetic resonance (EPR) spectroscopy and imaging in drug delivery research—chances and challenges [Текст] / S. Kempe, H. Metz, K. Mäder // Eur J Pharm Biopharm. – 2010. – Vol. 74(1). – P. 55–66. **7. Knopp, T.** Magnetic particle imaging: an introduction to imaging principles and scanner instrumentation [Текст] / T. Knopp, T. M. Vuzug. – Berlin: Springer-Verlag, 2012. – 204 p. **8. Николаенко, Т. Ю.** Визначення фізико-хімічних властивостей рідких наносистем на основі вимірювання магнітної проникності [Текст] / Т. Ю. Николаенко, С. В. Пилипчук. – Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Серія: фізико-математичні науки. – 2015. – №2. – прийнято до друку **9.** Вимірювальна система для визначення кількості магнітних частинок у зразку / Т. Ю. Николаенко, К. В. Черевко // Заявка на корисну модель № u201505803 від 12.06.2015 р. **10. Workman, P, et al.** (2010) Guidelines for the welfare and use of animals in cancer research [Текст] / P. Workman, E. O. Aboagye, F. Balkwill [et al.] // British J. Cancer 102:1555–1577.

**Bibliography (transliterated):** **1. Horbyk, P., Abramov, N., Petranovskaya, A., Turelyk, M., Pilipchuk, E., Oranskaya, E., Konchits,**

**A., Shevchenko, Yu.** (2011). Syntez y svoystva mahnytnukh zhydkostey na osnove nanorazmernogo Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. «Poverkhnost'», 3(18), 245 – 257. **2. Pylypchuk, E., Petranovskaya, A., Horbyk, P.** (2012). Syntez y svoystva nanokompozytov na osnove mahnytyta, modyfytsirovannoho dyetylentryazynpentauksusnoy kyslotoy. «Nanostrukturnoe materyalovedenye», 3, 47. **3. Sarid, D.** (1994). Scanning force microscopy: with applications to electric, magnetic, and atomic forces. New York: Oxford University Press, 263. **4. Nefedov, V.** (1984). Rentgenoelektronnaya spektroskopyya khymycheskykh soedynenyy. Moskva: Khymyya, 256. **5. Sahoo, Y., Goodarzi, A., Swihart, M.** [et al] (2005). Aqueous ferrofluid of magnetite nanoparticles: fluorescence labeling and magnetophoretic control. J. Phys. Chem. B., 109(9), 3879–3885. **6. Kempe, S., Metz, H., Mäder, K.** (2010). Application of electron paramagnetic resonance (EPR) spectroscopy and imaging in drug delivery research—chances and challenges. Eur J Pharm Biopharm, 74(1), 55–66. **7. Knopp, T., Vuzug, T.** (2012). Magnetic particle imaging: an introduction to imaging principles and scanner instrumentation. Berlin: Springer-Verlag, 204. **8. Nikolayenko T., Pylypchuk, E.** (2015). Vyznachennya fizyko-khimichnykh vlastyvostry ridnyykh nanosystem na osnovi vymiryuvannya mahnitnoyi pronykhnosti. Visnyk Kyivskoho natsional'noho univertsytetu imeni Tarasa Shevchenka, Seriya: fizyko-matematychni nauky, 2, pryynyato do druku. **9.** Vymiryuval'na systema dlya vyznachennya kil'kosti mahnitnykh chastynok u zrazku (2015). Nikolayenko T., Cherevko K. Zayavka na korysnu model' # u201505803 vid 12.06.2015. **10. Workman, P, Aboagye, E., Balkwill, F. et al.** (2010). Guidelines for the welfare and use of animals in cancer research. British J. Cancer, 102, 1555–1577.

Надійшла (received) 21.12.2015

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Николаенко Тимофій Юрійович** – кандидат фізико-математичних наук, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, асистент кафедри молекулярної фізики фізичного факультету; вул. Володимирська, 64/13, м. Київ, Україна, 01601; e-mail: [tim\\_mail@ukr.net](mailto:tim_mail@ukr.net).

**Шелест Дмитро Васильович** – аспірант, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, кафедра біохімії ННЦ «Інститут біології»; вул. Володимирська, 64/13, м. Київ, Україна, 01601; тел.: 068-235-51-70; e-mail: [diemondos@gmail.com](mailto:diemondos@gmail.com).

**Билук Анастасія Анатоліївна** – аспірант, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, кафедра біохімії ННЦ «Інститут біології»; вул. Володимирська, 64/13, м. Київ, Україна, 01601; тел.: 099-052-75-52; e-mail: [nastya\\_biluk@mail.ru](mailto:nastya_biluk@mail.ru).

**Руденко Вікторія Михайлівна** – студент, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, кафедра біохімії ННЦ «Інститут біології»; вул. Володимирська, 64/13, м. Київ, Україна, 01601; e-mail: [vrudenko@bigmir.ru](mailto:vrudenko@bigmir.ru).

**Ступак Юлія Андріївна** – інженер, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, кафедра біохімії ННЦ «Інститут біології»; вул. Володимирська, 64/13, м. Київ, Україна, 01601; e-mail: [liudmylagarmanchuk@rambler.ru](mailto:liudmylagarmanchuk@rambler.ru).

**Пилипчук Євген Володимирович** – кандидат хімічних наук, Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка НАН України, молодший науковий співробітник; вул. Генерала Наумова, 17, м. Київ, Україна, 03164; e-mail: [chemind@ukr.net](mailto:chemind@ukr.net).

УДК 004.942+574.51

**Д. Д. ДУБОВИК**

#### АЛГОРИТМ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЕМОВ

Рассматривается моделирование состояния искусственных водохранилищ. Разработан алгоритм построения информационной модели для оценки экологического состояния искусственных водоемов. Для сравнения уровней концентраций веществ в воде по зонам водохранилища в информационной модели используется ранговый анализ. Каждое вещество характеризуется динамикой изменения его концентрации, которая описывается соответствующей графической характеристикой. Подобные графики позволяют определить уровень загрязнения в нужный момент времени, допускают возможность изучения динамики загрязнения в определенном интервале времени наблюдения, что дает возможность получить статистические оценки для решения задачи наблюдения, например, по сезонам.

**Ключевые слова:** информационная модель, искусственное водохранилище, математическая модель, база данных, элемент, система, мониторинг, полином, оптимизация.

© Д. Д. Дубовик. 2015