

**ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ**

УДК 504 : 556.32 (477.81)

А. Бровко, асп.  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська 90, м. Київ, 03022 Україна,  
E-mail: nastia.brovko@gmail.com;

Г. Бровко, ст. викладач  
ННІ водного господарства та природооблаштування,  
Національний університет водного господарства та природокористування,  
вул. Приходька, 79, м. Рівне, 33002, Україна,  
E-mail: brovko\_egr@mail.ru;

О. Кошляков, зав. каф., д-р геол. наук  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська 90, м. Київ, 03022 Україна  
E-mail: kosh@univ.kiev.ua

**ОЦІНКА СТІЙКОСТІ СТАНУ ҐРУНТОВИХ ВОД ЯК МЕТОДОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД  
ПРИ ВИВЧЕННІ ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ПІДЗЕМНІ ВОДИ  
(НА ПРИКЛАДІ ҐРУНТОВИХ ВОД НА ТЕРИТОРІЇ РІВНЕНСЬКОЇ АЕС)**

*(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мінералог. наук, проф. М.М. Коржневим)*

**Мета** – оцінити стійкість системи ґрунтових вод на території впливу Рівненської АЕС (РАЕС) до дії техногенного навантаження. При оцінці стійкості системи ґрунтових вод застосовано статистичні методи та методи математико-картографічного моделювання. Охарактеризовано гідродинамічну, гідрогеохімічну та гідрогеотермічну складові системи ґрунтових вод у часі. Оцінено ступінь стійкості ґрунтових вод до техногенного навантаження на території промислових РАЕС. Встановлено, що цей вплив проявляється у вигляді хімічних та температурних змін. Спостерігається підвищення мінералізації ґрунтових вод та їх температури. Наразі, цей вплив носить локальний характер з тенденцією до захоплення все більшої території в часі. Надійність результатів дослідження підтверджено за допомогою двох методологічних підходів – статистичного та математико-картографічного. Стан ґрунтових вод, відповідно до загального екологічного стану, визначено як слабо порушений, а зону екологічного стану – як ризик.

**Ключові слова:** система ґрунтових вод, стійкість системи, техногенне навантаження, ГС.

**Актуальність дослідження.** В умовах техногенного навантаження на навколишнє природне середовище постійно справляється негативний вплив, який спричинює розвиток деградаційних процесів як у природі в цілому, так і в окремих її складових. Наслідком цього є втрата природними системами стійкості та здатності до відновлення. Особливо небезпечним та інтенсивним розвиток цих процесів є на територіях з розвинутою інфраструктурою та промисловістю. Територія дослідження знаходиться в районі впливу Рівненської АЕС (РАЕС), тому тут особливо гостро постає питання оцінки та забезпечення стійкості природних систем.

Оцінка ступеня техногенного впливу на систему ґрунтових вод є визначальною в цьому питанні, адже саме ґрунтові води можна виділити як найбільш чутливу до змін буферну зону. Вона найшвидше реагує на будь-які зміни, спричинені техногенним впливом, і виступає у ролі маркуючого горизонту стосовно напрямку процесів, які відбуваються у підземній гідросфері. Тому далі розглядається суто техногенний вплив на ґрунтові води як систему.

**Аналіз останніх досліджень.** В умовах постійного нарощування техногенного впливу на довкілля та збільшення площ змінених (техногенних) територій, еколого-геологічні дослідження набувають прикладного спрямування й покликані кількісно оцінити цей вплив на навколишнє середовище в цілому чи на окремі його системи.

Питання оцінки стійкості природних систем до антропогенних та техногенних навантажень у своїх працях порушують П.Г. Шищенко, М.Д. Гродзинський, А.М. Трофімов, А.Л. Рагозін, О.М. Адаменко, О.Є. Кошляков, М.Н. Жуков та ін.

У низці своїх робіт П.Г. Шищенко та М.Д. Гродзинський пропонують визначати величину природних та антропогенних навантажень із застосуванням підходу, розробленого ними на основі теорії надійності, де стійкість системи розглядається з позиції складової надійності [1].

У своїй роботі О.Є. Кошляков одним із підходів до оцінки стійкості природних систем пропонує математико-статистичний, такий, що ґрунтується на порівнянні гістограм розподілу відносних частот показника на різні періоди часу [2].

В.Т. Трофімов та Д.Г. Зилінг [3] ранжують екологічні стани систем порушень з виділенням таких зон екологічного стану системи, як норма, ризик, криза та лихо. Таким чином можна отримати шкалу відповідності окремої природної системи екологічному стану території.

**Метою** дослідження є оцінка стійкості ґрунтових вод на території РАЕС до техногенного навантаження.

**Методика.** У широкому розумінні природна система – це клас полігеокомпонентних систем, які виділяються з реального тривимірного фізичного простору як його певний об'єм, у межах якого протягом деякого інтервалу часу природні елементи та процеси, завдяки існуючим між ними та із зовнішнім середовищем відношенням певного типу (генетико-еволюційним, позиційним, речовинно-потоківим тощо), упорядковуються у відповідні цим відношенням структури з характерними інваріантами та динамічними змінами [1]. Інваріантність при цьому розглядається як фундаментальна властивість геосистеми. У точних науках інваріант задається як число, але для природних систем доцільніше оцінювати його як інтервальний параметр (діапазон значень), вихід за межі якого свідчить про трансформацію геосистеми у інший тип.

Головною характеристикою стійкої природної системи є її структура. У межах однієї й тієї самої природної системи можна виділити декілька структур. Оскільки не існує загальноприйнятих правил для їх виділення, то в кожному окремому випадку слід орієнтуватись на ціль дослідження. Тому, в нашому випадку, надалі мова буде вестись суто про техногенний вплив на ґрунтові води як природну систему. При підході до виділення структури системи ґрунтових вод з точки зору гідрогеології, у загальному вигляді її можна представити у вигляді схеми (рис. 1):

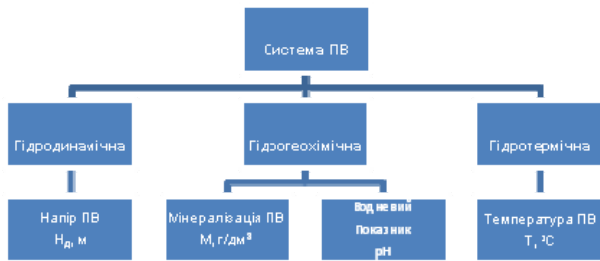


Рис. 1. Структура природної системи ґрунтових вод

При цьому структурні елементи, визначені для кожного структурного компоненту, є одночасно й інваріантами цієї системи.

Для оцінювання стійкості геосистем розроблено багато методів, зокрема, статистичні, графічні, аналітичні. В ході цього дослідження застосовуються статистичний та геоінформаційний підходи.

Статистичний підхід при оцінці ступеня техногенного впливу на ґрунтові води реалізовується на основі методики Шищенко-Гродзинського із застосуванням методу оцінювання показників за частотою подій (відмов, відновлень), основою для якої зазвичай стають результати багаторічних моніторингових досліджень. За умови достатньої репрезентативності вибірки (числа обстежених виділів геосистем), ймовірність інертності геосисте-

ми  $p_i(\Delta t)$  та ймовірність виникнення відмови  $q_i(\Delta t)$  визначають за співвідношеннями [1]:

$$p_i(\Delta t) = [N - n_i(\Delta t)] / N, \quad (1)$$

$$q_i(\Delta t) = n_i(\Delta t) / n, \quad (2)$$

$$p_i(\Delta t) = 1 - q_i(\Delta t), \quad (3)$$

де  $n_i(\Delta t)$  – число геосистем, які протягом часу ( $\Delta t$ ) знаходились у стані відмови  $i$ -го виду.

Показники інтенсивності відмов і відновлення на момент часу  $t_i$  розраховуються за формулами:

$$\lambda(t_i) = \frac{N(t_i) - N(t_{i+1})}{N(t_i) \cdot (t_{i+1} - t_i)}; \mu(t_i) = \frac{n_b(t_{i+1}) - n_b(t_i)}{n(t_i) \cdot (t_{i+1} - t_i)}. \quad (4)$$

Показники щільності відмов і відновлення на момент часу  $t_i$  розраховуються, відповідно, за формулами:

$$f(t_i) = \frac{N(t_i) - N(t_{i+1})}{N(t_i) \cdot (t_{i+1} - t_i)}; g(t_i) = \frac{n_b(t_{i+1}) - n_b(t_i)}{n(t_i) \cdot (t_{i+1} - t_i)}. \quad (5)$$

Наведені вище формули доцільно застосовувати за умови великих вибірок. Якщо вибірка невелика, отримані за цими формулами оцінки стану геосистеми можуть бути зміщеними від справжніх значень. Тому розрахунки для даних періодичного обстеження геосистеми в такому випадку доцільно проводити за такими формулами:

$$q(t_i) = \frac{\sum_{i=1}^n n(\Delta_i - 0,3)}{[N(t_i) + 0,4]}; \quad (6)$$

$$\lambda(t_i) = \frac{n(\Delta_i)}{(N(t_i) - \sum_{i=1}^i n(\Delta_i) + 0,7) \cdot \left[ \left( t_{i+1} + \frac{\Delta_{i+1} \cdot n(\Delta_{i+1})}{n(\Delta_{i+1}) + 1} \right) - \left( t_i + \frac{\Delta_i \cdot n(\Delta_i)}{n(\Delta_i) + 1} \right) \right]}; \quad (7)$$

$$f(t_i) = \frac{[n(\Delta_i)]}{\left\{ (N(t_i) + 0,4) \cdot \left[ \left( t_{i+1} + \frac{\Delta_{i+1} \cdot n(\Delta_{i+1})}{n(\Delta_{i+1}) + 1} \right) - \left( t_i + \frac{\Delta_i \cdot n(\Delta_i)}{n(\Delta_i) + 1} \right) \right] \right\}}. \quad (8)$$

Геоінформаційний підхід ґрунтується на математи-ко-картографічному моделюванні розподілу по площі гідродинамічної ( $H_d$ ), гідрогеохімічної ( $M, pH$ ) та гідротермічної ( $T$ ) складових системи підземних вод на різні періоди часу [2].

Враховуючи нерегулярність розподілу по площі точок спостережень, на базі програмного продукту ArcView GIS 3.2a генеруються представницькі вибірки зі значеннями рівня ґрунтових вод (РГВ), їх мінералізації та температури на різні періоди часу. Ця процедура може бути виконана в такій послідовності (рис. 2):



Рис. 2. Схема підготовки даних для застосування програмного продукту ArcView GIS 3.2a

На основі растрових поверхонь можливим є застосування оверлейного аналізу, тобто картографічного накладання, результатом якого є нова растрова поверхня, яка відображає зміни, що відбулись з показником протягом визначеного періоду часу.

Встановлення змін у системі ґрунтових вод та їх величини відбувається шляхом порівняння гістограм розподілу показника для різних періодів часу (з використанням відносних частот). За умови відсутності змін показника протягом різних періодів часу, суми відносних частот гістограм мають бути рівними 1 [2].

**Виклад основного матеріалу.** Оцінка ступеня техногенного впливу на ґрунтові води від роботи ПАЕС проводилась на основі моніторингових даних із 26 свердловин, розташованих на території проммайданчика. Для аналізу обрано 3 періоди часу:

- 1986 р – початок роботи ПАЕС;
- 1997 р – проміжний період,
- 2014 р – сучасний етап роботи ПАЕС.

Для реалізації статистичного підходу обрано чотири види відмов – мінералізація, рН, температура та РГВ. За нормальних умов функціонування системи її інваріанти знаходяться в межах визначених діапазонів значень. Визначення інваріантних значень відбувалось на основі аналізу фонових значень цих показників на території досліджень. Необхідно звернути увагу на те, що встановлення інваріантів та їхніх діапазонів має суб'єктивний характер і залежить від мети дослідження. При вивченні стійкості ґрунтових вод на території дослідження до виділення інваріантів і встановлення їхніх меж автори теж підійшли суб'єктивно.

Води водоносного комплексу в четвертинних відкладах на території впливу РАЕС ультрапрісні-прісні, що є характерним для ґрунтових вод північної частини Волино-Подільського артезіанського басейну (ВПАБ). Величини їхньої мінералізації коливаються від 0,02 до 0,50 г/дм<sup>3</sup>. Зважаючи на це, область інваріантних значень для хімічної відмови підземних вод було обмежено діапазоном значень 0,01-0,60 г/дм<sup>3</sup>.

Щодо кислотності середовища, то на території впливу РАЕС воно визначається як слаболужне з показником рН у окремих свердловинах 10-11. Про вплив кількості атмосферних опадів на кислотність підземних вод як головний фактор у цьому випадку стверджувати недоцільно, оскільки збільшення рН відбувається не на всій площі дослідження, а локально. До того ж, причиною цього також може бути потрапляння до підземних вод хімічних сполук з ґрунту. Тому діапазон інваріантних значень для рН-зміни прийнято в межах 6,0-9,5.

Температура ґрунтових вод тут коливається в межах 9-12°C, а РГВ знаходиться не вище 5 м від земної поверхні. Величини залягання РГВ на території дослідження знаходяться в межах, дозволених будівельними нормами, що виключає можливість їхнього виходу за межі інваріантних значень. Тому статистична оцінка цього показника в подальшому не виконувалась.

Показники стійкості геосистеми розраховувались для трьох періодів часу й відображають величину тех-

ногенного впливу протягом досліджуваного часу та на окремі періоди. В межах дослідження стійкість системи ґрунтових вод оцінювалась на основі показників імовірності виникнення відмови  $i$ -го  $q(\Delta t)$ , інтенсивності відмови  $i$ -го виду  $\lambda(\Delta t)$  та щільності відмов  $i$ -го виду  $f(\Delta t)$ .

Математико-картографічне моделювання проводилось для тих самих показників і на ті самі періоди часу. За умови знаходження величин РГВ у межах інваріантних значень, проведено математико-картографічне моделювання з метою виявити напрямки їхніх змін. Оцінка коливання РГВ дозволила встановити, що РГВ не піднімається вище, ніж на 5 м до денної поверхні, а на периферії проммайданчика він встановлюється на глибинах 15-25 м. Станом на 2014 р, у північно-західній частині проммайданчика РГВ зник купол ґрунтових вод, який утворився там одразу після запуску електростанції. Паралельно із тим, формування й ріст у часі такого купола спостерігається у центральній і східній його частинах з початком будівництва та запуску 4-го реактора (рис. 3).

У результаті виконаних розрахунків встановлено, що протягом тривалого періоду експлуатації РАЕС (28 років) стан ґрунтових вод у межах проммайданчика зазнав значних змін, що підтверджено дослідженнями із застосуванням різних методологічних підходів. При цьому, різниця в результатах оцінки змін стану при застосуванні статистичного та геоінформаційного підходів не перевищує 17% (табл. 1).

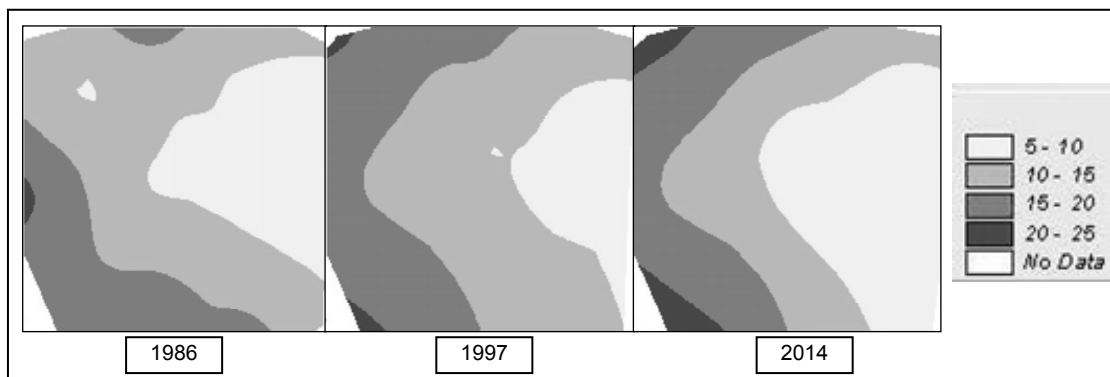


Рис. 3. Картограма глибини залягання ґрунтових вод на території проммайданчика РАЕС

Зміни гідрогеологічних показників ґрунтових вод на території проммайданчика РАЕС  
внаслідок дії техногенного навантаження

Таблиця 1

Показник	Методологічний підхід	Зміни показника, %		
		Рік		
		1986	1997	2104
Мінералізація	статистичний	86	75	48
	геоінформаційний	-	95	85
Температура	статистичний	90	84	76
	геоінформаційний	-	94	88
рН	статистичний	97	90	59
	геоінформаційний	-	75	91

В обох випадках за шкалою відповідності ґрунтових вод екологічному стану території (згідно з В.Т. Трофімовим та Д.Г. Зилінгом [3]) він визначається як слабопорушений, а зона екологічного стану – як ризик.

**Висновки.** За період з 1986 р по 2014 р відбулось погіршення стану ґрунтових вод, а отже, й екологічного стану геологічного середовища в цілому.

Техногенний вплив на ґрунтові води відбувається у вигляді хімічних та температурних змін. Наразі, такий вплив носить локальний характер з тенденцією до захоплення більшої частини території в часі, що підтверджено розрахунками на різні періоди.

За даними моніторингових досліджень встановлено, що найбільше хімічне та теплове забруднення ґрунтових вод відбувається в районі градирень електростанції. Тут, у окремих свердловинах, величина мінералізації станом на 2014 р сягає 4,0 г/дм<sup>3</sup>, а вміст сульфатів – 2,0 г/дм<sup>3</sup>. Кислотність водного середовища має мілкий характер зі зміною показника рН від 4 до 11,5. Гідротермальний стан також неоднаковий і, при фонових значеннях температури води від 10,5 до 12,0°C, у окремих свердловинах вона підвищується до 22,5-24,0°C.

Що стосується гідродинамічного стану ґрунтових вод, то його можна назвати відносно стабільним. Коливання РГВ тут відбувається в межах, дозволених буді-

вельними нормами. Після запуску РАЕС, у північно-західній частині проммайданчика внаслідок значних водних втрат із гідротехнічних споруд утворився купол ґрунтових вод, який з роками зменшувався у розмірі й у 2014 р практично зник. Паралельно із тим, утворення такого купола розпочалось у центральній та північно-східній частині проммайданчика в процесі будівництва й подальшої експлуатації 4-го реактора. Тут спостерігається розростання купола, площа поширення якого у 2014 р становить вже близько 0,5 км<sup>2</sup>.

На решті території сезонні та багаторічні коливання РГВ залежать від кількості атмосферних опадів. Після екранування днищ та бокових стінок гідротехнічних споруд, втрати із них якщо й є, то вони не значні. Їхній вплив, швидше, виявляється у хімізмі ґрунтових вод.

#### Список використаних джерел

1. Гродзинський М.Д., (1995). Стійкість геосистем до антропогенних навантажень. К.: Лікей, 233 с.  
Grodzynskij M.D., (1995). Geosystem's resistance to anthropogenic loads [Stijkiest geosystem do antropogennyh navantazhen]. Kyiv, Likej, 233 p. (In Ukrainian).

**A. Brovko, Postgraduate Student**  
Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv  
90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine  
E-mail: nastia.brovko@gmail.com;

**G. Brovko, Senior Lecturer**  
Institute of Water Management and Nature Resources Use  
National University of Water management and Nature Resources Use  
79 Prykhodka Str., Rivne, 33002 Ukraine  
E-mail: brovko\_egp@mail.ru;

**O. Koshlyakov, Head of Department, Dr. Sci. (Geol.)**  
Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv  
90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine  
E-mail: kosh@univ.kiev.ua

### ESTIMATION OF GEOSYSTEM STABILITY AS A METHODOLOGICAL APPROACH FOR DETERMINATION OF THE TECHNOGENIC IMPACT ON GROUNDWATER (CASE STUDY OF QUATERNARY AQUIFER ON THE TERRITORY OF RIVNE NPP)

*The goal of the research is to determine the degree of stability for the Quaternary aquifer against technogenic impacts on the territory of Rivne NPP (Rivne nuclear power plant). When estimating groundwater stability the statistical methods and methods of mathematical and cartographic modeling were applied.*

*Hydrodynamic, hydrogeochemical and hydrogeothermal components of groundwater system in time were characterized. The degree of groundwater stability to anthropogenic impact was estimated on the Rivne NPP industrial site. It was established that this impact revealed itself in chemical and hydrothermal changes. We observed increase in mineralization and temperature of groundwater. For today this effect is of local character with a tendency to capture more and more territory in the course of time.*

*Reliability of the results of this research is confirmed by using two methodological approaches, namely, statistical and mathematical cartography. The groundwater condition is defined to be weakly broken in accordance with the general environmental state, and the ecological status of the zone is determined as a risk zone.*

**Keywords:** groundwater system, system's stability, technogenic impact, GIS.

**A. Бровко, асп.**  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
УНІ "Інститут геології", ул. Васильківська, 90, г. Київ, 03022, Україна,  
E-mail: nastia.brovko@gmail.com;

**Г. Бровко, ст. преподаватель**  
Інститут водного господарства і природопользования,  
Національний університет водного господарства і природопользования,  
ул. Приходько, 79, г. Ровно, 33002, Україна,  
E-mail: brovko\_egp@mail.ru;

**А. Кошляков, зав. каф., д-р геол. наук, проф.**  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
УНІ "Інститут геології", ул. Васильківська, 90, г. Київ, 03022, Україна,  
E-mail: kosh@univ.kiev.ua

### ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД КАК МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ (НА ПРИМЕРЕ ГРУНТОВЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ РИВНЕНСКОЙ АЭС)

*Цель – оценить степень устойчивости грунтовых вод на территории влияния Ривненской АЭС (РАЭС) к воздействию техногенной нагрузки. При оценке устойчивости грунтовых вод применены статистические методы, а также методы математико-картографического моделирования. Охарактеризованы гидродинамическая, гидрогеохимическая и гидрогеотермическая составляющие системы грунтовых вод во времени. Оценена степень устойчивости грунтовых вод к техногенной нагрузке на территории промплощадки РАЭС. Установлено, что это влияние проявляется в виде химических и температурных изменений. Наблюдается повышение минерализации грунтовых вод и их температуры. На данный момент, это влияние носит локальный характер с тенденцией к захвату все большей территории во времени. Надежность результатов исследования подтверждена с помощью двух методологических подходов – статистического и математико-картографического. Состояние грунтовых вод в соответствии с общим экологическим состоянием определено как слабо нарушенное, а зона экологического состояния – как риск.*

**Ключевые слова:** система грунтовых вод, устойчивость системы, техногенная нагрузка, ГИС.

2. Кошляков О.С., (2011). Мониторинг гидрогеодинамической складовой геологического срединища урбанизованных территорий (на основе ГИС): дисертация на здобуття наук. ступеня д-ра геол. наук : 04.00.05 "Геологична інформатика". Київ.

Koshlyakov O.E., (2011). Geological environment hydrogeodynamic component monitoring for urban territories (on a GIS basis) [Monitoring hydrogeodynamicnoi skladovoi geologichnogo seredovyssha urbanizovanykh terytorij (na osnovi GIS)]: thesis for the Dr. Sci. degree: 04.00.05 "Geoinformatics" [dysertacija na zdobuttia nauk. stupeniu d-ra geol. nauk : 04.00.05 "Geologichna informatyka"]. Kyiv. (In Ukrainian).

3. Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г., (2002). Экологическая геология: учебник. М.: ЗАО "Геоинформмарк", 415 с.

Trofimov V.T., Ziling D.G., (2002). Ecological geology. Moscow, Geoinformmark, 415 p. (In Russian).

4. Шалімов М.О., (2006). Ландшафтна екологія. Конспект лекцій для студентів спеціальності 7.07080 – екологія і охорона навколишнього середовища. Одеса: Наука і техніка, 152 с.

Shalimov M.O., (2006). Landscape Ecology. Conspectus for students of 7.07080 - Ecology and Environment Protection [Landschaftna ekologiya. Konspekt lekcij dlya studentiv specialnosti 7.07080 – ekologiya i okhorona navkolyshnogo seredovyssha]. Odesa: Science and technique - Nauka i tehnika, 152 p. (In Ukrainian).

5. Sanz D., Kastano S., Gomez-Alday J.J., (2012). GIS applied to the Hydrogeologic Characterization – Examples to Mancha Oriental Aquifer (SE Spain). Application of Geographic Information Systems, 197-218.

Надійшла до редколегії 21.04.15