

УДК 556.114:543.395

В.М. АРТАМОНОВ, канд.техн.наук, доц., І.М. КУЗИК, канд.техн.наук, доц.,
А.М. КАМУЗ, асп. (Донецький національний технічний університет)

ДОСЛІДЖЕННЯ КАПІЛЯРНИХ ЯВИЩ ДЛЯ РІЗНИХ ТИПІВ ВОД ЯК ОСНОВА ДЛЯ ГІС-МОДЕЛЮВАННЯ

Здійснено моделювання капілярних явищ з використанням води різного походження та капілярів кількох діаметрів. За деякими критеріями оцінено параметри капілярів і властивості вод, що можуть бути застосовані під час досліджень з апробації приладу для визначення поверхнево-активних вод у доквіллі та для картографічного моделювання.

Вивчення капілярних явищ дозволяє дослідити вплив поверхнево-активних речовин (ПАР) на доквілля. Поверхнево-активні речовини завдяки своїм негативним властивостям здатні завдати шкоди навколишньому середовищу [1]. Нами здійснено дослідження капілярних явищ шляхом моделювання процесу капілярного підняття вод різного походження.

У якості робочого тіла використовуються води: водопровідна, тала, дистильована, фільтрована, колодязна, морська, снігова та інші. Такий широкий перелік дозволяє не схибити при виявленні наявності ПАР у гідро мережі регіону. Отримані проби вод дають змогу застосувати геоінформаційні системи (ГІС) для оцінки якості та оперативного реагування на критичну наявність ПАР. Гідро мережа регіону з нанесенням характеристики вод у часі та просторі дозволяє здійснювати моніторинг та прогноз ситуації, що є важливою умовою при своєчасному прийнятті рішень по виявленню джерел забруднення та їх знешкодження.

Метою дослідження є визначення оптимального діаметру капіляра та найбільш ефективного робочого тіла для проведення експерименту з апробації пристрою, який дасть змогу визначати концентрацію ПАР у воді.

Для досягнення мети постало питання вирішення наступних завдань:

- 1) Провести аналіз результатів існуючих досліджень капілярних явищ.
- 2) Відібрати проби води та здійснити операції щодо їх підготовки (у разі необхідності).
- 3) Розробити критерії вибору капілярів і робочого тіла.
- 4) Провести експеримент щодо визначення висот підняття вод по капілярах.
- 5) Виконати статистичну обробку отриманих результатів.
- 6) Сформулювати висновки по роботі.

Використання водних розчинів у якості робочого тіла для зниження пилоутворення, газовиділення та підвищення змочуваності поверхонь з різних речовин застосовується достатньо широко. Вода має високий рівень поверхневого натягу, який суттєво змінюється при наявності ПАР [6]. Концентрація ПАР у водних розчинах залежить від мети використання. Враховуючи, що застосування ПАР носить системний характер практично у всіх галузях промисловості, необхідно визначити зміст їх у воді різного типу. Це має велике значення для вод, що формують гідросистему регіону, що досліджується. Теоретичні та лабораторні дослідження стосовно використання ПАР у водних розчинах, проводилися в ДонНТУ протягом останніх років [8]. Виявлено ПАР, які найбільш широко використовуються у промисловості з урахуванням зміни висоти підняття розчину по капілярам різного діаметру . Сьогодні важливо визначити для якої води капілярний ефект максимальний, щоб на цій основі провести виміри концентрації

ПАР за допомогою експрес-методів, будь то час проходження визначеного об'єму розчину по капіляру чи висота підняття його у капілярі, що занурюється в рідину[7].

Для дослідів було забрано щомісячно на протязі 2008-2009 років по дев'ять проб води різного походження: водопровідна, тала, дистильована, фільтрована, колодязна, колодязна тала, морська, снігова(забрана у центрі м. Донецьк і на околицях м. Дружківка).

Таке різноманіття вод необхідно для всеохоплюючого моделювання з метою складання карт водних джерел, що забруднені поверхнево-активними речовинами.

Для досліджень використано капіляри зі внутрішнім діаметром 0,7; 0,9; 1,0 і 1,3 мм. Капіляри вказаних чотирьох діаметрів було відібрано за результатами попередніх пілотних досліджень як найбільш прийнятні.

Суть дослідження полягає у визначенні величини висоти підняття водного розчину по капіляру, який занурюється у хімічну склянку з водним розчином. Підняття вод по капіляру зумовлене дією капілярних сил.

Вимірювання проводиться лінійкою від поверхні водного розчину у склянці до меніска водного стовпа у капілярі. Після кожного занурення капіляр висушується шляхом видування медичною клізмою залишків водного розчину ПАР із капіляра. Така процедура є вкрай необхідною, тому що вплив залишків на подальше проведення експерименту є суттєвим через дію великих міжмолекулярних сил, створених на виході з капіляра.

Для отримання достовірного результату проводиться мінімум десять дослідів для кожного випадку використання одиниці обладнання (чотири капіляри) та одиниці робочого тіла (дев'ять типів вод). Тож, у цілому проведено 360 дослідів зі зняттям показань висоти підняття водного розчину по капілярах.

Отримані експериментальним шляхом вибірки були перевірені на однорідність, що дозволило виключити випадкові викиди за рівня значущості 0,05 [2]. Застосування до вибірових даних критерію згоди Колмогорова–Смирнова не дало підстав для відкидання гіпотези про нормальне розподілення емпіричних вибірових даних при такому ж рівні значущості. Отже, в подальшому визначальними характеристиками є математичне очікування (середнє значення) та дисперсія.

За отриманими результатами математичного очікування висоти підняття різних типів вод по капілярах різного діаметру (табл. 1) здійснено аналіз.

Табл. 1. Середні результати висоти підняття вод по капілярах, мм

Капіляр		Тип води								
позна-чення	діаметр, мм	водопровідна	водопровідна тала	дистильована	фільтрована	колодязна	колодязна тала	морська	снігова Донецьк	снігова Дружківка
d ₁	0,7	6,18	5,41	11,27	10,76	6,32	6,04	5,37	8,52	7,22
d ₂	0,9	4,12	5,07	8,80	9,91	4,61	4,87	5,67	4,24	6,91
d ₃	1,0	7,17	5,27	7,13	8,30	6,81	7,10	5,97	7,66	7,13
d ₄	1,3	3,65	5,05	5,47	5,49	6,50	5,99	5,46	3,90	4,57

Аналіз результатів висоти підняття різних типів вод по капілярах різного діаметру проводився за декількома критеріями, внаслідок чого ми прийняли для подальших досліджень кінцеву воду та капіляр.

Першим критерієм вибору вод слугувало умовне прийняття у якості базової (еталонної, ідеальної, чистої з точки зору забруднення поверхнево-активними речовинами) дистильованої води [3]. При цьому приймаємо вірним твердження, що висота підняття прямо пропорційно залежить від концентрації ПАР у воді. Тобто, при додаванні ПАР до води, отримуємо водний розчин ПАР, висота підняття якого по капіляру є вищою, ніж висота підняття чистої води.

Тож, за даними табл. 1 для капіляра 1 ($d = 0,7$ мм) найменш забрудненою поверхнево-активними речовинами є морська вода (рис. 1), дистильована ж вода є найбільш забрудненою.

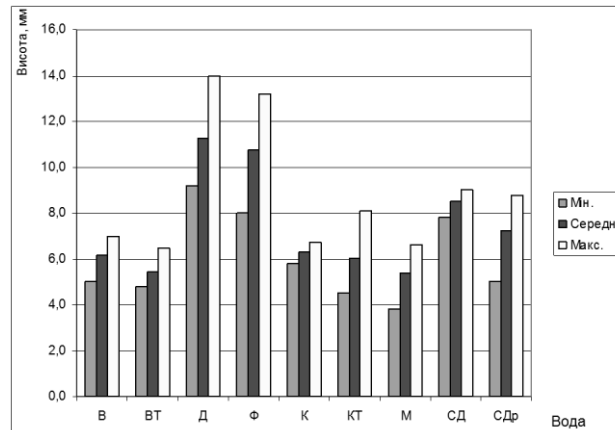


Рис. 1. Результати висоти підняття водного стовпчика по капіляру 1 діаметром 0,7 мм: В – водопровідна вода; ВТ – водопровідна тала; Д – дистильована; Ф – фільтрована; К – колодязна; КТ – колодязна тала; М – морська; СД – снігова (Донецьк); СДр – снігова (Дружківка)

Подібні дослідження проведені для тих же видів вод, але з капілярами діаметром $d_2 = 0,9$ мм, $d_3 = 1,0$ мм, $d_4 = 1,3$ мм.

Усі інші типи вод є менш забрудненими ПАР, ніж дистильована вода.

Для капіляра 2 ($d_2 = 0,9$ мм) найчистішою є водопровідна вода, найбільш забрудненою – фільтрована.

Інші типи вод є менш забрудненими, ніж дистильована.

Підняття водного стовпчика по капіляру 3 ($d_3 = 1,0$ мм) показало, що найчистішою водою є водопровідна тала.

Менш чистими, ніж водопровідна тала, є морська та колодязна типи вод. Снігова, забрана у м. Дружківка, на тому ж рівні забруднена поверхнево-активними речовинами, що й дистильована. Значно гіршої якості інші типи вод (водопровідна, снігова, забрана у м. Донецьк, фільтрована).

У ході дослідження результатів підняття вод по капіляру 4 ($d = 1,3$ мм) ряд вод вишикувався у наступному порядку зменшення рівня забруднення поверхнево-активними речовинами: колодязна, колодязна тала, фільтрована, морська, дистильована (як еталон), водопровідна тала, снігова (Дружківка), снігова (Донецьк), водопровідна.

Тож, знову водопровідна вода визнана найчистішою.

Таким чином, на основі вищевикладеного можна стверджувати:

1. Згідно критерію прямої залежності висоти підняття від концентрації ПАР найчистішою з точки зору забруднення поверхнево-активними речовинами є водопровідна (капіляри $d = 0,9$ мм і $d = 1,3$ мм), або ж водопровідна тала ($d = 1,0$ мм), або ж морська вода ($d = 0,7$ мм). Тож, їх можна використовувати у якості базових для подальших досліджень.

2. Дистильована та фільтрована типи вод не є найчистішими. Гіпотеза відкинута.
3. Талі води завжди значно чистіші, ніж вода того ж походження, яка не пройшла процесу заморожування-розморожування.
4. Снігова вода, отримана шляхом розтоплення снігу, забраного в екологічно чистому районі (поодаль від підприємств у селищі невеликого міста), не завжди містить менше поверхнево-активних речовин, ніж отримана зі снігу, забраного у більш екологічно неблагополучному регіоні (у центрі великого міста неподалік від великого об'єкту металургії).

Другий критерій – прийняття типу вод і капілярів за купчастістю результатів. У даному випадку визначальним є показник дисперсії по кожному із типів води.

Представлення результатів у вигляді пелюсткових діаграм (рис. 2–5) дає змогу візуально оцінити купчастість, тобто мінімальний розмах висот підняття вод серед десяти проведених дослідів у кожному випадку.

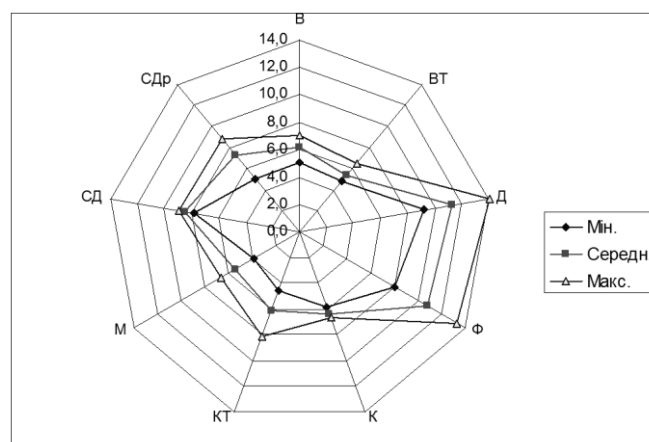


Рис. 2. Результати висоти підняття водного стовпчика по капіляру 1 діаметром 0,7 мм (пелюсткова діаграма): В – водопровідна вода; ВТ – водопровідна тала; Д – дистильована; Ф – фільтрована; К – колодязна; КТ – колодязна тала; М – морська; СД – снігова (Донецьк); СДр – снігова (Дружківка)

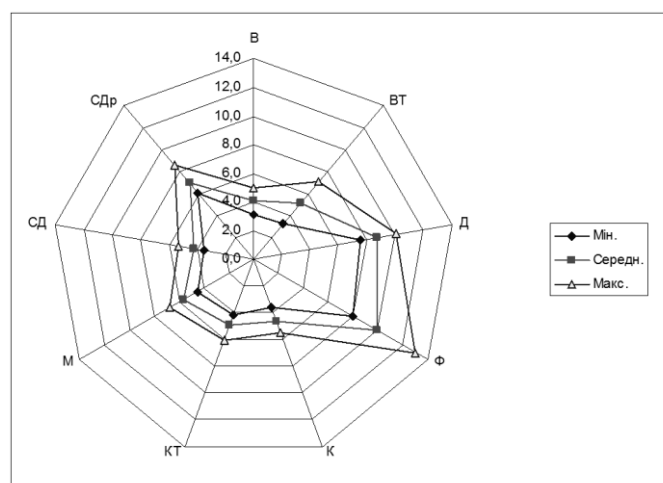


Рис. 3. Результати висоти підняття водного стовпчика по капіляру 2 діаметром 0,9 мм (пелюсткова діаграма)

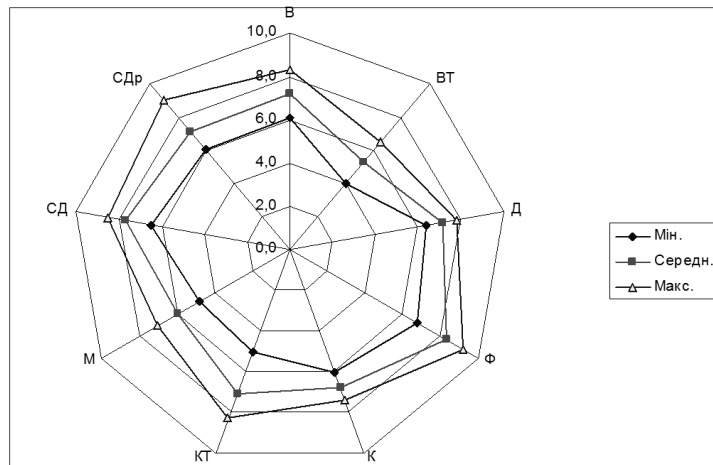


Рис. 4. Результати висоти підняття водного стовпчика по капіляру 3 діаметром 1,0 мм (пелюсткова діаграма)

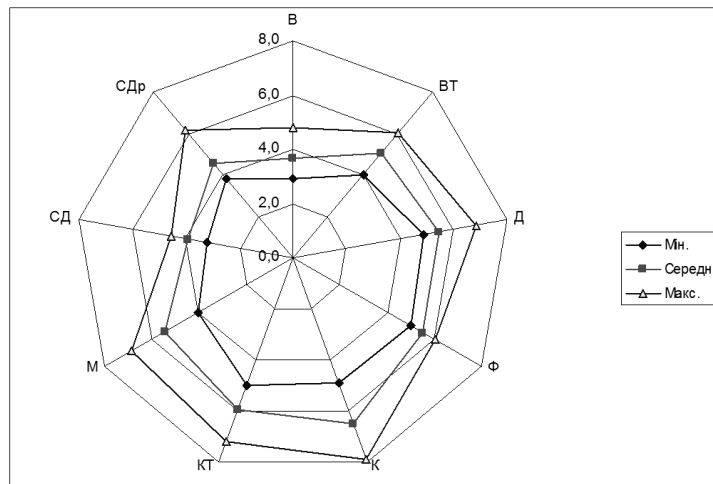


Рис. 5. Результати висоти підняття водного стовпчика по капіляру 4 діаметром 1,3 мм (пелюсткова діаграма)

Для точного оцінювання будемо користуватися отриманими у ході статистичної обробки дисперсіями (табл. 2).

Табл. 2. Дисперсії висот підняття вод по капілярах

Капіляр		Тип води								
позначення	діаметр, мм	водопровідна	водопровідна тала	дистильована	фільтрована	колодязна	колодязна тала	морська	снігова Донецьк	снігова Дружківка
d ₁	0,7	0,44	0,32	2,60	2,75	0,09	1,36	0,73	0,16	1,67
d ₂	0,9	0,34	1,46	0,75	2,21	0,40	0,39	0,35	0,32	0,56
d ₃	1,0	0,49	0,74	0,26	1,01	0,13	1,06	0,61	0,32	1,01
d ₄	1,3	0,37	0,40	0,44	0,23	1,22	0,64	1,07	0,13	0,57

Зазвичай високу купчастість результатів помічено при піднятті розтопленої снігової води, забраної в м. Донецьк, а також колодязної. Їх можна використовувати у якості базових для подальших досліджень. При цьому капіляром, при застосуванні якого найчастіше спостерігається висока купчастість, незалежно від типу води, є капіляр 2 ($d = 0,9$ мм).

Наступний (третій) критерій – перевірка твердження залежності висоти підняття вод від діаметру капіляра, що полягає у наступному: з ростом діаметру капіляра висота підняття стовпчика води зменшується [4].

Для цього необхідно мати наочну картину для порівняння математичного очікування висоти підняття вод для кожного з капілярів (рис. 6).

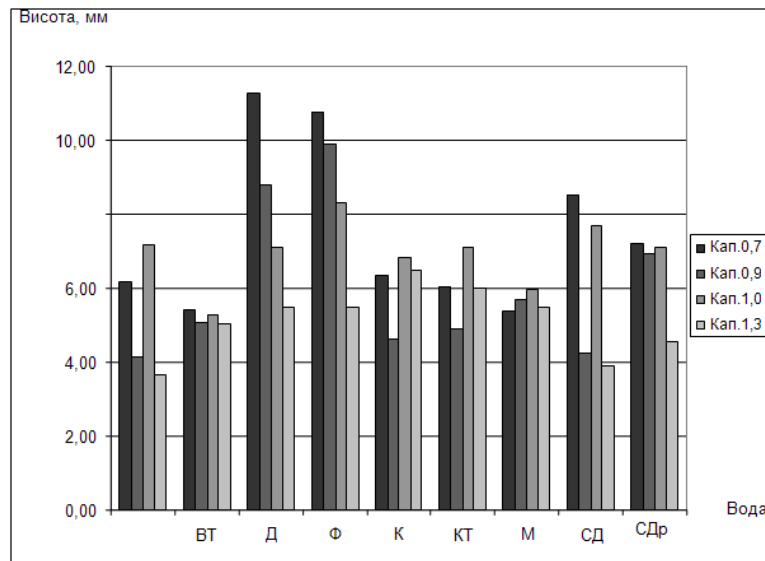


Рис. 6. Результати математичного очікування висот підняття вод у розрізі капілярів

Дистильована та фільтрована типи води відповідають згаданому твердженню (див. рис. 6). Тож, їх можна взяти у якості базових для подальших досліджень.

При цьому також із рис. 6 видно, що для водопровідної талої та морської типів води не має значення, якого діаметру капіляр, бо отримані середні показники висот підняття цих вод мають приблизно одне і те ж значення.

Порівнюючи результати аналізу, отримані за першим і третім критеріями оцінки, отримуємо антитвердження: дистильована та фільтрована типи води не є найчистішими (перший критерій), але вони найбільш підпорядковуються закону залежності висоти підняття води по капіляру від діаметру капіляра (третій критерій).

Ще одне спостереження, що вигідно характеризує водопровідну талу і морську типи вод: вони зазвичай показують найменшу висоту підняття по капілярах різних діаметрів (перший критерій), проте у той же час не залежать від вибору капіляра для досліджень (третій критерій).

Таким чином, водопровідну, талу і морську типи вод можна брати у якості базових для готування робочих розчинів поверхнево-активних речовин, з подальшою метою вироблення параметрів пристрою (у тому числі й діаметру капіляра) для визначення наявності ПАВ у різних типах вод і обґрунтування основ картографічного моделювання гідро мережі, як однієї з складових екологічної мережі.

Основою побудови екомережі є гідросистема району, області, держави. Джерела водозабезпечення поєднують у собі:

- опади (дощ, сніг, град);
- природні джерела (річки, моря інші поверхневі води);

штучні джерела (колодязі, шахти, кар'єри тощо).

Забруднення водної мережі відбувається завдяки діяльності людини (технологічні процеси із застосуванням ПАР) [7,8]. Постійне накопичення змісту ПАР у воді та на дні водойм при відсутності технології по попередженню від розповсюдження ПАР послідовно призводить до забруднення джерел, потім річок, морів. Як визначити в якій мірі забруднені ПАР водоймища та ріки Донецької області? Для цього необхідно:

визначити об'єми надходжень ПАР в гідромережу;

обрахувати об'єми стоків ручаїв, рік у регіоні;

визначити об'єми інших забруднюючих речовин із прив'язкою до гідромережі.

Послідовний відбір проб води на присутність ПАР та їх визначення необхідно здійснювати на усьому шляху руху водяних потоків від початку до злиття ручаїв, річок та до місця, де ріка вливається у море. Необхідна кількість відборів проб води повинна відповідати надійності результатів, що дозволить нанести виміри на гідромережу та отримати мапу розповсюдження забруднення ПАР водяних джерел регіону. Також виникає можливість виявити епіцентри з максимальним забрудненням, що дасть можливість своєчасно прийняти міри з їх ліквідації. На нашу думку при проектуванні гідромережі треба рухатись від часткового до загального, враховуючи ступінь забруднення джерел, ручаїв, річок, малих річок, озер та морів.

Топографічна прив'язка до гідромережі усіх підприємств, що забруднюють воду, дозволить виявити найбільший вплив на розповсюдження ПАР в регіоні формування екомережі. Постійний контроль змісту води дозволить своєчасно контролювати карту регіону та оперативно приймати рішення щодо запобігання екологічних аварій та катастроф. На прикладі визначення змісту ПАР у воді можна виконати дослідження по іншим шкідливим речовинам при визначеному рейтингу небезпеки.

Складання електронних карт водної мережі регіону дасть можливість ефективного управління екологічною безпекою регіону, охороною довкілля та раціональним використанням природних ресурсів, плануванням заходів по попередженню та ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру[5]. При цьому визначаються:

- чинники техногенного та антропогенного впливу на довкілля та здоров'я людей;
- рівень знання про стан довкілля та можливість оперативного управління екологічною ситуацією;
- ефективне планування заходів по попередженню і ліквідації надзвичайних ситуацій щодо водної мережі.

Бібліографічний список

1. Поверхностно-активные вещества : справочник / [А. А. Абрамзон, В. В. Бочаров, Г. М. Гаевой и др.] ; под ред. А. А. Абрамзона и Г. М. Гаевого. – Л. : Химия, 1979. – 376 с. : ил.
2. Айвазян С. А. Статистическое исследование зависимостей (Применение методов корреляционного и регрессионного анализов к обработке эксперимента) / С. А. Айвазян. – М. : Металлургия, 1968. – 227 с.
3. Очистка питьевой воды и ее параметры [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.ekomarket.ru/?page_name=project/second&id=1255.
4. Енохович А. С. Справочник по физике и технике : учеб. пособие для учащихся. – 2-е изд., перераб. и доп. / А. С. Енохович. – М. : Просвещение, 1983. – 255 с. : ил.
5. Греков Л.Д., Красовський Г.Я., Чабанов О.І. Картографічні моделі антропогенного навантаження водних об'єктів . Збірник наукових праць VII Міжнародної науково-практичної конференції « Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою , природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях», Київ-Харків-АР Крим,2008, с.5-20.

6. Артамонов В. Н. Разработка подходов к скринингу поверхностно-активных веществ в окружающей среде // Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: новые методы и технологии исследований. Том IV: Экологическая безопасность, инновации и устойчивое развитие. Образование для устойчивого развития / В. Н. Артамонов, А. М. Камуз ; под ред. проф. Латыповой В. З. и доц. Яковлевой О. Г. – Казань : Изд-во «Отечество», 2009. – С. 109–112.

7. Артамонов В. М. Застосування поверхнево-активних речовин як загроза для довкілля / В. М. Артамонов, А. М. Камуз ; редкол. : А. Г. Шапар (голов. ред.) та ін. // Проблеми природокористування, сталого розвитку та техногенної безпеки регіонів. Матеріали п'ятої міжнародної науково-практичної конференції ; м. Дніпропетровськ, Україна, 06–09 жовтня 2009 р. : у 2-х частинах. – Ч. 1. – Дніпропетровськ : ІППЕ НАНУ, 2009. – С. 95–97.

8. Артамонов В. М. Використання поверхнево-активних речовин і вирішення проблем забруднення природних водних об'єктів. Геотехнологии и управление производством XXI века / В. М. Артамонов, А. М. Камуз / Сборник научных трудов II международной научно-практической конференции в г.Донецке 2-3 октября 2007 года. - Донецк: ДонНТУ, 2007. - С.260-265.

Надійшла до редколегії 05.09.2009

В.М. АРТАМОНОВ, І.М. КУЗЫК, А.М. КАМУЗ

ИССЛЕДОВАНИЕ КАПИЛЯРНЫХ ЯВЛЕНИЙ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ВОД КАК ОСНОВА ДЛЯ ГИС-МОДЕЛИРОВАНИЯ

Осуществлено моделирование капиллярных явлений с использованием воды различного происхождения и капилляров нескольких диаметров. По нескольким критериям оценены параметры капилляров и свойства вод, которые могут быть использованы во время исследований по апробации прибора для определения поверхностно-активных вод в окружающей среде и для картографического моделирования.

V. ARTAMONOV, I. KUZYK, A. KAMUZ

A STUDY OF CAPILLARY PHENOMENA FOR VARIOUS TYPES OF WATER AS A BASIS FOR GIS MODELING

Simulation of capillary phenomena with the use of waters of different origin and capillaries of different diameters was carried out. Capillaries parameters and properties of waters which can be used during the research on testing the device for determining the surface-active waters in nature and for cartographic modeling were evaluated according to several criteria.

© В.М. Артамонов, І.М. Кузык, А.М. Камуз, 2010