

УДК 504.45

ПРОГНОЗУВАННЯ КИСНЕВОГО РЕЖИМУ РІЧКИ СІВЕРСЬКИЙ ДОНЕЦЬ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

БЕЗСОННИЙ В. Л.¹, *провідний інженер*,
ТРЕТЬЯКОВ О. В.², *д.т.н., доц.*,
КРАВЧУК А. М.³, *ст. викладач*,
СТАЦЕНКО Ю. Ф.⁴, *ст. викладач*

¹ Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, буд. 17, вул. Маршала Бажанова, м. Харків, 61002, Україна, e-mail: bvl@bk.ru ORCID: 0000-0001-8089-7724

² Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, буд. 17, вул. Маршала Бажанова, м. Харків, 61002, Україна, e-mail: ovtr@mail.ru ORCID: 0000-0002-0457-9553

³ Кафедра безпеки життєдіяльності, Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, вул. Ворошилова, 25, 49000, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 713-51-42, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-7144-2563

⁴ Кафедра безпеки життєдіяльності, Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, вул. Ворошилова, 25, 49000, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-16-01, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-6791-2678

Анотація. *Метою* даної роботи є побудова математичної моделі (визначення її параметрів) для прогнозування кисневого режиму (біохімічного споживання кисню та розчиненого кисню) р. Сів. Донець на підставі класичної моделі Стрітера-Фелпса. В роботі використана **методика** математичного моделювання динаміки змін концентрації розчиненого кисню та біохімічного споживання кисню на основі ретроспективного аналізу даних оперативного контролю. **Результати.** Проведено аналіз кисневого режиму р. Сіверський Донець біля м. Изюм та розраховано параметри моделі Стрітера-Фелпса для ділянки р. Сіверський Донець, що розташована в Изюмському районі Харківської області. **Наукова новизна** полягає у розробці способу визначення параметрів моделі Стрітера-Фелпса на підставі аналізу ретроспективних даних та з використанням даних аналізу БСК та РК по декількох створах р. Сів. Донець, що дозволяє прогнозувати кисневий режим річки у різні пори року. **Практична значимість** полягає в можливості за допомогою отриманих рівнянь прогнозувати кисневий режим р. Сів. Донець – швидкість зміни концентрації БСК та РК, розрахунок відстані від місця забору проби для аналізу до місця можливого скиду забруднення до річки задля своєчасного прийняття рішень з оперативного та дієвого управління екологічним станом басейну р. Сів. Донець.

Ключові слова: математичне моделювання; прогнозування; модель Стрітера-Фелпса; кисневий режим; біохімічне споживання кисню (БСК); розчинений кисень

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КИСЛОРОДНОГО РЕЖИМА РЕКИ СЕВЕРСКИЙ ДОНЕЦЬ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

БЕССОННЫЙ В. Л.¹, *ведущий инженер*,
ТРЕТЬЯКОВ О. В.², *д.т.н., доц.*,
КРАВЧУК А. М.³, *ст. преподаватель*,
СТАЦЕНКО Ю. Ф.⁴, *ст. преподаватель*

¹ Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова, буд. 17, вул. Маршала Бажанова, г. Харьков, 61002, Украина, e-mail: bvl@bk.ru ORCID: 0000-0001-8089-7724

² Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова, буд. 17, вул. Маршала Бажанова, г. Харьков, 61002, Украина, e-mail: ovtr@mail.ru ORCID: 0000-0002-0457-9553

³ Кафедра безопасности жизнедеятельности, Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, ул. Ворошилова, 25, 49000, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 713-51-42, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-7144-2563

⁴ Кафедра безопасности жизнедеятельности, Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, ул. Ворошилова, 25, 49000, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 713-51-42, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-6791-2678

Аннотация. *Целью* данной работы является построение математической модели (определение ее параметров) для прогнозирования кислородного режима (БПК и РК) р. Северский Донец на основании классической модели Стритера-Фелпса. В работе использована **методика** математического моделирования динамики изменений концентрации растворенного кислорода и биохимического потребления кислорода на основании ретроспективного анализа данных оперативного контроля. **Результаты.** Проведен анализ кислородного режима р. Северский Донец возле г. Изюм и рассчитаны параметры модели Стритера-Фелпса для участка р. Северский Донец, расположенном в Изюмском районе Харьковской области. **Научная новизна** состоит в разработке способа определения параметров модели Стритера-Фелпса на основании анализа ретроспектив-

ных данных и с использованием данных анализа БПК и растворенного кислорода из нескольких створов р. Северский Донец, что позволяет прогнозировать кислородный режим реки в разные времена года. **Практическая значимость** состоит в возможности при помощи полученных уравнений прогнозировать кислородный режим р. Северский Донец – скорость изменения концентрации БПК и растворенного кислорода, расчет расстояния от места забора пробы для анализа до места возможного сброса загрязнения в реку для своевременного принятия решения по оперативному и действенному управлению экологическим состоянием бассейна р. Северский Донец.

Ключевые слова: математическое моделирование; прогнозирование; модель Стритуера-Фелпса; кислородный режим; биохимическое потребление кислорода (БПК); растворенный кислород

PROGNOSIS THE OXYGEN REGIME OF THE SEVERSKY DONETS RIVER METHODS OF MATHEMATICAL MODELING

BEZSONNYI V. L.¹, *Sen. Eng.*,
TRETYAKOV O. V.², *Dr. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
KRAVCHUK A. M.³, *Senior Teacher*,
STATCENKO Y. F.⁴, *Senior Teacher*

¹ O.M. Beketov University of Urban Economy in Kharkiv, Bazhanova str., 17, 61002, Kharkiv, Ukraine, e-mail: bvl@bk.ru, ORCID ID 0000-0001-8089-7724

² O.M. Beketov University of Urban Economy in Kharkiv, Bazhanova str., 17, 61002, Kharkiv, Ukraine, e-mail: ovtr@mail.ru, ORCID ID 0000-0002-0457-9553

³ Department of Life Safety, Dnepropetrovsk agrarian-economic university, Voroshilova st., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, phone +38 (056) 713-51-42, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-7144-2563

⁴ Department of Life Safety, Dnepropetrovsk agrarian-economic university, Voroshilova st., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, phone +38 (056) 713-51-42, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-6791-2678

Annotation. Purpose. The aim of this paper is to construct a mathematical model (determination of its parameters) to predict the oxygen regime (BOD and dissolved oxygen) кшм. Seversky Donets based on the classical model Streeter-Phelps. The paper used the **method** of mathematical modeling of the dynamics of changes in the concentration of dissolved oxygen and biochemical oxygen demand based on a retrospective analysis of the operational monitoring data. **Results.** The analysis of the oxygen regime riv. Seversky Donets near Izyum and calculated parameters of the model for the Streeter-Phelps section riv. Seversky Donets River, located in the district of the Kharkov region Izyum. **Scientific novelty** is to provide a method for determining model parameters Streeter-Phelps based on an analysis of historical data and using the data analysis BOD and dissolved oxygen of several cross-sections riv. Seversky Donets, that allows to predict the oxygen regime of the river at different times of the year. **The practical significance** is the possibility of using the derived equations to predict the oxygen regime riv. Seversky Donets - the rate of change of concentration of BOD and dissolved oxygen, calculating the distance from the place of sampling for analysis to the point of a possible discharge of pollution into the river for a timely decision on the operational and effective management of the ecological state of the river basin Seversky Donets.

Keywords: mathematical modeling; forecasting; Streeter-Phelps model; oxygen regime; biochemical oxygen demand (BOD); dissolved oxygen

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями

Басейн р. Сіверський Донець охоплює території Харківської, Донецької і Луганської областей і розташований в урбанізованому регіоні з високим рівнем розвитку промисловості та сільського господарства, які потребують великої кількості водних ресурсів. Сіверський Донець є найбільшою річкою та найважливішим джерелом прісної води сходу України.

Сучасний незадовільний стан водних об'єктів показує, що проблеми у сфері охорони вод від забруднення та виснаження не тільки не знайшли вирішення, а й значно загострилися, особливо в останні роки. Відсутність басейнового принципу контролю, управління і відповідальності за стан поверхневих джерел питного водопостачання, призводить до того, що найчастіше основні забруднюючі об'єкти промисло-

вості, які обумовлюють стан поверхневого джерела питної води, розташовані на території одних областей, а виробництво і споживання питної води з цього джерела відбувається на території інших.

Забезпечення населення України питною водою для багатьох регіонів країни є однією з пріоритетних проблем, розв'язання якої необхідно для збереження здоров'я, поліпшення умов діяльності та підвищення рівня життя населення, та забезпечення сталого розвитку країни.

Загальнодержавна програма «Питна вода України» на 2006-2020 роки (далі – Програма), що затверджена Законом України від 03.03.2005 р., № 2455-IV, спрямована на реалізацію державної політики щодо забезпечення населення якісною питною водою відповідно до Закону України «Про питну воду та питне водопостачання» [1].

Питне водопостачання країни майже на 80 % забезпечується за рахунок поверхневих вод. Якість води у поверхневих водних об'єктах є вирішальним чинником санітарного та епідемічного благополуччя населення [2].

Кисень належить до найважливіших розчинених газів. Він необхідний для існування більшості водних організмів і є одним із найбільш потужних природних окиснювачів, виконуючи санітарно-гігієнічну роль у водоймі. Вміст кисню великою мірою визначає якість води завдяки інтенсифікації процесів самоочищення, фізико-хімічної трансформації та гідробіологічного кругообігу речовин.

Концентрація розчиненого у воді кисню є інтегральною величиною, що визначається співвідношенням різноспрямованих фізико-хімічних, гідробіологічних і гідродинамічних процесів, які відбуваються у водному середовищі та на межі розділення «вода-атмосфера» [3].

Прогнозування якості води – це визначення якості води на перспективу з урахуванням діючих факторів впливу на водний об'єкт [4], визначення дієвих важелів впливу, та забезпечення реалізації басейнового принципу управління водними ресурсами.

Вихідною інформацією для задач прогнозування якості води є результати спостережень. Спостереження та прогноз тісно пов'язані між собою: прогноз якості води можливий, з одного боку, за наявності інформації щодо її якості (прямий зв'язок); побудова прогнозу, з іншого боку, передбачає знання закономірностей змін водного середовища та можливість чисельних розрахунків (зворотній зв'язок).

Рівняння, що характеризують комплекс процесів, реально впливаючих на якість води, очевидно, досить складні, оскільки зміна концентрації однієї складової буде автоматично впливати на інші, що обумовлено законом збереження мас. При використанні класичних рівнянь Стрітера-Фелпса [3] весь комплекс забруднюючих речовин, що скидаються до річки, оцінюється споживанням кисню та компенсаторним впливом атмосферної аерації.

Саме тому прогнозування кисневого режиму р. Сіверський Донець, а саме показників розчиненого кисню (РК) та біохімічного споживання кисню (БСК) є важливою та актуальною задачею як при поточному водокористуванні, так і для процесу реалізації басейнового підходу до управління водними ресурсами.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, де закладені основи вирішення даної проблеми

Інструментом прогнозування є модель, яка використовується для формування прогнозу. Найбільший інтерес становлять математичні моделі [5].

Моделюванню та аналізу вмісту у воді РК та БСК у літературі, присвяченій моделям якості води, приділено досить велику увагу. Зокрема, досить повні огляди наведені у публікаціях [3] у відповідних розділах та у [6, 7].

Отримали поширення двокомпонентні моделі якості води, в яких процеси, що формують якість води, оцінюються споживанням кисню (процеси біохімічного окислення органічних сполук) та його надходженням (процес атмосферної аерації).

Модель якості води [3], що описує процеси хімічних реакцій в багатокомпонентних системах, являє собою систему пов'язаних диференціальних рівнянь та містить шість рівнів деталізації взаємодії БСК та РК: **а)** БСК-РК; **б)** БСК-РК, включаючи донні відклади органіки; **в)** БСК-РК, включаючи нітрифікацію; **г)** БСК-РК, включаючи донні відклади, нітрифікацію та денітрифікацію; **д)** БСК-РК, включаючи невідкладену та відкладену потребу кисню та донні відклади; **е)** усі перераховані вище процеси.

Диференціальні рівняння рівнів **а** та **б** для БСК та РК являють собою найбільш прості моделі взаємодії. На більш складних рівнях (**в** та **г**) модель враховує продукти розпаду органіки, а також виділення рівня поживних речовин та зміну рівня окислення азоту. Для ще більш складних рівнів (**д** та **е**) розглядаються три компоненти: БСК, суспензія та донна фракція. Для самого високого рівня використовується система семи диференціальних рівнянь: кисень, три фракції БСК, амоній, азот і температура, тобто кількість диференціальних рівнянь залежить від обраного рівня взаємодії БСК та РК.

В моделюванні якості води відмічаються нові тенденції [8]: повернення до класичних моделей (рівень **а**), в яких концентрація РК є функцією природних процесів (атмосферна аерація) та розпаду розчиненої органіки. Співвідношення «БСК-РК» на цьому рівні описується класичною моделлю Стрітера-Фелпса. Рівняння процесів у моделі Стрітера-Фелпса базуються на допущеннях кінетики першого порядку [3, 5, 9], були аналітично розв'язані Фелпсом і Стрітером для ділянки ріки, і на сьогодні широко використовуються в розрахунках [3, 10, 11, 12, 13, 14, 15].

В роботі [10] запропоновано в процес самоочищення, що описаний за допомогою рівнянь Стрітера-Фелпса включати самоочищення за допомогою біофільтра.

В роботі [11] використовується модифікація моделі розчиненого кисню – біологічної потреби кисню в наближенні кінетики першого порядку.

В роботі [12] чисельно реалізуються моделі Стрітера-Фелпса, як такі, що встановлюють взаємозв'язок між концентрацією розчиненого кисню та швидкістю окислення органічної речовини, так і такі, що використовують біофільтри і додаються конвективні та дифузійні члени.

В роботі [13] запропоновано новий та досить зручний, на думку авторів, інструмент, у вигляді таблиць для визначення пари теоретичних величин (БСК та коефіцієнту швидкості біохімічного окислення) за двома вимірними значеннями біохімічного споживання (БСК_Т та БСК_{2Т}). Побудовані універсальні таблиці для будь-якого інкубаційного періоду Т.

В роботі [14] розглянута задача визначення коефіцієнтів рівнянь Стрітера-Фелпса для морської ак-

ваторії. Коефіцієнт біохімічного окислення визначається експериментально. Для визначення коефіцієнта реаерації запропонована методика пошуку, що виключає невизначеність при розв'язанні системи рівнянь.

Екологічний стан басейну р. Сіверський Донець, вплив на нього стічних вод та кисневий режим аналізується в роботах [16-19].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Незважаючи на наявність значної теоретичної бази з досліджуваного питання, у вітчизняній науковій практиці до сьогодні відсутні ґрунтовні дослідження, пов'язані з прогнозуванням кисневого режиму р. Сів. Донець методами математичного моделювання. Також в наявних літературних джерелах не зустрічається спосіб визначення параметрів моделі Стрітера-Фелпса на підставі аналізу ретроспективних даних та з використанням даних аналізу БПК та РК по декількох створах.

Формулювання мети статті

Метою даної роботи є побудова математичної моделі (визначення її параметрів) для прогнозуванням кисневого режиму (БСК та РК) р. Сів. Донець на підставі класичної моделі Стрітера-Фелпса.

Виклад основного матеріалу дослідження

Рівняння Стрітера-Фелпса визначає співвідношення між концентрацією розчиненого кисню і біохімічним споживанням кисню на протязі певного інтервалу часу. При цьому вводяться дві фазові змінні: C_1 = БСК, мг/л; та $C_2 = DO_S - DO$. Тут C_2 – дефіцит кисню, DO_S – гранична концентрація РК у воді (при відсутності відходів), мг/л, DO – концентрація РК у воді в довільний момент часу, мг/л. Рівняння процесів у за схемою Стрітера-Фелпса описуються системою рівнянь

$$\frac{dC_1}{dt} = -k_1 \cdot C_1 \quad (1)$$

$$\frac{dC_2}{dt} = k_1 \cdot C_1 - k_2 \cdot C_2 \quad (2)$$

де k_1 – коефіцієнт мінералізації (коефіцієнт біохімічного окислення органічних речовин, 1/добу); k_2 – коефіцієнт реаерації, 1/добу).

Для річки, що має постійну швидкість течії U , величина t може інтерпретуватися як тривалість ($t=x/U$) протікання процесу на ділянці довжиною x при швидкості течії U і тоді система рівнянь (1) та (2) має аналітичне рішення виду:

$$C_1 = C_{1,0} \cdot e^{-k_1 t} \quad (3)$$

$$C_2 = \frac{k_1 \cdot C_{1,0}}{k_2 - k_1} \cdot (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) + C_{2,0} \cdot e^{-k_2 t} \quad (4)$$

де $C_{1,0}$ – БПК в початковий момент часу, $C_{2,0}$ – дефіцит кисню в початковий момент часу, обумовлений джерелом забруднення.

При цьому рівняння (1) характеризує процес розкладу органічної речовини, а рівняння (2) криву спаду розчиненого кисню. Крива спаду показує, що дефіцит кисню досягає максимуму на деякій критичній відстані від скиду стічних вод [3].

Множники $C_{1,0}$ та $C_{2,0}$ – в рівняннях (3) та (4) визначаються експериментально, коефіцієнти k_1 та k_2 невідомі.

З рівняння (3) коефіцієнт мінералізації k_1 може бути представленим у вигляді

$$k_1 = t^{-1} \cdot \ln \frac{C_{1,0}}{C_1} \quad (5)$$

З рівняння (4) знаходимо коефіцієнт реаерації k_2

$$k_2 = \frac{C_{1,0} \cdot k_1 \cdot e^{-k_1 t}}{C_2} \quad (6)$$

Вихідними даними для розрахунку є результати аналізів стану води р. Сів. Донець, що виконані хімічною лабораторією Ізюмського комунального виробничого водопровідно-каналізаційного підприємства за період 2010 – 2014 рр. Місця відбору проб: 1) місце скиду стічних вод у р. Сів. Донець; 2) р. Сів. Донець 500 м вище скиду; 3) р. Сів. Донець 500 м нижче скиду.

Враховуючи вплив температурного режиму в залежності від пори року на розчинність кисню у воді вбачається доцільним розрахунок параметрів моделі для кожного місяця окремо. Таким чином, вихідними даними для розрахунку коефіцієнтів k_1 та k_2 є усереднені середньомісячні багаторічні значення відповідних показників за період 2013 – 2014 рр. Дані 2014 р. будуть використані для перевірки адекватності прогнозу та побудованої моделі.

В таблиці 1 наведені значення коефіцієнтів k_1 та k_2 розраховані на підставі емпіричних даних за формулами (5) та (6).

Таблиця 1

Розраховані значення коефіцієнтів k_1 та k_2
Estimated value ratios k_1 and k_2

Місяць	k_1	k_2
Січень	0,000787	0,025318
Лютий	0,000918	-0,00582
Березень	0,000752	-0,01123
Квітень	0,000691	0,005199
Травень	0,000799	0,005301
Червень	0,001055	0,014738
Липень	0,001286	0,031005
Серпень	0,001313	0,028644
Вересень	0,001246	0,031299
Жовтень	0,001392	0,032566
Листопад	0,001457	0,016313
Грудень	0,001494	0,174429

Перевірка адекватності розрахованої моделі прогнозних значень БСК та дефіциту кисню показані на відповідних графіках (рис. 1 та рис. 2), де зображені

криві середньорічних значень показників, прогнозні значення на 2014 р. та фактично отримані значення показників БСК та дефіциту розчиненого кисню.

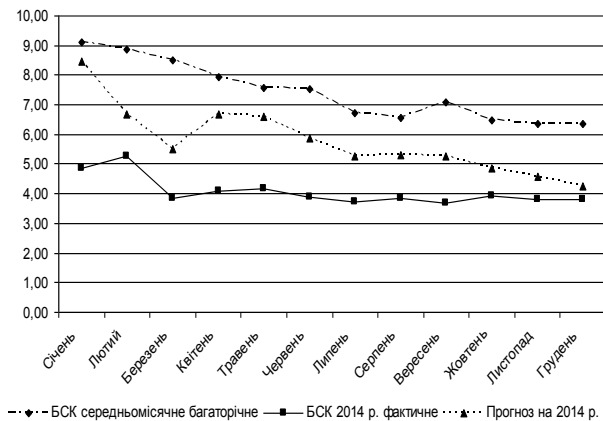


Рис. 1. Емпіричні та прогнозні значення показників БСК / Empirical and projected values of BOD

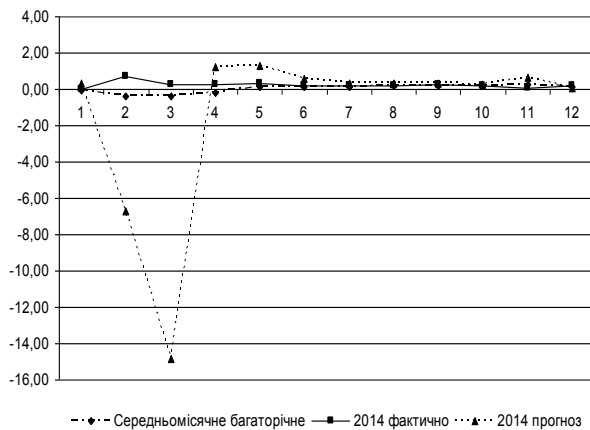


Рис. 2. Емпіричні та прогнозні значення показників дефіциту розчиненого кисню / Empirical and projected values of dissolved oxygen deficit

Коефіцієнт кореляції між прогнозним значенням БСК та емпіричним становить 0,74, що можна вважати прийнятним з огляду на результати інших дослідників [12], які вказують на те, що на всі моделі, запропоновані для опису взаємодії РК та БСК впливає факт неточності задання усіх параметрів цієї моделі, отриманих із експерименту (величина похибки може досягати 40 %).

Результат прогнозу значень дефіциту розчиненого кисню на 2014 р. (рис. 2) показує високий коефіцієнт кореляції (0,9) для значень, що відносяться до другого півріччя.

«Провал» прогнозних показників для лютого та березня пояснюється характером вихідної інформації для аналізу та нестійким температурним режимом цих місяців. Для обчислень використовувалися вже усереднені за місяць дані хімічних аналізів.

Оскільки основне призначення такої моделі – прогноз показників БСК та дефіциту розчиненого кисню за результатами саме оперативного моніторингу, що здійснюється в терміни не значної зміни температурних показників, то прогнозу модель можна вважати адекватною для прогнозування в умовах стабільної або мало динамічної температури.

Висновки із даного дослідження та перспективи подальшого розвитку у цьому напрямку

В результаті виконаної роботи було проведено аналіз кисневого режиму р. Сів. Донець біля м. Ізюм та розраховано параметри моделі Стрітера-Фелпса для ділянки р. Сіверський Донець, що розташована в Ізюмському районі Харківської області.

Отримані моделі показують достатню достовірність прогнозу за умов не значних температурних коливань або в умовах оперативного моніторингу.

Перспективним вбачається включення до рівнянь моделі змінних, що характеризують гідрологічні та температурні показники досліджуваного об'єкту для більш точного визначення параметрів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Загальнодержавна програма «Питна вода України» на 2006-2020 роки. [Текст] // Відомості Верховної Ради України, 2005, № 15, С. 243-255.
2. Вишневецький В.І. Річки і водойми України. Стан і використання [Текст] / В.І. Вишневецький. – К.: Віпол, 2000. – 376 с.
3. Пряжинская В. Г. Компьютерное моделирование в управлении водными ресурсами : монгр. [Текст]/ В. Г. Пряжинская, Д. М. Ярошевский, Л. К. Левит-Гуревич. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2002. - 496 с.
4. ГОСТ 27065-86. Качество вод. Термины и определения. – Введ. 1987-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1986. 17 с.
5. Дружинин Н. И. Математическое моделирование и прогнозирование загрязнения поверхностных вод суши : моногр. / Н. И. Дружинин, А. И. Шишкин. - Ленинград : Гидрометеиздат, 1989. - 390 с.
6. Третьяков О. В., Безсонний В. Л. Основні методи математичного моделювання для методичного забезпечення басейнового підходу в управлінні якістю водних ресурсів [Текст] // Системи обробки інформації. — 2016. — № 8(145). — С. 194-199.
7. Роголев А. Н. Детерминированные и стохастические методы оценки качества воды в условиях неопределенности [Текст] : статья / А. Н. Роголев // Распределенные информационные и вычислительные ресурсы (DICR-2012): материалы XIV Российской конференции с международным участием (электронное издание): Институт вычислительных технологий Сибирского отделения РАН, 2012. – С. 101-112.
8. Данилов-Данильян В. И. Управление водными ресурсами в условиях климатических изменений [Текст] / В. И. Данилов-Данильян, В. Г. Пряжинская. // Обоснование стратегий управления водными ресурсами. - М. : Научный мир, 2006. - С. 62-76.

9. Бек М. Б. Моделирование содержания растворенного кислорода на участке реки, далеко от эстуария [Текст] / М. Б. Бек. // Математические модели контроля загрязнения воды / Пер. с англ. А. А. Воинова, Н. К. Лукьянова; под. ред. Ю. М. Свиричева. - М. : Мир, 1981. - С. 165-199.
10. Михайлов М.Д. Об одной модификации модели Стритера – Фелпса и ее численной реализации с помощью многопроцессорных вычислительных систем [Текст] // Вестник томского государственного университета. Серия: Математика и механика, 2010, №1(9). С. 39 – 46.
11. Цхай А.А. Математическое моделирование качества воды в проектируемом водохранилище на основе РК-БПК [Текст] // Известия Алтайского государственного университета. Выпуск № 1(73) / том 2/2012. С. 123 – 126.
12. Рогалев А. Н., Рогалев А. А. Численная реализация модели Стритера–Фелпса и ее модификаций с учетом неопределенности данных [Текст] // Сборник материалов международной конференции "Кубатурные формулы, методы Монте-Карло и их приложения посвященной 90-летию со дня рождения И. П. Мысовских. Красноярск, 4-7 июля 2011 года. С. 100-104.
13. Готовцев А.В. Определение скорости биохимического окисления и биохимической потребности в кислороде табличным методом [Текст] // Всероссийская научная конференция «Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 г.» (6 - 11 июля 2015 г.) г. Петрозаводск, 2015. Сборник научных трудов, Том 1, С. 263-272.
14. Волкова Т. А. Особенности решения уравнений Стритера-Фелпса для оценки экологической безопасности морской акватории [Текст] / Т. А. Волкова, А. И. Кондратьев // Транспортное дело России. - 2011. - № 7 (92). - С. 120-122.
15. Пряжинская В. Г. Современные методы управления качеством речных вод урбанизированных территорий [Текст] // Водные ресурсы. 1996. №2. С. 168-175.
16. Сучасний екологічний стан української частини річки Сіверський Донець (експедиційні дослідження) [Текст] / А.В. Гриценко, О.Г. Васенко, А.В. Колісник та ін.: за ред. д-ра геогр. наук, проф. А.В. Гриценка, канд. біол. наук, доц. О.Г. Васенка. - Х. : ВПП «Контраст», 2011. – 340 с.
17. Третьяков О.В., Шевченко Т.О., Безсонний В.Л. Підвищення рівня екологічної безпеки питного водопостачання Харківського регіону [Текст] // Східно-європейський журнал передових технологій. Том 5«Екологія», № 10(77), 2015. С. 40-49.
18. Третьяков О.В., Безсонний В.Л. Оцінка впливу стічних вод на екологічний стан річки Сіверський Донець [Текст] // Вестник ХНАДУ, вып. 71, 2015. – С. 103-108.
19. Ухань О.О., Осадча Н.М. Характеристика кисневого режиму поверхневих вод басейну р. Сіверський Донець [Текст] // Наукові праці УкрНДГМІ. – 2010. – Вип. 259, С. 199-216.

REFERENCES

1. *Zagalnoderzhavna programa "Pitna voda Ukrayini na 2006-2020 roki* [National Program "Drinking Water of Ukraine" for 2006-2020] // *Vidomosti Verkhovnoyi Radi Ukrayini* [Supreme Council of Ukraine], 2005, no. 15, pp. 243-255. (in Ukrainian).
2. *Vyshnevskyy V.I. Richky i vodoymy Ukrainy. Stan i vykorystannya* [Rivers and reservoirs Ukraine. State and use]/ V.I. Vyshnevskyy. – Kyiv: Vipol, 2000. – 376 p. (in Ukrainian).
3. *Pryazhinskaya V.G. Kompyuternoe modelirovanie v upravlenii vodnymi resursami : monogr.* [Computer modeling in water management: Monograph.] / V. G. Pryazhinskaya, D. M. Yaroshevskiy, L. K. Levit-Gurevich. – Moscow, FIZMATLIT, 2002, 496 p. (in Russian).
4. *GOST 27065-86. Kachestvo vod. Terminy i opredeleniya. – Vved. 1987-01-01.* [GOST 27065-86. The quality of water. Terms and Definitions. - Enter. 1987-01-01.] – Moscow, Izd-vo standartov, 1986. 17 p. (in Russian).
5. *Druzhinin N.I. Matematicheskoe modelirovanie i prognozirovanie zagryazneniya poverhnostnykh vod sushi: monogr.* [Mathematical modeling and forecasting contamination of surface water: monograph.]/ N.I. Druzhinin, A.I. Shishkin. – Leningrad, Gidrometeoizdat, 1989. - 390 p. (in Russian).
6. *Tretyakov O.V., Bezsonny V.L. Osnovni metodi matematichnogo modelyuvannya dlya metodichnogo zabezpechennya basynovogo pidhodu v upravlinni yakisty vodnih resursiv* [Basic methods of mathematical modelling for methodical maintenance of the basin approach in quality management water resources]// *Sistemi obrobki Informatsiyi* [Information processing system]. — 2016. — no. 8(145). — pp. 194-199. (in Russian).
7. *Rogalev A.N. Determinirovannyye i stohasticheskie metody otsenki kachestva vody v usloviyah neopredelenosti* [Deterministic and stochastic methods for the assessment of water quality in the face of uncertainty] / A. N. Rogalev // *Raspredeleennyie informatsionnyie i vyichislitelnyie resursyi (DICR-2012): materialy XIV Rossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (elektronnoe izdanie): Institut vyichislitelnykh tekhologiy Sibirskogo otdeleniya RAN* [Distributed information and computational resources (DICR-2012) Proceedings of the XIV Russian conference with international participation (electronic edition): Institute of computing technologies, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences], 2012, P. 101-112. (in Russian).
8. *Danilov-Danilyan V.I. Upravlenie vodnymi resursami v usloviyah klimaticheskikh izmeneniy* [Water resources management under climate change]/ V. I.Danilov-Danilyan, V. G. Pryazhinskaya. // *Obosnovanie strategiy upravleniya vodnymi resursami* [Justification of water management strategies]. Moscow, Nauchnyy mir, 2006, pp. 62-76. (in Russian).
9. *Bek M.B. Modelirovanie soderzhaniya rastvorennogo kisloroda na uchastke reki, dalekom ot estuariya* [Simulation of dissolved oxygen in the river area, far from the estuary] / M. B. Bek. // *Matematicheskie modeli kontrolya zagryazneniya vody* [Mathematical model of water pollution control]/ Per. s angl. А. А. Voinova, N. K. Lukyanova; pod. red. Yu. M. Svirezheva. – Mjscov, Mir, 1981, pp. 165-199. (in Russian).
10. *Mihaylov M.D. Ob odnoy modifikatsii modeli Stritera – Felpsa i ee chislennoy realizatsii s pomoschy mnogoprotsessornykh vyichislitelnykh sistem* [A modification of the model Streeter - Phelps and its numerical implementation by means of multiprocessor computer systems]// *Vestnik tomского gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Matematika i mehanika* [Bulletin of the Tomsk State University. Series: Mathematics and Mechanics]. 2010, no. 1(9), pp. 39 – 46. (in Russian).

11. Tskhay A.A. *Matematicheskoe modelirovanie kachestva vodyi v proektiruemom vodohranilische na osnove RK-BPK* [Tskhay Water Quality Mathematical Modeling for the Design Reservoir on the Basis DO-BOD Model]// *Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta* [News of Altai State University]. Issue number 1 (73) / volume 2/2012. pp. 123 - 126. (in Russian).
12. Rogalev A.N., Rogalev A.A. *Chislennaya realizatsiya modeli Stritera–Felpsa i ee modifikatsiy s uchedom neopredelennosti dannykh* [Numerical implementation Streeter-Phelps model and its modifications based on data uncertainty]// *Sbornik materialov mezhdunarodnoy konferentsii "Kubaturnyye formuly, metody Monte-Karlo i ih prilozheniyaposvyaschennoy 90-letiyu so dnya rozhdeniya I. P. Mysovskikh* [Proceedings of the International Conference "Cubature formulas, Monte Carlo methods and their applications to the 90th birthday of I. P. Mysovskikh.]. Krasnoyarsk, 4-7 July 2011, pp. 100-104. (in Russian).
13. Gotovtsev A.V. *Opredelenie skorosti biohimicheskogo okisleniya i biohimicheskoy potrebnosti v kislorode tablitsnyim metodom* [To determine the rate of biochemical oxidation biochemical oxygen demand tabular method]// *Vserossiyskaya nauchnaya konferentsiya «Nauchnoe obespechenie realizatsii «Vodnoy strategii Rossiyskoy Federatsii na period do 2020 g.» (6 - 11 iyulya 2015 g.) g.* [Scientific Conference "Scientific support for implementation of the" Water Strategy of the Russian Federation for the period till 2020 "(6 - 11 July 2015)]. Petrozavodsk, 2015. Collection of Scientific Papers , Volume 1, pp 263-272. (in Russian).
14. Volkova T.A. *Osobennosti resheniya uravneniy Stritera-Felpsa dlya otsenki ekologicheskoy bezopasnosti morskoy akvatorii* [Characteristic features of solving Striters-Felps models for ecological safety assessment of water areas]// T. A. Volkova, A. I. Kondratev // *Transportnoe delo Rossii* [Transport business of Russia]. 2011, no. 7 (92), pp. 120-122. (in Russian).
15. Pryazhinskaya V.G. *Sovremennyye metody upravleniya kachestvom rechnykh vod urbanizirovannykh territoriy* [Modern methods of quality management of river water in urban areas]// *Vodnyye resursy* [Water Resources]. 1996. no. 2. pp. 168-175.
16. Hrytsenko A.V., Vasenko O.H., Kolisnyk A.V. *Suchasnyy ekolohichnyy stan ukrayins'koyi chastyny richky Sivers'kyy Donets' (ekspeditsiyi doslidzhennya)* [The current status of the Ukrainian part of the Seversky Donets River (expeditionary research)]. Kharkiv, «Kontrast», 2011, 340 p. (in Russian).
17. Tret'yakov O.V., Shevchenko T.O., Bezsonnyy V.L. *Pidvyshchennya rivnya ekolohichnoyi bezpeky pytnoho vodopostachannya Kharkivs'koho rehionu* [Increasing the level of environmental safety of drinking water supply in Kharkiv region]// *Skhidno-yevropeys'kyy zhurnal peredovykh tekhnolohiy* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies]. Volume 5 "Ecology", no. 10 (77), 2015. pp. 40-49. (in Russian).
18. Tret'yakov O.V., Bezsonnyy V.L. *Otsinka vplyvu stichnykh vod na ekolohichnyy stan richky Sivers'kyy Donets'* [Assessment of sewage in the environmental status of river Seversky Donets]// *HNADU Journal*, Vol. 71, 2015. - pp. 103-108. (in Russian).
19. Ukhan' O.O., Osadcha N.M. *Kharakterystyka kysnevoho rezhymu poverkhnevyykh vod baseynu r. Sivers'kyy Donets'* [Characteristics of the oxygen regime of surface water basin. Seversky Donets]// *Proceedings UkrNDHMI*, 2010, Vol. 259, pp. 199-216. (in Russian).

Статья поступила в редколлегию 07.09.2016